

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS  
DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO DE PROTOTIPO DE UN  
SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y  
CONTROL DE FLUJO PARA UN  
SISTEMA HIDROPÓNICO NFT**

TESIS

Que para obtener el Título de

**INGENIERO ELECTRICISTA**

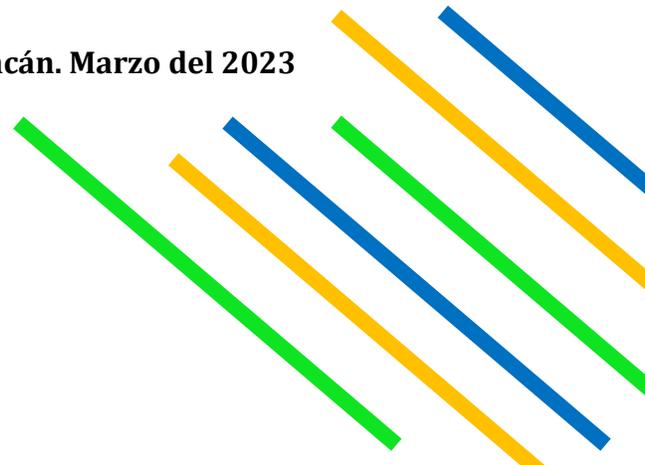
Presenta

**Andrés Vargas Solís**

Director de Tesis

**M.C. Miguel Roque Vasquez Hernández**

**Morelia, Michoacán. Marzo del 2023**



# Agradecimientos

A Dios por brindarme la sabiduría, fuerza y persistencia de terminar mis estudios de Licenciatura, a pesar de las dificultades a las que me he enfrentado.

A mis padres José Luis Vargas Medina e Irma Solís Flores por llevarme por el camino correcto e inculcar en mí la pasión por el estudio, el trabajo y estar a mi lado en los momentos difíciles.

A mis hermanos Luis Aurelio, Perla Yoselin y Arturo Alejandro que han sido parte de parte de mi vida y apoyo.

A mis tías Guadalupe Vargas M. y Estela Vargas M. que han sido un apoyo e impulsores de mi desarrollo.

A la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, por abrirme sus puertas y adquirir conocimientos valiosos.

A mi asesor Miguel Roque Vázquez Hernández, por el invaluable conocimiento y apoyo, que sin duda enriquecieron la presente tesis.

A los profesores del laboratorio de Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica por los conocimientos que se me fueron otorgados con la pasión y el compromiso.

# Dedicatorias

A mi padre ya que ha sido mi mentor, el más grande Padre e Ingeniero y a mi Madre que detrás de un gran hombre hay una gran mujer y un pilar.

A Luis Aurelio Vargas Solís, Perla Yoselin Vargas Solís y Arturo Alejandro, mis hermanos que me dieron el apoyo y son parte importante de mi formación.

A Guadalupe Vargas Medina y Estela Vargas Medina, mis tías, por el apoyo a lo largo mi Licenciatura.

# Epígrafe

La ciencia no es sino una perversión de sí misma,  
a menos que tenga como objetivo final  
el mejoramiento de la humanidad.

**Nikola Tesla** (1856-1943)

# Abstract

This research and prototype thesis arises from the current challenges in Mexican agriculture and emphasizing efficiency in the use of resources such as water, electricity, nutrients and high costs of control technology, but contributing to other factors such as urban poverty, mega urbanization and pollution.

Modern Hydroponic Systems are a sustainable alternative, whether large or small spaces, which require meeting certain optimal conditions such as: sources of drinking water or rain, spaces with minimum solar radiation of 5 hours a day, plus the nutrients necessary for growth. crop development.

The incorporation of technologies such as microcontrollers is increasingly relevant and making use of it is pertinent by creating a water or nutrient solution pumping (irrigation) system and observing the main variables to be controlled, such as: PH, total sales dissolved in a solution, temperature and relative humidity each with its necessary sensors and actuators for a scalable basic hydroponic system.

As more important future works, already knowing the behavior of the variables, it is possible to make an automation implementation to a hydroponic system, not only with the on and off control of the pumping system, but also control of said variables of crop growth.

**Keywords:** electrical consumption, hydroponics, pumping system, observation, microcontroller.

# Resumen

La presente tesis de investigación y prototipo nace de los desafíos actuales en la agricultura mexicana y poniendo énfasis la eficiencia en el uso de los recursos como el agua, energía eléctrica, nutrientes y gastos elevados de la tecnología de control, pero contribuir a otros factores como pobreza urbana, mega urbanización y contaminación.

Los Sistemas Hidropónicos modernos son una alternativa sustentable ya sea en gran dimensión o espacios pequeños, los cuales requieren cumplir ciertas condiciones óptimas como: fuentes de agua potable o de lluvia, espacios con radiación solar mínima de 5 horas diarias, más los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo.

La incorporación de tecnologías como los microcontroladores es cada vez es más relevante y hacer uso de ella es pertinente creando un sistema de bombeo (riego) de agua o solución nutritiva y observación de las principales variables a controlar como lo es: PH, total de sales disueltas en una solución, temperatura y de humedad relativa cada una con sus sensores y actuadores necesarios para un sistema hidropónico básico escalable.

Como trabajos futuros más importantes, ya conociendo el comportamiento de las variables, es posible hacer una implementación de automatización a un sistema hidropónico, no solo con el control de encendido y apagado del sistema de bombeo, sino también controlar de dichas variables de crecimiento del cultivo.

**Palabras clave:** consumo eléctrico, hidroponía, sistema de bombeo, observación, microcontrolador.

# Índice

Agradecimientos .....	I
Dedicatorias .....	II
Epígrafe.....	III
Abstract.....	IV
Resumen.....	V
Índice .....	VI
Índice de ilustraciones.....	XI
Índice de tablas .....	XIII
Lista de símbolos y abreviaciones .....	XIV
Glosario.....	XVII
<b>Capítulo 1 introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1    Antecedentes .....	2
1.2    Estado del arte.....	4
1.3    Problemática .....	5
1.4    Objetivos de la tesis .....	6
1.4.1    Objetivo general.....	6
1.4.2    Objetivos particulares .....	6
1.5    Justificación .....	6
1.6    Hipótesis .....	7
1.7    Metodología .....	8
1.8    Descripción de los capítulos .....	8
<b>Capítulo 2 Fundamentos Teóricos.....</b>	<b>10</b>
2.1    La agricultura.....	10
2.1.1    Factores biológicos, climatológicos y físicos.....	10
2.1.1.1    Genéticos y epigenéticos.....	10
2.1.1.2    Climatológicos .....	10
2.1.2    Factores humanos.....	11
2.2    Sistemas de cultivo .....	12
2.3    Hidroponía .....	12
2.4    Ventajas y desventajas de la hidroponía .....	13
2.5    Componentes de un sistema hidropónico.....	14
2.6    Clasificación de los sistemas de cultivo hidropónico .....	15

2.7	Sistemas hidropónicos .....	16
2.7.1	Sistema Static Aereated Technique (SAT) .....	16
2.7.2	Sistema Ebb and Flow Technique (EFT).....	16
2.7.3	Sistema Deep Flow Technique (DFT) .....	16
2.7.4	Aerated Flow Technique (AFT).....	17
2.7.5	Nutrient Film Technique (NFT).....	17
2.7.6	Drip Irrigation Technique (DIT) .....	17
2.7.7	Root Mist Technique (RMT) .....	17
2.8	Sistema NFT .....	18
2.9	Componentes y materiales de un sistema NFT .....	19
2.9.1	Invernadero .....	19
2.9.2	Tipos de invernadero.....	19
2.9.3	Selección y características del invernadero.....	19
2.9.3.1	Localización .....	20
2.9.3.2	Estructura y dimensiones .....	20
2.9.3.3	Protección y sanidad .....	20
2.9.4	Estanque colector .....	21
2.9.5	Canales de cultivo .....	22
2.9.6	Bomba .....	23
2.9.7	Red de distribución .....	24
2.9.8	Red colectora.....	25
2.10	Variables técnicas, físicas y químicas de un sistema NFT.....	25
2.10.1	Agua.....	26
2.10.2	Iluminación y radiación solar.....	26
2.10.3	Temperatura del microambiente .....	28
2.10.4	Humedad del microambiente .....	29
2.10.5	Dióxido de carbono.....	30
2.10.6	Nutrición vegetal.....	30
2.10.6.1	Macronutrientes .....	31
2.10.6.2	Micronutrientes .....	32
2.10.7	Solución nutritiva.....	32
2.10.7.1	Factores que afectan la solución nutritiva .....	33
2.10.8	Potencial de hidrógeno de la solución nutritiva .....	33
2.10.9	Conductividad de la solución nutritiva .....	34
2.10.10	Oxigenación de la solución nutritiva.....	36

2.10.11	Formulación y preparación de la solución nutritiva.....	36
2.10.12	Control y renovación de la solución nutritiva .....	38
2.10.13	Flujo de la solución nutritiva .....	38
2.10.14	Nivel de la solución nutritiva .....	39
2.10.15	Selección y características fisicoquímicas del cultivo de un sistema NFT .	39
2.10.15.1	Datos generales .....	39
2.10.16	Especificaciones del cultivo.....	40
<b>Capítulo 3 Selección e Instrumentación de Sensores y Actuador .....</b>		<b>41</b>
3.1	Software Proteus VMS.....	41
3.1.1	Interfaz de ISIS .....	42
3.1.2	Interfaz ARES .....	43
3.2	Arduino .....	43
3.2.1	Hardware.....	43
3.2.2	Software .....	44
3.2.3	Ventajas de elegir Arduino .....	45
3.2.4	Arduino UNO R3 .....	46
3.2.5	Especificaciones de Arduino UNO R3 .....	46
3.2.5.1	Pines de alimentación y suministro de voltaje .....	47
3.2.5.2	Entradas/salidas analógicas y digitales .....	47
3.2.5.3	Otros pines de la placa Arduino .....	48
3.2.5.4	Protocolo de comunicación I <sup>2</sup> C/TWI y SPI .....	48
3.3	Módulo I <sup>2</sup> C.....	49
3.3.1	Especificaciones del módulo I <sup>2</sup> C .....	50
3.3.2	Conexión en hardware Arduino y módulo I <sup>2</sup> C.....	50
3.3.3	Programación en software Arduino del módulo I <sup>2</sup> C .....	50
3.4	Módulo RTC .....	51
3.4.1	Especificaciones del módulo RTC TINY – DS1307 .....	52
3.4.2	Conexión en hardware Arduino del módulo RTC TINY – DS1307.....	53
3.4.3	Programación en software Arduino del módulo RTC TINY – DS1307 .....	53
3.5	Módulo LCD .....	56
3.5.1	Especificaciones la pantalla LCD .....	57
3.5.2	Conexión de pantalla LCD con módulo I <sup>2</sup> C.....	57
3.5.1	Programación en software Arduino de la pantalla LCD y módulo I <sup>2</sup> C.....	57
3.6	Actuadores .....	58
3.6.1	Actuador relevador.....	58

