



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE NUTRIENTES, pH, C.E., TEMPERATURA Y FLUJO DE AGUA, EN HIDROPONÍA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS EMBEBIDOS, UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA, DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Trabajo de titulación

Tipo: Propuesta Tecnológica

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: EDISSON VLADIMIR FREIRE SOLIS

MARLON DAMIAN PUJOS ESPIN

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ALEJANDRO LOPEZ ORTIZ

Riobamba - Ecuador

2020

©2020, Edison Vladimir Freire Solis; & Marlon Damian Pujos Espin.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Edison Vladimir Freire Solis y Marlon Damian Pujos Espin, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 03 de septiembre de 2020



Edisson Vladimir Freire Solis
1804409314



Marlon Damian Pujos Espin
1804547147

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: el trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE NUTRIENTES, pH, C.E., TEMPERATURA Y FLUJO DE AGUA, EN HIDROPONÍA MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS EMBEBIDOS, UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA, DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**, realizado por los señores: **EDISSON VLADIMIR FREIRE SOLIS y MARLON DAMIAN PUJOS ESPIN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

2020-09-03

Ing. Santiago Alejandro López Ortiz

DIRECTOR DEL TRABAJO

2020-09-03

DE TITULACIÓN

Ing. Jhon German Vera Luzuriaga

MIEMBRO DE TRIBUNAL

2020-09-03

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado de manera muy especial a mis padres Javier y Narciza, quienes me brindaron todo el apoyo para cumplir cada meta, sueño y objetivo planteado.

A mis abuelitos José, Laurita, Bachita por la ayuda incondicional y consejos de superación para seguir adelante en mis sueños de ser un profesional.

A mis hermanos Alexis y Ricardo por estar siempre presentes, ser mi fuerza y alentarme a dar siempre lo mejor de mí.

Y a mis tíos y primos, por ayudarme en los momentos más difíciles e impulsarme a conseguir un objetivo más.

Edisson

Dedico este presente trabajo a mis padres Raúl, Gladys por darme la oportunidad de cumplir mis metas y formar no solo a un profesional, si no a un gran ser humano de bien.

A mis hermanos Verónica, Evelyn, Valery, Omar y sobre todo al apoyo incondicional de mi hermana Paola, que ha sido pilar fundamental en todo este proceso.

Marlon

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a dios por darme la oportunidad de cumplir una meta más y poder compartir este momento tan especial con toda mi familia y amigos.

Agradezco el apoyo incondicional de mis padres Javier y Narciza, mis hermanos Alexis y Ricardo, ya que gracias a ustedes logre cumplir un sueño más.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de una manera muy especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, que me permitió conocer a excelentes docentes y amigos que formaron en mí a un profesional.

Edisson

Agradezco a Dios por permitirme celebrar una meta más de mis sueños con toda mi familia, gracias a mis padres Raúl y Gladys, por apoyarme en cada decisión.

A mis hermanitos y Paola que me ha sabido comprender y motivarme en los momentos más difíciles de la vida, gracias Familia por su amor, por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar cada día.

Marlon

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	XVI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVII
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.5 Alcance.....	3

2. MARCO TEÓRICO

2.1 La hidroponía.....	4
2.2 La agricultura y la automatización.....	4
2.2.1 <i>Agricultura Clásica</i>	4
2.2.2 <i>Agricultura Moderna</i>	5
2.3 Hidroponía como una alternativa de cultivo.....	6
2.4 La hidroponía como método de cultivo.....	7

2.4.1	<i>Ventajas y Desventajas del cultivo hidropónico</i>	7
2.4.2	<i>Sistemas de cultivos hidropónicos</i>	8
2.4.3	<i>Técnicas hidropónicas.</i>	8
2.4.3.1	<i>Técnica de película nutritiva NFT.</i>	8
2.4.3.2	<i>Técnica de la raíz flotante</i>	9
2.4.3.3	<i>Técnica aeropónica.</i>	10
2.4.3.4	<i>Técnica del follaje verde (FVH)</i>	11
2.5	Nutrientes en cultivos hidropónicos	11
2.5.1	<i>Características que debe presentar una solución nutritiva</i>	12
2.5.2	<i>Nutrientes a usar en cultivos hidropónicos</i>	13
2.5.3	<i>Soluciones de medición en cultivos hidropónicos</i>	13
2.5.3.1	<i>PH en cultivos Hidropónicos</i>	13
2.5.3.2	<i>Conductividad eléctrica en cultivos hidropónicos</i>	14
2.5.3.3	<i>Temperatura en cultivos hidropónicos</i>	14
2.6	Invernaderos Hidropónicos	15
2.7	Automatización en cultivos hidropónicos	15
2.8	Adquisición de datos (DAQ)	17
2.8.1	<i>Arduino como dispositivo DAQ.</i>	18
2.8.2	<i>Arduino UNO</i>	18
2.9	Sensores y actuadores	20
2.9.1	<i>Sensor de pH.</i>	20
2.9.2	<i>Sensor de conductividad (C.E.).</i>	20
2.9.3	<i>Sensor de temperatura</i>	20
2.9.4	<i>Bomba Hidráulica.</i>	21
2.9.4.1	<i>Bomba centrífuga</i>	22
2.10	PC y software	24
2.11	Labview	24
2.12	Contactador	24

2.12.1	<i>Clasificación</i>	24
2.12.2	<i>Partes de un Contactor</i>	25
2.12.3	<i>Simbología</i>	25
3.	METODOLOGÍA	
3.1	Diseño del diagrama de proceso e instrumentación	27
3.2	Sistema de Control y Adquisición de Datos	28
3.3	Sensores del sistema de monitoreo	29
3.3.1	<i>Sensor de pH</i>	29
3.3.1.1	<i>Características</i>	30
3.3.1.2	<i>Conexión con arduino.</i>	32
3.3.1.3	<i>Código Arduino.</i>	32
3.3.1.4	<i>Calibración.</i>	33
3.3.2	<i>Sensor de Conductividad Eléctrica</i>	34
3.3.2.1	<i>Características</i>	36
3.3.2.2	<i>Conexión con arduino</i>	37
3.3.2.3	<i>Código Arduino para lectura de Conductividad Eléctrica</i>	37
3.3.2.4	<i>Calibración</i>	38
3.3.3	<i>Sensor de Temperatura</i>	39
3.3.3.1	<i>Características</i>	41
3.3.3.2	<i>Conexión Arduino</i>	41
3.3.3.3	<i>Código arduino para lectura de Temperatura.</i>	42
3.3.3.4	<i>Calibración del sensor de temperatura.</i>	43
3.3.4	<i>Sensor de flujo de agua</i>	43
3.3.4.1	<i>Características</i>	44
3.3.4.2	<i>Conexión Arduino</i>	44
3.3.4.3	<i>Código.</i>	45

3.3.4.4	<i>Calibración</i>	46
3.4	Bomba centrífuga	47
3.4.1	<i>Características</i>	47
3.5	Diseño del sistema de monitoreo e implementación	47
3.6	Diseño de PCB con circuito de potencia	50
3.7	Implementación del sistema hidropónico en el departamento de Horticultura ... 52	
3.7.1	<i>Funcionamiento del sistema de hidroponía NFT</i>	52
3.7.2	<i>Implementación de componentes</i>	53
3.7.2.1	<i>Verificación de lectura de datos por parte de los distintos sensores</i>	53
3.7.2.2	<i>Mezcla de nutrientes</i>	54
3.7.2.3	<i>Calibración de sensores acorde a los valores de trabajo del sistema</i>	55
3.7.2.4	<i>Control de encendido de la bomba</i>	57
3.7.3	<i>Canales para el cultivo hidropónico NFT</i>	58
4.	GESTIÓN DEL PROYECTO	
4.1	Resultados	59
4.1.1	<i>Toma de datos</i>	59
4.1.1.1	<i>Mediciones con el sistema automático y con los medidores digitales de bolsillo</i>	60
4.1.2	<i>Análisis de varianza para validación del sistema incorporado</i>	64
4.1.2.1	<i>Método de Tukey</i>	64
4.1.2.2	<i>Análisis de varianza para el pH</i>	65
4.1.2.3	<i>Análisis de varianza para la conductividad eléctrica</i>	67
4.1.2.4	<i>Análisis de varianza para Temperatura</i>	69
4.2	Análisis de costos	71
4.2.1	<i>Costos Directos</i>	71
4.2.1.1	<i>Materiales Electrónicos y Eléctricos</i>	71
4.2.1.2	<i>Mano de Obra</i>	72

4.2.1.3	<i>Medidores portátiles</i>	73
4.2.1.4	<i>Valor Total de Costos Directos</i>	73
4.2.2	Costos Indirectos	73
4.2.3	Costos Totales	74
5.	CONCLUSIONES	75
6.	RECOMENDACIONES	76

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Sales fertilizantes utilizadas.	13
Tabla 2-2:	Niveles de conductividad eléctrica según el cultivo.....	14
Tabla 3-2:	Partes del Arduino.	19
Tabla 4-2:	Características técnicas del Arduino UNO.....	19
Tabla 5-2:	Tabla de sensores y sus fenómenos	20
Tabla 6-2:	Tabla de simbología de bobina y contactores.....	26
Tabla 1-3:	Tabla de criterios para selección del sensor de pH.....	29
Tabla 2-3:	Características.....	30
Tabla 3-3:	Significado de pines de salida del acondicionador de señal Logo pH sensor v1.1	31
Tabla 4-3:	Características del electrodo.....	31
Tabla 5-3:	Tabla de criterios para selección del sensor de conductividad.....	35
Tabla 6-3:	Características del sensor de conductividad.....	36
Tabla 7-3:	Características del sensor de conductividad.....	36
Tabla 8-3:	Tabla de criterios para selección del sensor de temperatura.....	40
Tabla 9-3:	Características sensor de temperatura.....	41
Tabla 10-3:	Tabla de criterios para selección del sensor de temperatura.....	43
Tabla 11-3:	Características del sensor de flujo de agua.....	44
Tabla 12-3:	Cantidades de agua y pulsos para calibración.....	46
Tabla 13-3:	Características de bomba de agua.....	47
Tabla 14-3:	Requerimiento nutricional	55
Tabla 1-4:	Valores medidos de pH, C.E., temperatura para verificación de funcionamiento dentro del rango.....	60
Tabla 2-4:	Primera recolección de datos modo manual y modo automático.....	61
Tabla 3-4:	Segunda recolección de datos modo manual y modo automático.....	61
Tabla 4-4:	Tercera recolección de datos modo manual y modo automático.....	62
Tabla 5-4:	Nomenclatura de tablas.....	62
Tabla 6-4:	Valores promedio de las tres recolecciones de datos.....	62
Tabla 7-4:	Nomenclatura para análisis de varianza.....	66
Tabla 8-4:	Análisis de varianza para pH.....	66
Tabla 9-4:	Rangos de valores de probabilidad.....	66
Tabla 10-4:	Prueba de Tukey al 5% para pH.....	66
Tabla 11-4:	Valores de conductividad eléctrica según el número de variables.....	67
Tabla 12-4:	Análisis de varianza para conductividad eléctrica.....	68

Tabla 13-4: Prueba Tukey al 5% para conductividad eléctrica.....	68
Tabla 14-4: Valores de Temperatura según el número de variables.	69
Tabla 15-4: Análisis de varianza para temperatura.....	69
Tabla 16-4: Prueba de Tukey al 5% para temperatura.	69
Tabla 17-4: Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos.....	72
Tabla 18-4: Costos de Mano de Obra.	72
Tabla 19-4: Costos de medidores portátiles.....	73
Tabla 20-4: Costos Totales del Costo Directo.	73
Tabla 21-4: Costos Indirectos.	74
Tabla 22-4: Costos Totales.	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Herramienta agrícola clásica.....	5
Figura 2-2:	Ciclo de la Agricultura Moderna.	6
Figura 3-2:	Técnicas hidropónicas.....	8
Figura 4-2:	Sistema NFT.	9
Figura 5-2:	Sistema de raíz flotante.....	10
Figura 6-2:	Sistema aeropónico.	10
Figura 7-2:	Técnica FVH.....	11
Figura 8-2:	Nutrientes y cómo influyen en las plantas.	12
Figura 9-2:	Sistema para el monitoreo en un sistema hidropónico.....	16
Figura 10-2:	Sistema para el monitoreo en un sistema hidropónico.....	17
Figura 11-2:	Partes de un sistema DAQ.	17
Figura 12-2:	Placa Arduino Uno.....	18
Figura 13-2:	Clasificación de bombas volumétricas.....	21
Figura 14-2:	Clasificación de bombas dinámicas.	22
Figura 15-2:	Bomba centrífuga.....	22
Figura 16-2:	Partes de bomba centrífuga.....	23
Figura 17-2:	Contactador.....	25
Figura 1-3:	Diagrama P&ID.	28
Figura 2-3:	Diagrama de bloque del sistema de monitoreo.	28
Figura 3-3:	Logo pH Sensor v1.1.	30
Figura 4-3:	Acondicionador de señal Logo pH Sensor v1.1.....	31
Figura 5-3:	Conexión sensor de pH con arduino.	32
Figura 6-3:	Calibración sensor de pH, cortocircuito entrada BNC.....	33
Figura 7-3:	Buffers de calibración de pH.	34
Figura 8-3:	Sensor de conductividad eléctrica.....	35
Figura 9-3:	TDS meter.....	36
Figura 10-3:	Conexión sensor TDS con arduino.	37
Figura 11-3:	Monitor serial – Modo de Calibración.....	39
Figura 12-3:	Calibration Mode – cal: 707.....	39
Figura 13-3:	Conexión de termocupla y microcontrolador.....	40
Figura 14-3:	Conexión de termocupla con arduino.	41
Figura 15-3:	Sensor de flujo de agua.	44
Figura 16-3:	Conexión Sensor de flujo de agua con arduino.....	45
Figura 17-3:	Bomba de agua.....	47

Figura 18-3:	Interfaz gráfica de usuario del sistema hidropónico en LabVIEW2018.	48
Figura 19-3:	Programación gráfica del sistema hidropónico en LabVIEW2018.....	49
Figura 20-3:	Ciclo While de inicialización.....	49
Figura 21-3:	Estructura de casos para encendido de la bomba.	50
Figura 22-3:	Hoja de Excel exportada del sistema de monitoreo.	50
Figura 23-3:	Circuito electrónico del sistema hidropónico en protoboard.	51
Figura 24-3:	Diseño electrónico de la PCB.	52
Figura 25-3:	Diseño 3D de la PCB.	52
Figura 26-3:	Invernadero y sistema para cultivos hidropónicos.	53
Figura 27-3:	Sensores sumergidos para verificación de lectura y comunicación.	53
Figura 28-3:	Lectura de datos.	54
Figura 29-3:	Balanza digital Camry 5 Kg.....	54
Figura 30-3:	Ácido nítrico agregado en el depósito.....	55
Figura 31-3:	Peachímetro de bolsillo digital.....	56
Figura 32-3:	Medidor de C.E. de bolsillo digital.	56
Figura 33-3:	Arduino UNO y el control de tiempo de encendido de la bomba en labview.....	57
Figura 34-3:	Tuberías y dimensiones con que cuenta el sistema hidropónico.....	58
Figura 1-4:	Toma de datos.	59
Figura 2-4:	Toma de mediciones de variables con medidores digitales de bolsillo.....	60
Figura 3-4:	Costos del sistema de monitoreo para Hidroponía.....	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Mediciones de pH con la tarjeta de adquisición de datos e instrumentos portátiles	63
Gráfico 2-4: Mediciones de pH con la tarjeta de adquisición de datos e instrumentos portátiles	63
Gráfico 3-4: Mediciones de pH con la tarjeta de adquisición de datos e instrumentos portátiles	64
Gráfico 4-4: Prueba de Tukey al 5% para pH.....	67
Gráfico 5-4: Prueba de Tukey al 5% para la conductividad eléctrica.....	68
Gráfico 6-4: Prueba de Tukey al 5% para la temperatura.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DATASHEET SENSOR

ANEXO B: DATASHEET MAX6675

ANEXO C: DATASHEET BOMBAS PERIFÉRICAS LINZ

ANEXO D: MANUAL DE USUARIO

ANEXO E: CERTIFICADO DE CONFORMIDAD DEL SISTEMA DE MONITOREO PARA EL CONTROL DE NUTRIENTES IMPLEMENTADO EN EL DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

RESUMEN

El diseño e implementación de un sistema de monitoreo para el control de nutrientes, pH, C.E., temperatura y flujo de agua en hidroponía mediante el uso de sistemas embebidos fue eficiente en la adquisición de datos en el departamento de horticultura de la ESPOCH, gracias a la interfaz implementada entre Labview y arduino, obteniendo mayor eficiencia que con el uso de instrumentos portátiles de bolsillo, por lo que se verificó que los valores de trabajo del sistema implementado estén dentro del rango de 5.5 y 6.5 para el pH, 1200 mS/cm y 2200 mS/cm para la conductividad eléctrica, 24°C y 26°C para la temperatura. Mediante la prueba de Tukey al 5%, se comparó los dos métodos de recolección de datos y se validó el sistema implementado, con el cual se obtuvo valores de 6.35 para el pH, 1872.91 mS/cm para la conductividad eléctrica y 24.89°C para la temperatura, donde no existió diferencias significativas con las mediciones obtenidas con instrumentos portátiles, los cuales fueron de 6.4 para el pH, 1903.2mS/cm para la conductividad eléctrica y 25.07°C para la temperatura, se pudo manifestar que los resultados que se obtuvo estadísticamente son iguales, por lo que se recomendó utilizar el sistema de monitoreo implementado ya que éste fue preciso. Los valores obtenidos tanto de pH, C.E., temperatura del sistema hidropónico NFT fueron fiables, al ser comparados con un patrón de medida adquirido de forma manual, demostrando que el sistema implementado fue eficiente, cumpliendo con los requerimientos del departamento de horticultura de la ESPOCH.

Palabras clave: <SISTEMA HIDROPÓNICO>, <SISTEMA DE MONITOREO>, <SISTEMAS EMBEBIDOS>, <CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <ARDUINO (HADWARE)>



24-09-2020

0317-DBRAI-UPT-2036

ABSTRACT

The design and implementation of a monitoring system for the control of nutrients, pH, EC, temperature, and water flow in hydroponics using embedded systems was efficient in the acquisition of data in the horticulture department of ESPOCH. It was because of the interface implemented between Labview and arduino, obtaining greater efficiency than with the use of portable pocket instruments. In this way, it was verified that the working values of the implemented system are within the range of 5.5 and 6.5 for the pH, 1200 mS/cm and 2200 mS/cm for electrical conductivity, 24 ° C and 26 ° C for temperature. Through the 5% Tukey test, the two data collection methods were compared, and the implemented system was validated, with which values of 6.35 were obtained for pH, 1872.91 mS / cm for electrical conductivity and 24.89 ° C for temperature. There were no significant differences with the measurements obtained with portable instruments, which were 6.4 for pH, 1903.2mS / cm for electrical conductivity and 25.07 ° C for temperature. It could be stated that the results obtained statistically are the same, so it was recommended to use the implemented monitoring system since it was accurate. The values obtained for both pH, C.E., temperature of the NFT hydroponic system were reliable. They were compared with a measurement standard acquired manually, demonstrating that the implemented system was efficient, complying with the requirements of the ESPOCH horticulture department.

Keywords: <HYDROPONIC SYSTEM>, <MONITORING SYSTEM>, <EMBEDDED SYSTEMS>, <ELECTRICAL CONDUCTIVITY>, <LABVIEW (SOFTWARE)>, <ARDUINO (HADWARE)>

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas hidropónicos son sistemas de plantas en crecimiento que no usa tierra para ser cultivados, pero usa agua con nutrientes para ahorrar espacio en la siembra y no está contaminada con productos químicos en el suelo. La hidroponía tiene una serie de técnicas innovadoras y no se limita a las plantas con cultivo de agua, como la técnica de película de nutrientes, la técnica de flujo profundo, la técnica dinámica de flotación de raíces, etc. Además, es de alto rendimiento y más rápido para plantar que en el suelo y los cultivos tienen un valor nutritivo completamente alto en el que se puede controlar la cantidad de producción. (Kularbphettong, Ampant & Kongroj, 2019)

Los cultivos hidropónicos han alcanzado acogida en países como Estados Unidos, Holanda, Japón y Tailandia. Pese a los altos costos de implementación de los sistemas hidropónicos, las cosechas a cortos plazos a menudo ayudan a reducir los costos. (Kularbphettong, Ampant & Kongroj, 2019)

El sistema NFT (técnica de película de nutrientes) está compuesto básicamente por un tanque de solución nutritiva, un sistema de bombeo, varios canales de cultivo dependiendo de las necesidades y un sistema de retorno al tanque. La solución nutritiva se bombea a los canales y fluye por gravedad, formando una película delgada de solución de nutrientes que riega las raíces, siendo estos nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, donde se puede usar una variedad de concentraciones nutritivas dependiendo del tipo de cultivo. (Filho Monteiro, 2018)

En cultivos hidropónicos, requiere la necesidad de la implementación de sistemas de monitoreo para el control de nutrientes, haciendo uso de sistemas embebidos, facilitan la obtención de datos de manera automática, lo cual ayuda a que el operario en función, pueda realizar actividades conjuntas o diferentes al trabajo, ya que no requiere la presencia física del individuo para la recolección de datos, nada más que la puesta en marcha del sistema, para así, mantener controlar el desarrollo de las plantas en cultivos hidropónicos.

1.1 Antecedentes

En Ecuador los cultivos hidropónicos tienen mayor impacto en la provincia del Azuay aproximadamente desde el 2015, en donde profesionales agrónomos desarrollan este método de cultivo sin el uso suelo. La hidroponía es una técnica de cultivo en el agua donde se mezclan varias nutrientes que alimentan a la planta mejorando el rendimiento y la optimización de recursos. (Castillo, 2015)

Mediante la técnica de hidroponía se ha logrado implementar cultivos en espacios reducidos sin necesidad del uso del suelo ni maquinaria agrícola pesado y gracias al uso de tecnologías como sensores, tarjetas de adquisición de datos, actuadores para monitorizar las variables físicas y ambientales como temperatura, pH, Ce, turbidez entre otros, se ha logrado optimizar recursos y mano de obra logrando una mayor producción en menor tiempo y gran escala a comparación del uso de técnicas convencionales de cultivo.

El monitoreo en cultivos hidropónicos ayuda para la investigación de nuevos sustratos y saber el comportamiento del ciclo de legumbres y darle mejoras para que la técnica sea más óptima midiendo y manejando la variación de los cultivos, para que éstos a su vez sean más saludables.