3.6.1.1	Especificaciones de módulo relevador.....	60
3.6.1.2	Conexión en hardware Arduino del módulo relevador .....	60
3.6.1.3	Programación en software Arduino del módulo relevador .....	61
3.6.2	Bomba .....	61
3.6.2.1	Especificaciones de la bomba sumergible.....	63
3.6.2.2	Conexión de la bomba sumergible.....	63
3.7	Sensores .....	63
3.7.1	Calibración.....	64
3.7.2	Sensor de temperatura y humedad .....	64
3.7.2.1	Características .....	65
3.7.2.2	Conexión del sensor de temperatura y humedad AMT1001.....	66
3.7.2.3	Funcionamiento y lenguaje de programación del sensor de temperatura y humedad AMT1001 .....	66
3.7.2.4	Protocolo de calibración del sensor de temperatura y humedad AMT1001	67
3.7.3	Sensor PH.....	71
3.7.3.1	Características eléctricas del sensor de PH-4502C .....	72
3.7.3.2	Conexión del sensor de PH-4502C en Arduino .....	73
3.7.3.3	Funcionamiento y lenguaje de programación del sensor de PH-4502C .....	74
3.7.3.4	Protocolo de calibración del sensor de PH-4502C.....	75
3.7.4	Sensor total de solidos disueltos .....	79
3.7.4.1	Características del modulo y sonda del sensor de total de sales disueltas ..	80
3.7.4.2	Conexión del módulo y sonda del sensor de total de sales disueltas .....	81
3.7.4.3	Funcionamiento y lenguaje de programación del módulo y sonda del sensor de total de sales disueltas .....	81
3.7.4.4	Protocolo de calibración del módulo y sonda del sensor de total de sales disueltas .....	82
3.7.5	Sensor de presión con columna de nivel de líquido.....	86
3.7.5.1	Características del sensor de presión del sistema de nivel de liquido.....	87
3.7.5.2	Conexión del sensor de presión del sistema de nivel de liquido.....	87
3.7.5.3	Funcionamiento y lenguaje de programación del sensor de presión del sistema de nivel de liquido.....	87
3.7.5.4	Protocolo de calibración del sensor de presión del sistema de nivel de liquido .....	90
<b>Capítulo 4 Sistema de Observación y Actuación para un Sistema Hidropónico .....</b>		<b>94</b>
4.1	Diagrama de flujo y código para la simulación en interfaz ISIS de Proteus.....	94
4.2	Simulación del sistema en la interfaz ISIS de Proteus .....	96

4.3	Propuesta de funcionamiento del sistema de observación .....	98
4.4	Implementación del circuito y prototipo del sistema de observación .....	102
4.5	Análisis de costos del sistema de observación .....	103
<b>Capítulo 5 Conclusiones Y Trabajos Futuros .....</b>		<b>105</b>
5.1	Conclusiones .....	105
5.2	Trabajos futuros .....	106
Referencias.....		<b>107</b>
Anexos .....		<b>109</b>
Anexo 1. Sensor de humedad y temperatura.....		109
Anexo 2. Sensor de PH .....		110
Anexo 3. Sensor de conductividad eléctrica .....		110
Anexo 4. Sensor de presión .....		111
Anexo 5. Programa principal del sistema de observación .....		112
Anexo 5.1. Desarrollo de prototipo.....		115

# Índice de ilustraciones

Ilustración 1-1.- Chinampa mexicana museo de antropología México [5].....	2
Ilustración 1-2.- Metodología de Tesis. ....	8
Ilustración 2-1.- Relación de los componentes de un sistema hidropónico [6].....	15
Ilustración 2-2.- Sistema Hidropónico Flujo y Reflujo.....	16
Ilustración 2-3.- Sistema de Hidropónico Raíz Flotante. ....	16
Ilustración 2-4.- Sistema Hidropónico NFT. ....	17
Ilustración 2-5.- Sistema Hidropónico por goteo. ....	17
Ilustración 2-6.- Sistema Hidropónico Aeroponía. ....	18
Ilustración 2-7.- Técnica de Solución Nutritiva. ....	18
Ilustración 3-1.- Ventana inicial de Proteus 8.11 Professional. ....	42
Ilustración 3-2.- Espacio de trabajo ISIS. ....	43
Ilustración 3-3.- ARDUINO UNO R3 [17]. ....	44
Ilustración 3-4.- Entorno de desarrollo Integrado de ARDUINO o IDE. ....	45
Ilustración 3-5.- Modulo I <sup>2</sup> C.....	49
Ilustración 3-6.- Conexiones en ARDUINO UNO del módulo I <sup>2</sup> C.....	50
Ilustración 3-7.-Código básico de LCD I2C [20]. ....	51
Ilustración 3-8.- Reloj RTC Tiny I <sup>2</sup> C.....	52
Ilustración 3-9.- Conexión del Módulo RTC Tiny-DS1307. ....	53
Ilustración 3-10.-Código básico del módulo DS1307 para poner en tiempo [21]. ....	54
Ilustración 3-11.-Código con librerías DS1307RTC y TimeLib [21].....	55
Ilustración 3-12.- Monitor serial y ejecución del algoritmo DS1307. ....	55
Ilustración 3-13.- Dimensión y partes de una LCD. ....	56
Ilustración 3-14.- Conexión de pantalla LCD con I <sup>2</sup> C en ARDUINO.....	57
Ilustración 3-15.- Código básico de LCD I2C [20].....	58
Ilustración 3-16.- Modulo Relay Driver 2 Canales.....	59
Ilustración 3-17.- Circuito de módulo relevador driver [22].....	60
Ilustración 3-18.- Conexión del módulo relé 2 canales.....	60
Ilustración 3-19.- Código de relevadores de 2 canales en ARDUINO. ....	61
Ilustración 3-20.- Bomba sumergible CD 12-24V.....	62
Ilustración 3-21.- Conexión de bomba sumergible.....	63
Ilustración 3-22.- Sensor de Temperatura AMT1001 (AOSONG).....	65
Ilustración 3-23.- Conexión de Sensor AMT1001 en ARDUINO.....	66
Ilustración 3-24.-Instrucciones en Software ARDUINO. ....	67
Ilustración 3-25.- Alimentación del sensor AMT1001. ....	68
Ilustración 3-26.- Prueba de funcionamiento y lecturas en el monitor serial.....	68
Ilustración 3-27.- Grafica y ecuación de la recta del sensor AMT1001. ....	69
Ilustración 3-28.- Termo-higrómetro digital para interiores y exteriores. ....	70
Ilustración 3-29.- Lectura generada con la ecuación de la recta del sensor AMT1001. ....	70
Ilustración 3-30.- Reajuste de la ecuación y lecturas obtenidas del sensor AMT1001.....	71
Ilustración 3-31.- Sensor de Potencial de hidrogeno 4502C.....	72
Ilustración 3-32.- Conexión de Modulo sensor PH en ARDUINO. ....	73

Ilustración 3-33.- Instrucciones en software ARDUINO del PH sensor.....	74
Ilustración 3-34.- Alimentación de modulo y sonda de PH-4502C. ....	75
Ilustración 3-35.- Lecturas del sensor PH-4502C en monitor serial. ....	76
Ilustración 3-36.- Grafica y ecuación de la recta del sensor PH-450C. ....	76
Ilustración 3-37.- Medidor PC45 para mesa de PH, Conductividad y Resistividad. ....	77
Ilustración 3-38.- Lectura generada del sensor PH-450C con la ecuación de la recta. ....	78
Ilustración 3-39.- Lectura de reajuste de la ecuación de la recta y potenciómetro offset. ....	79
Ilustración 3-40.- Modulo y sonda TDS Meter V1.0.....	80
Ilustración 3-41.- Conexión de sensor TDS en ARDUINO.....	81
Ilustración 3-42.- Instrucciones en software ARDUINO.....	82
Ilustración 3-43.- Alimentación de modulo y sonda TDS Meter V1.0. ....	83
Ilustración 3-44.- Lectura inicial del TDS Meter V1.0.....	83
Ilustración 3-45.- Grafica y ecuación de la recta del sensor TDS Meter V1.0. ....	84
Ilustración 3-46.- Medidor de conductividad HACH 51800-10 sensION 5. ....	85
Ilustración 3-47.- Lectura generada del sensor TDS Meter V1.0 con la ecuación de la recta. ....	85
Ilustración 3-48.- Modulo de sensor de presión y convertidor (ADC). ....	86
Ilustración 3-49.- Conexión del sensor MPS20N0040D en ARDUINO. ....	87
Ilustración 3-50.- Instrucciones en programación ARDUINO del sensor MPS20N0040D....	89
Ilustración 3-51.- Alimentación de modulo Sensor de presión MPS20N0040D. ....	90
Ilustración 3-52.- Lectura inicial del sensor de presión MPS20N0040D. ....	91
Ilustración 3-53.- Grafica y ecuación de la recta en relación columna de líquido y presión. .	92
Ilustración 3-54.- Lectura generada por el sistema nivel de líquido con la ecuación de la recta. .....	92
Ilustración 4-1.- Diagrama de flujo del sistema de observación.....	94
Ilustración 4-2.- Código y primera fase del algoritmo del sistema de observación. ....	95
Ilustración 4-3.- Diagrama de conexión del sistema de observación.....	97
Ilustración 4-4.- Simulación del sistema de observación en ISIS. ....	97
Ilustración 4-5.- Mensaje de encendido del sistema en la LCD.....	99
Ilustración 4-6.- Mensaje del menú de inicio muestra fecha y hora. ....	99
Ilustración 4-7.- Estado "1" o Caso "1" muestra el registro del Nivel de líquido. ....	100
Ilustración 4-8.- Estado "2" o Caso "1" muestra el registro del sensor de temperatura y humedad AMT1001. ....	100
Ilustración 4-9.- Estado "3" o Caso "3" muestra el registro del sensor de PH y C.E.....	101
Ilustración 4-10.- Activación de relevador 1 y 2.....	102
Ilustración 4-11.- Prototipo del sistema de observación. ....	103
Ilustración 4-12.- Análisis de costos y precio de los equipos en el mercado. ....	104

# Índice de tablas

Tabla 2-1.- Ventajas y desventajas de un sistema hidropónico [3].	13
Tabla 2-2.- Cálculo de la capacidad del depósito, según la especie cultivada [3].	21
Tabla 2-3.- Temperaturas optimas según el cultivo.	29
Tabla 2-4.- Macronutrientes y su función.	31
Tabla 2-5.- Micronutrientes y su función.	32
Tabla 2-6.- Valores de PH según el grado de la solución [3].	33
Tabla 2-7.- Grado de PH necesario para cada cultivo [3].	34
Tabla 2-8.- Nivel de salinidad apropiado para cada cultivo [3].	35
Tabla 2-9.- Grados de concentración de elementos minerales según diversos autores.	36
Tabla 2-10.- Especificaciones de un sistema invernadero hidropónico.	40
Tabla 3-1.- Especificaciones de ARDUINO.	46
Tabla 3-2.- Especificaciones electrónicas del módulo I <sup>2</sup> C.	50
Tabla 3-3.- Especificaciones Electrónicas del Módulo Tiny-DS1307 [21].	52
Tabla 3-4.- Características y pines de una LCD de 16x2.	57
Tabla 3-5.- Especificaciones del módulo relevador SONGLE [22].	60
Tabla 3-6.- Características físicas y eléctricas de bomba sumergible.	63
Tabla 3-7.- Especificaciones eléctricas del sensor AMT1001 (AOSONG).	65
Tabla 3-8.- Especificaciones del fabricante del sensor PH-4502C.	72
Tabla 3-9.- Especificaciones eléctricas de TDS Meter V1.0	80
Tabla 3-10.- Especificaciones eléctricas del Sensor de presión y convertidor ADC.	87
Tabla 4-1.- Propuesta de ciclos de riego.	101

# Lista de símbolos y abreviaciones

SH	Sistema Hidropónico
NFT	Nutrient Film Technique.
PH	Potencial Hidrogeno
CE	Conductividad Eléctrica
F.c	Factor de conductividad
HR	Humedad Relativa
T	Temperatura
vol.	volumen
AC	Corriente Alterna
DC	Corriente Directa
GND	Referencia a tierra
W	Watt
PVC	Policloruro de vinilo
°C	Grados Centígrados
hr.	hora
min.	minutos
seg.	segundo
l	litro
ml	mililitro
mm	milímetro
cm	centímetro
nm	nanometro

m	metro
m <sup>2</sup>	metro cuadrado
Kg	Kilogramo
mg	miligramo
mg/l	miligramos/litro
l/min	Litros por minuto
Ω	ohm
mΩ	miliohms
MΩ	Megaohms
mΩ <sup>-1</sup>	milimhos
mΩ <sup>-1</sup> /cm	milimhos/centímetro
ppm	Parte por millón
mS.	miliSiemens
mS/cm	miliSiemens/centimetro
V	Volts
mV	miliVolts
A	Amper
mA	miliAmper
Hz	Hertz
mHz	miliHertz
MHz	MegaHertz
B	Byte
KB	Kilobyte
MB	Megabyte

Pa

Pascal

KPa

Kilopascales

Psi

Libras por pulgada cuadrada

# Glosario

## A

antiafidos

Barrera física encargada de proteger a los invernaderos ante insectos y microorganismos. .... 21

antocianos

Son pigmentos que se encuentran en las células vegetales y que otorgan el color rojo, púrpura o azul en frutos, hojas y flores. .... 41

## C

cámara multiespectral

Cámara con la capacidad de captar los espectros de luz. .... 5

cultivo

Es la práctica de sembrar semillas en un medio con las propiedades básicas para su desarrollo y la realización de labores para obtención del fruto ..... 3

## E

Edáficas

Referente al suelo, específicamente en lo que compete a la vida de las plantas. .... 12

evapotranspiración

Evaporación del suelo más evaporación de las hojas o transpiración ..... 12

Extensiva

Es un tipo de agricultura que está enfocada al medio ambiente en la utilización de los recursos amplios terrenos ..... 13

## F

fertilizantes químicos

Sustancias o minerales utilizados para la mejora de suelos. .... 7

fungicidas

Sustancias capaces de eliminar o destruir hongos o parásitos ..... 7

## H

hardware

la unión de elementos y materiales tangibles que constituyen una computadora o sistema electrónico. .... 46, 47, 49, 72, 80, 88, 95

hortalizas

Es el conjunto de plantas comestibles que son cultivadas en huerto. .... 14

## I

Inteligencia Artificial

la habilidad programada en una máquina para presentar las mismas capacidades del ser humano como la planeación, razonamiento, aprendizaje y creatividad ..... 5

Intensiva

Es un tipo de agricultura que consiste en producir alimentos optimizando los recursos explotando al máximo los medios de producción ..... 13

## M

microcontrolador

Circuito integrado electrónico programable, capaz de ejecutar una serie de ordenes almacenadas en su memoria.....	6
Monocultivo	
Es el tipo de agricultura que adopta únicamente una especie en una superficie .....	13
<b>O</b>	
optocoplador	
Es un dispositivo electrónico de emisión y recepción de luz que funciona como interruptor. ....	62
<b>P</b>	
pesticidas	
Sustancias con la capacidad controlar plagas de plantas y animales. ....	7
PH	
Medida de ácidos y alcalinidad de una sustancia o una solución.....	2
Policultivo. Es el tipo de agricultura que implementa diferentes cultivos en una misma superficie. ....	13
<b>R</b>	
radiación	
Emisión y transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas.....	27
Regadío	
Aquella agricultura en la cual se implementan sistemas con la capacidad de satisfacer las necesidades del cultivo por medio del suelo y que no son cubiertas por la precipitación. ....	13
<b>S</b>	
Secano	
Es la agricultura en la que el humano no contribuye a la irrigación o conocida también como temporal.....	13
software	
conjunto o unión de varios programas o instrucciones que permiten realizar tareas determinadas por componentes lógicos. ....	4

# Capítulo 1 Introducción

La hidroponía es el conjunto de varias técnicas en un medio libre de suelo para la siembra de hortalizas [1]. Esta permite producir plantas o cultivos simples y complejos en espacios pequeños o grandes, en lugares rurales y urbanos en los que prevalecen algunas necesidades que son: la disponibilidad del agua, el consumo de energía eléctrica es muy elevada bajo invernaderos protegidos o la falta de ella como lo expresa [2] y una nutrición eficiente de los minerales para su máximo desarrollo.

De los problemas anteriormente mencionados crece la posibilidad de la producción de hortalizas de calidad en zonas con climas extremos, alejadas o altamente pobladas. Ambas desencadenan algunas cuestiones como un espacio reducido, menor disponibilidad del agua y la demanda del mercado en hortalizas de calidad y frescas lo que convierte al cultivo hidropónico atractivo para el desarrollo en áreas del conocimiento como agricultura, biología, económico-administrativas, ingeniería en energías renovables, ingeniería eléctrica y electrónica.

La utilización de tecnología es notable y en la presente investigación realizada se incorpora la implementación de un sistema de recirculación de solución nutritiva y observación de las variables físicas para un sistema de técnica de película de solución nutritiva.

Así mismo este trabajo detalla el uso de las herramientas como son los microcontroladores en este caso la tecnológica ARDUINO, sensores y actuadores como una parte importante del sistema de monitoreo de múltiples variables fisicoquímicas como temperatura, PH, total de sales disueltas en una solución, humedad relativa, nivel de líquido y el control de bombeo que son la base fundamental del desarrollo del cultivo.

El trabajo de investigación puede guiarnos a la manipulación de sus variables para hacer que las plantas tengan un crecimiento acelerado en el sistema hidropónico NFT o aumentar la eficiencia en uso de los recursos.

## 1.1 Antecedentes

La palabra Hidroponía de deriva de los vocablos griegos hydro (agua) y ponos (trabajo), mejor traducida como trabajo agua y que hace referencia al empleo de soluciones y sales minerales, así sustituyendo el suelo por un medio inerte [3].

Bastantes historiadores creen que uno de los principales y más famosos casos de éxito se dio en la antigua Babilonia, con los Jardines colgantes, la cual forma parte una de las siete maravillas del mundo antiguo [4].

En el caso de México, la cultura mexica, aprendieron a construir balsas o pequeñas islas, llamadas chinampas, las cuales les permitían obtener grandes cosechas de verduras u hortalizas, como en la Ilustración 1-1.- Chinampa mexicana museo de antropología México.



Ilustración 1-1.- Chinampa mexicana museo de antropología México [5].

Otras grandes culturas hicieron de manera empírica o grandes avances que abonaron a la comprensión de estas técnicas de cultivo.

En el artículo [6] la contribución de las soluciones minerales en cultivos hidropónicos fueron desarrollados hasta el siglo XIX. Donde **John Woodward** en el año de 1699 cultivo plantas y observo crecimiento en ellas, resultado de ciertas sustancias que se encontraban en el suelo. Ya en 1804, **De Saussure** colocó el principio

que las plantas estaban conformadas de los elementos químicos y obtenidos mediante agua, aire y suelo.

Pero este término hidroponía fue forjado hasta la década de 1920 e inicio de 1930 por el doctor **William F. Gericke**, el estudio de Gericke se considera el pilar de todas las estructuras de cultivo hidropónico, pero solamente se limitó a la cultura de agua [3].

En la época de la segunda guerra mundial ocurrieron los principales casos de éxito de la hidroponía resolver problemas en el desabasto de alimentos como verduras frescas e implementar la hidroponía a gran escala [6].

El sistema hidropónico (NFT de sus siglas en inglés: Nutrient Film Technique), fue desarrollado por el **Glasshouse Crop Research Institute**, en Inglaterra, en la época de 1960, por el doctor **Alan Cooper**. El cual su traducción es técnica de lámina fina de solución nutritiva o mejor como sistema de recirculación por bombeo del artículo [6].

La industrialización y auge petroquímico permitió el desarrollo de la hidroponía con un incremento considerable ya que con la creación de nuevos plásticos provoco un decreciente costo en la producción y construcción de invernaderos que sustituyen al diseño original, que ayudan a obtener productos con mucho mayor calidad y libres de enfermedades [4].

En los últimos 30 años la hidroponía ha crecido y prevalece como una ciencia joven, pero objeto de estudio para instituciones como la NASA, para tripulantes que son expuestos al espacio y dentro de naves espaciales [3].

En los últimos años la hidroponía se ha convertido en una ciencia bastante comercial y resolver muchos de los problemas alimentarios en países desarrollados y no desarrollados. Los países líderes en hidroponía son Canadá, Holanda, Alemania y Estados Unidos, y aunque México no se posiciona se estima ocupe un lugar [3].

México contaba para el 2010 con un área cultivada 15,000 ha. Los estados donde se concentra la mayor parte de la producción son Jalisco, Sinaloa, Sonora, Baja California, Oaxaca, Puebla, Estados de México, Michoacán y Morelos. En los estados

anteriormente mencionados, sobre todo, jitomate, pepino, chile, pimiento, hortalizas, fresas y flores como crisantemos, rosas, claveles y alstroemeria [3].

Por último, el avance en tecnologías de equipos de control para optimizar el uso de los recursos importantes para estas industrias son agua, energía eléctrica, nutrientes y monitorear variables como temperatura, humedad, iluminación y materiales disueltos. Son las principales variables para un sistema hidropónico [3].

Con ello el crecimiento de tecnología no se quedó atrás, creando equipos capaces de controlar un sistema y haciendo procesos eficientes lo cual crea una demanda de tecnología, pero con altos costos en los últimos años, pero aún queda mucho por hacer con los problemas o necesidades a cubrir en la sociedad [3].

## **1.2 Estado del arte**

En el artículo [7] se expresa el uso de la tecnología de la información por la creciente demanda global de alimentos y especialmente en el sector agrícola. En sus apartados nos habla de la agricultura inteligente como una ciencia con técnicas como el desarrollo de plataformas digitales que monitorean a larga distancia el desarrollo o parámetros del cultivo para el uso eficiente del tiempo, procesos y el control de las variables que involucran un sistema hidropónico o incluso cualquier sistema protegido, en lugares extremos o áridos que requiera elevar su eficiencia.

Un artículo de la revista [8] habla del uso de la Inteligencia Artificial aplicada en análisis de suelos y otros parámetros con temperatura, PH para el sector agrícola. En la cual explica que los métodos tradicionales de la agricultura ya no son suficientes por creciente demanda por lo que la automatización es la principal preocupación, lo cual en esta investigación presentan algunas aplicaciones de la inteligencia artificial aplicada al manejo de cultivos, manejo de malezas y enfermedades, pero presta más atención a la fuerza y limitaciones de sus aplicaciones.

En el trabajo [9] se realiza un prototipo capaz de realizar una fertilización ecológica y robotizada el cual es aplicado en franjas de cultivo intensivo de hortalizas orgánicas, con la reutilización de residuos vegetales y animales compostados y el desarrollo de una máquina de automatización con 5 grados de libertad y dotada de 3

sensores y una cámara multiespectral y conectada a un depósito de fertilizante orgánico mediante una boquilla que funciona como actuador.

La investigación [10] expresa el uso de dos prototipos de sistemas inteligentes para cultivos verticales con la aplicación de luz artificial y luz natural, para optimizar el desarrollo de las plantas, eliminar el uso de plaguicidas y fungicidas al estar aislados ya que están en un sistema controlado. Aplicando herramientas como Visión artificial, Python, Monitoreo remoto y microcontrolador ARDUINO.

### **1.3 Problemática**

En los últimos años se ha hecho cada vez más visible la sobre explotación de suelos, aumento de químicos para mejorar el suelo, el consumo de agua potable y el alto consumo de energía eléctrica y su costo.