1.2 Planteamiento del problema

La Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha venido desarrollando en los últimos años varias investigaciones sobre cultivos hidropónicos en el Departamento de Horticultura, obteniendo buenos resultados, pero se ha visto la necesidad de un sistema de monitoreo continuo de variables como pH, Ce y temperatura los cuales son parámetros físicos necesarios para el desarrollo óptimo de cultivo en hidroponía.

Debido a la toma manual de datos de pH, Ce y temperatura, mediante el uso de quipos de medición digital, se convierte en un problema debido a la precisión y cantidad que implica adquirir estos datos continuamente en lapsos de tiempos determinados durante el ciclo de cultivo.

La disponibilidad del tiempo de los estudiantes en el Departamento de Horticultura de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se convierte en otra problemática, pues no cuentan con el tiempo suficiente para la adquisición continua de datos en los horarios específicos para el desarrollo de investigación.

1.3 Justificación

Este proyecto busca facilitar la adquisición continua en todo el ciclo de cultivo de datos mediante el uso de sistemas embebidos y sensores para el monitoreo de las variables requeridas por el Departamento de Horticultura de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo, dando solución a la problemática que fue presentada por dicho departamento.

Mediante el diseño e implementación del sistema de monitoreo se logra optimizar recursos y la toma de datos manual facilitando a los estudiantes con la adquisición de las variables antes mencionadas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para el control de nutrientes, pH, C.E., temperatura y flujo de agua en hidroponía mediante el uso de sistemas embebidos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar el estado del arte del sistema hidropónico para obtener información necesaria en la implementación del monitoreo de pH, C.E., temperatura y control de flujo de agua mediante la investigación en tesis, artículos y libros relacionados para dar solución en la adquisición de datos en el departamento de horticultura de la ESPOCH.
- Estudiar las características del sistema NFT para el cultivo hidropónico y establecer correctamente los requerimientos del sistema de monitoreo con el fin de seleccionar los componentes de software y hardware adecuados para el correcto monitoreo del cultivo hidropónico y el adecuado control del sistema de bombeo.
- Diseñar e implementar un sistema en tiempo real, con el uso de sistemas embebidos y una interfaz gráfica para el monitoreo y la adquisición de datos de variables que influyen en el sistema NFT, para el desarrollo de los cultivos hidropónicos.
- Verificar el funcionamiento del sistema de monitoreo para el control en hidroponía mediante la alteración de nutrientes con el fin de corroborar la lectura de los sensores mediante la comparación de un medidor patrón.

1.5 Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un sistema de monitoreo de variables y el control de flujo de nutrientes en plantaciones hidropónicas, utilizando sistemas embebidos para optimizar la toma continua de datos sin la necesidad de la intervención repetida del operario, con el fin de coleccionar la mayor cantidad de datos durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo y en un futuro poder determinar las cantidades correctas de nutrientes para un mejor desarrollo de los diferentes cultivos en hidroponía.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 La hidroponía.

La hidroponía es una técnica que se ha usado durante muchos años para el desarrollo de cultivos en el agua, la cual se deriva de dos palabras griegas como son: Hydro que significa agua y Ponos que significa trabajo, dándose a conocer de algunas otras formas como un tipo de cultivo sin hacer uso de un suelo y así poder cultivar diferentes plantas que cubran ciertas necesidades. (Inca, 2013, p.8)

La hidroponía se desarrolla debido a la necesidad de lograr producir diferentes tipos de alimentos que brinden una buena calidad en comparación a los cultivos en suelos, haciéndose esta técnica muy provechosa en lugares de alta concentración de personas, como ciudades, donde es difícil contar con espacio y suelo para los cultivos. Además, la poca posibilidad de conseguir agua de riego libre de impurezas, han logrado que los cultivos hidropónicos sean una alternativa para contar con plantas, hortalizas en la mayoría de los casos, que posean alta calidad y sean saludables. (Inca, 2013, p.8)

Con el transcurso de los años, la hidroponía, se ha convertido en un campo de investigación debido a la nutrición mineral que se le debe dar a los cultivos y a la vez demanda un gran capital de inversión para su desarrollo, debido al avance tecnológico que se ha venido alcanzando en los últimos años. (Inca, 2013, p.9)

2.2 La agricultura y la automatización.

Durante muchos años en la agricultura se han observado varios cambios, principalmente con la llegada de la automatización para los controles de riego y cosecha en invernaderos y al aire libre. Se ha dado un mayor control de los cultivos en invernaderos debido a que no cumplen los requerimientos necesarios y óptimos para cultivos, teniendo lugar en Dinamarca, al ser el primer país en incorporar un invernadero automatizado hace 50 años, donde se logró obtener cosechas más rápidas que en un medio natural. (Lubert Carmona, 2016, p.9)

2.2.1 Agricultura Clásica.

Hay muchos países en el mundo los cuales han sido considerados como productores, entre ellos Ecuador, sobresaliendo a nivel internacional gracias a distintos factores en sus siembras como el sabor, color y la calidad, que se dan en distintas zonas debido a las regiones que presenta Ecuador y los accidentes geográficos de cada lugar como para producir una gran variedad de cultivos que a diferencia de otros países no lo tienen. (Bedón & Tovar, 2016, p.5)

En Ecuador la agricultura clásica, mediante el uso de muchas técnicas como maquinaria agrícola rudimentaria, el uso del calendarios agrícolas para la conservación de tierras y productos en temporadas de tempestades y cambios climáticos como la aparición de plagas, falta de agua debido a sequias en ciertas épocas del año, han logrado brindar una seguridad y sostenibilidad tanto a productores como consumidores. Además, el uso de herramientas tradicionales como azadones, tractores, entre otros mecanismos de labrado de tierras, se ha logrado obtener buenas cosechas. (Bedón & Tovar, 2016, p.25)



Figura 1-2: Herramienta agrícola clásica.

Fuente: (Bedón & Tovar, 2016, p.26)

2.2.2 Agricultura Moderna

Debido a la gran demanda de alimentos por el incremento poblacional, la mayoría de productores se ven en la necesidad de cubrir dichos requerimiento, para ello se hace indispensable la incorporación de nuevas tecnologías en los métodos de cultivos para mejorar su producción. (Bedón & Tovar, 2016, p.28)

Gracias al avance tecnológico, se han venido incorporando diversos sistemas de monitoreo y control en la agricultura para maximizar la producción y evitar pérdidas en las cosechas. El uso de Drones para el control de los campos, los sensores para el monitoreo en tiempo real del estado de las nutrientes y variables que se involucran en el desarrollo de los cultivos, sistemas de riego automático, han logrado que se tecnifique de mejor manera la agricultura en Ecuador para facilitar los procesos de producción con un control eficiente y disminuyendo las pérdidas para los agricultores a gran escala. Pero algo que se debe tomar en cuenta es la inversión que requiere para conseguir este tipo de agricultura, además de la mano de obra calificada para el manejo de equipo e instrumentación incorporada en invernaderos como al aire libre, son algunos de los

impedimentos que dificulta que la mayoría de agricultores opten por nuevas técnicas de siembra. (Bedón & Tovar, 2016, p.28)



Figura 2-2: Ciclo de la Agricultura Moderna.

Fuente: (Bedón & Tovar, 2016, p.30)

2.3 Hidroponía como una alternativa de cultivo.

La hidroponía tiene varias ventajas, tales como: posibilidad de utilizar espacios no aptos para la agricultura convencional como el uso de suelos áridos y degradados, la independencia de los cultivos a las condiciones meteorológicas ya sea por heladas, granizadas, vientos, inundaciones, y las estaciones del clima, lo que puede afectar al cultivo durante todo el año, lo cual requiere de la constante intervención de la mano del hombre para la preparación de la tierra. Por otra parte, las actividades en la hidroponía pueden ser consideradas también más suaves y de menor impacto ya que se evita la erosión del suelo. Además, existe la previsión de cosecha, debido al control de diversos factores que no involucren las pérdidas en los cultivos. (Domingues, 2012, p.1)

Por otro lado, hay algunas desventajas debido a los altos costos en la instalación de sistemas hidropónicos para el continuo monitoreo de operación, el suministro de energía eléctrica y el control de la solución nutritiva, la necesidad de mano de obra especializada y asistencia técnica,

así como nuevos productos y técnicas apropiadas para controlar plagas y enfermedades, porque los pesticidas convencionales pueden disminuir la calidad biológica del producto. (Domingues, 2012, p.2)

En cultivos hidropónicos, la absorción suele ser proporcional a la concentración de nutrientes en la solución cerca de las raíces, siendo muy influenciado por factores ambientales como la salinidad, la oxigenación, temperatura, pH y conductividad de la solución nutritiva, intensidad de luz, foto período y humedad del aire. Cada macro y micronutrientes tienen al menos una función en la planta y su exceso o deficiencia conduce a síntomas de toxicidad en los cultivos. (Domingues, 2012, p.2)

2.4 La hidroponía como método de cultivo.

La hidroponía se ha usado hace muchos años, teniendo lugar en la antigua Babilonia, mediante el desarrollo de jardines colgantes, utilizando sistemas de riego por gravedad, de igual manera se dio en la Asia antigua y culturas Mayas, Egipcias que lograron cosechar flores, frutas y árboles. Donde se pudo observar que los cultivos hidropónicos tenían un mejor rendimiento que los cultivos en tierra. (Lubert Carmona, 2016, p.9)

En cultivos hidropónicos, la absorción suele ser proporcional a la concentración de nutrientes en la solución cerca de las raíces, siendo muy influenciado por factores ambientales como la salinidad, la oxigenación, temperatura, pH y conductividad de la solución nutritiva, intensidad de luz, foto período y humedad del aire. Cada macro y micronutrientes tienen al menos una función en la planta y su exceso o deficiencia conduce a síntomas de toxicidad en los cultivos. (Domingues, 2012, p.2)

2.4.1 Ventajas y Desventajas del cultivo hidropónico.

Las ventajas del cultivo hidropónico son:

- No se necesita el suelo como medio para cultivar.
- Está libre de bacterias, hongos y parásitos.
- Mayor calidad de cultivo.
- Producción de cultivos en menor tiempo.
- Optimización y ahorro de agua como también de fertilizantes.
- Mayor producción por unidad de superficie.
- No es necesario utilizar maquinaria agrícola.
- Bajo impacto ambiental.
- Sistema automatizado. (Beltrano & Gimenez, 2015, pp. 18-19)

Las desventajas del cultivo hidropónico son:

- Alto costo de inversión.
- Conocimientos básicos de fisiología y nutrición.
- No conocer el sistema apropiado para el cultivo específico.
- Desconocimiento del manejo de nutrientes, esto puede afectar significativamente el cultivo. (Inca Sanchez, 2013, pp. 9-10)

2.4.2 *Sistemas de cultivos hidropónicos.*

Existen dos tipos de sistemas donde el medio directo es sobre agua.

- Sistema hidropónico puro.
- Sistema en agregados o sustratos.

2.4.3 *Técnicas hidropónicas.*

Las diferentes técnicas hidropónicas pueden ser observadas en la figura 3-2, debido a que éstas se deben a la necesidad o cultivo específico que se desarrolle.



Figura 3-2: Técnicas hidropónicas.

Fuente: (Oliveira, 2014)

2.4.3.1 *Técnica de película nutritiva NFT.*

Esta técnica consiste en recircular una solución nutritiva, donde la raíz se encuentra sumergida en el fluido de solución nutritiva como se encuentra en la figura 4-2, el agua debe fluir permanentemente en diversos lapsos de tiempos ya programados durante todo el ciclo de cultivo,

por lo general este fluido recircula en tubos de PVC donde se encuentran las plantas. El costo inicial es elevado ya que requiere de una estructura, sistema de bombeo, tuberías, un tanque de almacenamiento. (Oliveira, 2014)

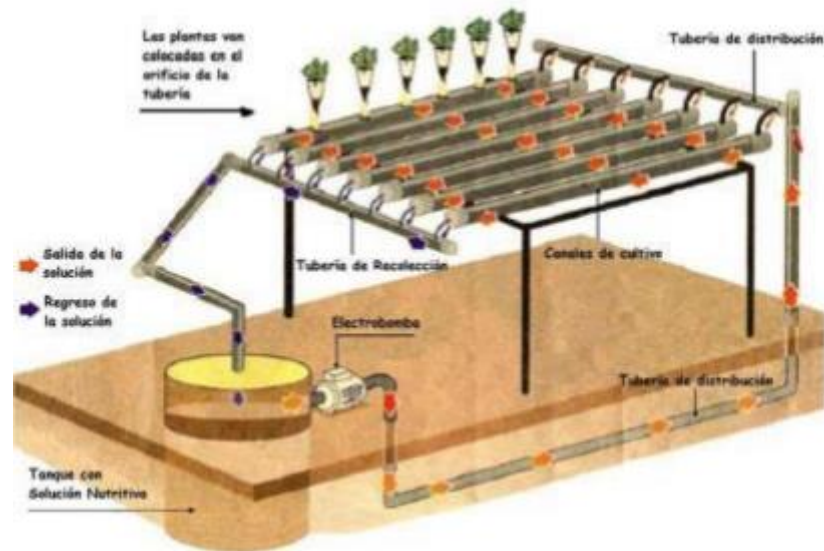


Figura 4-2: Sistema NFT.

Fuente: (Inca Sanchez, 2013, p. 15)

2.4.3.2 Técnica de la raíz flotante.

Este sistema consiste en recipientes o piscinas que contienen la solución nutritiva como en la figura 5-2, el cual debe tener aireación para la oxigenación, estos recipientes deben estar debidamente tapados, ya sea con planchas de poliestireno con agujeros donde se situaran a las plantas y exponiendo la raíz directamente al fluido. Una de las desventajas de este sistema es que al crecer las plantas pueden colapsar debido al peso de las mismas, es así que se usa otros sistemas. (Oliveira, 2014)

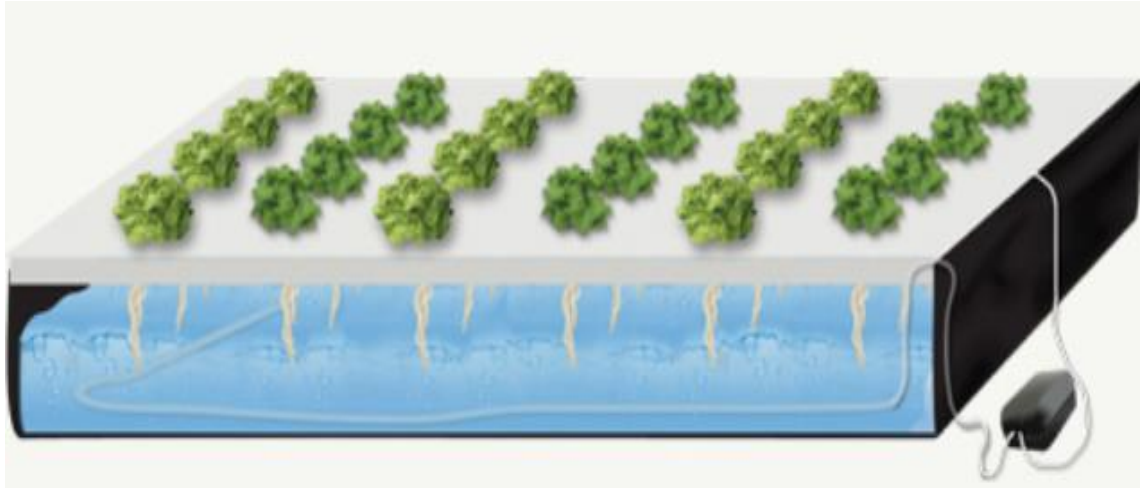


Figura 5-2: Sistema de raíz flotante.

Fuente: (Oliveira, 2014)

2.4.3.3 *Técnica aeropónica.*

La técnica aeropónica consiste en un ambiente de nebulización de la nutriente mediante mecanismos de aspersión, donde las plantas encuentran en planchas de poli estireno y sus raíces se mantiene libres con el objetivo que estas absorban la nutriente en el medio nebulizado como se puede ver la figura 6-2. (Oliveira, 2014)



Figura 6-2: Sistema aeropónico.

Fuente: (Oliveira, 2014)

2.4.3.4 Técnica del follaje verde (FVH).

Como se puede ver en la figura 7-2, se necesita una infraestructura en el cual contiene bandejas, donde se hace una germinación de las plantas completamente, mediante nebulizadores se obtiene plantas en el tiempo de 10 a 15 días, por lo general estos follajes los utilizan para la alimentación del ganado.



Figura 7-2: Técnica FVH.

Fuente: (Oliveira, 2014)

2.5 Nutrientes en cultivos hidropónicos.

Los nutrientes en cultivos hidropónicos son de vital importancia para el desarrollo de una planta, lo que indica claramente que se encuentran enlazados los nutrientes al factor genético y edad de las plantas, los cuales deben ser suministrados con tal precisión que no sean capaces de causar daños en los cultivos. (Romero, Hernández & Rangel, 2003, p.2)

Los nutrientes cumplen funciones especiales en la vida de las cultivos, los cuales van implicados de forma directa en el metabolismo celular de las plantas, lo que podría indicar la elevada cantidad que muchas veces pueden requerir, a los que podemos llamar macronutrientes, haciendo referencia a su uso en unidades de gramo por litro y los cuales son: el carbono, hidrogeno, oxigeno, nitrógeno. Fosforo, potasio, azufre, magnesio y calcio. Otros nutrientes que son de suma importancia y requeridos en menores cantidades son los micronutrientes, los cuales podemos hacer referencia de uso en unidades de miligramo por litro de solución, y los cuales son: el cloro, níquel, molibdeno, boro, manganeso, cobre, zinc y hierro. Hay que tener en cuenta que las cantidades altas o bajas del uso de nutrientes no suman o restan importancia a los mismos. (Beltrano & Gimenez, 2015, p.62)

La solución nutritiva es la encargada de aportar los elementos necesarios en un cultivo hidropónico, los cuales se encuentran en forma iónica que a su vez las raíces los absorben, mostrando así que el éxito de un cultivo hidropónico se radica en la composición de dichas soluciones nutritivas para el desarrollo de las plantas, los cuales se deben encontrar de forma similar a los nutrientes que se presentan en los suelos, para lo que se debe llevar a cabo un monitoreo tanto del pH como de la conductividad eléctrica. En caso de existir deficiencia de algunos de los elementos mencionados anteriormente se puede dar el caso de crecimientos anormales de las plantas, lo que le llevaría a la muerte de los cultivos. Se hace necesario conocer cómo afecta la deficiencia de elementos en el desarrollo de las plantas, en lo que se debe considerar que cuando un elemento se encuentre por debajo del valor recomendado, afectará en el desarrollo lo que llevaría a ser un caso limitativo, pero cuando sean dos elementos los que se encuentren por debajo de los valores recomendados, rápidamente conduciría a la muerte de la planta. (Beltrano & Gimenez, 2015, pp.62-63)



Figura 8-2: Nutrientes y cómo influyen en las plantas.

Fuente : (Beltrano & Gimenez, 2015, p.72)

2.5.1 Características que debe presentar una solución nutritiva

Por definición, las soluciones nutritivas son soluciones acuosas que tienen todos sus nutrientes necesarios para el desarrollo normal de una planta, como son los minerales esenciales y el oxígeno disuelto, por lo que afectaría como preparemos la solución, siendo importante tener en cuenta la calidad de agua que usemos, sabiendo que puede existir la presencia de minúsculas cantidades de hierro, manganeso zinc y boro, que afectarían en la resistencia del agua, afectando en la alcalinidad de la misma, ya que en ciertas ocasiones es necesario añadir ácidos para bajar el valor del pH y mantenerlo en los valores necesarios que son de 5,5 y 6,5., así, un pH con valores que excedan los 7,5 producirían una decadencia en la absorción de óxido nítrico y hierro que

interrumpirían la absorción normal de la planta, y valores menores a un pH de 4 disminuirá la absorción de potasio dando lugar a un desbalance en la polaridad que afectara a las raíces, por ende, el monitoreo constante es necesario. (Beltrano & Gimenez, 2015, p.69)

2.5.2 Nutrientes a usar en cultivos hidropónicos

La solución nutritiva se caracteriza por la alta solubilidad, por lo tanto se deben seleccionar las sales de la forma más hidratada. A continuación, vemos la tabla 1-2 de sales más usadas en la hidroponía. (Gilsanz, 2007, pp. 12-13)

Tabla 1-2: Sales fertilizantes utilizadas.

Nombre	Fórmula	Solubilidad g/l
Nitrato de Calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1220
Nitrato de Potasio	KNO_3	130
Nitrato de Magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	279
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	230
Sulfato de Magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	710
Sulfato de Potasio	K_2SO_4	111
Sulfato de Manganeso	MnSO_4	980
Ácido Bórico	H_3BO_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	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	460

Fuente: (Gilsanz, 2007, p. 13)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

2.5.3 Soluciones de medición en cultivos hidropónicos.

2.5.3.1 PH en cultivos Hidropónicos.

Gracias al pH se puede saber si el estado de una solución nutritiva que circula por los cultivos es muy ácida o básica, lo cual puede afectar a las raíces de las plantas para que éstas absorban con facilidad los nutrientes, por lo que según valores en los que se trabaja en el invernadero de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, después de varias investigaciones, oscila en un rango entre 5,5 y 6,5 de acidez, el cual debe ser monitoreado de forma continua para evitar las pérdida de los cultivos. (Arévalo Arias & Figueroa Arias, 2018, P.23)

Lo que se debe considerar es que el pH tiene dos funciones muy importantes en las plantas, tanto en el proceso de óxido reducción interviniendo en la solubilidad de algunos elementos, así como en la absorción de iones realizado por la raíces de la planta siendo esto de vital importancia en la asimilación de nutrientes. (Hernández & Diaz, 2003, p.14)

2.5.3.2 Conductividad eléctrica en cultivos hidropónicos.

La conductividad eléctrica es proporcional al contenido total de iones, por lo tanto, una disminución en la C.E. se acompaña de una caída proporcional en la cantidad total de iones disponibles para su absorción por las raíces. Sin embargo, diferentes sales tienen diferente conductividad eléctrica. Por lo tanto, para cada formulación habrá una función lineal relacionada C.E. e iones disueltos totales. (Domingues, 2012, p.2)

La conductividad eléctrica al ser una variable de solución nutritiva, nos da a conocer la cantidad de sales que se encuentran disueltas en el agua que pueden ser medidas en microSiemens por centímetro (ms/cm) o en partes por millón (ppm), donde la solución tiene distintos valores que oscilan entre 1400 a 2000 ppm. (Arévalo Arias & Figueroa Arias, 2018, p.28)

Tabla 2-2: Niveles de conductividad eléctrica según el cultivo.