En México a pesar de ser un país con diversidad de cultivos y bastante auge en la producción agrícola, carece de prácticas o técnicas con tecnología por factores como: costos elevados de equipo de automatización, arraigo a las prácticas tradicionales de cultivo y falta políticas que propicien el desarrollo de la agricultura mexicana o incluso en Michoacán.

Un factor importante dentro de la incursión de los cultivos hidropónicos dentro de la ciudades o metrópolis, la venta de cultivos en los supermercados incremento su demanda considerablemente y la población desconoce el origen de las hortalizas porque no conocen el significado de este tipo de cultivos debido que son producidos en grandes corporativos.

Como último factor en Sistemas Hidropónicos en técnica NFT necesitan de un sistema control capaz de manipular o regular las variables fisicoquímicas de la solución nutritiva y ambientales, para ello se debería conocer las variables fisicoquímicas básicas, para desarrollar a largo plazo más tecnologías que propicien una automatización inteligente que ayude al agricultor a aumentar su producción o control de recursos.

## **1.4 Objetivos de la tesis**

### **1.4.1 Objetivo general**

Desarrollar un equipo para activación del sistema de bombeo con el monitoreo de variables fisicoquímicas de la solución nutritiva y ambientales de un sistema hidropónico, mediante un microcontrolador con la capacidad de registrar todo el proceso y en un futuro se pueda automatizar eficazmente para cada tipo de hortaliza que se vaya a cultivar

### **1.4.2 Objetivos particulares**

Leer la literatura de los sistemas hidropónicos para conocer las variables y elementos, mediante artículos, libros y tesis entender estos sistemas.

- Caracterizar los sensores de variables físicas y químicas de un sistema hidropónico para afianzar las mediciones del sistema.
- Implementar los sensores de manera provisional para obtener la medición necesaria mediante el uso de un microcontrolador ARDUINO y uso de software de simulación.
- Desarrollo y creación del prototipo para la primera fase de aplicación del sistema de observación.

## **1.5 Justificación**

El aumento de la actividad productiva e industrial en la petroquímica, minera y química como se muestra en el trabajo [11], como es uso desmedido de fungicidas, pesticidas y fertilizantes químicos y de igual manera la explotación del suelo, mantos acuíferos, áreas forestales que han desencadenado problemas ambientales y salud en personas es importante tener más estudios que vayan por el camino de la sostenibilidad y sustentabilidad.

Dentro del marco de la industrialización en la agricultura se tenía un compromiso con el campesino y ser autosuficientes, con el paso del tiempo, solo beneficia a grandes corporativos y grandes productores por tener la capacidad de adquirir tecnología en control de nutrientes, ambiental y fisicoquímicas. Todas estas

acciones solo limitaron también permearon la producción de agricultores a gran escala [11].

Con una visión más amplia de las problemáticas se requiere de personal calificado de las diferentes áreas del conocimiento capaces de crear tecnologías y cumplan metas de automatización y bajos costo, pero con altos rendimientos.

Por lo cual, como alumno en el área de Ingeniería Eléctrica hay capacidad de contribuir en el desarrollo de la agricultura en pequeña o gran escala, de igual manera se requiere de estudios previos o experiencia empírica que avalen al personal con el conocimiento necesario para llevar a cabo la producción de hortalizas.

Dentro de los cultivos hidropónicos o protegidos requiere un manejo y mantenimiento adecuado de las condiciones temperatura, humedad, total de sales disueltas en una solución y además el uso de adecuado de la solución nutritiva y de agua, ya que en si tiene aumento o un déficit provoca daño al cultivo o hasta pérdida de cosecha.

Por lo cual el uso de una tarjeta programable como el microcontrolador ARDUINO, actuadores y sensores para cada una de las variables anteriormente mencionadas, juegan un papel importante ya que se tiene que ser muy cuidadoso ya que cada rotación de cultivo o tipo de hortaliza requiere de cuidados específicos por lo que es importante es tener una primera fase de investigación como la que se presenta aquí y desencadenar trabajos futuros.

## **1.6 Hipótesis**

El trabajo de investigación con el uso de tecnologías accesibles del mercado como los microcontroladores de ARDUINO puede ayudar a nuevas investigaciones con la implementación del sistema de observación tendrá la capacidad de adaptarse cualquier tipo cultivo y ser de bajo consumo para que se pueda implementar un sistema de baterías recargables y celdas solares con el propósito de generar un sistema más autónomo.

## 1.7 Metodología

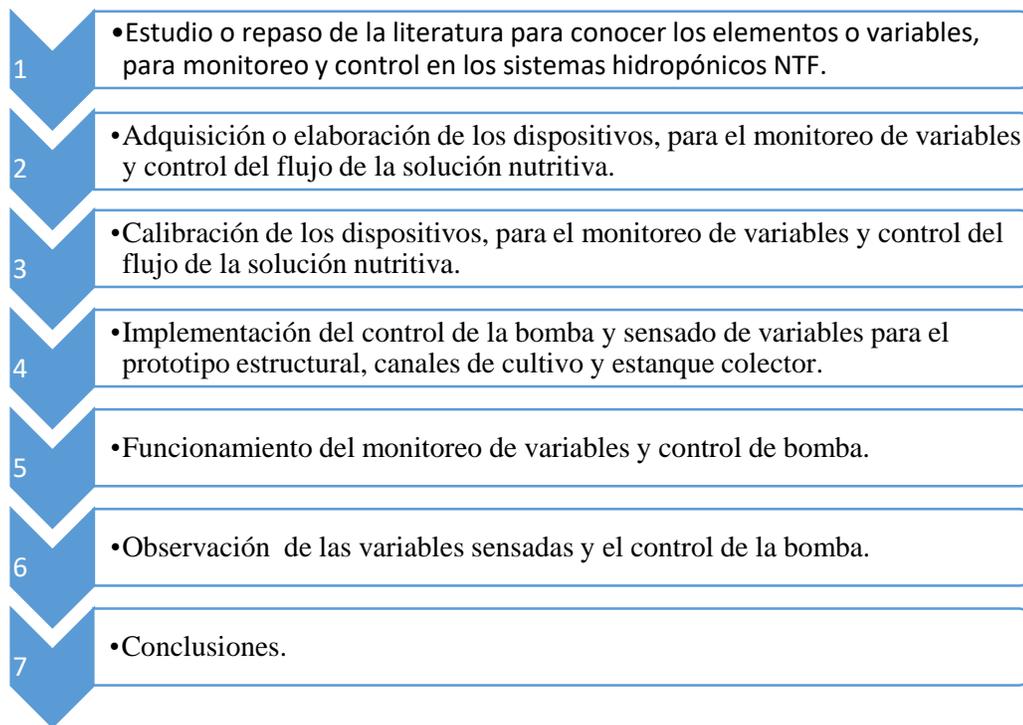


Ilustración 1-2.- Metodología de Tesis.

En la Ilustración 1-2.- Metodología de Tesis. Se hace una serie de pasos para llegar a la observación y registro de las variables, necesarias para trabajos futuros.

## 1.8 Descripción de los capítulos

En el **Capítulo 1** se plasma la importancia del tema de tesis, donde se muestra los antecedentes históricos que han llevado a la hidroponía hacer una ciencia en desarrollo y con el estado del arte algunos de los avances en términos de tecnología aplicadas desde la mejora del suelo hasta la aplicación de tecnología de la información e inteligencia artificial en el manejo y mantenimiento de sistemas hidropónicos, así como algunos aspectos importantes de las problemáticas que prevalecen en la Agricultura y la Hidroponía en nuestro país.

En el **Capítulo 2** se cristaliza cada uno los conceptos básicos de la hidroponía y las características de los tipos de hortalizas, así como las ventajas y desventajas de esta técnica de cultivo. Los componentes necesarios de un sistema hidropónico, clasificación y elección del sistema. Por último, la infraestructura y el equipo necesario

para un sistema hidropónico elemental, y conocer las variables del sistema NFT para la implementación del sistema de observación.

En el **Capítulo 3** se describe cada uno de los sensores para medir las variables tales como la temperatura, PH y conductividad, juegan un papel importante para los sistemas hidropónicos NFT que se implementaron y caracterizaron con un microcontrolador de manera individual, así como los circuitos del reloj den tiempo real y del actuador de la bomba de riego del sistema que conforma parte del sistema de actuación y monitorización de manera integral.

En el **Capítulo 4** se implementa de manera integral del sistema de actuación y monitorización de variables de un sistema hidropónico NFT con un microcontrolador ARDUINO y un menú de acceso, con inicio y fin del proceso de cultivo, probado en su sistema de simulación y en modo real se registra el consumo energético de sistema electrónico integral durante un proceso de cultivo de la hortaliza.

En el **Capítulo 5** se plasman las conclusiones, así como los criterios o barreras al desarrollar el prototipo. Además, los desarrollos que se tienen pensado hacer en sus futuras etapas.

# Capítulo 2 Fundamentos Teóricos

## 2.1 La agricultura

La agricultura se encuentra dentro del sector primario como una de las actividades a la producción de alimentos, siendo la unión de técnicas que el hombre utiliza para llevar a cabo la siembra o cultivo. Y está condicionada por dos factores [12] [13]:

- **Factores Biológicos, Climatológicos y Físicos:** Son los factores que el hombre no tiene un control sobre ellos como: el clima, suelo, relieve, genéticos y epigenéticos.
- **Factores Humanos:** Estos se determinan dependiendo de su actividad agrícola debido al uso de las diferentes técnicas de cultivo.

### 2.1.1 Factores biológicos, climatológicos y físicos

#### 2.1.1.1 Genéticos y epigenéticos

Estos factores se atribuyen a la eficiencia de las características propias del organismo usado para desarrollar o producir. Lo fundamental de los factores genéticos cada vez es mejor gracias al progreso de la ciencia molecular y tecnología. Con ello se permite mayor seguridad obtener variedades o razas mejoradas con mayores índices de potencial en rendimiento, calidad, resistencia enfermedades, plagas y estrés ambiental [13].

Con respecto a la epigenética es la herencia o información que se transmite sin modificar su ADN debido a la interacción con el medio ambiente y se acciona un mecanismo al cual el genoma responde a cambios ambientales. Un ejemplo se da en los berros, estos no florecen debido a las bajas temperaturas por el gen que provoca la floración, pero en temperaturas en época de primavera sucede lo contrario [13].

#### 2.1.1.2 Climatológicos

Los factores climatológicos son las características físicas que son definidas dentro los primeros 100 metros de la atmosfera y en sitios específicos como [13]:

- **Factores Térmicos:** En los cultivos los factores térmicos son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La

temperatura influye tanto que sin ella no hay germinación, desarrollo y mucho menos madurez. De tal manera que la temperatura influye de ambos sentidos tanto altas temperaturas como bajas, y esto dependerá del cultivo seleccionado y de las temperaturas máximas toleradas por el cultivo.

- **Factores Edáficas:** Son las propiedades del suelo y dependen de: profundidad, porosidad, PH, drenaje, fertilidad, salinidad, malezas, materia orgánica, hongos o parásitos que tienen una importancia sobre el desarrollo de las plantas.
- **Factores Hídricos:** Son las condiciones que delimitan el balance entre lluvia o riego y evapotranspiración. Dentro de estas condiciones las determina el tipo de cultivo y el clima. Este factor es importante porque es necesario que el cultivo no presente estrés mediante su ciclo de vida.
- **Factores Sanitarios:** es importante tener en cuenta que estos factores son estratégicos para tener los rendimientos requeridos y lo determina la presencia de insectos, hongos, ácaros y malezas. Lo cual siempre debe estar controlado y si no, es origen de graves problemas.

### 2.1.2 Factores humanos

En los factores humanos es predominante el cuidado y la observación de todos los factores físicos, químicos, biológicos, climatológicos y además ecológicos, de manera que el objetivo tanto para las empresas agrícolas o campesinos es generar alto ingreso económicamente. Esto dependerá de todos los cuidados necesarios para el máximo desarrollo del cultivo y son los cuidados son los siguientes [13]:

- Aplicación e intensidad en el empleo de técnicas agronómicas.
- Uso y mantenimiento de la infraestructura.
- Aspectos ambientales.
- Aspectos económicos.
- Perdidas en lo producido.
- Actualización en información tecnológica, políticas y económicas.

## 2.2 Sistemas de cultivo

Todo sistema de cultivo va en función de las condiciones físicas del espacio y en base a ello el ser humano eligió maneras de cultivar para obtener los mejores rendimientos a estas técnicas se lo conoce como sistemas de cultivo. Tipos de sistemas de cultivo [12]:

- Según la variedad de productos:
  - Policultivo.
  - Monocultivo.
- Según el aprovechamiento del agua:
  - Secano.
  - Regadío.
- Según el aprovechamiento del suelo:
  - Intensiva.
  - Extensiva.
- Según la relación entre producción obtenida y la mano de obra:
  - Alta productividad.
  - Baja productividad.
- Según la aplicación de tecnologías, gestión de recursos, suelos y protegida:
  - Ecológica.
  - Hidropónica.

## 2.3 Hidroponía

**Cultivo Hidropónico puro.** Es aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta desarrolla sus raíces en un medio líquido (agua con nutrientes disueltos), sin ningún tipo de sustrato sólido [3].

En una forma de expresarlo más amplia o que englobe a todo el sistema con sus variantes técnicas es aquel sistema con la capacidad de llevar uno o varios procesos de ciclo vegetativo sin el uso de suelo mediante sustratos o soportes con la finalidad de absorber los minerales disueltos en agua y así poder desarrollarse.

La hidroponía se caracteriza por ser un sistema compuesto por el conjunto de técnicas o sistemas como de alta productividad, regadío e intensiva.

La hidroponía se representa como una ciencia, técnica o sistema y depende a lo que se esté refiriendo en el caso del presente trabajo se presenta como sistema ya que es objeto de estudio u observación. La hidroponía como sistema es eficiente para la producción de hortalizas, ornamentales y especies aromáticas.

Los principales cultivos de hortalizas en Sistema Hidropónico en México son [3]:

- Hortalizas de hoja: lechuga, espinaca, acelga, apio, col, berro, arugula.
- Hortalizas de flor: brócoli, coliflor, alcachofa, etcétera.
- Hortalizas de fruto: pepino, sandía, melón, fresa, tomate, calabacín, pimiento morrón.
- Especies Aromáticas: albahaca, menta, cilantro, perejil.

## 2.4 Ventajas y desventajas de la hidroponía

Tabla 2-1.- Ventajas y desventajas de un sistema hidropónico [3].

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Control de plagas y enfermedades, provocadas por hongos y parásitos.	La inversión inicial es a nivel comercial es muy alto.
Mayor o igual en la calidad de los productos que en el empleado tradicionalmente.	La necesidad de un continuo abastecimiento de agua y solución nutritiva.
Mayor producción y en menor espacio.	Requiere de la observación continua del técnico o agricultor.
Ahorro de agua y fertilizantes.	Es importante el conocimiento técnico y principios en conocimiento vegetal.
Permite un alto nivel de automatización.	
No requiere de maquinaria pesada para su producción.	

## 2.5 Componentes de un sistema hidropónico

En las técnicas agrícolas y sistemas hidropónicos hay componentes que comparten como [4] [6]:

**Plantas.** El cultivo u hortalizas, comúnmente cualquiera puede ser cultivada en hidroponía.

**Solución nutritiva.** Formula compuesta de una o más sustancias solidas o liquidas disueltas en agua.

**Contenedores.** Recipientes capaces de mantener el sustrato o solución nutritiva, de las plantas.

**Sustrato.** Medio que carece de vida o medio inerte, capaz de darle sostén a la planta con propiedades como buena retención de agua y aireación.

**Sistema de riego y drenaje.** Infraestructura encargada de brindar agua y recircular el excedente o solo quitar el exceso de la solución nutritiva a la planta.

**Condiciones climáticas.** Son las variables que le dan propiedad y condición a la atmosfera o ecosistema durante un periodo de tiempo como son: luz, temperatura, humedad relativa, etc.

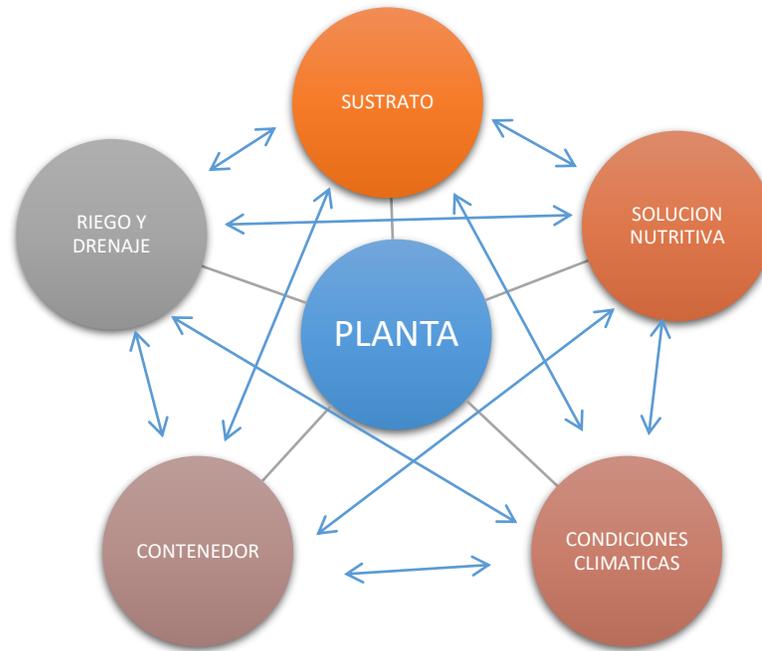


Ilustración 2-1.- Relación de los componentes de un sistema hidropónico [6].

Como se muestra en la Ilustración 2-1.- Relación de los componentes de un sistema hidropónico. Están relacionados uno a uno ya que estamos hablando de un sistema en donde podemos agruparlos en componente para la creación de raíces y por el otro lado a las componentes climatológicas indispensables para la vida de las plantas.

## 2.6 Clasificación de los sistemas de cultivo hidropónico

En un **sistema abierto**, la solución nutritiva se desagua sin que se reutilice el excedente.

En el **sistema cerrado**, la solución nutritiva se reutiliza y se conserva en contacto con las raíces ajustándose periódicamente.

Por otro lado, se pueden clasificar en tipos de cultivo tales como: en solución nutritiva donde se sumergen parcial o total o los cultivos en sustrato que son cultivos los cuales requieren de sustratos como arena, grava, aserrín y peat moss [4].

## 2.7 Sistemas hidropónicos

### 2.7.1 Sistema Static Aereated Technique (SAT)

También conocida como técnica pasiva, la técnica estática aireada (SAT, por sus siglas en inglés) es un sistema hidropónico en solución nutritiva, donde la solución se oxigena con una bomba. Es un método muy básico usado para el aprendizaje de los principios de la hidroponía [4].

### 2.7.2 Sistema Ebb and Flow Technique (EFT)

La técnica de flujo y reflujos (EFT, por sus siglas en inglés) funciona al sumergir las raíces por completo en la solución nutritiva y después drenarla. Generalmente una bomba y un temporizador se encargan de automatizar el trabajo [4].

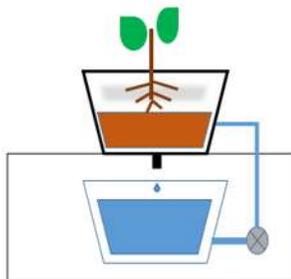


Ilustración 2-2.- Sistema Hidropónico Flujo y Reflujo.

### 2.7.3 Sistema Deep Flow Technique (DFT)

En la técnica de flujo profundo (DFT, por sus siglas en inglés), las raíces se sumergen en la solución nutritiva. Esta se oxigena por una bomba o por fuerza de gravedad (o sea, el agua cae por la inclinación del contenedor) [4].



Ilustración 2-3.- Sistema de Hidropónico Raíz Flotante.

#### 2.7.4 Aerated Flow Technique (AFT)

La técnica de flujo aireado (AFT, por sus siglas en inglés) es una variante de la DFT, en la que la solución también recibe oxígeno abundantemente por mecanismos especiales [4].

#### 2.7.5 Nutrient Film Technique (NFT)

La técnica de solución nutritiva (NFT, por sus siglas en inglés) es un conjunto de elementos cuyo objetivo es la continua recirculación de una lámina de solución nutritiva a través de raíces de las plantas [4].

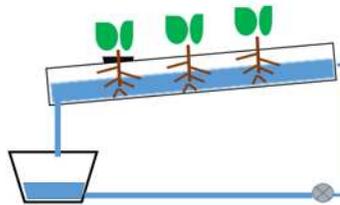


Ilustración 2-4.- Sistema Hidropónico NFT.

#### 2.7.6 Drip Irrigation Technique (DIT)

En la técnica de riego por goteo (DIT, por sus siglas en inglés) el cultivo crece en un sustrato inerte al que se le suministra la solución nutritiva por medio de goteo.



Ilustración 2-5.- Sistema Hidropónico por goteo.

#### 2.7.7 Root Mist Technique (RMT)

La aeroponía (RMT, por sus siglas en inglés), la aeroponía posee tecnología más compleja. En ella, el medio de crecimiento es el aire; las raíces cuelgan y la solución nutritiva se les proporciona en estado gaseoso [4].

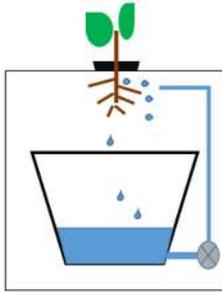


Ilustración 2-6.- Sistema Hidropónico Aeroponía.

## 2.8 Sistema NFT

El sistema NFT es un sistema de cultivo en agua y sales disueltas en donde esta circula continuamente por bombeo mediante una red distribuidora hacia los canales de cultivo, dando su paso a los canales de colección y llegar al contenedor de la solución nutritiva [1] [3] [4].

Es un sistema cerrado capaz de regular el consumo de agua, fertilizantes y plagas, hongos o patógenos que normalmente se encuentran en los cultivos tradicionales, acelerando así el crecimiento de las plantas, las cuales normalmente son hortalizas de tipo hoja. En la Ilustración 2-7.- Técnica de Solución Nutritiva. Indica las partes importantes de nuestro cultivo seleccionado [3].

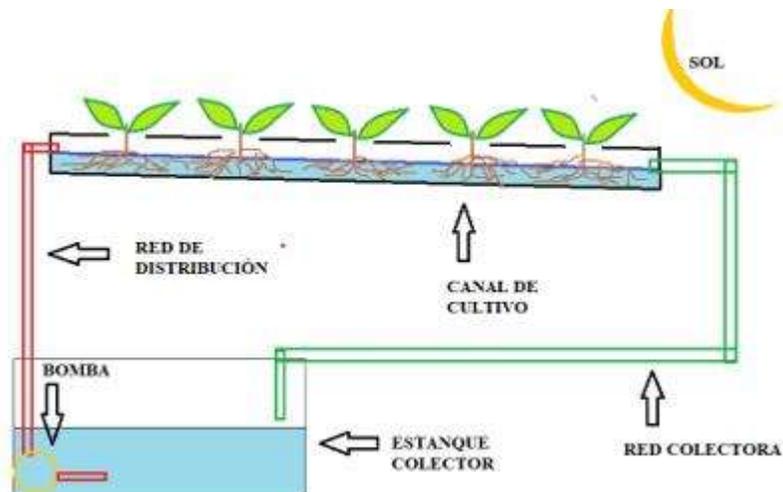


Ilustración 2-7.- Técnica de Solución Nutritiva.