CULTIVO	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Ds/m
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

Fuente: (Inca, 2013, p.18)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

2.5.3.3 Temperatura en cultivos hidropónicos.

La temperatura juega un papel importante en el crecimiento de un cultivo, siendo este un factor para el desarrollo de la misma, en una determinada zona o región. Se sabe, que las plantas crecen de acuerdo a determinadas temperaturas soportando valores extremos pero afectando su desarrollo óptimo. (Buendía, Cedillo Mendieta & Vega Gutiérrez, 2012, p.30)

En cultivos al aire libre, es necesario tener conocimiento de las estaciones que se den en las distintas regiones para que la planta se encuentre en un ambiente de óptimo crecimiento, teniendo en cuenta que la temperatura no es la misma tanto en el día como en la noche.(Buendía, Cedillo Mendieta & Vega Gutiérrez, 2012, p.30)

En un invernadero, se hace uso de distintas formas de conservación de los cultivos deteniendo el calor del interior del invernadero, usando métodos de sistemas de calefacción o mediante una

ventilación de forma natural, de igual manera se intentará bloquear la radiación producida por el sol haciendo uso de malla para generar una sombra o métodos mecánicos. (Buendía, Cedillo Mendieta & Vega Gutiérrez, 2012, p.30)

Para una correcta selección de sensores de temperatura hay que tener en cuenta algunos aspectos como temperatura de operación, el ambiente donde va a trabajar el sensor y será instalado. (Buendía, Cedillo Mendieta & Vega Gutiérrez, 2012, pp.30-31)

2.6 Invernaderos Hidropónicos.

Debido al mayor manejo que se puede tener de un cultivo en invernaderos, genera ventajas en la producción de vegetales, logrando controlar las condiciones de clima requeridas para el desarrollo de los cultivos, además, haciendo uso de distintos métodos de cultivos hidropónicos que pueden ser cultivos en: sustratos sólidos, en el agua por métodos de raíz flotante, Técnica de Película de Nutrientes, cultivos aeropónicos (al aire). Un claro ejemplo que podemos observar en el sistema NFT (Técnica de Película de Nutrientes), que se tiene entendido que existe una circulación del agua acompañada de los nutrientes respectivos (que se encuentran en un tanque de almacenamiento) necesarios para el desarrollo de los cultivos, donde dicha mezcla recircula a través de las raíces de las verduras sumergidas en tubos PVC (Cloruro de Polivinilo), donde el fluido es impulsado por una bomba de un potencia requerida acorde al sistema desarrollado, y así se evita la pérdida de la mezcla del agua con nutrientes ya que es un sistema cerrado que a su vez necesita la oxigenación del sistema ya sea de manera mecánica o manual para logara un producción satisfactoria. (Buendía, Cedillo Mendieta & Vega Gutiérrez, 2012, pp.20-21)

2.7 Automatización en cultivos hidropónicos

La rápida evolución de la automatización, junto con el aumento expansión del mercado, ha permitido el acceso a tecnologías y herramientas que solo estaban disponibles en laboratorios muy bien equipados y centros de investigación. La Ingeniería Agrícola, en general, se ha beneficiado de este avance tecnológico, sea desde el desarrollo de nuevos equipos, o en la adaptación de aquellos ya disponibles para otros sectores de producción, para ser utilizados en agricultura. La ingeniería de invernaderos y la hidroponía son dos sectores agrícolas en rápido desarrollo y están fuertemente vinculados uno al otro. El constante avance computacional, principalmente en forma de monitoreo y control automático, es una herramienta importante para este desarrollo. La instrumentación y el control altamente desarrollado "inteligente" en hidroponía brindan una oportunidad para maximizar tanto la calidad como la cantidad de producción a través de la gestión avanzada de todos los procesos involucrados. Los sistemas de producción son monitoreados continuamente y controlados con precisión. Algo a tener en cuenta y de suma importante en estos

sistemas automatizados es la calidad de la información proporcionada por los sensores, así como la calidad de las decisiones aprobadas a los actuadores.

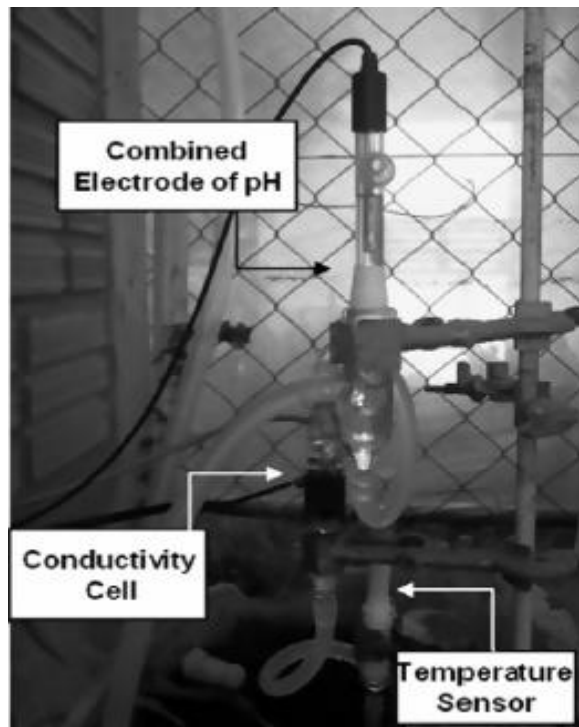


Figura 9-2: Sistema para el monitoreo en un sistema hidropónico.

Fuente:: (Domingues, 2012, p.4)

La aplicación de la automatización en invernaderos puede proporcionar ventajas para el desarrollo de la producción en los siguientes aspectos: mejor control, siendo más preciso y seguro; reducción de mano de obra, ya que un invernadero automatizado necesitará menos personas trabajando, disminuyendo el flujo y la entrada de enfermedades; optimización en el consumo de electricidad, ya que el mercado es cada vez más competitivo, por lo que se hace necesario utilizar alternativas para reducir consumo de energía; mejora de la calidad del producto, como un complemento, el invernadero controlado producirá un cultivo de mejor calidad; y la provisión de un registro, que puede ser analizado y, si es necesario, se pueden tomar medidas para futuras producciones. (Domingues, 2012, p.2)

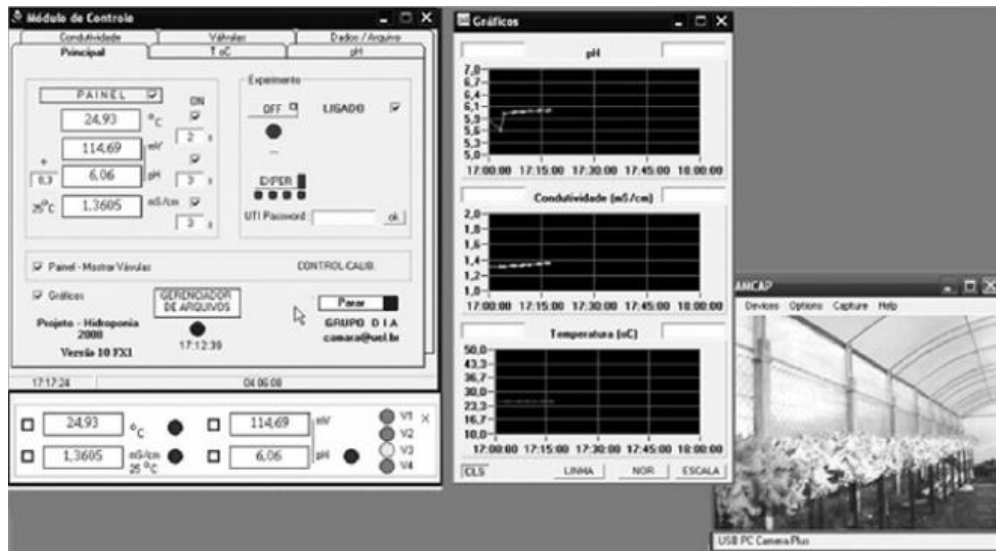


Figura 10-2: Sistema para el monitoreo en un sistema hidropónico.

Fuente: (Domingues, 2012, p.5)

2.8 Adquisición de datos (DAQ).

La adquisición de datos, nos permite recopilar la información y documentarla para analizar el fenómeno, esto sirve como punto focal a la hora de analizar un sistema, mediante actuadores y un sistema automatizado se toman las decisiones pertinentes en cualquier proceso.

En la figura 11-2 se observa las partes de un sistema de adquisición de datos (DAQ), donde el sensor envía la señal del fenómeno físico medido, la tarjeta de adquisiciones datos actúa como interfaz entre la PC y con un software programable, el computador opera el dispositivo de adquisición de datos, también procesa la información, visualiza y almacena los datos medidos. (Ben, 2003)



Figura 11-2: Partes de un sistema DAQ.

Fuente: (NationalInstruments, 2017)

2.8.1 *Arduino como dispositivo DAQ.*

La tecnología Arduino es una herramienta software de acceso libre además cuenta con sus propias placas, se toma como alternativa para la adquisición de datos por medio del software Labview, donde permite a los usuarios desarrollar un programa y ejecutar el mismo según sea la aplicación. (Ben, 2003)

Este tipo de herramienta es muy fiable y flexible, por lo cual muchas personas desarrollan diferentes tipos de proyectos, ya sean básicos o complejos, pues este tipo de placa es diferente a otros microcontroladores, ya que no necesita un programador extra para cargar el código, solo se necesita un cable USB. (Ben, 2003)

El entorno de desarrollo integrado de Arduino es una versión reducida de C++, esto facilita la rápida comprensión de este entorno. (Ben, 2003)

2.8.2 *Arduino UNO*

La placa Arduino contiene un microcontrolador Atmel con 14 pines donde dispone para ser programados como entradas y salidas, tiene entradas y salidas digitales y entradas y salidas analógicas, donde las entradas digitales pueden transmitir y receptor señales de 0V hasta 5V. En tano a las entradas analógicas podemos recibir las señales de voltaje de sensores donde la variación es continua de voltaje, también los pines de salida analógica pueden ser usado para el control en forma se señal de modulación de ancho de pulso (PWM). (Arduino, 2013, p. 1)

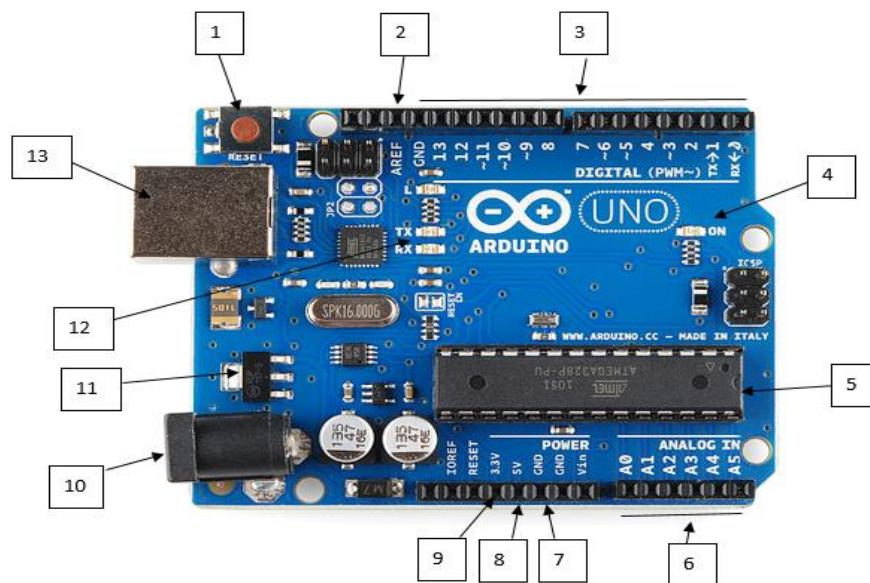


Figura 12-2: Placa Arduino Uno

Fuente: (Ben, 2003)

La placa Arduino en la figura 12-2 cuenta con las siguientes partes que muestra la tabla 3-2, además tenemos las características técnicas que se muestran en la tabla 4-2.

Tabla 3-2: Partes del Arduino.

1	Botón de reinicio.
2	AREF, referencia analógica.
3	Pines digitales y PWM.
4	Led indicador de encendido.
5	Circuito integrado.
6	Entradas analógicas.
7	GND.
8	Pin 5V.
9	Pin 3.3V.
10	Alimentación.
11	Regulador de voltaje.
12	TX, RX led.
13	Conector USB

Fuente: (Ben, 2003)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 4-2: Características técnicas del Arduino UNO.

RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Microcontrolador	Atmega328
Voltaje de operación	5v
Voltaje de entrada (Recomendado)	7-12V
Voltaje de operación (Límite)	6-20V
Pines de entrada-salida digital	14(6 pueden usarse como salida de PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente por pin IO	40mA
Corriente continua en el pin 3,3 V	50mA
Memoria Flash	32kB(0,5kb ocupados por el bootloader)
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frecuencia del Reloj	16 MHz

Fuente: (Arduino, 2013, p. 2)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

2.9 Sensores y actuadores

Los sensores y actuadores son muy importantes a la hora de automatizar y monitorear un proceso, los sensores detectan un cambio en una condición física o ambiental, esto posibilita la comunicación entre el mundo físico y los sistemas de control. En hidroponía es de vital importancia medir el pH, conductividad y temperatura, además de un sistema de recirculación del fluido, esto permitirá el correcto desarrollo del cultivo. (NationalInstruments, 2017)

Los sensores son dispositivos que convierten un fenómeno físico en una unidad de medida eléctrica que se pueda medir. Los sensores tienen salidas de voltaje, corriente, resistencia entre otras unidades eléctricas, esto depende del sensor seleccionado de acuerdo a la aplicación, ver tabla 5-2. (NationalInstruments, 2017)

Tabla 5-2: Tabla de sensores y sus fenómenos

Sensor	Fenómeno
Sensor de pH	pH
Sensor TDS	Conductividad Eléctrica
Termocupla	Temperatura

Fuente: (NationalInstruments, 2017)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

2.9.1 Sensor de pH.

El sensor de pH indica el potencial de hidrogeno que existe en una solución, pues esto da a conocer el nivel de acides. Este sensor debe estar debidamente sumergido, ya que cuenta con una sonda la cual envía una señal analógica. (López Pérez & Heredia Flores, 2013, p. 22)

2.9.2 Sensor de conductividad (C.E.).

Este tipo de sensor mide la cantidad de sales solubles en una solución, es muy importante conocer la conductividad, ya que determina la cantidad de sustratos esto se va degradando constantemente debido a que las plantas se nutren de este. (Barbaro, Karlanian & Mata, 2005, p. 8)

2.9.3 Sensor de temperatura

Hay una gama muy amplia en sensores de temperatura, esto depende de las condiciones al que va estar expuesto. En un sistema hidropónico es muy importante ya que esta variable física influye en el desarrollo y crecimiento del cultivo. (López Pérez & Heredia Flores, 2013, p. 22)

2.9.4 Bomba Hidráulica.

Existe una variedad de bombas hidráulicas donde se pueden derivar en bombas volumétricas y bombas dinámicas, estas convierten la energía mecánica en energía hidráulica, se seleccionan de acuerdo a la necesidad mediante cálculos de caudal y presión, gracias a esto podemos transportar grandes volúmenes de fluido en menor tiempo, con eficiencia. Este actuador es de vital importancia en un sistema hidropónico, ya que recircula el fluido que contiene la película nutritiva en todo el sistema. (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 40)

Bombas de volumétricas o de desplazamiento positivo. - Su principio básico es la hidrostática, varía su volumen ya que al recorrer un pistón en una cámara desplazando el fluido debido al empuje. (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 41)

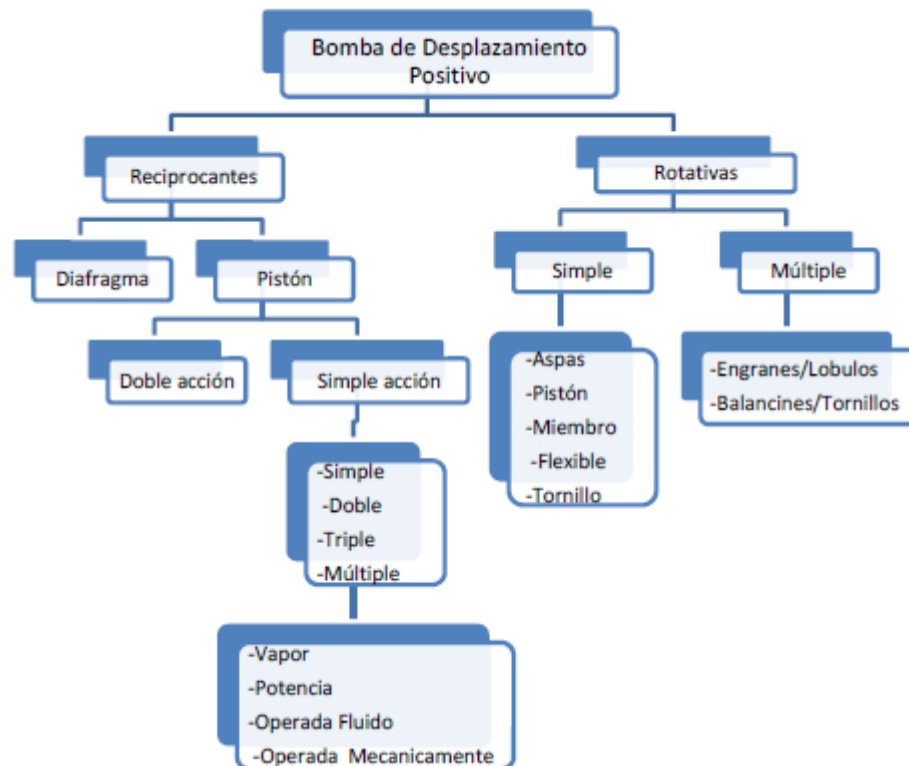


Figura 13-2: Clasificación de bombas volumétricas.

Fuente: (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 41)

Bombas dinámicas o de energía cinética. – Existe una amplia gama de bombas dinámicas, estas consisten en el intercambio de la cantidad de movimiento entre el rodete que esta acoplado a un motor y el fluido. Las más utilizadas en sistemas de riego son las centrífugas. (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 41)

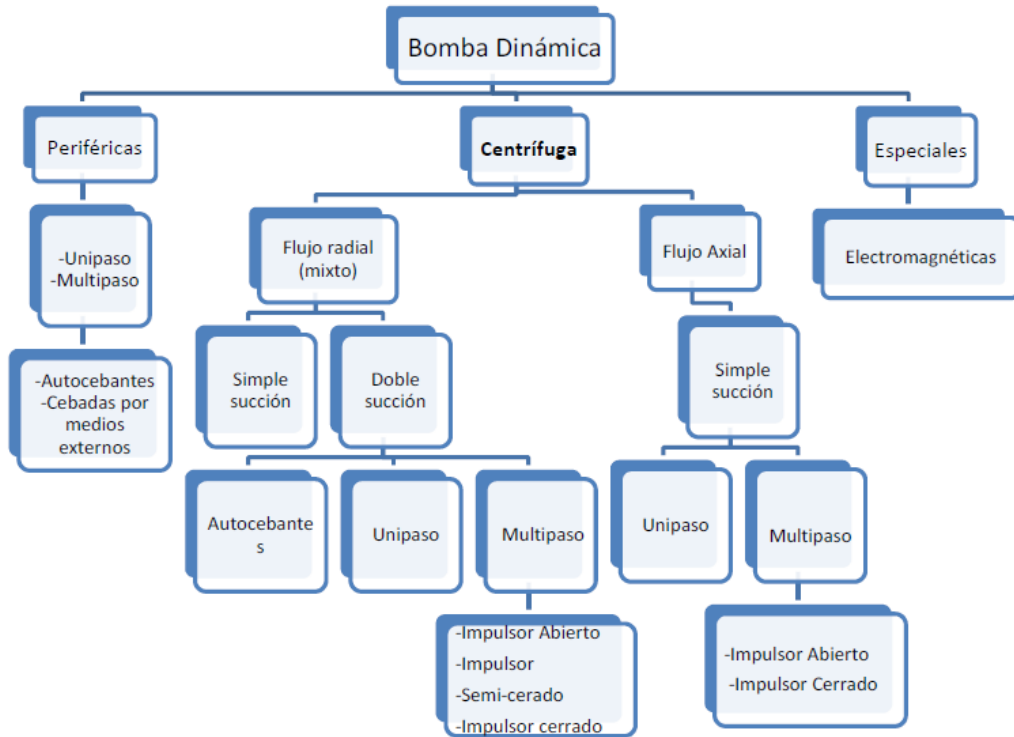


Figura 14-2: Clasificación de bombas dinámicas.

Fuente: (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 42)

2.9.4.1 Bomba centrífuga

Son dispositivos mecánicos diseñados para impulsan el fluido, a un determinado volumen y presión según el requerimiento. (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 43)

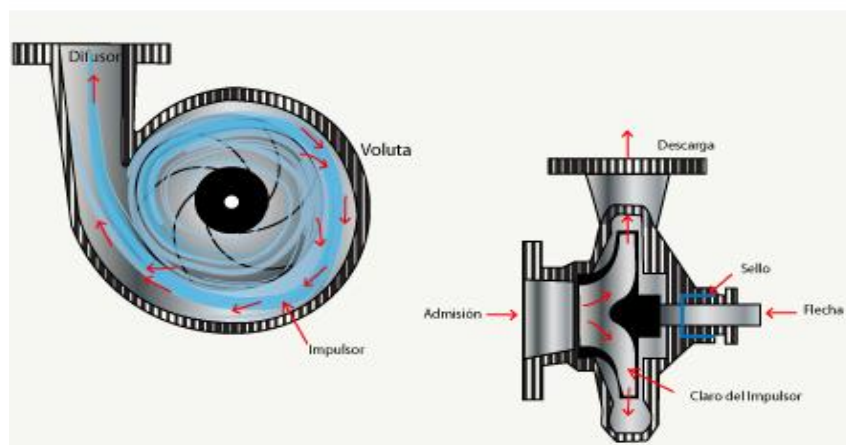


Figura 15-2: Bomba centrífuga.

Fuente: (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 42)

Este sistema de bomba centrífuga aprovecha la energía de movimiento de un rodete a altas revoluciones, que succiona el fluido perpendicularmente por el centro, esto se debe a la fuerza centrífuga y lo expulsa por la periferia como se ve en la figura 15-2. (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 43)

Algunas de sus ventajas son:

- Caudal constante.
- Presión uniforme.
- Sencillez de construcción.
- Tamaño reducido.
- Bajo mantenimiento.
- Flexibilidad de regulación.
- Vida útil prolongada.
- No tienen movimientos alternativos

Elementos de una bomba centrífuga.