## **2.9 Componentes y materiales de un sistema NFT**

Las partes y criterios que se deben tomar en cuenta, para el llevar acabo un sistema hidropónico NFT para el control de crecimiento de las hortalizas a ritmo acelerado mediante los siguientes aspectos importantes:

### **2.9.1 Invernadero**

Es una construcción agrícola de materiales como: madera, hierro, aluminio o plástico, utilizada para la protección de un cultivo con una cubierta plástica traslucida o malla plástica, que tiene como finalidad simular las condiciones climatológicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo consiguiendo hortalizas fuera de época, rendimientos altos por metro cuadrado, protección contra cuestiones climatológicas externas y calidad en el producto final a nivel comercial [2].

### **2.9.2 Tipos de invernadero**

La clasificación de los invernaderos tiene diferentes criterios por materiales con los cuales son construidos, el tipo de cobertura plástica y características de la techumbre, no obstante, hay otras clasificaciones, pero se prefiere enumerar las más comunes o más importantes que son [2]:

1. Invernadero Venlo.
2. Invernadero Túnel.
3. Invernadero en Dientes de Sierra.
4. Invernadero Capilla o Dos Aguas
5. Invernadero Parral

### **2.9.3 Selección y características del invernadero**

El invernadero Capilla o Dos Aguas se seleccionó ya que es una de las estructuras con más tiempo siendo empleadas en el forzado de cultivos ya que es una estructura básica y accesible por su uso. Las características de un invernadero son importantes para llevar acabo un cultivo de hidroponía por esta razón es necesario tener en cuenta lo siguiente:

El invernadero albergará la implementación del cultivo que se hizo en dimensiones escalables, en nuestro prototipo es de 1 m<sup>2</sup> para así llegar a un estudio más parcial de las variables fisicoquímicas y el control de bombeo.

### **2.9.3.1 Localización**

Es importante definir el lugar bajo los siguientes criterios para la elección del lugar de instalación del invernadero para huerto hidropónico:

- Disponibilidad de un mínimo de 5 horas diarias de luz solar.
- El sitio debe estar lo más cerca de la fuente de agua.
- El lugar no se debe exponer a ráfagas de viento fuertes.
- Lo más próximo a una fuente de energía eléctrica.

### **2.9.3.2 Estructura y dimensiones**

El invernadero que se propone, consideramos de una nave de estructura tipo capilla o dos aguas con las siguientes características estructurales y de techumbre:

- Material estructural: metal o madera.
- Medidas de ancho: 3-6 m.
- Medidas de largo: 4-12 m.
- Medidas de altura: 2-2.5 m.
- Pendiente: 15°- 35°

### **2.9.3.3 Protección y sanidad**

En este tipo de invernaderos se debe tener en cuenta las siguientes propiedades:

- Recubrimiento con plástico flexible de polietileno y malla antiafidos para la protección de plagas.
- Debe estar libre de focos de contaminación como aguas residuales o desechos industriales.
- Debe contar con protección para impedir el paso de animales de granja o domésticos.
- Aberturas laterales para la ventilación del invernadero.

## 2.9.4 Estanque colector

El estanque o depósito colector, tienen como objetivo almacenar la solución nutritiva el tiempo en cual se produce el cultivo, existen diferentes tipos de contenedores por su material o su capacidad de almacenamiento, en nuestro caso el contenedor es de polietileno reforzado y la capacidad de almacenamiento es calculada o asignada por número de especies a cultivar [3] [6].

Una planta de lechuga requiere alrededor de 0.3 l por día en su máximo desarrollo y en verano, ya que se presentan las temperaturas más altas, aun es obligatorio dimensionar la capacidad del depósito basándose en el volumen necesario de solución por planta al día y agregarle el volumen remanente del estanque, lo que asegura que no deje de funcionar la bomba [3].

Tabla 2-2.- Cálculo de la capacidad del depósito, según la especie cultivada [3].

Especie	Volumen Aproximado de solución consumida (litro*planta/día)*	Densidad de plantación (planta/m <sup>2</sup> )	Capacidad aproximada del estanque (litro/m <sup>2</sup> )**	Capacidad aproximada del estanque más el (25% vol. remanente)***
Lechuga	0.3	24	9	11.25
Tomate	2.5	5	16	20.00
Pepino	3.0	5	19	23.75

\* Para una planta en su máximo desarrollo  
 \*\* Este valor, al multiplicarse por la superficie real de cultivo, estima el tamaño del estanque.  
 Se considera un 25% más del volumen consumido como el volumen remanente.  
 \*\*\*Este valor se considera aumentando el 25% de volumen remanente.

De la Tabla 2-2.- Cálculo de la capacidad del depósito, según la especie cultivada. Se puede definir la capacidad del estanque, haciendo énfasis en que el estanque estará diseñado para los 7 días, el cual el total sería de [3]:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad del estanque} &= 11.25 * 7 \text{ dias} = 78.75 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \\ &= 1 \text{ m}^2 \text{ de cultivo (24 lechugas)} \end{aligned}$$

EC. 2.1

Es importante que el estanque o depósito este cubierto para evitar contaminación u otras alteraciones físicas en la solución nutritiva.

### **2.9.5 Canales de cultivo**

En el sistema “NFT” al no utilizar ningún tipo de sustrato y ser un sistema estrictamente hidropónico los canales de cultivo sostienen a la planta, recorriendo en su interior el agua con sales minerales disueltas, de esta manera genera el sistema radicular del cultivo lo cual permite la sujeción de las plantas [3] [6].

Existen diferentes canales de cultivo rectangular o cilíndrico, los cilíndricos mejor conocidos como de PVC son lo más utilizados para sistemas NFT básicos ya que son menos costosos y tienen algunas cualidades como una superficie lisa para evitar estancamiento de la solución nutritiva y pérdida de oxígeno, provocado por el desarrollo radical [3].

Es recomendable que no superen los 15 m ya que pueden presentarse deficiencia de oxígeno y a su vez de nutrientes en las raíces del cultivo, de igual manera es importante que ningún canal este cubriendo otro ya que la planta que crezca por debajo perderá horas luz, lo cual provocara menor desarrollo que las demás [3].

Otro aspecto que es importante es la pendiente, para que la solución nutritiva fluya de manera constante por los canales hasta la red colectora, descendiendo por gravedad hacia el depósito [3].

El descenso es provocado por la pendiente longitudinal del canal de cultivo, se recomienda que la pendiente sea del 2%. Ya que, si son mayores del 4%, dificultara la cantidad de absorción de la solución nutritiva. En el caso que sea menor al 2%, no suministra de vuelta la solución nutritiva al estanque colector y la altura de lámina o película de solución nutritiva se ve afectado [3].

En casos cuando se implementan especies de plantas que presentan gran desarrollo radical, se puede aumentar la pendiente longitudinal, así se puede evitar el estancamiento por el colchón de raíces [3].

En cuestiones como el mantenimiento y sanidad son materiales fáciles de limpiar y son reutilizables para otro ciclo de cultivo por lo cual son recomendables para cultivos como tomate, lechuga, pepino, pimentón, melón, berenjena y especias. [3]

### **2.9.6 Bomba**

La bomba es uno de los equipos primordiales para realizar la técnica de cultivo del sistema de recirculamiento, de tal manera requiere de una atención personal, como en su elección y operación [3].

El objetivo de la bomba es impulsar la solución nutritiva del depósito o estanque hasta los canales de cultivo colocados en un nivel más alto, mediante la red de distribución. De acuerdo a la magnitud del prototipo se considera un equipo de alarma que muestre alteraciones o interrupciones no esperadas, por lo cual si no se toma en cuenta puede provocar serios inconvenientes, que incluso sea la pérdida de cultivo [3].

Adentro de la enorme variedad de ejemplares de bombas, por el uso o sus características de operación, destacan las de accionamiento eléctrico, de operación sumergida o no sumergida [3].

De acuerdo a estas especificaciones las primeras son óptimas para el prototipo ya que son más silenciosas y no requieren de un consumo alto de energía eléctrica, pero a su vez su valor monetario es más alto que las no sumergibles [3].

La necesidad del "cebado", es decir, mantener la tubería de succión y cámara de la bomba completamente llena de líquido, y el requerimiento de mayor cantidad de accesorios para su instalación, no resultan ser inconvenientes de importancia para constituirse en una buena alternativa para el sistema "NFT" [3].

Una bomba adecuada a las existentes necesidades del modelo de cultivo, es de específica importancia no sólo por la inversión inicial, sino esencialmente por los gastos posteriores de operación y mantenimiento, contemplados dentro de los costos de producción. Para la selección de la bomba deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos [3]:

- a) Solidez y calidad de los componentes del motor y bomba. Con la utilización de una bomba sólida y constituida por elementos de buena calidad se permitirá

resistir una gran cantidad de horas de funcionamiento, como lo son las requeridas para cualquier especie que se establece en el sistema NFT.

- b) Resistencia de la bomba a la acción corrosiva de la solución nutritiva a través del tiempo. Si la bomba no es resistente a la corrosión, la vida útil de ésta disminuirá rápidamente, por lo cual se deberán reponer frecuentemente los elementos deteriorados para mantener su operación.
- c) Caudal de operación en relación a la altura manométrica requerida y eficiencia. Dado que en general existe una escasa diferencia de altura entre el nivel mínimo de solución nutritiva dentro del estanque y el punto más alto de los canales de cultivo, la bomba deberá ser capaz de impulsar eficientemente (a baja altura manométrica) un caudal máximo equivalente al producto del caudal que se maneja para cada canal de cultivo (2-3 litros por minuto) por el número de canales de cultivo. Este valor debe aumentarse en un 20% como margen de seguridad frente a mayores demandas de alguna especie que se cultive eventualmente en el sistema.

Es importante considerar las futuras ampliaciones del módulo productivo, de manera de evaluar el tamaño más conveniente. Ello puede considerarse, desde un comienzo, la adquisición de una bomba de mayor tamaño, con los consiguientes costos de operación, o simplemente contar posteriormente con otra unidad acorde al incremento de la superficie productiva [3].

La bomba debe localizarse en forma próxima al estanque colector, sobre una base firme para evitar movimientos y vibraciones. Al mismo tiempo, deberá tenerse especial preocupación de no hacer funcionar la bomba en seco y adoptar las protecciones termoelectricas necesarias que eviten la pérdida total de la bomba frente a eventuales fallas en el sistema [3].

### **2.9.7 Red de distribución**

En la red de distribución, la solución nutritiva es dispensada mediante una red combinada por tuberías y mangueras de PVC desde el estanque donde se encuentra la bomba sumergible hacia los canales de cultivo en la parte superior. [3]

En la red de distribución se debe contemplar el volumen a transportar a través del sistema en relación con su dimensión, de tal manera que como el flujo en un sistema NFT, el flujo no supera los 3 litros por minuto, específicamente dependerá del cultivo o la planta que pueda absorber los nutrientes necesarios de la solución nutritiva [3].

En el caso de tener una superficie menor a 100 m<sup>2</sup>, es recomendable utilizar manguera de 1 a 2 cm de diámetro para proporcionar el caudal necesario, por esta razón se descarta el utilizar tuberías de PVC de una pulgada que son utilizadas en áreas mayores y con caudales a su dimensión de cultivo [3].