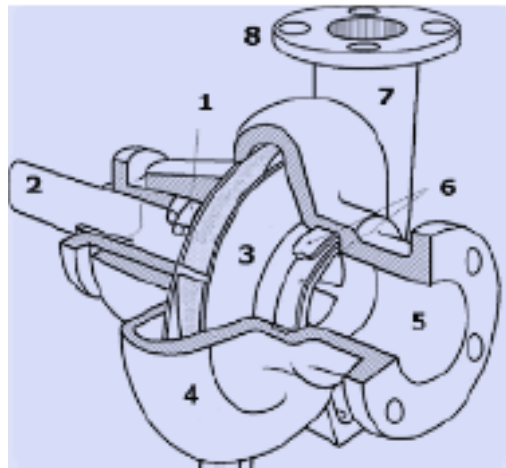


Figura 16-2: Partes de bomba centrífuga.

Fuente: (Ramírez Pozo, 2012, p. 11)

1. Empaque
2. Flecha
3. Rodete
4. Voluta
5. Entrada
6. Anillo de desgaste
7. Difusor
8. Flecha

2.10 PC y software

La función de la PC con el software como Labview, es controlar la operación de la tarjeta de adquisición de datos, que se usa para procesar, visualizar la toma de diferentes medidas. (NationalInstruments, 2017)

2.11 Labview

Labview es un software de interfaz gráfica de íconos, terminales y cables en lugar de un código de texto, mediante otros softwares se puede llegar a un mismo objetivo con mayor facilidad, gracias a su entorno y a su potente ambiente de programación que los tradicionales. (Inca Sanchez, 2013, p. 22)

En la industria a nivel mundial, Labview es una plataforma muy utilizada ya que es compatible con la mayor parte de hardware que existen en el mercado, permite establece comunicación como puerto serias, puerto paralelo, TCP/IP, PXI, USB, Bluetooth, entre otros. (Inca Sanchez, 2013, p. 22)

2.12 Contactor

Es un dispositivo eléctrico que abre y cierra un circuito, el mayor campo de aplicación es el accionamiento de motores eléctricos. (Cruz Mejía & Rodríguez Rodríguez, 2017, p. 21)

2.12.1 Clasificación

- Contactor electromagnético: Se acciona mediante un electroimán.
- Contactor electromecánico: Se acciona mediante mecanismos
- Contactor neumático: Se acciona mediante la presión de un gas comprimido.
- Contactor hidráulico: Se acciona por medio de la presión de un fluido.



Figura 17-2: Contactor

Fuente: (Cruz Mejía & Rodríguez Rodríguez, 2017)

2.12.2 Partes de un Contactor

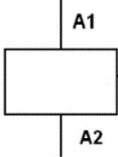
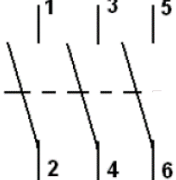


- Contactos principales: Su función es abrir y cerrar el circuito de potencia las veces que sea necesario, están enumerados como, 1-2, 3-4, 5-6.
- Contactos auxiliares: Están acoplados mecánicamente a los contactares principales.
- Carcasa: Es el soporte y está hecho de un material que soporta altas temperaturas
- Electroimán: Provoca el movimiento mecánico para abrir y cerrar el circuito de potencia.
(Cruz Mejía & Rodríguez Rodríguez, 2017, pp. 22-24)

2.12.3 Simbología

Los contactores son dispositivos que abren y cierran contactos mediante un imán eléctrico, el cual es activado por medio de una señal, estos elementos cuentan con una simbología donde se observa en la tabla 6-2, estas se utilizan para identificar los diferentes elementos en los planos eléctrico.

Se suele representar por las siglas KM a los contactores, seguido de las unidades de los bornes, este es un dispositivo clave para el funcionamiento de motores eléctricos.

Tabla 6-2: Tabla de simbología de bobina y contactores.

ELEMENTO	SÍMBOLO
BOBINA	
CONTACTO PRINCIPAL	
CONTACTO AUXILIAR NORMALMENTE ABIERTO	
CONTACTO AUXILIAR NORMALMENTE CERRADO	

Fuente: (Cruz Mejía y Rodríguez Rodríguez, 2017)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se desarrolla el diseño e implementación del sistema de monitoreo de variables. El cual se divide en dos partes:

- Software: El cual se desarrolla de un sistema combinado entre arduino y Labview
- Hardware: Basado por sensores de pH, conductividad eléctrica, temperatura y sensor de flujo, también con un actuador como una bomba centrífuga y además de una DAQ.

3.1 Diseño del diagrama de proceso e instrumentación.

La técnica NFT (Flujo laminar de Nutrientes) es utilizada para el incremento de la producción en el sector hidropónico, obteniendo resultados de producción de hasta un 90%, después de haber realizado varias pruebas. (Brenes & Jiménez, 2016, p. 7)

La implementación de sistemas de monitoreo para el control de nutrientes ayudan a los agricultores a obtener mayor facilidad en la adquisición de datos, mejorando el control del proceso de crecimiento de las plantas, siendo éste sistema implementado, una solución para mejorar los procesos hidropónicos, el cual beneficia en el aumento de la productividad mediante dicha aplicación tecnológica, ofreciendo a la población cultivos de mejor calidad además de buscar armonía con la naturaleza y bienestar para generaciones futuras. (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 26)

En la figura 1-3, el diagrama de proceso e instrumentación para el monitoreo del sistema hidropónico NFT, consta de sensores como pH, temperatura, conductividad eléctrica y flujo de agua, también de un actuador cuya finalidad es hacer recircular el fluido por el sistema durante todo el ciclo de cultivo en tiempos específicos.

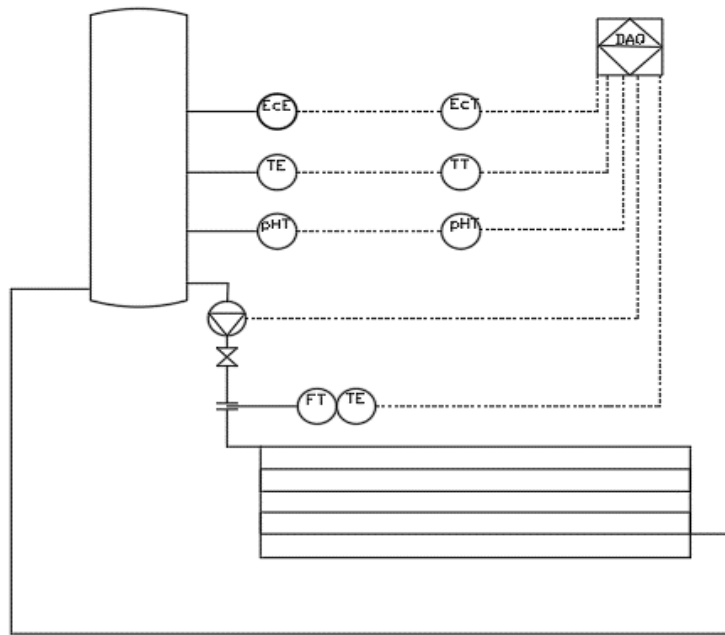


Figura 1-3: Diagrama P&ID.

Fuente: (Cazco Baraba & Iñiguez Carrillo, 2015, p. 42)

3.2 Sistema de Control y Adquisición de Datos

EL diagrama de bloque del sistema de monitoreo para cultivo hidropónico tipo NFT, se puede observar en la figura 2-3.

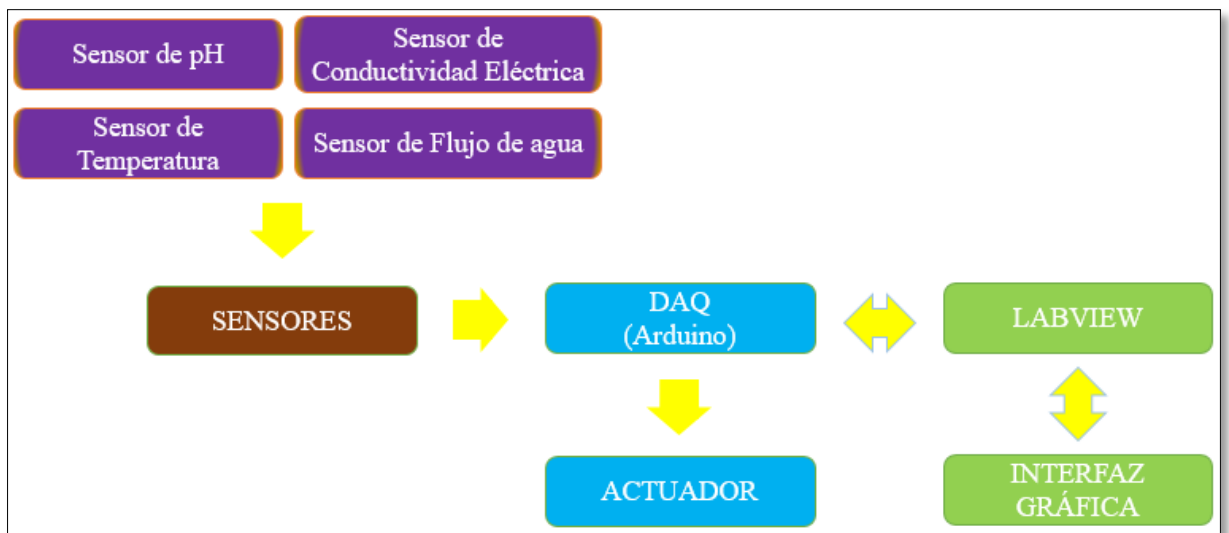


Figura 2-3: Diagrama de bloque del sistema de monitoreo.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020

3.3 Sensores del sistema de monitoreo

Los sensores utilizados fueron determinados de acuerdo a las variables principales que influyen en el desarrollo de los cultivos hidropónicos.

- Sensor de pH.
- Sensor de conductividad eléctrica.
- Sensor de temperatura.
- Sensor de flujo.

3.3.1 Sensor de pH

En el sistema de monitoreo se utilizó el sensor Logo pH Sensor v1.1., debido a la disposición en el mercado, tiene especificaciones similares al sensor de pH Atlas Scientific donde los dos dan una lectura de calidad, este se ha seleccionado de acuerdo a la tabla. 1-3.

Tabla 1-3: Tabla de criterios para selección del sensor de pH

Criterios que evaluar/ Alternativas	Logo pH Sensor	Sensor de pH Atlas Scientific
Costo	3	1
Resolución	2	3
Facilidad de instalación	3	2
Disponibilidad	3	1
Tiempo de respuesta	2	3
Total	13	10
1: Insatisfactorio		
2: Satisfactorio		
3: Muy Satisfactorio		

Fuente: (Allaica y Gualli, 2015)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Para medir el nivel de pH que se encuentra en la solución usamos un medidor analógico que mide de 0 a 14 el nivel de acides y de alcalinidad, con una precisión de ± 0.1 pH, tiene una sonda que se sumerge completamente en el fluido para medir continuamente los niveles de pH. (Angelo, 2016)



Figura 3-3: Logo pH Sensor v1.1.

Fuente: (Angelo, 2016)

3.3.1.1 Características

El sensor de pH consta de un módulo de acondicionamiento de señal, y un electrodo de pH de vidrio que contiene dos electrodos con una solución acuosa, ver la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Características

Voltaje de alimentación	5 V
Corriente	5-10 mA
Consumo	≤ 0.5 W
Temperatura de trabajo	10-50 °C
LED Verde	Alimentación
LED Rojo	Límite de pH
Tiempo de respuesta	≤ 1 min
Rango de medición	0-14
Precisión	± 0.1pH (25 °C)
Conector sensor	Conector BNC
Potenciómetro	Potenciómetro de ajuste de ganancia

Fuente: (Angelo, 2016)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

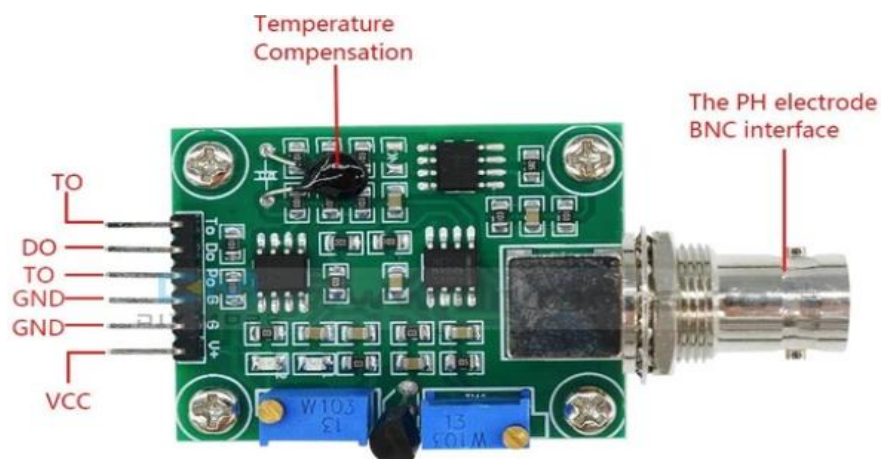


Figura 4-3: Acondicionador de señal Logo pH Sensor v1.1.

Fuente: (Botshop, 2017)

Tabla 3-3: Significado de pines de salida del acondicionador de señal Logo pH sensor v1.1.

To	Temperatura
Do	Señal del límite de pH
Po	Valor de pH en V
G	Masa del circuito analógico
G	Masa de Alimentación
V+	Alimentación (5V)

Fuente: (Botshop, 2017)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La relación de la tabla 4-3 se muestra a 25°C. Estos valores son diferentes a la lectura que pueda estar obteniendo el sensor ya que no está leyendo directamente del electrodo si no del adaptador de voltaje que ha convertido en un voltaje compatible de 0V a 5V. (Angelo, 2016)

Tabla 4-3: Características del electrodo.

Voltaje (mV.)	pH	Voltaje (mV.)	pH
414,12	0,00	-414,12	14,00
354,96	1,00	-354,96	13,00
295,80	2,00	-295,80	12,00
236,64	3,00	-236,64	11,00
177,48	4,00	-177,48	10,00
118,32	5,00	-118,32	9,00
59,16	6,00	-59,16	8,00
0,00	7,00	0,00	7,00

Fuente: (Angelo, 2016)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.3.1.2 Conexión con arduino.

Se necesita una alimentación de 5V la cual debe ir conectado del arduino al acondicionador (Vcc) y una conexión a (GND), también se debe conectar la salida del módulo de acondicionamiento de señal (Po) a una entrada analógica del arduino por ejemplo Ao, Debemos verificar el conector BNC este correctamente acoplado, es decir, la sonda o electrodo con la placa de acondicionamiento de señal. (Botshop, 2017)

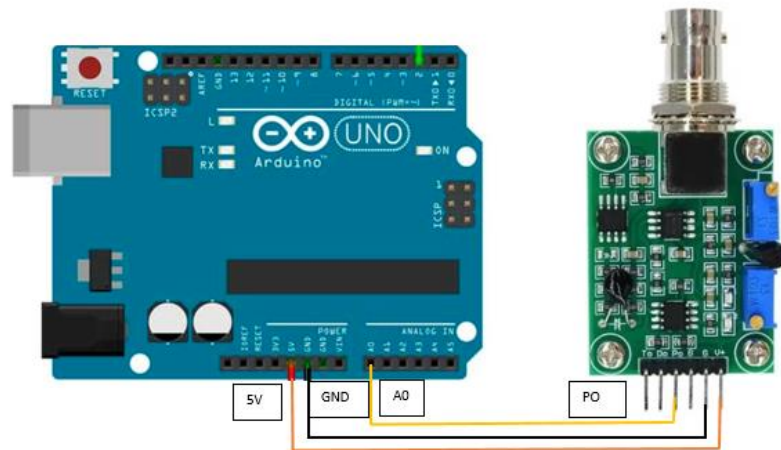


Figura 5-3: Conexión sensor de pH con arduino.

Fuente: (DFRobot, 2020)

3.3.1.3 Código Arduino.

En esta fase se describe una lógica de programación para leer la variable y cuantificar el valor del pH en la solución nutritiva del sistema hidropónico.

A continuación podemos observar la programación estándar del sensor de pH, lo cual deberá ser modificado el valor de la constante de acuerdo a la calibración pertinente. (Botshop, 2017)

```
// Lectura de sensor de pH
```

```
const byte pHpin = A0; // Conectar Po del sensor a la entrada analógica Ao del arduino.
```

```
float Po; //Variable
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

```

Po = (1023 - analogRead(pHpin)) / 73.07; // Lea e invierta el valor de entrada analógica del sensor
de pH y luego escale 0-14
Serial.println(Po, 2); // Imprime el valor analógico de Po.
delay(1000); // Toma la lectura cada segundo.
}

```

(Caballero, 2017)

3.3.1.4 Calibración.

La calibración del sensor de pH es importante ya que determina la acidez o alcalinidad de la solución que se encuentra en el cultivo hidropónico, esto se verá afectado directamente en el crecimiento de las plantas al no tomar el valor correcto.

La calibración de este sensor consiste en llegar al valor mediante la comparación con un medidor patrón o unos buffers de calibración, para ello existen dos formas.

- Al leer las instrucciones del fabricante pudimos ver que el sensor viene sin calibración de fábrica, por lo que recomienda como primera instancia que conecte el arduino con el sensor y cargue la programación establecida para el sensor, posteriormente se desconectó el electrodo del módulo y se cortocircuitó el conector BNC. Manteniendo las instrucciones anteriores podemos observar en el monitor serial de Arduino el voltaje y pH que se encuentra censando, al cortocircuitar el conector BNC simulará un pH neutro (pH 7), por lo que el voltaje deberá ajustarse a 2.5 V la mitad de la salida de voltaje, para variar esta medida se ajusta el potenciómetro que se encuentra junto al conector BNC en la placa de acondicionamiento de señal, hasta llegar al valor deseado. (Botshop, 2017)

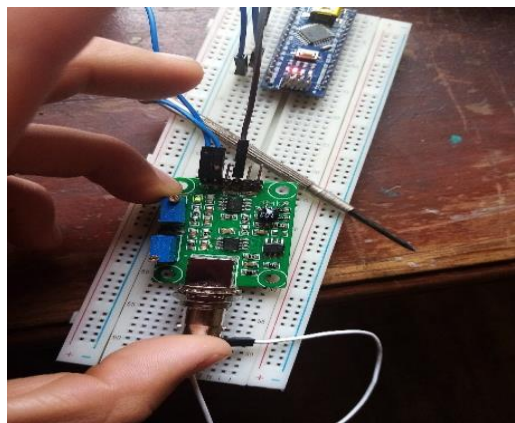


Figura 6-3: Calibración sensor de pH, cortocircuito entrada BNC.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

- Después de realizar el procedimiento antes descrito debemos calcular el voltaje de conversión del sensor de pH. Se necesita dos valores de referencia tanto de pH como de voltaje que envía el pin Po de la tarjeta de acondicionamiento de señal. Para esto se utilizó dos buffers de calibración, que son soluciones de pH comerciales de pH 4.01 y pH 6.86 obteniendo 3.04V y 2.54V respectivamente. (Botshop, 2017)



Figura 7-3: Buffers de calibración de pH.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La fuerza electromotriz producida por el electrodo varía linealmente con el pH, para encontrar la conversión del voltaje debemos ocupar la ecuación de la recta. (Caballero, 2017)

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{y - y_o}{x - x_o} = -5.7$$

$$4.01 = -5.7(3.04) + b$$

$$b = 21.388$$

$$y = -5.7x + 21.338$$

La ecuación para la calibración queda de la siguiente manera:

$$pH = -5.7(\text{voltajePo}) + 21.338$$

3.3.2 Sensor de Conductividad Eléctrica

El sensor TDS es muy versátil, se seleccionó de acuerdo a su disponibilidad teniendo una resolución aceptable en comparación al sensor de la marca Atlas Scientific.

Tabla 5-3: Tabla de criterios para selección del sensor de conductividad.

Criterios que evaluar/ Alternativas	TDS	Sensor de E.C. Atlas Scientific
Costo	3	1
Resolución	2	3
Facilidad de instalación	3	1
Disponibilidad	3	1
Tiempo de respuesta	2	3
Total	13	9
1: Insatisfactorio		
2: Satisfactorio		
3: Muy Satisfactorio		

Fuente: (Angelo, 2016)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

El sensor de Solidos Disueltos Totales (TDS), mide la cantidad de sales disueltas en el agua del sistema hidropónico, ya que entre más sustancia disuelta más electricidad conduce. Este sensor es adecuado y fácil de usar con la placa arduino, la sonda se sumerge completamente en el fluido, mediante esto podemos conocer las sales que nutren al cultivo, esto quiere decir que es un parámetro fundamental y está por lo general en rangos de 1200 a 2200 mS/cm.

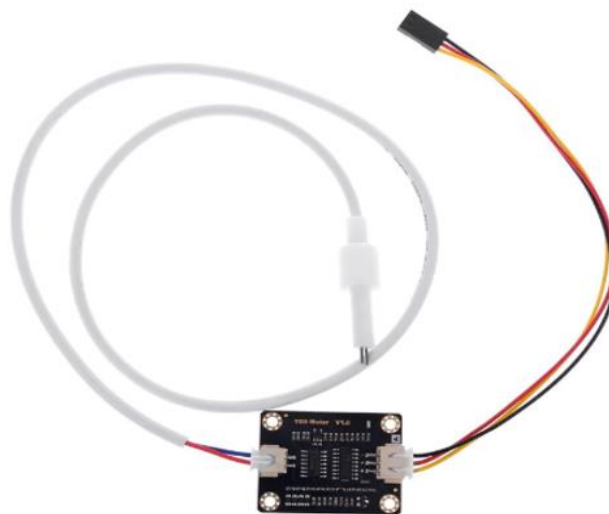


Figura 8-3: Sensor de conductividad eléctrica.

Fuente: (Peakmeter, 2019)

3.3.2.1 Características

Tabla 6-3: Características del sensor de conductividad.

Voltaje de entrada	3.3 ~ 5.5V
Voltaje de salida	0 ~ 2.3V
Corriente de trabajo	3 ~ 6mA
Rango de medición de TDS	0 ~ 1000ppm
Precisión de medición de TDS	± 10% FS (25 °C)
Tamaño del módulo	42 * 32 mm
Interfaz del módulo	PH2.0-3P
Interfaz de electrodo	XH2.54-2P

Fuente: (DFRobot, 2020)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

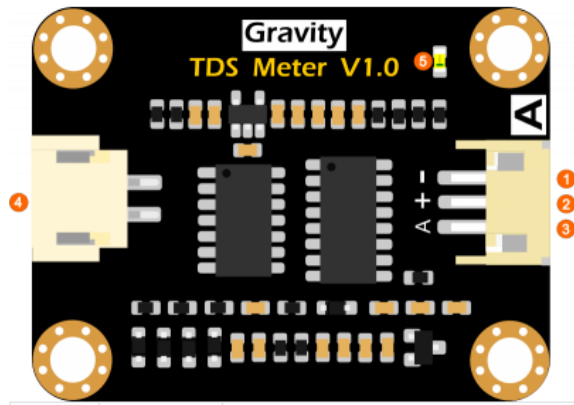


Figura 9-3: TDS meter

Fuente: (DFRobot, 2020)

Tabla 7-3: Características del sensor de conductividad.

Número	Etiqueta	Descripción
1	-	Energía GND (0V)
2	+	Potencia VCC (3.3 ~ 5.5V)
3	Un	Salida de señal analógica (0 ~ 2.3V)
4	TDS	Conector de sonda TDS
5	LED	Indicador de poder

Fuente: (DFRobot, 2020)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.3.2.2 *Conexión con arduino*

El sensor TDS de conductividad cuenta con una placa de transmisión de señal la cual tiene dos conectores, el uno es para conectar la sonda y el otro para conectar al módulo de arduino. (DFRobot, 2020)

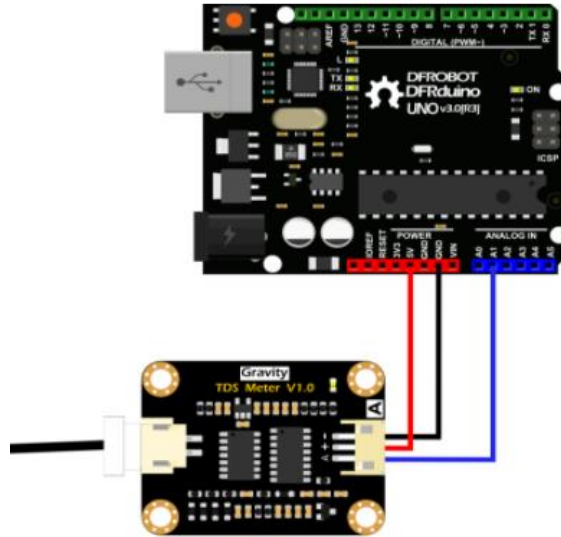


Figura 10-3: Conexión sensor TDS con arduino.

Fuente: (DFRobot, 2020)

3.3.2.3 *Código Arduino para lectura de Conductividad Eléctrica*

En esta fase se describe una lógica de programación para leer la variable y cuantificar el valor de la conductividad eléctrica en la solución nutritiva del sistema hidropónico.

A continuación podemos observar la programación estándar del sensor TDS. (DFRobot, 2020)