### **2.9.8 Red colectora**

La red colectora capta la solución nutritiva de los canales de cultivo y la traslada hacia el estanque o deposito en pendiente descendente. Se encuentra al final o al extremo de cada deposito, todo esto dependiendo del tipo de diseño del sistema hidropónico NFT, esta se encuentra más bajo del canal de cultivo, de esta forma se permite la oxigenación al descender por gravedad al caer dentro de la red colectora [3].

Es importante reducir a la caída de la solución nutritiva hacia el estanque o deposito, mediante un codo o reducción asegurando así ninguna perturbación a algún dispositivo de sensado. De igual manera es de suma importancia no utilizar ningún tipo de material que afecte o reaccione con la solución nutritiva [3].

## **2.10 Variables técnicas, físicas y químicas de un sistema NFT**

Una vez definidos los elementos de un sistema NFT se requiere tomar en cuenta las variables técnicas, físicas y químicas siendo las siguientes:

1. Calidad hídrica.
2. Iluminación y Radiación solar.
3. Temperatura del micro ambiente.
4. Humedad del microambiente.
5. Bióxido de carbono.
6. Nutrición vegetal.
7. Solución nutritiva.
8. Potencial de Hidrogeno de la solución nutritiva.

9. Conductividad de la solución nutritiva
10. Oxigenación de la solución nutritiva.
11. Flujo de la solución nutritiva.
12. Nivel de la solución nutritiva

### **2.10.1 Agua**

La calidad del agua, como regla general, si el agua es apta para el humano también lo es para el cultivo hidropónico.

Problemas que se presenta en cultivo son derivados del tipo de agua utilizada, bajando el rendimiento, por eso importante tener en cuenta sus propiedades de algunos tipos de agua [3] [4] [6].

El agua contiene concentraciones de calcio que ocasionan problemas, como taponar los orificios de las instalaciones de riego, ya que se aloja el calcio en esas áreas. Otras aguas con alto contenido de sales, pueden ser utilizadas, se debe tomar en cuenta el tipo de cultivo, ya que unos son más tolerantes como son: la lechuga, el pepino y el tomate.

La calidad del agua a nivel microbiológico es importante e incluso por las normas de sanidad mexicana, hay que tener siempre en mente que, si se sospecha que el agua este fuera de los rangos de sanidad, lo más correcto es desinfectarla, con técnicas como la cloración como el camino más utilizado, por su facilidad y economía, con concentraciones (hipoclorito de sodio, 2 a 5 ppm de cloro), por cual es importante que el agua tenga valores de PH en su rango normal de 6.5 a 8.5.

Hay otro mecanismo que se puede adoptar son un filtro de carbón activado o más sofisticado una lámpara ultravioleta y generadores de ozono.

### **2.10.2 Iluminación y radiación solar**

La luz solar es necesaria y de suma importancia ya que es la forma en que la planta sintetiza su propio alimento. El proceso en el que la planta convierte la energía lumínica en alimento se denomina fotosíntesis y se determina como elemento vital para el crecimiento [1].

Pero claro no todas las plantas requieren de la misma cantidad por lo que existe otro fenómeno llamado fotoperiodo o duración de ciclos diarios de la luz solar y este dependerá de las estaciones del año ya que está ligada a la duración de los días en horas luz. En función de esto, las plantas se clasifican en tres grupos [1]:

1. Fotoperiodo largo: Son aquellas plantas que requieren lapsos de luz 14 horas como la espiga y zanahoria.
2. Fotoperiodo corto: Son aquellas plantas que requieren lapsos de 10 o menos horas como algunas variedades de papa.
3. Fotoperiodo indiferente: En estas la floración no influye por la duración de las horas luz, como el chile y jitomate entre otros.

Al elegirse un lugar abierto o invernadero, se debe de estar alerta que durante las horas del día el cultivo este expuesto al sol de lleno y es conveniente que meses estivales (estío o verano), protegerlos con redes o mallas que les den sombra contra la luz solar [1].

Desde el punto de vista del microclima del invernadero la luz solar favorece al incremento de la temperatura este factor se le denomina radiación ya que llega al interior de la cobertura plástica siendo los principales responsables del clima del invernadero [1].

Esta energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas no uniformes y se dividen en [1]:

- a) Ultravioleta: Abarca una longitud de onda hasta 390 nm.
- b) Visibles: Abarca una longitud de onda de los 400 a 760 nm es esencial para el crecimiento para las plantas.
- c) Infrarroja de onda corta: Abarca una longitud de los 760 a 2500 nm de ella depende el calentamiento de del suelo y las plantas.
- d) Infrarroja de onda larga: Abarca una longitud de onda mayor 2500 nm es desprendida por el suelo, plantas y estructuras en consecuencia del calentamiento durante el día.

Para mejorar la iluminación, aumentar o disminuir la temperatura por la radiación dependerá de factores como [1]:

- Factores modificables: Orientación, Angulo de la techumbre y Tipo de invernadero.
- Factores no modificables: Latitud y Estaciones del año.

Cuando se pretende sustituir la luz de sol, por factores como la falta de luz directa, ubicación o por estar dentro de una zona urbana, la recomendación es la utilización de luz artificial haciendo frente al problema, pero en la intensidad luminosa importante considerar dos aspectos: primero si es lo suficiente o relativamente débil y segundo que favorezca el proceso fotosintético, respectivamente para cada problema de sustitución de la luz del sol.

En el tipo de lámpara la gama es muy alta, hay de varios tipos, incandescentes, fluorescentes, mercurio y leds. Los aspectos de montaje y luz varían según el tipo de cultivo y el grado de iluminación requerido.

### **2.10.3 Temperatura del microambiente**

La temperatura es un factor determinante para el proceso de la fotosíntesis, respiración, absorción del agua, transpiración y procesos enzimáticos, es necesario precisar que no hay temperatura ideal que aporte el mejor crecimiento sino la que desarrolle a la planta de manera armónica es por esto que la adecuada para la mayoría de los cultivos hortícolas es de los 15 a los 35 °C. Los cultivos establecidos en un clima diferente al que están expuestos normalmente, pueden verse afectados [14].

La aceptación de un cultivo o planta a las temperaturas cambiantes varía según la especie. Las bajas temperaturas son el fenómeno más severo en las plantas o el cultivo, así como el sol directo, en lugares áridos o muy cálidos. En la Tabla 2-3.- Temperaturas optimas según el cultivo. Se muestran las temperaturas apropiadas para cada cultivo [3].

Tabla 2-3.- Temperaturas optimas según el cultivo.

Cultivo	Germinación	Floración	Manutención	Desarrollo
Tomate	25-30	16-20	16-20	20
Berenjena	28	-	-	21-29
Pimiento	24-25	28	28	21-28
Pepino	14-35	20-25	20-25	26-30
Melón	25-30	20-25	20-25	20-25
Calabacita	25-35	-	-	24-26
Lechuga	15-25	-	-	15-18
Espinacas	5-25	-	-	15-18
Zanahoria	6-8	-	-	7-15
Col	6-8	-	-	7-15
Cebolla	6-8		-	-

#### 2.10.4 Humedad del microambiente

La relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la que está saturada se conoce como humedad y se expresa en porcentaje. La manera en que afecta la humedad en la planta es su metabolismo ya que si es demasiado alta reduce la transpiración y reduciendo la absorción de los nutrientes o si la humedad es demasiado alta reduce significativamente el proceso de la fotosíntesis [14].

Para la mejor asimilación es importante que el aire se encuentre en un estado higrométrico óptimo para la planta. De tal manera que la humedad fortalece a la planta sobre el funcionamiento del cambio gaseoso con la atmosfera. La falta de humedad impide la absorción de gas carbónico, y en efecto, la absorción radical [3].

Cuando las plantas tienen un aparato radical muy floreciente evaporan grandes cantidades de agua, lo cual las hace muy exigentes con el valor higrométrico. En los cultivos que están bajo invernadero la humedad los valores de humedad son mayores en relación en los cultivos de campo abierto, lo cual prolonga el tiempo de fotosíntesis [3].

La gran mayoría de los vegetales manejan un promedio del 75%, cuando baja el nivel de humedad, se procede a humidificar con la simple acción de regar el área de cultivo cubierta por el invernadero [3].

Al tener instalaciones más especializadas se requiere de dispositivos humidificadores tales como [3]:

- Humidificadores estáticos.
- Humidificadores de filtro evaporatorio.
- Humidificadores de pulverización.

Estos dependerán de las necesidades del cultivo.

#### **2.10.5 Dióxido de carbono**

Aunque dentro de la agricultura tradicional o técnicas no se le tome en cuenta el CO<sub>2</sub> es un nutriente muy importante ya que contienen el 44% del carbono y similar a la del oxígeno. Dentro de la nutrición vegetal al termino nutrición carbónica hace referencia a la concentración CO<sub>2</sub> en donde no excede 300 ppm, si este factor tiene una concentración mínima se ve afectado el crecimiento considerablemente de la planta [1].

#### **2.10.6 Nutrición vegetal**

La nutrición de las plantas es base de la hidroponía ya que requieren de varios elementos para su desarrollo, absorbidos a través del sistema radicular. Dentro de la nutrición vegetal existen elemento o sales minerales esenciales para la vida del organismo vegetal y su función es tan específica que no pueden ser sustituidos por otros. No solo es su importancia si no también la cantidad en la que se encuentran en el cultivo ya sea en suelo o el agua. Además del oxígeno, carbono e hidrogeno obtenidos del aire o ambiente existen más elementos que son parte de la nutrición y son clasificados en [1] [6]:

- Macronutrientes: Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio y silicio.
- Micronutrientes: Boro, cloro, manganeso, hierro, cinc, cobre, molibdeno, níquel, selenio y sodio.

La nutrición vegetal es un tema relevante y complejo por diversas cuestiones: la falta de un mineral puede causar deficiencia; las necesidades de cada planta son diferentes en su nutrición; y el exceso de un elemento repercute en la deficiencia de otro.

### 2.10.6.1 Macronutrientes

Los macronutrientes son los elementos necesarios para la planta en grandes cantidades y teniendo funciones de gran relevancia biológica como se muestra en la Tabla 2-4.- Macronutrientes y su función.

Tabla 2-4.- Macronutrientes y su función.

<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
<b>Carbono</b>	Estructura y almacenamiento de energía.
<b>Oxígeno</b>	Respiración celular.
<b>Hidrógeno</b>	Construcción de azúcares; crecimiento.
<b>Nitrógeno</b>	Componente de varias biomoléculas y clorofila.
<b>Potasio</b>	Activación de numerosas enzimas.
<b>Calcio</b>	Componente de la pared celular; regulación de las membranas celulares.
<b>Magnesio</b>	Componente de la clorofila; activación de numerosas enzimas.
<b>Fósforo</b>	Componente de varias biomoléculas y los transportadores de energía , ATP y ADP.
<b>Azufre</b>	Componente de algunos amino ácidos y enzimas.
<b>Silicio</b>	Fortalecimiento de la pared celular; resistencia a heladas y sequías.

### 2.10.6.2 Micronutrientes

Al contrario de los macronutrientes los micronutrientes se necesitan en menores cantidades a pesar de esto son indispensables para el desarrollo y salud de la planta véase en la Tabla 2-5.- Micronutrientes y su función.

Tabla 2-5.- Micronutrientes y su función.

<b>Elemento.</b>	<b>Función</b>
<b>Cloro</b>	Producción de oxígeno en la fotosíntesis.
<b>Hierro</b>	Síntesis de clorofila; componente de varias proteínas.
<b>Boro</b>	Utilización de calcio; síntesis de ácidos nucleicos; integridad de membranas.
<b>Manganeso</b>	Activador de algunas enzimas; liberación de oxígeno en la fotosíntesis.
<b>Cinc</b>	Activador y componente de numerosas enzimas.
<b>Cobre</b>	Activador y componente de algunas enzimas.
<b>Molibdeno</b>	Fijación del nitrógeno.
<b>Sodio</b>	Estimulación del crecimiento; mejora de la calidad de la cosecha.
<b>Níquel</b>	Activador de enzimas que previenen la acumulación toxica de urea.
<b>Selenio</b>	Antioxidante.