```
// Lectura de sensor de conductividad electrica
```

```
#include "DFRobot_EC.h"
```

```
#include <EEPROM.h>
```

```
#include "GravityTDS.h"
```

```
#define TdsSensorPin A1
```

```
GravityTDS gravityTds;
```

```
float temperature = 25,tdsValue = 0;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(115200);
```

```
  gravityTds.setPin(TdsSensorPin);
```



```

gravityTds.setAref(5.0); //reference voltage on ADC, default 5.0V on Arduino UNO
gravityTds.setAdcRange(1024); //1024 for 10bit ADC;4096 for 12bit ADC
gravityTds.begin(); //initialization
}
void loop()
{
  //temperature = readTemperature(); //add your temperature sensor and read it
  gravityTds.setTemperature(temperature); // set the temperature and execute temperature
compensation
  gravityTds.update(); //sample and calculate
  tdsValue = gravityTds.getTdsValue(); // then get the value
  Serial.print(tdsValue,0);
  Serial.println("ppm");
  delay(1000);
}
(DFRobot, 2020)

```

3.3.2.4 *Calibración*

La calibración de este sensor se ha realizado mediante una solución salina donde el valor o cantidad disuelta en el agua se mide con una medidora digital TDS y se compara con el sistema. Es recomendable conectar un sensor de temperatura para la compensación de la temperatura, ya que la precisión de la conductividad depende de ese valor. El valor TDS es la mitad de E.C. por lo que duplicaremos el valor TDS para obtener la conductividad de la solución. (DFRobot, 2020)

A continuación, tenemos el procedimiento para la calibración, lo cual solo será en la programación:

- Cargar el código en la tarjeta arduino y abrir el monitor serial.
- Insertar la sonda en la solución y esperar unos segundos hasta que se estabilice la lectura.
- Ingresar ENTER en el monitor serial.

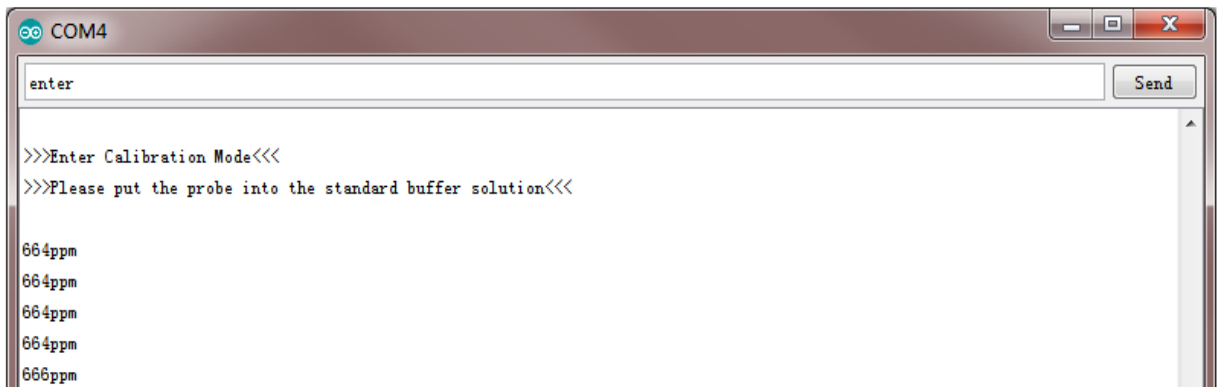


Figura 11-3: Monitor serial – Modo de Calibración.

Fuente: (DFRobot, 2020)

- Ingresar cal: valor TDS, para este caso la solución contiene 707ppm, esto va a depender del tipo de concentración salina, se ingresa "cal:707"



Figura 12-3: Calibration Mode – cal: 707.

Fuente: (DFRobot, 2020)

- Finalmente ingresamos el comando "Exit" para guardado.

3.3.3 *Sensor de Temperatura*

Los sensores de temperatura son transductores en cargados de recibir la energía de un tipo de naturaleza y transformarla en otra, estos sensores pueden ser analógicos o digitales, en la tabla 8-3 muestra la selección del sensor adecuado para el sistema hidropónico.

Tabla 8-3: Tabla de criterios para selección del sensor de temperatura.

Criterios que evaluar/ Alternativas	Termocupla tipo K	Termistor LM35	DS18B20
Costo	1	3	1
Resolución	3	1	2
Facilidad de instalación	2	3	3
Disponibilidad	3	3	1
Tiempo de respuesta	2	2	3
Total	11	12	10
1: Insatisfactorio			
2: Satisfactorio			
3: Muy Satisfactorio			

Fuente: (Allaica y Gualli, 2015)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Las termocuplas tipo K son sensores que está formado por la unión de dos diferentes metales unidos en un extremo, mediante el efecto Seebeck que consiste en generar un diferencial de potencial debido a la temperatura que se apliquen a estos de materiales, este termopar esta sellado herméticamente por lo que podemos sumergirlo completamente en el fluido del sistema hidropónico. (Geek Factory, 2018)

La señal analógica que se genera es muy pequeña por lo que no puede conectarse directamente a un microcontrolador, por lo que existen tarjetas como el Max 6675 que realiza la amplificación, compensación y linealización de la respuesta de la termocupla, además se puede conectar con cualquier microcontrolador mediante la interfaz SPI. (Atmega, 2020)

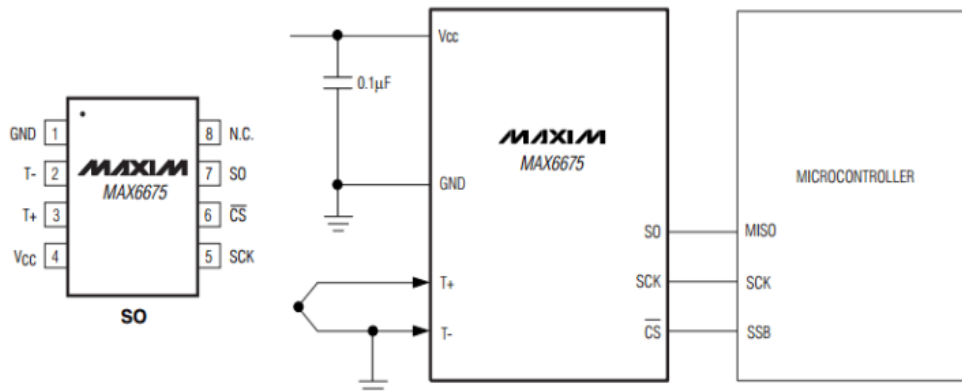


Figura 13-3: Conexión de termocupla y microcontrolador.

Fuente: (Maxim, 2002)

3.3.3.1 Características.

Tabla 9-3: Características sensor de temperatura.

Interfaz	SPI solo de lectura
Resolución	12 bits, 0.25°C
Precisión	± 1,5°C
Medición hasta	1024°C
Alimentación	3.3 a 5V
Temperatura de medición	0 a 1024 °C
Frecuencia de reloj SPI máxima	4,3 Mhz
Tiempo de conversión	0.17 s máximo 0.22 segundos.
Consumo máximo	1.5 mA
Compatible con termocuplas	Tipo K

Fuente: (Vistronica, 2020)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.3.3.2 Conexión Arduino

La termocupla tipo K para la conexión con Arduino necesita un acondicionador de señal Max6675 para amplificar la señal del sensor. En la figura 14-3 se observa los pines del sensor de temperatura, este acondicionador de señal cuenta con una alimentación de 5V y Gnd, además de su conexión SPI para la comunicación donde van conectados cada uno de sus pines a la DAQ. Para la programación se deberá instalar la librería específica para la lectura de la termocupla tipo K.

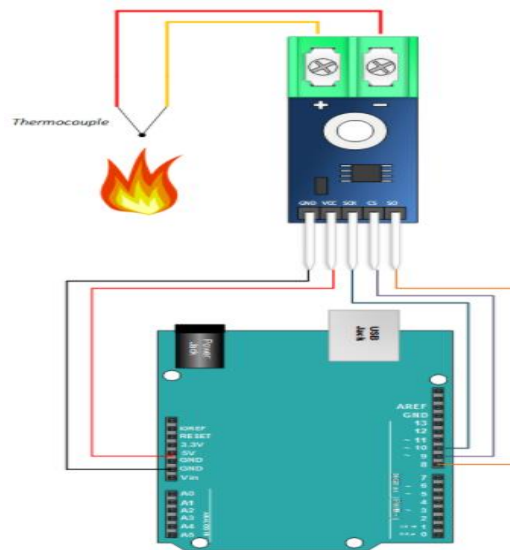


Figura 14-3: Conexión de termocupla con arduino.

Fuente: (Rincón Cardona & Rendón Osorio, 2016, p. 47)

3.3.3.3 Código arduino para lectura de Temperatura.

En esta fase se describe una lógica de programación para leer la variable y cuantificar el valor de la temperatura en la solución nutritiva del sistema hidropónico.

A continuación se muestra el código arduino para la lectura de datos de temperatura.(Rincón Cardona & Rendón Osorio, 2016)

```
// Lectura de sensor de temperatura
#include "max6675.h"

int thermoDO = 4;

int thermoCS = 5;

int thermoCLK = 6;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

int vccPin = 3;

int gndPin = 2;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);

  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

  Serial.println("MAX6675 test");

  delay(500);

}

void loop() {

  Serial.print("C = ");

  Serial.println(thermocouple.readCelsius());

  Serial.print("F = ");

  Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());

  delay(1000);
```

}

(Rincón Cardona & Rendón Osorio, 2016, p. 48)

3.3.3.4 Calibración del sensor de temperatura.

El convertidor analógico para termocuplas tipo K necesita de una calibración mediante software, donde que consiste en mediciones mediante un medidor patrón de temperatura el cual va a mostrar el valor real y los vamos a comparar con los datos leídos por la termocupla. Los datos del lector patrón y de la termocupla tipo K deberán colocarse en una hoja en Excel y realizar una regresión lineal durante una hora. (Castaño Giraldo, 2019)

3.3.4 Sensor de flujo de agua

El sensor de flujo de agua ayuda a determinar la cantidad de flujo que circula en el sistema hidropónico durante el ciclo de cultivo. En la tabla 10-3 se determina el sensor YFS201 mediante una comparación de otro sensor de flujo.

Tabla 10-3: Tabla de criterios para selección del sensor de temperatura.

Criterios que evaluar/ Alternativas	FT2	YFS201
Costo	3	2
Resolución	3	3
Facilidad de instalación	3	1
Disponibilidad	3	3
Tiempo de respuesta	2	2
Total	14	11
1: Insatisfactorio		
2: Satisfactorio		
3: Muy Satisfactorio		

Fuente: (Allaica y Gualli, 2015)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Este dispositivo contiene un sensor de molino para medir el flujo, cuenta con tres cables el cual se alimenta de 5 a 24V.



Figura 15-3: Sensor de flujo de agua.

Fuente: (Mecatronicum, 2015)

3.3.4.1 Características.

Tabla 11-3: Características del sensor de flujo de agua.

Modelo	YF-S201
Tipo de Sensor	Efecto Hall
Voltaje Nominal	5 to 18V DC (Voltaje Mínimo Requerido 4.5V)
Máxima Corriente de operación	15mA @ 5V
Voltaje de Salida	5V TTL
Velocidad de Flujo	1 a 30 Litros/Minuto
Rango de Temperatura	-25 a +80°C
Rango de Humedad	35%-80% RH
Precisión	±10%
Máxima Presión de Agua	2.0 MPa
Salida del Ciclo de Trabajo	50% +-10%
Pulsos por Litro	450
Durabilidad	Mínimo 300,000 ciclos
Largo del Cable	15cm
Conectores nominales tubería	2"
Diámetro externo	2,25"

Fuente: (Mecatronicum, 2015)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.3.4.2 Conexión Arduino.

La conexión a Arduino del sensor de YF-S201 es simple, este dispositivo cuenta con tres cables de colores: Rojo (+5V), Negro (Gnd), Amarillo (Salida de señal). (Mecatronicum, 2015)

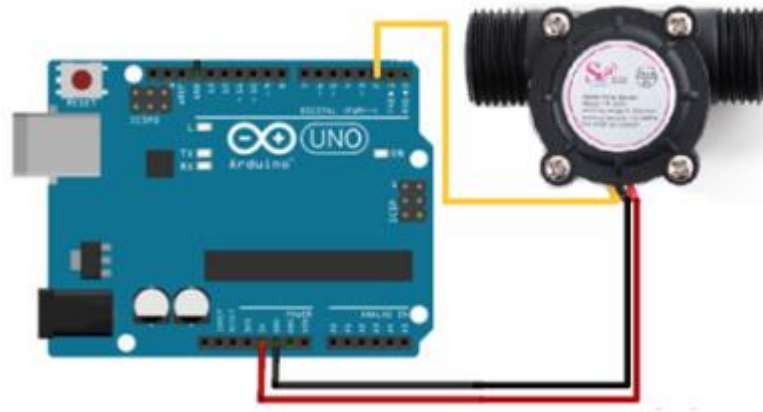


Figura 16-3: Conexión Sensor de flujo de agua con arduino.

Fuente: (Mecatronium, 2015)

3.3.4.3 Código.

En esta fase se describe una lógica de programación para leer la variable y cuantificar el valor del flujo de agua en la solución nutritiva del sistema hidropónico.

A continuación podemos observar la programación estándar del sensor de flujo de agua. (Mecatronium, 2015)

```
// Lectura de sensor de flujo de agua
volatile int pulsos; // Cantidad de pulsos del sensor. Como se usa dentro de una interrupcion debe ser volatile

#define sensorDeFlujo 2 //Pin al que se conecta el sensor. DEBE ser 2 porque es unico que acepta interrupciones en el Arduino UNO

void flujo () // Funcion de interrupcion
{
pulsos++; // Simplemente sumar el numero de pulsos
}

void setup()
{
pinMode(sensorDeFlujo, INPUT);

Serial.begin(9600);

attachInterrupt(0, flujo, RISING);
```



```

interrupts();

}

void loop ()

{

Serial.print("Pulsos: ");

Serial.println(pulsos);

}

```

(Mecatronicum, 2015)

3.3.4.4 Calibración.

Al correr la programación, se vierte por el sensor cantidades de agua de 500ml y 1000ml, tres veces cada una y se obtiene el número de pulsos.

Tabla 12-3: Cantidades de agua y pulsos para calibración.

Prueba No.	Cantidad	Pulsos	Promedio de pulsos.
1	500 ml	209	201,3333333
2	500 ml	196	
3	500 ml	199	
4	1000 ml	385	391
5	1000 ml	390	
6	1000 ml	398	

Fuente: (Mecatronicum, 2015)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Podemos decir que aproximadamente por cada 1000ml el sensor genera 400 pulsos, entonces podemos decir que pasa 1000ml en un minuto tendríamos 400 pulsos por minuto, es decir 6.67 pulsos por segundo, entonces tendremos 6.67 Hz en 1 litro por segundo. (Mecatronicum, 2015)

Ya obtenido el número en Hertz, dividimos 6.67 para obtener el flujo en l/min. (Mecatronicum, 2015)

$$Q_{l/min} = \frac{f}{6.67}$$

Este valor de frecuencia puede variar dependiendo el sensor. (Mecatronicum, 2015)

3.4 Bomba centrífuga

La bomba centrífuga es uno de los elementos más importante del sistema hidropónico, este actuador se encarga de recircular el fluido con nutrientes a todo el sistema, La interfaz diseñada se puede programar de acuerdo a cualquier requerimiento para el encendido y apagado, simplemente cambiando el valor en el panel principal de la interfaz gráfica. (Linz Electric, 2008)



Figura 17-3: Bomba de agua.

Fuente: (Linz Electric, 2008)

3.4.1 Características.

La bomba ya se encuentra implementada en el sistema, y cuenta con las siguientes características.

Tabla 13-3: Características de bomba de agua.

Marca	LINZ
Modelo	Am 1 MD
Caudal máx.	60 l/min
Potencia	0,5 HP
Voltaje	110v
Frecuencia	60Hz
H máx.	30m
T máx.	60C

Fuente: (Linz Electric, 2008)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.5 Diseño del sistema de monitoreo e implementación

Los sistemas de monitoreo son usados para visualizar las condiciones de trabajo de un equipo o máquina, con la información visualizada o adquirida podemos evaluar los diferentes equipos y

optimizar el rendimiento de cada uno, así mismo alertar posibles fallas con el fin de precautar al personal y equipos.

Labview es una herramienta enfocada para el monitoreo y control de variables, lo cual es muy versátil, este software es usado en una variedad de aplicaciones como en hidroponía, figura 18-3.

Para el requerimiento de nuestro sistema hidropónico NFT, se diseñó la interfaz gráfica, donde la Figura 18-3 y Figura 19-3 muestran la programación gráfica para el monitoreo y adquisición de datos de las variables de pH, conductividad, temperatura y flujo de agua, además con la configuración del control ON-OFF de la bomba de acuerdo a tiempos de encendido. Mediante el uso de la DAQ Arduino que tiene una amplia variedad de librerías para el uso de diferentes aplicaciones, esta tiene compatibilidad con Labview mediante la instalación de librerías y paquetes que proporciona la comunicación.

El desarrollo de la interfaz gráfica, permite al usuario visualizar en modo de gráfica de cada una de la variable en tiempo real, además adquirir los datos una hoja de Excel en cualquier tiempo del ciclo de cultivo, para las investigaciones pertinentes de los diferentes cultivos.

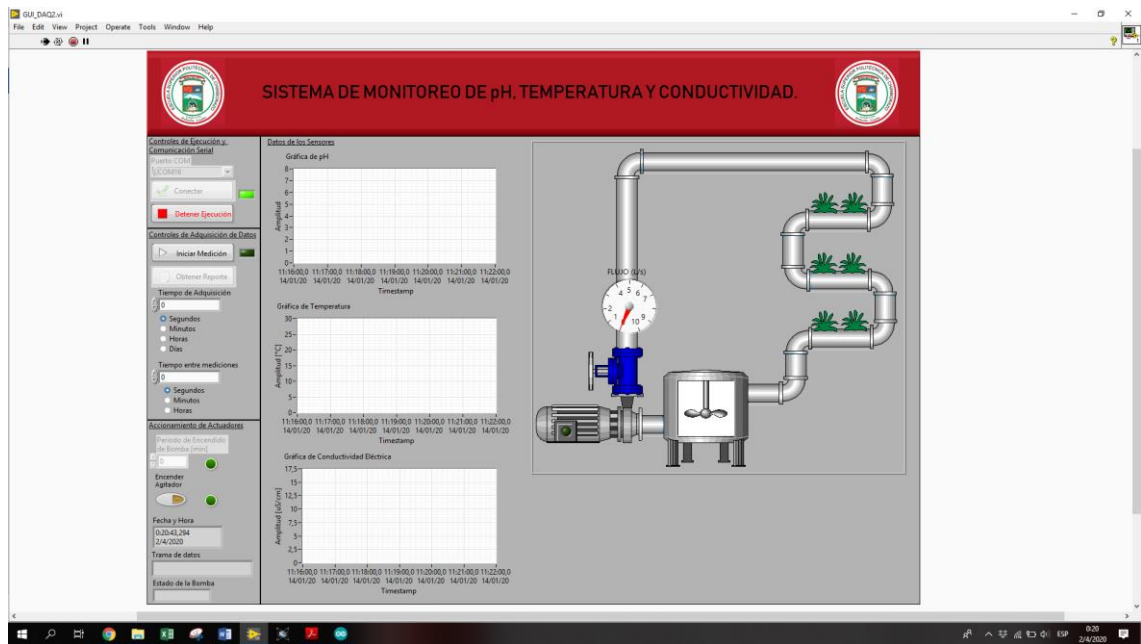


Figura 18-3: Interfaz gráfica de usuario del sistema hidropónico en LabVIEW2018.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La segunda ventana de Labview figura 19-3, muestra la programación gráfica o de bloques donde usando códigos gráficos controla los objetos en la ventana principal. La comunicación mediante librería de National Instruments para Arduino que ese encuentra gratuita en NI.com.

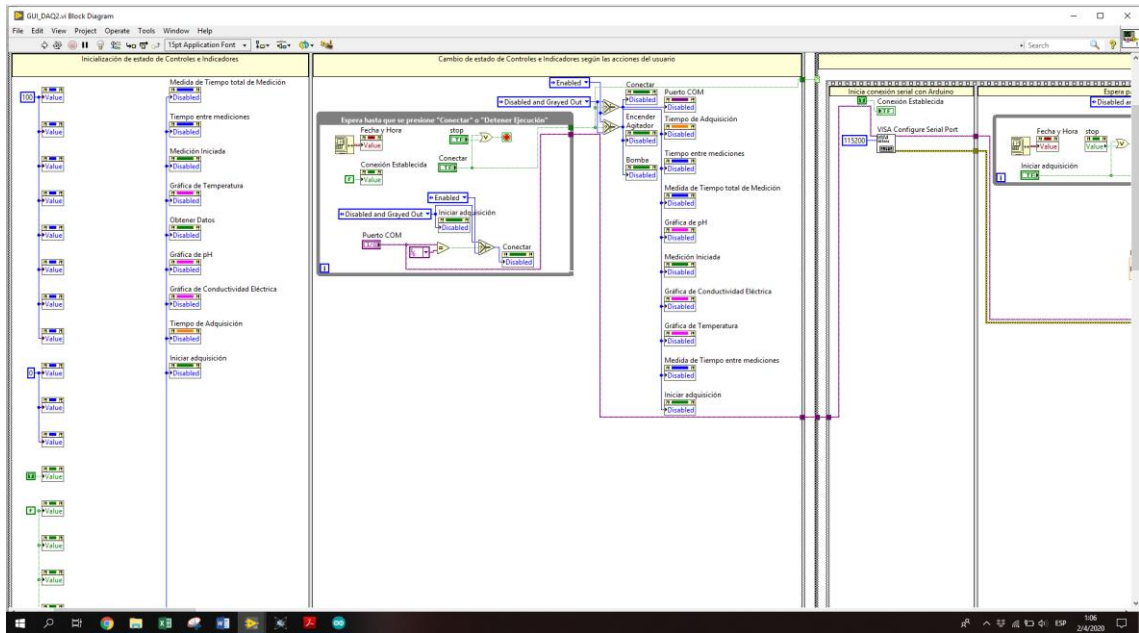


Figura 19-3: Programación gráfica del sistema hidropónico en LabVIEW2018.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

En Labview tenemos varias estructuras que contiene códigos gráficos, entre las estructuras más utilizadas para el desarrollo de la interfaz gráfica para el monitoreo del sistema hidropónico tenemos el Ciclo While, Ciclo For y Estructuras de Casos.

Después de ejecutar el programa debemos inicializar el monitoreo conectado el puerto serial y la variable del tiempo de muestreo, esto se da con un Ciclo While Figura 20-3, los controles se bloquean y comienza el sistema a adquirir los datos en tiempo real.

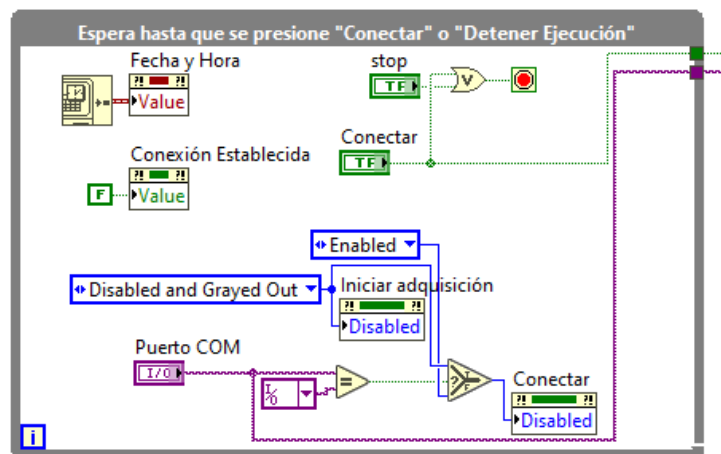


Figura 20-3: Ciclo While de inicialización.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

En el encendido de la bomba se utiliza una Estructura de Casos, donde se accionará dependiente si el valor es verdadero o falso según la instrucción que se haya dado, ver figura 21-3.

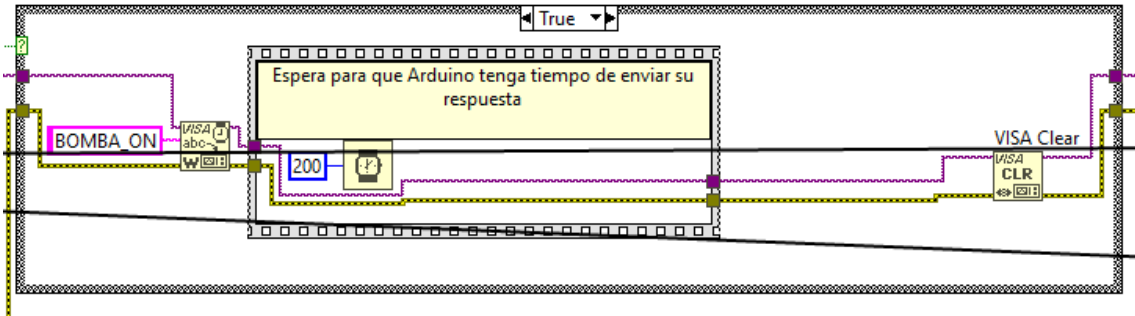


Figura 21-3: Estructura de casos para encendido de la bomba.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La figura 22-3 detalla los datos exportados del sistema de monitoreo, donde se puede observar la fecha, hora y variables adquiridas mediante el sistema implementado.

Timestamp	pH	Temperatura [°C]	Conductividad Eléctrica [uS/cm]
20-02-20 10:52:05	9,73	22,35	1331,16
20-02-20 10:52:06	9,63	22,1	1338,72
20-02-20 10:52:16	9,58	22,35	1331,16
20-02-20 10:52:26	8,89	22,1	1357,65
20-02-20 10:52:36	8,66	21,85	1357,79
20-02-20 10:52:46	8,42	21,85	1357,79
20-02-20 10:52:56	8,28	21,35	1361,95
20-02-20 10:53:06	8,5	21,6	1354,12
20-02-20 10:53:16	8,19	21,35	1361,95
20-02-20 10:53:26	8,33	21,6	1350,3
20-02-20 10:53:36	8,11	21,85	1350,18
20-02-20 10:53:46	8,19	21,35	1354,27
20-02-20 10:53:56	8,05	21,85	1350,18
20-02-20 10:54:06	7,95	21,35	1354,27
20-02-20 10:54:16	8,11	21,6	1350,3
20-02-20 10:54:26	7,81	21,85	1346,38
20-02-20 10:54:36	7,81	21,35	1350,44
20-02-20 10:54:46	7,75	21,6	1361,78
20-02-20 10:54:56	7,75	22,1	1338,72
20-02-20 10:55:06	7,69	22,6	1334,85

Figura 22-3: Hoja de Excel exportada del sistema de monitoreo.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.6 Diseño de PCB con circuito de potencia.

El objetivo del diseño de la placa PCB es conectar todos los componentes electrónicos con eficiencia evitando usar una protoboard ver figura 23-3, ya que el número de pines de energía son limitados en la DAQ Arduino y no hay la disposición para energizar todos los componentes en caso que se hiciera la conexión directa a la tarjeta de adquisición de datos, además de compactar

el sistema y asegurar la correcta conexión de los sensores y elementos electrónicos para el correcto funcionamiento.



Figura 23-3: Circuito electrónico del sistema hidropónico en protoboard.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Esta placa tiene un circuito de potencia donde conecta y desconecta un relé que energiza 110v de una actuadora, además con la disposición de remplazar los elementos de sensores fácilmente, además cuenta con su carcasa herméticamente sellada para su protección del ambiente y golpes que pueda estar expuesto el circuito.

Este circuito electrónico fue probado en una protoboard, después de las pruebas pertinentes y viendo el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo se procede a diseñar la placa PCB en el programa Proteus. La PCB cuenta con dos relés donde un relé es para el accionamiento de la bomba de impulsión del fluido y el otro relé para algún actuador más ya sea necesario.

La conexión de los sensores es simple ya que cada uno de estos cuenta con un conector específico, este sistema está alimentado con una fuente de 5V y una pantalla que permite ver los valores de las variables de pH, E.C. y temperatura como primera instancia además de la interfaz gráfica.

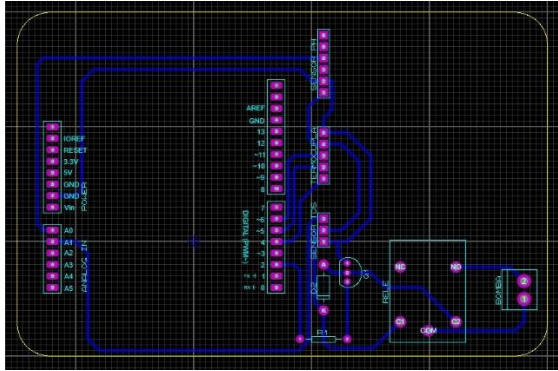


Figura 24-3: Diseño electrónico de la PCB.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

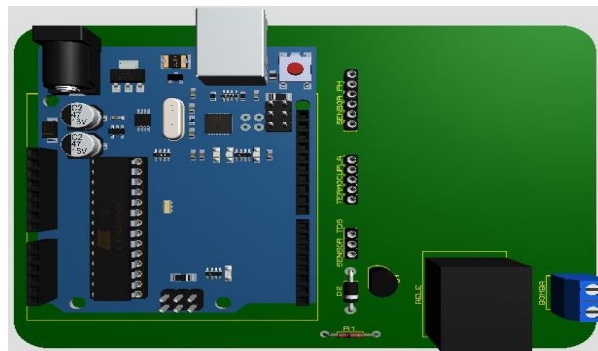


Figura 25-3: Diseño 3D de la PCB.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.7 Implementación del sistema hidropónico en el departamento de Horticultura

3.7.1 *Funcionamiento del sistema de hidroponía NFT.*

El sistema de hidroponía NFT (técnica de película de nutriente) hace uso de canales de tubo PVC (Policloruro de Vinilo), por donde circula el fluido (agua) con la cantidad indicada de nutrientes para el completo desarrollo de los cultivos, todo esto (tubos PVC y plantas) van ubicados sobre soportes, posicionados escalonadamente como se puede observar en la figura 26-3.



Figura 26-3: Invernadero y sistema para cultivos hidropónicos.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.7.2 Implementación de componentes.

3.7.2.1 Verificación de lectura de datos por parte de los distintos sensores.

Antes de la implementación completa de componentes en el sistema hidropónico NFT, procedemos a verificar que los sensores tengan una lectura aleatoria de datos para saber que estos están funcionando.

- Procedemos a sumergir los sensores de pH, C.E. y temperatura, en uno de los orificios del tubo PVC, por el cual debe estar circulando agua, sin la necesidad de haber agregado los distintos nutrientes en el tanque reservorio, ya que con este paso queremos ver que exista la comunicación entre los sensores – acondicionares de señal – programa labview.



Figura 27-3: Sensores sumergidos para verificación de lectura y comunicación.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

- Verificamos la comunicación de los sensores a través de la lectura de datos en el sistema.



Figura 28-3: Lectura de datos.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.7.2.2 Mezcla de nutrientes

Para la mezcla de nutrientes se hace necesario la intervención de un ingeniero agrónomo que tenga conocimientos en el área de hidroponía NFT, para que la mezcla sea la adecuada y se pueda llegar a los valores los cuales no afecten al desarrollo de las plantas y así evitar que estas mueran.

Se procede a la medición de la cantidad recomendada de nutrientes haciendo uso de una balanza digital, para la precisión en la cantidad que se vaya a usar, ya que estos nutrientes van a ser mezclados en el tanque reservorio de agua con una cantidad de 250 ltrs.



Figura 29-3: Balanza digital Camry 5 Kg.

Fuente: (Loyola, 2012)

La tabla 14-3 nos muestra el requerimiento nutricional exacto que debe ser mezclado con el agua del depósito de agua (250 ltrs.) acorde a los estudios realizados en el departamento de horticultura. (Estrada Orozco, 2020)

Tabla 14-3: Requerimiento nutricional

Datos	ppm/mg/L
N	200
P	100
K	200
Ca	90
Mg	40
S	60

Fuente: (Estrada Orozco, 2020)

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.7.2.3 Calibración de sensores acorde a los valores de trabajo del sistema.

Los sensores van a ser calibrados mediante los procedimientos de programación mostradas en el inciso 3.3 “Sensores del sistema de monitoreo”, acorde a los valores o rangos de trabajo establecidos por las investigaciones realizadas en el invernadero del departamento de horticultura.

- Para la calibración del sensor de pH, se añade ácido nítrico de forma gradual en el depósito de agua, haciendo uso de probetas graduadas de ensayos de laboratorio, para una medición exacta en la concentración de añade ácido como se puede observar en la figura 30-3, hasta conseguir estabilizar el pH necesario para el correcto crecimiento de la planta a cultivar, que se encuentra entre valores de pH de 5,5 a 6,5. En caso de que se requiera aumentar el pH, podemos hacer uso de una base o álcali



Figura 30-3: Ácido nítrico agregado en el depósito.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

También hacemos uso de un peachímetro de bolsillo digital, el cual debe estar previamente calibrado acorde al manual de usuario del equipo, con esto podemos obtener los valores para calibrar el sensor de pH y así poder comparar datos y ver la efectividad del sistema de monitoreo instalado.



Figura 31-3: Peachímetro de bolsillo digital.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

- Para la calibración del sensor de conductividad eléctrica (C.E.) usamos un medidor de conductividad eléctrica de bolsillo digital, que a la vez nos arroja el valor de temperatura, el cual debe estar calibrado previamente acorde a su respectivo manual de usuario como se puede observar en la figura 32-3. Las unidades se pueden seleccionar ya sea en mS/cm o ppm que nos ayudan a calibrar nuestro sistema de monitoreo instalado, el cual debe mostrar valores entre los 1200 mS/cm y 2200 mS/cm, para que la sustancia a fluir por el sistema hidropónico sea el correcto.



Figura 32-3: Medidor de C.E. de bolsillo digital.

Fuente: Freire, E. y Pujos, M., 2020.

- Para comprobar los valores de temperatura usamos el mismo equipo mostrado en la figura 24-3 el cual indica el valor de temperatura ya sea en °C o °F, que debe estar entre los 24°C y 26°C, y así calibrar nuestro sistema de monitoreo instalado. Cabe recalcar que la temperatura variará cada vez que se oxigene el sistema mediante la recirculación de la solución gracias al sistema on-off de la bomba.

3.7.2.4 Control de encendido de la bomba

El control de encendido de la bomba se realiza gracias a un Timer que es un módulo interno de un microcontrolador, el cual puede generar una señal periódica a una frecuencia la cual puede ser configurada y de esta manera contar de forma automática a la velocidad de la frecuencia al que haya sido configurado. (Marmolejo, 2017)

Con el control de las funciones de tiempo que podemos realizar en nuestra DAQ (tarjeta de adquisición de datos) que es Arduino UNO, y gracias a la incorporación de un circuito de potencia para el trabajo conjunto entre el Arduino UNO y la bomba, podemos establecer el control on-off del actuador mencionado y gracias a la interfaz con labview podemos establecer los tiempos para el accionamiento de la bomba según los requerimientos de trabajo en el sistema hidropónico, el cual indica que la bomba deba encenderse durante 40 segundos cada 5 minutos en un ciclo repetitivo (el tiempo on-off mencionado dependerá del tipo de cultivo, por lo cual se opta por un tiempo aleatorio), lo cual da a entender el trabajo independiente al procesador que realiza el Timer y de esta forma realizar otros procesos hasta que el módulo nos indique que la cuenta ha terminado y así validar la utilidad de temporización que ofrece la tarjeta de adquisición de datos. (Marmolejo, 2017)

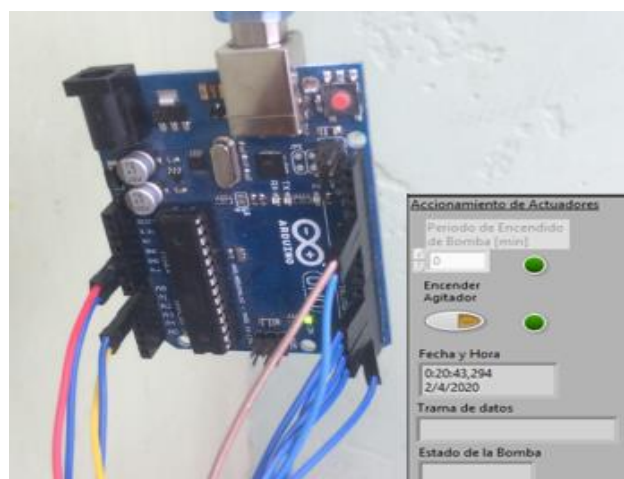


Figura 33-3: Arduino UNO y el control de tiempo de encendido de la bomba en labview.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

3.7.3 Canales para el cultivo hidropónico NFT

La función principal de los canales, los cuales son de material PVC para evitar al corrosión debido a la sustancia nutritiva que circula a través de ellos, es servir como apoyo para que solo se mantengan las raíces de las plantas sumergidas en la solución en circulación por las tuberías de distribución, lo cuales deben mantener un nivel no menor a un 70% de nivel den solución. Los diámetros de los canales van a depender de la cantidad de volumen de la solución en circulación por el sistema, donde se requiere que el ingreso del flujo sea uniforme al momento de llegar a las distintas tuberías, las cuales cuentan con un diámetro de 4plg y se encuentran conectados a los diferentes tubos distribuidores de 2plg de diámetro, por medio de mangueras de ½ plg.



Figura 34-3: Tuberías y dimensiones con que cuenta el sistema hidropónico.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Como se puede observar en la figura 34-3, los canales distribuidos en forma escalonada descansan sobre soportes o caballetes, los cuales mantienen el nivel del fluido estable para evitar la acumulación y derrame de agua ya sea a la entrada o salida del fluido, lo cual debe contar con una inclinación entre el 1% y 3%, tomando en cuenta que el ultimo canal es el que debe realimentar la solución al tanque para que de esta manera se dé la oxigenación de la sustancia nutritiva. Además la distancia entre plantas debe ser mayor a 10 cm para de esta forma evitar que las raíces se enreden. (Arévalo Arias & Figueroa Arias, 2018)

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Resultados

El presente capítulo da a conocer los resultados obtenidos del monitoreo para el control de nutrientes, pH, C.E., Temperatura y flujo de agua, en hidroponía mediante el uso de sistemas embebidos.

4.1.1 Toma de datos

Una vez calibrado los sensores según los requerimientos del departamento de horticultura para el sistema hidropónico, se procede a la toma de datos, para poder validar la implementación del sistema.

Los datos fueron tomados tanto con el sistema implementado de sensores de pH, conductividad eléctrica y temperatura (uso de termocupla tipo K), así como de forma manual para la toma de datos de los sensores digitales de bolsillo para luego poder comparar entre las dos mediciones y obtener la validez del sistema automático incorporado.



Figura 1-4: Toma de datos.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Verificando tanto con los medidores de bolsillo de pH y de conductividad eléctrica así como con el sistema implementado, donde se pudo observar que la solución cumplía con los rangos de pH, conductividad eléctrica y temperatura establecidos en el inciso 3.8.2.3 “Calibración de sensores acorde a los valores de trabajo del sistema”, obteniendo con los medidores de bolsillo los datos mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 1-4: Valores medidos de pH, C.E., temperatura para verificación de funcionamiento dentro del rango.

pH	C.E. (mS/cm)	Temperatura °C
6.13	1852	24,6

Fuente: Freire, E. y Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

A continuación, en la figura 2-4 se observa las mediciones con los medidores de bolsillo de pH y conductividad eléctrica, cabe recalcar, que el medidor de conductividad eléctrica nos da a conocer el valor de la temperatura de la solución en circulación por los tubos de PVC.



Figura 2-4: Toma de mediciones de variables con medidores digitales de bolsillo.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

De esta manera, gracias a los valores obtenidos en la tabla 1-4 y comparando que los valores del sistema incorporado se encuentren dentro del rango de trabajo, podemos pasar a la toma de datos.

4.1.1.1 *Mediciones con el sistema automático y con los medidores digitales de bolsillo.*

Los datos fueron tomados en tres días diferentes, lo cuales tuvieron una duración de recolección de 2 horas, en donde se tomó los datos tanto manual con los medidores de bolsillo así como con el sistema incorporado cada 15 minutos, en el proceso de recolección de datos automático se obtiene la ventaja de obtener un documento de tipo Excel, el cual muestra todos los valores

censados en el tiempo establecido, lo que beneficia a que cualquier operario pueda realizar actividades conjuntas o diferentes ya que no es necesario la presencia del individuo.

Las siguientes tablas muestran los valores recogidos de las dos diferentes formas de recolección de datos, así como las fechas en los cuales fueron tomados:

Tabla 2-4: Primera recolección de datos modo manual y modo automático.

Fecha de toma de datos: 24/2/2020						
HORA	PH i.p	PH daq	CE i.p	CE daq	T i.p	T daq
15:00	6,31	6,32	2050	2032,88	26,6	27,35
15:15	6,39	6,3	1950	2025,42	26,6	27,35
15:30	6,46	6,36	1950	2025,93	26,6	26,6
15:45	6,55	6,63	1950	2029,88	26,6	26,35
16:00	6,53	6,49	1832	2022,37	25,6	26,35
16:15	6,5	6,41	1832	2010,88	25,6	26,85
16:30	6,48	6,49	1832	1823,72	25,6	26,1
16:45	6,48	6,5	1832	1823,72	25,6	26,1
17:00	6,53	6,41	1832	1823,72	25,6	26,85
17:15	6,48	6,5	1832	1823,72	25,6	26,1
Promedio	6,471	6,441	1889,2	1944,224	26	26,6

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 3-4: Segunda recolección de datos modo manual y modo automático.

Fecha de toma de datos: 26/02/2020						
HORA	PH i.p	PH daq	CE i.p	CE daq	T i.p	T daq
16:00	6,24	6,21	2050	2022,76	25,6	25,85
16:15	6,44	6,25	2050	2007,62	25,6	26,1
16:30	6,46	6,11	2050	2023,69	25,6	24,85
16:45	6,44	6,44	2050	2008,14	25,6	25,35
17:00	6,44	6,3	1950	2008,14	25,6	25,35
17:15	6,44	6,43	1950	2020,14	25,6	24,6
17:30	6,5	6,25	1950	2008,34	25,6	25,1
17:45	6,53	6,46	1852	2011,89	25,6	25,35
18:00	6,57	6,25	2152	2004,22	25,6	25,6
18:15	6,35	6,1	1950	2007,96	25,6	25,6
Promedio	6,441	6,28	2000,4	2012,29	25,6	25,375

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 4-4: Tercera recolección de datos modo manual y modo automático.

Fecha de toma de datos: 28/02/2020						
HORA	PH i.p	PH daq	CE i.p	CE daq	T i.p	T daq
16:00	6,24	6,21	1756	2049,17	23,6	23,1
16:15	6,26	6,36	1852	1608,01	23,6	23,1
16:30	6,29	6,35	1756	1427,52	23,6	22,85
16:45	6,29	6,36	1852	1424,77	23,6	22,6
17:00	6,31	6,32	1756	1431,36	23,6	22,85
17:15	6,33	6,33	1852	1428,64	23,6	22,3
17:30	6,31	6,32	1852	1421,98	23,6	22,35
17:45	6,35	6,4	1852	2081,94	23,6	22,6
18:00	6,35	6,44	1852	2086,52	23,6	22,35
Promedio	6,30	6,34	1820,00	1662,21	23,60	22,68

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

A continuación se muestra la nomenclatura de las tablas anteriores (tabla 2-4, tabla 3-4, tabla 4-4):

Tabla 5-4: Nomenclatura de tablas.

pH i.p	Medición de pH con instrumentos portátiles.
C.E. i.p	Medición de conductividad con instrumentos portátiles (mS/cm)
T i.p	Medición de temperatura con instrumentos portátiles (°C)
pH daq	Medición de pH con tarjeta de adquisición de datos.
C.E. daq	Medición de C.E. con tarjeta de adquisición de datos (mS/cm)
T daq	Medición de temperatura con tarjeta de adquisición de datos (°C)

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

De los tres días de recolección de datos se usó los valores promedio de las distintas medidas para realizar la validación del sistema incorporado.

Tabla 6-4: Valores promedio de las tres recolecciones de datos.

TRATAMIENTO	REPETICION	pH	C.E mS/cm	T °C
INSTRUMENTOS PORTÁTILES	1	6,47	1889,20	26,00
	2	6,44	2000,40	25,60
	3	6,30	1820,00	23,60
TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	1	6,44	1944,22	26,60
	2	6,28	2012,29	25,38
	3	6,34	1662,21	22,68

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La diferencia entre las medidas tomadas en los distintos días, tanto con instrumentos portátiles como con la tarjeta de adquisición de datos podemos observar en los siguientes gráficos:

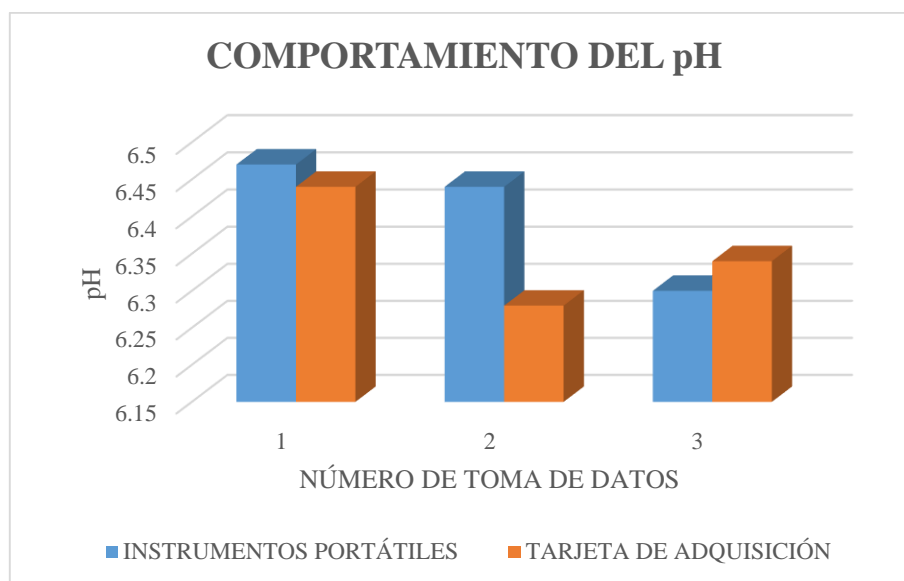


Gráfico 1-4: Mediciones de pH con la tarjeta de adquisición de datos e instrumentos portátiles.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

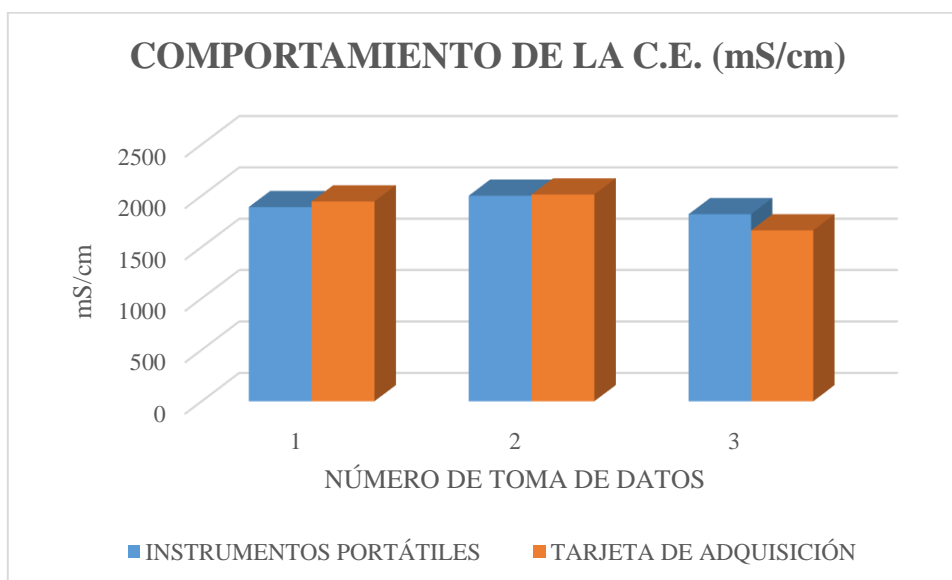


Gráfico 2-4: Mediciones de pH con la tarjeta de adquisición de datos e instrumentos portátiles.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

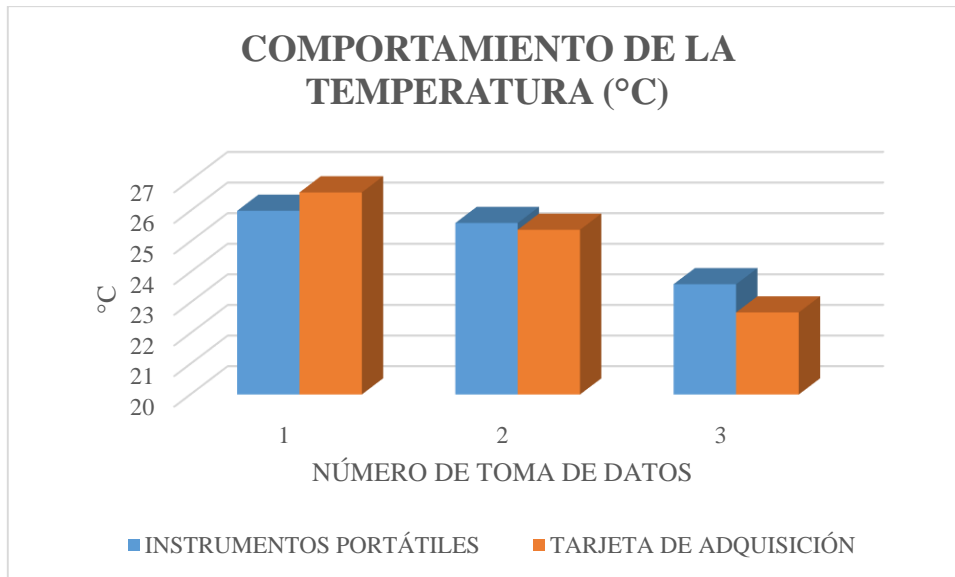


Gráfico 3-4: Mediciones de pH con la tarjeta de adquisición de datos e instrumentos portátiles.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.1.2 *Análisis de varianza para validación del sistema incorporado.*

Se hace uso del método de análisis de varianza para la comparación y validación de los sistemas de medición, tanto automático como con instrumentos portátiles, ya que se desea ver que el sistema incorporado sea efectivo.

4.1.2.1 *Método de Tukey*

Los análisis estadísticos de datos tienen la finalidad de proporcionar la suficiente información de tal forma que las cantidades experimentales garanticen los tratamientos aplicados en los ensayos realizados, sometiéndolos a un análisis de varianza para así conocer si hay la existencia de diferencias entre las medidas en los ensayos. Existen una variedad de procedimientos para realizar comparaciones múltiples entre medida, encontrando al método de Tukey como uno de los procedimientos más utilizados en investigaciones agrícolas, siendo un procedimiento favorable para el estudio realizado. (Villalpando, 2001, pp. 79-84)

El método de Tukey es de los más recomendables entre los procedimientos de comparación múltiple debido a su simplicidad y por los límites de confianza que propone dicho método, permitiéndonos ser más conservadores. Tukey es el método que mejor trabaja al no cometer errores de no incluir las dos mejores medidas en los ensayos. (Villalpando, 2001, pp. 79-84)

Para una mayor seguridad en las apreciaciones en comparaciones, se recurre al método de Tukey, que ofrece mayor confiabilidad en las pruebas de intervalos de confianza simultáneos, para de esta manera comprobar la existencia de diferencias que sean significativas entre las distintas distancias que se observen en los gráficos existentes. (Artomónova, 2010, pp. 82-83)

De esta manera, gracias al método de Tukey, no se comete errores en las distintas apreciaciones de distancias. (Artomónova, 2010, pp. 82-83)

Mediante el método de Tukey es utilizado en los análisis de varianza para lograr obtener intervalos de confianza entre las comparaciones de diferencias de los niveles de medidas y así controlar la tasa de error en un nivel establecido. El método de Tukey se puede ajustar a un nivel de confianza que este caso será al 5%. (Fallas, 2012)

El desarrollo de pruebas de medida se hace necesario para encontrar los mejores tratamientos, siendo la prueba de Tukey la más utilizada, la cual es expresada de la siguiente forma: (Reyes, 2014)

$$W = q \times \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Donde:

- q: Es el valor obtenido de la tabla de Tukey con un nivel de confiabilidad de 1% y 5%.
- CME: Es el cuadrado medio de error.
- r: Es el número de repeticiones en los tratamientos. (Reyes, 2014)

El análisis de varianza se realizará de forma independiente para el pH, conductividad eléctrica y temperatura, según los datos obtenidos con el sistema incorporado.

4.1.2.2 *Análisis de varianza para el pH.*

El análisis de varianza para pH medido cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, no presentó diferencias significativas para tratamientos, los cuales pueden ser apreciados en la tabla 8-4.

También se muestra la nomenclatura para las siguientes tablas de los distintos análisis de varianza realizados en la siguiente tabla:

Tabla 7-4: Nomenclatura para análisis de varianza.

SC	Suma de cuadrados
gl	Grados de libertad
CM	Cuadrado medio
F	Fisher
p-valor	Valor de probabilidad
sig	Significativo
ns	No significativo

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 8-4: Análisis de varianza para pH.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor	sig
TRATAMIENTO	0,0037	1	0,0037	0,51	0,5154	ns
Error	0,03	4	0,01			
Total	0,03	5				
C.V.	1,35					

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 9-4: Rangos de valores de probabilidad.

p-valor es $> 0,05$ y $> 0,01$	No significativo
p-valor es $< 0,05$ y $> 0,01$	Significativo
p-valor es $< 0,05$ y $< 0,01$	Muy significativo

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 10-4: Prueba de Tukey al 5% para pH.

TRATAMIENTO	MEDIDAS	GRUPOS
TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	6,35	A
INSTRUMENTOS PORTÁTILES	6,4	A

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

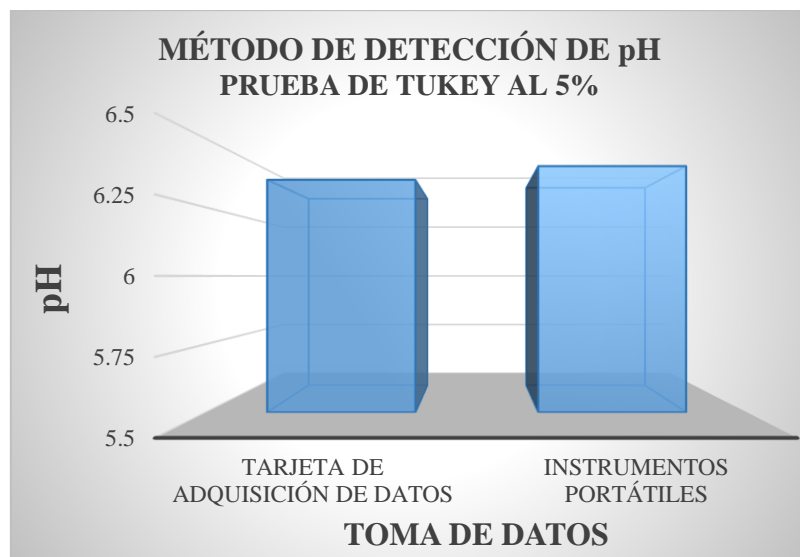


Gráfico 4-4: Prueba de Tukey al 5% para pH

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La prueba de Tukey al 5% para pH medido cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, presentó un solo grupo estadístico “A” tabla 10-4, el valor más alto con 6,35 correspondió a la medición con la tarjeta de adquisición de datos en cambio el valor más bajo a la medición con instrumentos portátiles.

Lo que significa que al no existir diferencias significativas entre los dos métodos los resultados obtenidos estadísticamente son iguales, por lo que se puede utilizar cualquiera de los dos métodos ya que ambos son precisos.

Desde el punto de vista eficiencia se recomienda utilizar el método automático porque nos permite realizar mediciones continuas, almacenamiento y procesamiento de datos automáticos.

4.1.2.3 *Análisis de varianza para la conductividad eléctrica.*

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica medida cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, no presentó diferencias significativas para tratamientos, los cuales pueden ser apreciados en la tabla 11-4.

Tabla 11-4: Valores de conductividad eléctrica según el número de variables.

Variable N	R ²	R ²	Aj	CV
C.E	6	0,02	0	7,74

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 12-4: Análisis de varianza para conductividad eléctrica.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
TRATAMIENTO	1376,53	1	1376,53	0,06	0,8122
Error	85472,47	4	21368,12		
Total	86849	5			

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 13-4: Prueba Tukey al 5% para conductividad eléctrica.

TRATAMIENTO	MEDIDAS (mS/cm)	Grupos
TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	1872,91	A
INSTRUMENTOS PORTÁTILES	1903,2	A

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Nota: Las medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

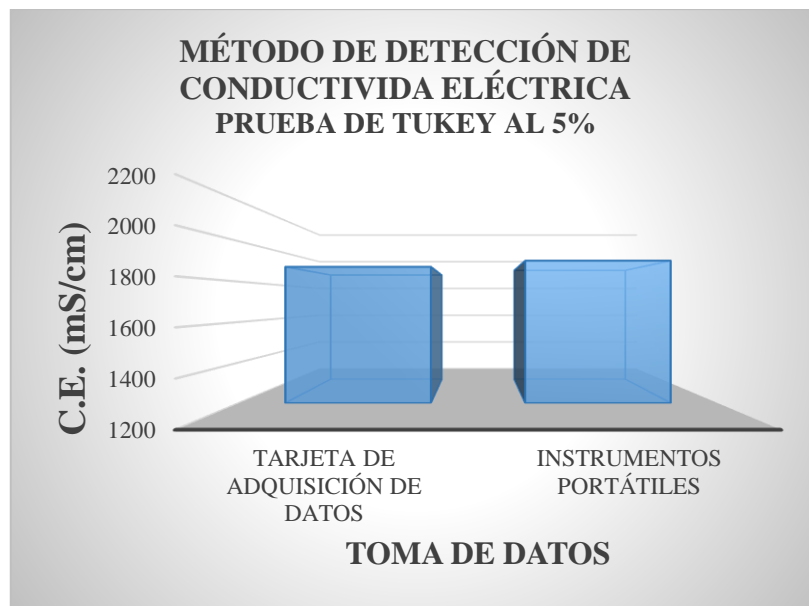


Gráfico 5-4: Prueba de Tukey al 5% para la conductividad eléctrica.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La prueba de Tukey al 5% para C.E. (conductividad eléctrica) medido cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, presentó un solo grupo estadístico “A” tabla 13-4, el valor más bajo con 1872,91mS/cm correspondió a la medición con la tarjeta de adquisición de datos en cambio el valor más alto a la medición con instrumentos portátiles.

Lo que significa que al no existir diferencias significativas entre los dos métodos los resultados obtenidos estadísticamente son iguales, por lo que se puede utilizar cualquiera de los dos métodos ya que ambos son precisos.

Desde el punto de vista eficiencia se recomienda utilizar el método automático porque nos permite realizar mediciones continuas, almacenamiento y procesamiento de datos automáticos.

4.1.2.4 Análisis de varianza para Temperatura.

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica medida cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, no presentó diferencias significativas para tratamientos, los cuales pueden ser apreciados en la tabla 14-4.

Tabla 14-4: Valores de Temperatura según el número de variables.

Variable N	R ²	R ²	Aj	CV
C.E	6	0,0043	0	6,75

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 15-4: Análisis de varianza para temperatura.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
TRATAMIENTO	0,05	1	0,05	0,02	0,9022
Error	11,35	4	2,84		
Total	11,4	5			

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Tabla 16-4: Prueba de Tukey al 5% para temperatura.

TRATAMIENTO	MEDIDAS (°C)	Grupos
TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	24,89	A
INSTRUMENTOS PORTÁTILES	25,07	A

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Nota: Las medidas con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

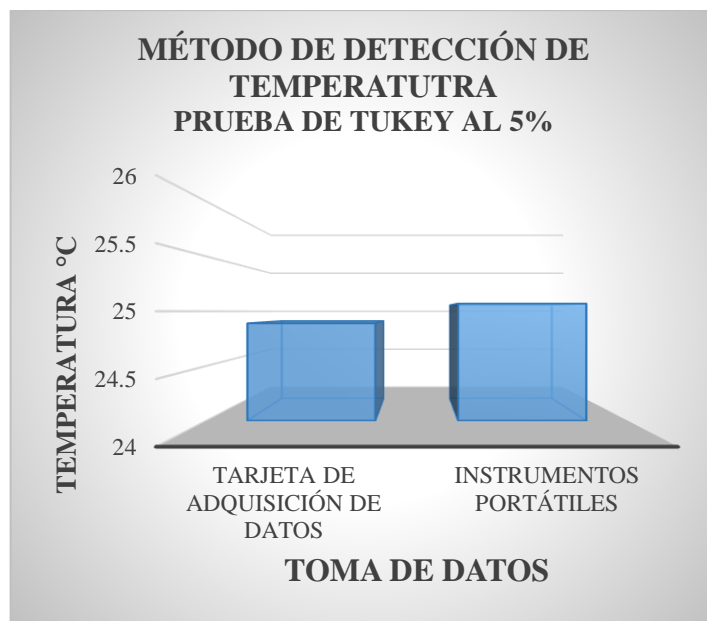


Gráfico 6-4: Prueba de Tukey al 5% para la temperatura.

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

La prueba de Tukey al 5% para Temperatura medido cada 15 minutos durante dos horas en tres días diferentes, presentó un solo grupo estadístico “A” tabla 16-4, el valor más bajo con 24,89°C correspondió a la medición con la tarjeta de adquisición de datos en cambio el valor más alto a la medición con instrumentos portátiles.

Lo que significa que al no existir diferencias significativas entre los dos métodos los resultados obtenidos estadísticamente son iguales, por lo que se puede utilizar cualquiera de los dos métodos ya que ambos son precisos.

Desde el punto de vista eficiencia se recomienda utilizar el método automático porque nos permite realizar mediciones continuas, almacenamiento y procesamiento de datos automáticos.

4.2 Análisis de costos

En el este capítulo se describe los gastos que involucra para la implementación del sistema de monitoreo en el sistema hidropónico NFT.

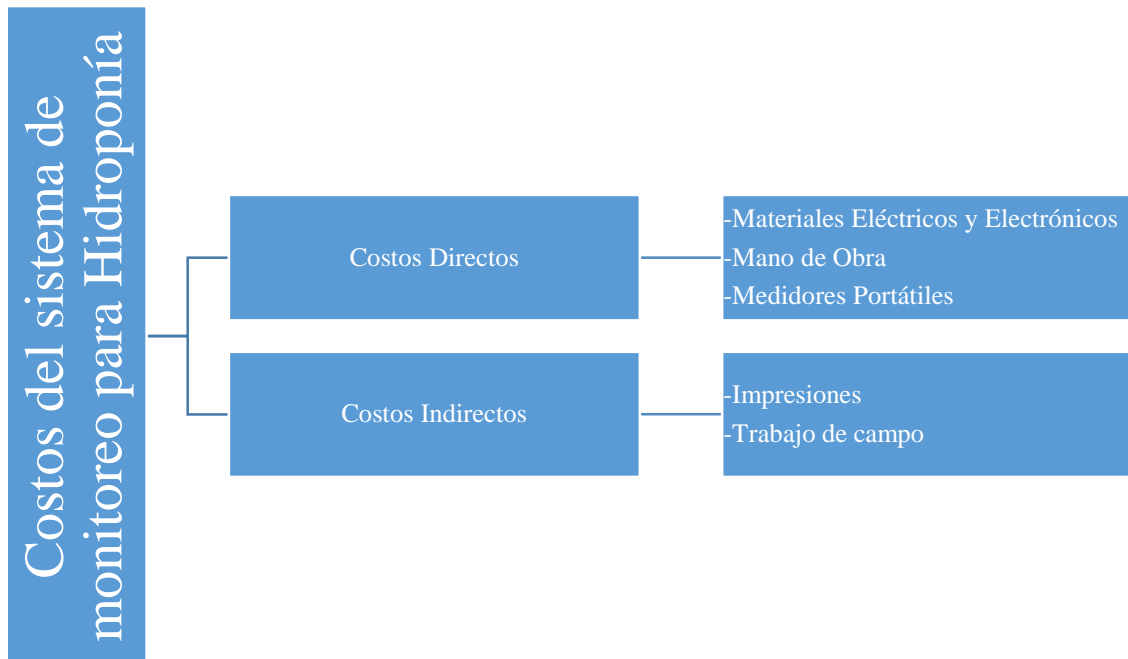


Figura 3-4: Costos del sistema de monitoreo para Hidroponía

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.2.1 Costos Directos.

Los costos directos son todos los gastos que se encuentran directamente relacionados con la construcción de la obra de un trabajo que forma parte de un proyecto (Bejarano & Cardozo, 2017, p. 28). Por lo tanto, son aquellos gastos los cuales están asignados directamente a una unidad productiva para el desarrollo de dicho proyecto el cual puede ser cuantificado e identificado de forma fácil y sencilla en el producto ya terminado. (Placencia Camacho, 2015, p. 23)

4.2.1.1 Materiales Electrónicos y Eléctricos.

El costo de los materiales electrónicos y eléctricos se puede observar en al siguiente tabla.

Tabla 17-4: Costos de Materiales Eléctricos y Electrónicos.

N°	MATERIALES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Sensor de ph y Logo_pHsensor v1.1	1	\$ 60,00	\$ 60,00
2	Max6655	1	\$ 8,00	\$ 8,00
3	Termocupla tipo K	1	\$ 6,00	\$ 6,00
4	Sensor TDS meter y driver v1.0	1	\$ 45,00	\$ 45,00
5	Arduino Uno	1	\$ 30,00	\$ 30,00
6	Sensor de flujo de agua YF-S201	1	\$ 10,00	\$ 10,00
7	Protoboard de 4 regletas	1	\$ 25,00	\$ 25,00
8	Cables arduino	1	\$ 3,00	\$ 3,00
9	Pantalla NFT 1,77''	1	\$ 20,00	\$ 20,00
10	Baquelita 20x30	3	\$ 3,50	\$ 10,50
11	Ácido Cloruro Férrico Baquelita Circuito Impreso 500g	1	\$ 6,00	\$ 6,00
12	Cautín	1	\$ 10,00	\$ 10,00
13	Estaño Baku 0.3 Mm Milímetros Sin Plomo Bk-10003	1	\$ 6,00	\$ 6,00
14	Contactador	1	\$ 55,00	\$ 55,00
15	Relay 110 V	2	\$ 3,00	\$ 6,00
TOTAL				\$ 300,50

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.2.1.2 Mano de Obra.

La mano de obra es un elemento de los costos de producción, a la que se define como el esfuerzo humano el cual interviene en el proceso de transformación de la materia prima en un producto terminado. (Placencia Camacho, 2015, p. 21)

Tabla 18-4: Costos de Mano de Obra.

N°	MANO DE OBRA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Impresión 3D de la Carcaza	1	\$ 35,00	\$ 35,00
2	Asesoramiento	1	\$ 150,00	\$ 150,00
TOTAL				\$ 185,00

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.2.1.3 Medidores portátiles.

A continuación se muestra los costos de los medidores portátiles.

Tabla 19-4: Costos de medidores portátiles.

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Medidor de pH	1	\$ 100,00	\$ 100,00
2	Medidor de C.E. y Temperatura	1	\$ 100,10	\$ 100,00
TOTAL				\$ 200,00

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.2.1.4 Valor Total de Costos Directos.

Tabla 20-4: Costos Totales del Costo Directo.

DETALLE	VALOR
MATERIALES ELÉCTRICOS Y ELÉCTRÓNICOS	\$ 300,50
MANO DE OBRA	\$ 185,00
MEDIDORES PORTÁTILES	\$ 200,00
TOTAL	\$ 685,50

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.2.2 Costos Indirectos.

Los costos indirectos son todos aquellos gastos que permiten la realización de los trabajos los cuales forman parte de un proyecto. (Bejarano & Cardozo, 2017, p. 28)

Los costos indirectos no se identifican absolutamente con el producto, siendo en éstos, no tan fácil la medición y cuantificación, de tal forma, no son asignados directamente, sino distribuidos entre las distintas unidades productivas. (Placencia Camacho, 2015)

Tabla 21-4: Costos Indirectos.

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Imprevistos	1	\$ 100,00	\$ 100,00
2	Trabajo de campo	1	\$ 500,00	\$ 500,00
TOTAL				\$ 600,00

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

4.2.3 Costos Totales.

A continuación se muestra los costos totales, siendo éstos de vital importancia para llevar a cabo la actividad económica ya sea de un proyecto o empresa. (Westreicher, 2020)

Tabla 22-4: Costos Totales.

DETALLE	VALOR
COSTOS DIRECTOS	\$ 685,50
COSTOS INDIRECTOS	\$ 600,00
TOTAL	\$1.285,50

Fuente: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

Realizado por: Freire, E. & Pujos, M., 2020.

5. CONCLUSIONES

- El estudio del estado del arte permitió conocer a detalle la información necesaria para la implementación del sistema de monitoreo de pH, C.E., temperatura, obteniendo lecturas en tiempo real de las variables, teniendo la seguridad de que serán medidas en el rango establecido de 5,5 a 6,5 para el pH, 1200 mS/cm a 2200 mS/cm para el C.E. y 24 °C a 26 °C para la temperatura según los requerimientos del departamento de horticultura de la ESPOCH, siendo éstos valores adecuados para un desarrollo correcto del cultivo.
- El estudio de las características del sistema NFT estableció correctamente los requerimientos que debe tener el sistema de monitoreo para la adquisición de datos, seleccionando los sensores adecuados que cuentan con una precisión de $\pm 0,1$ para el sensor de pH, $\pm 10\%$ para el sensor de C.E., $\pm 1,5$ °C para el sensor de temperatura, lo que valida los datos obtenidos de 6.13 para el pH, 1852 mS/cm para la C.E. y 24,6 °C para la temperatura encontrándose éstos dentro de los rangos de trabajo que son de 5,5 para el pH, 1200 mS/cm a 2200 mS/cm para el C.E. y 24 °C a 26 °C para la temperatura.
- Se concluye mediante la implementación del sistema de monitoreo en tiempo real con el uso de una tarjeta arduino y el desarrollo de una interfaz gráfica en el software Labview, que la adquisición de datos en un entorno dinámico de las variables de pH, C.E., temperatura, pueden ser obtenidos de forma continua en un rango de tiempo establecido durante el ciclo de cultivo según los requerimientos del departamento de horticultura de la ESPOCH, los cuales son exportados en una hoja de tipo Excel, ver figura 22, con su respectiva hora y fecha de obtención.
- La implementación del sistema de monitoreo tuvo un correcto funcionamiento porque al determinar mediante la prueba de Tukey al 5%, los valores tomados de las variables de pH, C.E., temperatura, del sistema hidropónico NFT son fiables, al ser comparados con un patrón de medida adquirido de forma manual, obtenido valores tanto en tomas con la DAQ de 6,35 para el pH, 1872,91 mS/cm para la C.E., 24,89 °C para la temperatura y tomas con instrumentos portátiles de 6,4 para el pH, 1903,2 mS/cm para la C.E., 25,07 °C para la temperatura, demostrando la eficiencia del sistema implementado.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la DAQ no se encuentre ubicada en un ambiente húmedo, debido a que puede dar lecturas falsas, pérdida inesperada de procesos y el deterioro de la misma, por lo cual la implementación de una caja aislante térmica es necesaria para la conservación de los componentes electrónicos.
- Se recomienda la utilización de una tarjeta de adquisición de datos que sea capaz de resistir ambientes hostiles, ambientes húmedos, polvo entre otros, los cuales pueden afectar directamente en la lectura de los datos de los sensores.
- Cada vez que empiece un nuevo ciclo de cultivo se recomienda mediante un medidor pH, C.E. y temperatura, recopilar y comparar los datos que arroje el sistema de monitoreo para ver que se encuentren en los rangos de trabajo de 5,5 a 6,5 para el pH, 1200 mS/cm a 2200 mS/cm para la C.E. y 24 °C a 26 °C para la temperatura.
- Se recomienda mantener el sistema energizado ya sea con un sistema de generación alterna o un banco de baterías en el departamento de horticultura de la ESPOCH, debido a posibles fallas o interrupciones en el sistema eléctrico y así evitar la pérdida repentina de los datos monitoreados.

GLOSARIO

Actuador: Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar fuerza para mover otro dispositivo mecánico.

(Crespo, 2016)

Autocebante: Indica que no necesita de una válvula de retención para aspirar, generando gran caudal y poca presión. (Schraiber, 2020)

Centrífugo: Que se aleja del centro del cual gira. (López, 2002)

Eficiencia: Es el uso óptimo y adecuado de recursos, es gestionar y utilizar de la manera más adecuada los recursos que tenemos. (Mejía, 2014)

Electromagnético: Parte de la física que estudia las acciones y reacciones de las corrientes eléctricas sobre los imanes. (López, 2002)

Fiabilidad: Asegurar o garantizar que un aparato o dispositivo cumpla con lo ofrecido. (López, 2002)

Interfaz: Elemento de conexión entre dispositivos de aparatos informáticos que permiten el intercambio de información. (López, 2002)

Potenciómetro: Es un resistor eléctrico con un valor de resistencia variable y generalmente ajustable manualmente, utilizados generalmente en circuitos de poca corriente. (Ingeniería Mecafenix, 2017)

Resolución: Medida del menor incremento o disminución en posición que pueda medir. (Celera, 2020)

Voluta: Es la carcasa de una bomba que recibe fluido que bombea el impulsor, lo que reduce la velocidad del flujo del fluido, convirtiendo la energía cinética en presión al reducir la velocidad al tiempo que aumenta la presión. (Connor, 2019)

BIBLIOGRAFÍA

ALLAICA, S., & GUALLI, M. Diseño e Implementación de un Prototipo de Red de Sistema de Comunicación, Monitoreo de Nutrientes PH-CE, Control de Temperatura y Flujo de Agua usando Tecnología Movil GSM/GPRS para Cultivos Hidropónicos [en línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Informática y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Telecomunicaciones y Redes. Riobamba-Ecuador. 2015. pp. 37-52 Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5048>.

ANGELO. *PH meter(SKU SEN0161)*. [blog]. [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: [https://github.com/jimaobian/DFRobotWiki/wiki/PH_meter\(SKU__SEN0161\)](https://github.com/jimaobian/DFRobotWiki/wiki/PH_meter(SKU__SEN0161)).

ARDUINO. *Características técnicas del ARDUINO UNO*. [blog]. [Consulta: 01 abril 2020]. Disponible en: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Características-Arduino.pdf>.

ARÉVALO, C., & FIGUEROA, D. Diseño, construcción y automatización de un dispositivo cerrado para cultivos orgánicos en el hogar [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Piloto de Colombia, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Mecatrónica. Bogotá-Colombia. Año. 2018. pp. 23-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1512126><https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.10.035><https://doi.org/10.1007/s40430-018-1489-6><https://doi.org/10.1007/s40436-018-0221-1><https://doi.org/10.1080/21693277.2017.1357055><http://dx.doi.org/10.1080/21693277.2017.1357055>

ARTOMÓNOVA, I., FERNANDEZ, S., & MOSQUERA, J. "Análisis del Rendimiento de los Estudiantes Aplicando Diseño de Experimentos: Caso Particular". *Red de revistas científicas de América Latina* [en línea], 2010, (Colombia), pp. 78-83. [Consulta: 07 julio 2020]. ISSN 0122.1701. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316014.pdf>.

ATMEGA. *Max6675 driver para termocupla tipo k - MakerElectronico*. [blog]. [Consulta: 30 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.makeelectronico.com/max6675-driver-para-termocupla-tipo-k/>.

BARBARO, L., KARLANIAN, M., & MATA, D. "Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (C.E.) en los sustratos para plantas". *Instituto de Floricultura CIRN, Ministerio de agricultura y ganaderia* [en línea], 2005, (Argentina), pp. 1-5. [Consulta: 30 marzo 2020]. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf.

BEDÓN, K., & TOVAR, A., Implementación de un sistema de control automático con monitoreo a través de la web para la producción de tomate riñón variedad Daniela basado en la agricultura hidropónica y control de riego de agua por goteo en el invernadero localizado en el barrio San [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Eléctrica y Electrónica, Carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. 2016. pp. 5-28. [Consulta: 29 marzo 2020] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/12404>.

BEJARANO, A., & CARDOZO, E. Análisis de Costo y Ventas de un Proyecto con Variación en el Tiempo de Ejecución [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Católica de Colombia Facultad de Ingeniería, Ingeniería Civil, Bogotá-Colombia. 2017. p. 28. [Consulta: 10 julio 2020] Disponible en: [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15385/1/ANALISIS DE COSTOS Y VENTAS.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15385/1/ANALISIS_DE_COSTOS_Y_VENTAS.pdf).

BELTRANO, J., & GIMENEZ, D. *Cultivo en hidroponía* [en línea], Buenos Aires-Argentina: Editorial de la Universidad de la plata, 2015. [Consulta: 03 abril 2020]. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1.

BEN. *What is an Arduino* [blog]. [Consulta: 27 marzo 2020]. Disponible en: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino>.

BOTSHOP. *How to use a pH sensor with Arduino* [blog]. [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.botshop.co.za/how-to-use-a-ph-probe-and-sensor/>.

BRENES, L., & JIMÉMEZ, M. "Manual de Producción Hidropónica para Hortalizas de Hoja en Sistema NFT (Nutrient Film Technique)". *Escuela de Agronegocios* [en línea], 2016, (Costa Rica), pp. 26. [Consulta: 10 abril 2020]. ISBN 978-9968-641-32-6. Disponible en: <http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6581/manual-hidroponia-NFT.pdf?sequence=1>.

BUENDÍA MUCIÑO, R., CEDILLO, A., & VEGA, G. Diseño de un invernadero automatizado con cultivo hidropónico vertical de lechugas en el Rosario, Cuautitlán, Estado de México [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Instituto Politécnica Nacional. México D.F.-México. 2012. pp. 20-31. [Consulta: 10 abril 2020]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12925/im226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CABALLERO, D. *Cómo Usar un Sensor de pH con Arduino* [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>.

CASTAÑO GIRALDO, S.A. *Termopar tipo K con PIC* [blog]. [Consulta: 2 abril 2020]. Disponible en: <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/termopar-tipo-k-con-pic/>.

CASTILLO, L. *Los cultivos hidropónicos toman impulso en Cuenca* [blog]. [Consulta: 27 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/cultivos-hidroponicos-toman-impulso-cuenca.html>.

CAZCO, L., & IÑIGUEZ, I. Diseño E Implementación De Un Prototipo Con HMI Para Automatizar Procesos De Cultivo Hidropónico De Lechuga [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Redes Industriales. Riobamba-Ecuador. 2015. pp. 26-42. [Consulta: 25 mayo 2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/3185>.

CELERA. *Precisión, resolución, repetibilidad* [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/precision-resolucion-repetibilidad/>

CONNOR, N. *Qué es la carcasa - Voluta* [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-carcasa-voluta-definicion/>

CRESPO, E. *Sensores y actuadores.* [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/18/sensores-y-actuadores/>

CRUZ, J., & RODRÍGUEZ, A. Diseño y Fabricación De Un Sistema Hidráulico De Presión Constante [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Electrónica. Bogotá-Colombia. 2017. pp. 21-24. [Consulta: 05 abril 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/fda7/e7046125e0ba8da7ecf879eb487ca45f3327.pdf>.

DFROBOT. *Gravity Analog TDS Sensor Meter For Arduino* [blog]. [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor__Meter_For_Arduino_SKU__SEN0244#target_3.

DOMINGUES, D., TAKAHASHI, H., CAMARA, C., & NIXDORF, S. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture* [en línea], 2012, (Brasil), pp. 5-9. [Consulta: 10 abril 2020]. ISSN 01681699. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>.

ESTRADA, J. Efecto de la iluminación LEDs de 150 W en la producción aeropónica de acelga (*Beta vulgaris* subsp. *Vulgaris* L.) VAR. FORD HOOK GIANT en invernadero (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador. 2020. pp. 23-24.

FALLAS, J. Análisis de varianza. *Revista Chilena de Anestesia* [en línea], 2012, (Chile). [Consulta: 03 julio 2020]. ISSN 07164076. Disponible en: http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf.

FILHO, A., VIEIRA, C., ALMEIDA, M.R. de Q., FERNANDES, J., DA SILVA, C., & FERNANDES, P. Monitoring, calibration and maintenance of optimized nutrient solutions in curly lettuce (*Lactuca sativa*, L.) hydroponic cultivation. *Australian Journal of Crop Science* [en línea], (Brasil). [Consulta: 15 abril 2020]. ISSN 18352707. Disponible en: http://www.cropj.com/filho_12_4_2018_572_582.pdf.

GEEK FACTORY. *Termopar con Arduino y MAX6675 medición de temperatura - Geek Factory* [blog]. [Consulta: 30 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/termopar-con-arduino-y-max6675-medicion-de-temperatura/>.

GILSANZ, J. *Hidroponía* [en línea], Montevideo-Uruguay: INIA, 2007. [Consulta: 03 mayo 2020]. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/520/1/11788121007155745.pdf>.

HERNÁNDEZ, C., & DÍAZ, L. *Automatización De Cultivos Hidroponicos* [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad De Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Bogotá-Colombia. 2003. pp. 12-13. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15972/u239836.pdf?sequence=1>.

INCA, S. *Automatización Y Control Del Sistema Nft Para Cultivos Hidropónicos* [en línea]. (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica. Lima-Perú. 2013. pp. 8-22. [Consulta: 30 marzo 2020]. Disponible en: <http://168.121.49.87/handle/urp/405>.

INGENIERÍA MECAFENIX. *Potenciómetro ¿Qué es y como funciona?*. [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/potenciometro/>

KULARBPHEITONG, K., AMPANT, U., & KONGRODJ, N. An Automated Hydroponics System Based on Mobile Application. *International Journal of Information and Education Technology* [en línea], 2019, (Thailand). [Consulta: 30 marzo 2020]. ISSN 20103689. Disponible en: <http://www.ijiet.org/vol9/1264-FE1001.pdf>.

LINZ ELECTRIC. Electrobombas Con Rodete Periférico. *Linz Electric. 2008. (Italia).*

LÓPEZ, A. *Diccionario enciclopédico universal.* Madrid-España: Cultural, S. A., 2002. ISBN 84-8055-210-7

LÓPEZ, G., & HEREDIA, M. Producción y Comercialización de Lechugas y Tomates Hidropónicos en la Ciudad de Guayaquil [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Facultad de Ciencias Económicas, Carrera de Gestion Emperesaila Internacional. Guayaquil-Ecuador. 2013. p. 22. [Consulta: 20 abril 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8638/1/T-UCSG-PRE-ECO-GES-398.pdf>.

LOYOLA. *Balanza Digital Camry Ref.Ek3252 5kg.* [blog]. [Consulta: 9 abril 2020]. Disponible en: <http://comercialloyola.blogspot.com/2012/08/balanza-digital-camry-gris-5-kilos.html>.

LÜBBERT, J. Análisis, Diseño Y Construcción De Un Sistema Hidropónico Automatizado Para Autoconsumo De Vegetales Y Plantas Ornamentales [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad De Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial. Santiago de Chile-Chile. 2016. p. 9. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84900384797&partnerID=tZOtx3y1%5Cnpapers://cfc50b6a-2d9e-4feb-87e5-d6012043bd5a/Paper/p1846%0Ahttps://search.proquest.com/central/docview/1833161180/357EB746D9A34383PQ/2?accountid=188730>.

MARMOLEJO, R. *Arduino timer - Interrupciones con el Timer2.* [blog]. [Consulta: 4 abril 2020]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/arduino-timer/>.

MAXIM. *Cold Junction Compensated K-Thermocouple to Digital Converter (0°C to +1024°C).* Source [blog]. Disponible en: <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/280/MAX6675ISA-pdf.php>.

MECATRONIUM. *Tutorial sensor de flujo YF-S201. Mecatronium chips* [blog]. [Consulta: 2 abril 2020]. Disponible en: <https://chips.mecatronium.com/tutorial-sensor-de-flujo-yf-s201/>.

MEJÍA, J. *Eficacia, eficiencia y efectividad* [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <http://conceptosingindustrial.blogspot.com/2014/10/eficacia-eficiencia-y-efectividad.html>

MELÉNDEZ, M., HERNÁNDEZ, F., & MIRANDA, R. *Sistema Inteligente para Automatizar el cultivo hidropónico de tomate* [blog]. Disponible en: https://www.academia.edu/11059887/Sistema_Inteligente_para_Automatizar_el_cultivo_hidropónico_de_tomate.

NATIONALINSTRUMENTS. *Qué es Adquisición de Datos* [blog]. [Consulta: 27 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.

OLIVEIRA, J. *Curso de Hidroponía* [blog]. [Consulta: 27 marzo 2020]. Disponible en: <http://cursohidroponiadomestico.blogspot.com/>.

PEAKMETER. *Sensor TDS analógico de conductividad del agua para Arduino Módulo de monitoreo de calidad del agua para detección de líquidos DIY TDS* [blog]. [Consulta: 29 marzo 2020]. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/33019878588.html>.

PLACENCIA, M. Los Costos de Producción y la Fijación de Precios de Venta de la Empresa Confecciones MARCETEX [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Contabilidad y Auditoría, Carrera de Contabilidad y Auditoría. Amabto-Ecuador. 2015. pp. 21-23. [Consulta: 03 julio 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18810/1/T3355i.pdf>.

RAMÍREZ, E. Estudio De Bombas Centrífugas Y Su Factibilidad De Aplicación En La Facultad De Ingeniería Mecánica Con La Finalidad De Obtener Parámetros Técnicos Con Variación De Caudal [en línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica. Ambato-Ecuador. 2012. p. 11. [Consulta: 23 mayo 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/2155>.

REYES, L. *Prueba De Tukey Para Experimentos Desbalanceados* [blog]. [Consulta: 13 agosto 2020]. Disponible en: <http://reyesestadistica.blogspot.com/2014/05/prueba-de-tukey-para-experimentos.html>.

RINCÓN, A., & RENDÓN, A. Diseño e Implementación de Sistema SCADA para el Monitoreo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Ingeniería Mecatrónica. Pereira-Colombia. 2016. pp. 47-48. [Consulta: 16 agosto 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/47233549-Diseno-e-implementacion-de-sistema-scada-para-el-monitoreo-de-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>.

SCHRAIBER. *Productos-bombas* [blog]. [Consulta: 15 agosto 2020]. Disponible en: <http://www.schraiber.net/productos/autocebante-de-piscina-e-hidromasaje/#0>

VILLALPANDO, J., CASTILLO, A., RAMÍREZ, M., RENDÓN, G., & LARQUÉ, M., "Comparación de los Procedimientos de Tukey, Duncan, Dunnett, HSU y Bechhofer para Selección de Medidas". *Agrociencia* [en línea], 2001, (México). pp. 79-84. [Consulta: 29 junio 2020]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30235107>.

VISTRONICA. *Módulo Para Termocupla MAX6675* [blog]. [Consulta: 30 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.vistronica.com/sensores/temperatura/modulo-para-termocupla-max6675-detail.html>.

WESTREICHER, G. *Coste total* [blog]. [Consulta: 14 agosto 2020]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/coste-total.html>.