### 2.10.7 Solución nutritiva

Es aquella solución acuosa que contiene oxígeno disuelto y todas las sales minerales necesarios para el adecuado crecimiento de las plantas. La selección y la formulación de la solución dependerá de la especie vegetal a cultivar, condiciones

ambientales y etapa en la que se encuentra la especie vegetal; otros factores como los costos en el mercado y la solubilidad de las sales minerales [4] [6].

### 2.10.7.1 Factores que afectan la solución nutritiva.

- Calidad del agua.
- Temperatura.
- Oxigenación.
- Potencial de hidrogeno.
- Sales disueltas en una solución.

### 2.10.8 Potencial de hidrógeno de la solución nutritiva

El PH mejor conocido como potencial de hidrogeno, es el nivel de acidez o alcalinidad de una solución, y varía de una escala de 0 a 14, donde 7 es valor neutro.

En hidroponía es importante que las soluciones no tengan los valores inferiores 4 y superiores a 9, no deban de usarse, porque las primeras son muy acidas y las segundas muy alcalinas, como se observa en la Tabla 2-6.- Valores de PH según el grado de la solución.

Tabla 2-6.- Valores de PH según el grado de la solución [3].

PH	Valor
4	Muy ácido
5	Moderadamente ácido
6	Ligeramente ácido
7	Neutro
8	Ligeramente alcalino
9	Moderadamente alcalino
10	Muy alcalino

Los cambios en el PH son provocados por los elementos químicos que componen a la solución nutritiva. Para saber el grado de PH, se requiere de

peachimetros o bien indicadores que cambian su coloración en base al grado de concentración de iones de hidrógeno. El nivel requerido para cada cultivo se puede observar en la Tabla 2-7.- Grado de PH necesario para cada cultivo.

Tabla 2-7.- Grado de PH necesario para cada cultivo [3].

PH	Cultivo
4.5 a 5.5	Árnica, azalea, batata dulce, camelia, gardenias, lirio carolino, rosas, orquídeas.
5.5 a 6.0	Azul europeo, brócoli, cacahuete, clavel, dalias, melones, nabo, menta, sandía, tomates.
6.0 a 6.5	Lechuga
6.7 a 7.0	Betabel, begonia, limón, menta, maíz, mastuerzo, narcisos, caléndulas, coliflor, crisantemos, chícharo, chile, calabazas, cebolla, esparrago, nabo, naranjo, repollo, zanahoria, espinaca, frijol, fresas, girasol, habas, tabaco.
7.0 a 7.5	Alfalfa, algodón, avena, álamos, betabel, cebada, cerezos, clavo de especia, ciruelos, calabazas, durazno, frambuesa, manzano, melones, pepinos, peras, papas, papayas.

Para reducir el grado de PH cuando se tiene un valor muy alcalino, se agrega una solución ácida la cual se compone de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y ácido ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), en la proporción adecuada.

Si se requiere alcalinizar la solución nutritiva, se prepara una solución básica de hidróxido de potasio para después agregarla en pequeños volúmenes.

### 2.10.9 Conductividad de la solución nutritiva

Se utiliza para indicarnos el total de los constituyentes totales en una solución que están ionizados en el agua; esta afín con la concentración de total de sales. Cuando la concentración de sales es mayor en una solución, conduce mejor electricidad, gracias a esta propiedad podemos medir la salinidad de una solución en términos de CE y se

expresa en  $m\Omega^{-1}$  por centímetro ( $m\Omega^{-1}/cm$ ) como se observa en la siguiente Tabla 2-8.- Nivel de salinidad apropiado para cada cultivo.

Tabla 2-8.- Nivel de salinidad apropiado para cada cultivo [3].

Cultivo	CE ( $m\Omega^{-1}/cm/cm$ )
Apio	1.2
Betabel	2.7
Brócoli	1.9
Calabaza italiana	3.1
Cebada	5.3
Cebolla	0.8
Espinaca	1.3
Frijol	0.7
Lechuga	0.9
Maíz	1.1
Tomate	1.7
Trigo	4.0
Zanahoria	0.7

En hidroponía para tener una lectura practica se utiliza el Factor de conductividad (F.c) y se define como se observa en la ecuación 2 [3]:

$$\text{Factor de conductividad (Fc)} = C.E(mS/cm) * 10 \quad \text{EC. 2}$$

Equivalencias:

$$C.E. = 1 \frac{mmho}{cm} = 1 \frac{mS}{cm} = 640 ppm = 640 \frac{mg}{l}$$

En donde:

- Conductividad Electrica (C.E) en  $m\Omega^{-1}/cm$ .
- Factor de conductividad (F.c).
- Conductancia eléctrica mS/cm.
- Unidades en una sustancia en ppm.
- Cantidad de masa por cada unidad de volumen mg/l.

Normalmente el determinar la concentración de todos los elementos en una solución es tarea de laboratorios mediante análisis químicos y es importante hacerlos como primer estudio, pero para fines de las estimaciones diarias para el cuidado de la solución nutritiva se requiere el uso de quipos prácticos y de bajo costo como los estimadores de conductividad eléctrica o TDS para hacer un manejo sencillo de la solución nutritiva.

#### **2.10.10 Oxigenación de la solución nutritiva**

Para la obtención de buenos resultados es importante que las plantas o el cultivo, que aparato radical tengan oxígeno, mediante la aireación ya que necesitan de oxígeno para desarrollarse.

Otra razón sumamente importante es por los patógenos que puede desarrollar si no está bien oxigenada la solución nutritiva. Cuando las raíces son hundidas en la solución nutritiva, es insuficiente el oxígeno porque es nula la renovación del mismo, por lo cual es necesario utilizar el método de cascada para oxigenar la solución.

#### **2.10.11 Formulación y preparación de la solución nutritiva**

Dentro de una solución nutritiva la concentración de los elementos nutritivos generalmente expresados en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l), al pasar los años el proceso en investigación se han descrito un gran número de formulaciones que discrepan en los fertilizantes, como se muestra en la Tabla 2-9.- Grados de concentración de elementos minerales según diversos autores. Tabla 2-9.- Grados de concentración de elementos minerales según diversos autores. Tabla 2-9.- Grados de concentración de elementos minerales según diversos autores.

<i>Concentración (ppm)</i>							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)

<b>N</b>	210	168	150-225	106	172	200-236	167
<b>P</b>	31	41	30-45	62	41	60	31
<b>K</b>	234	156	300-500	156	300	300	277
<b>Mg</b>	34	36	40-50	48	48	50	49
<b>Ca</b>	160	160	150-300	93	180	170-185	183
<b>S</b>	64	48	--	64	158	68	--
<b>Fe</b>	2.5	2.8	3-6	3.8	3	12	2-4
<b>Mn</b>	0.5	0.54	0.5-1	0.81	1.3	2	0.62
<b>B</b>	0.5	0.54	0-0.4	0.46	1	0.3	0.44
<b>Cu</b>	0.02	0.064	0.1	0.05	0.3	0.1	0.02
<b>Zn</b>	0.05	0.065	0.1	0.09	0.3	0.1	0.11
<b>Mo</b>	0.01	0.04	0.05	0.03	0.07	0.2	--
	Hoagland y Arnon (1938)	Hewitt (1996)	FAO (1990)	Jensen (s/fecha)	Larsen (s/fecha)	Cooper (1979)	Steiner (1984)

Fuente: [14].

La necesidad de tener parámetros y un método de preparación es importante para poder tener un proceso confiable a continuación se hace una guía de una propuesta de preparación de solución nutritiva [4].

1. Pesar individual cada sal.
2. Llenar el tanque al 50-70% de su capacidad.
3. Bajar el PH a 5.5 si no se usa ácido fosfórico.
4. En recipientes de agua, disolver cada sal. Utilizar agua caliente en caso de que se dificulte la disolución.
5. Vaciar al tanque los micronutrientes primero y luego los macronutrientes.
6. Ajustar el PH con ácido sulfúrico (si es muy alcalino) o hidróxido de potasio (si es muy ácido).
7. Llenar el tanque a la capacidad deseada.
8. Cada tercer día ajustar el PH.

### **2.10.12 Control y renovación de la solución nutritiva**

Es importante el cuidado diario de la solución nutritiva, cuando tiene control manual este tiene que corregirse todos los días y seguir los siguientes pasos:

- Detener el funcionamiento de la bomba por intervalos de tiempo pequeños y esperar a que regrese la mayor cantidad de solución nutritiva al estanque colector.
- Después de la espera, agregar agua hasta el nivel inicial, agitar y medir el PH.
- Si el PH es mayor al rango óptimo del cultivo o viceversa agregar una mezcla ácida o alcalina respectivamente, agitar y medir el PH de nuevo hasta alcanzar el deseado.

La renovación de la solución nutritiva, puede ser cada vez que se requiera, pero el tiempo para su cambio depende de la formulación y de su cuidado a la hora de su mantenimiento.

La correcta renovación de solución nutritiva, es factible si se corrige, los rangos de CE y PH para que pueda durar en el periodo de 3 a 4 meses, y claro no solo se basa en el mantenimiento de la solución si no los cuidados del exterior como, limpieza del agua y estar en la oscuridad, esto se logra buscando cubrir los tubos colectores y estanque colector de manera permanente.

### **2.10.13 Flujo de la solución nutritiva**

El flujo de la solución nutritiva tiene como fin que las raíces de la planta tengan una adecuada absorción de agua, oxígeno y nutrientes dentro de los rangos establecidos es aproximadamente en 2-3 litros por minuto.

Hay que tomar en cuenta que con el tiempo el desarrollo radicular se mayor por lo cual será un impedimento para que se realice un adecuado recircula-miento de solución. Además, provocando acumulación de sales en el colchón de raíces y provocando la muerte de las mismas por ello es aumentar el caudal y ver si el cultivo seleccionado es una especie que tenga gran desarrollo radical.

#### **2.10.14 Nivel de la solución nutritiva**

Es importante tener en cuenta la capacidad del estanque y el flujo de la solución nutritiva, pero también conocer el nivel de solución que está en el estanque, para poder asegurar el flujo continuo de la solución nutritiva a los canales de cultivo, esto debido a la merma de la solución nutritiva por aspectos como: la absorción y evaporación.

Estos aspectos provocan que se observe continuamente el nivel de la solución para poder agregar más, como lo vaya requiriendo la hortaliza. Por ello es muy importante conocer el nivel de la solución para poder mantener un flujo o accionar la propia bomba para llevar la solución de a los canales.

La importancia está en que si no existe solución o la mínima requerida en el estanque el sistema estará lejos de funcionar de manera óptima para el desarrollo de la hortaliza. El nivel de la solución no debería alcanzar una altura superior 4 a 5 mm y favorecer a la aireación de la solución y la oxigenación de las raíces.

#### **2.10.15 Selección y características fisicoquímicas del cultivo de un sistema NFT**

Es necesario elegir el tipo de hortaliza ya que así se desprenderá las características climatológicas e infraestructura para el prototipo de un sistema de película de solución nutritiva adecuado a la planta para su crecimiento.

La elección de la lechuga llamada *Lactuca sativa* L.var.acePHala Dill se caracteriza por su alto valor en el mercado y del uso popular en los sistemas hidropónicos por su rendimiento.

##### **2.10.15.1 Datos generales**

La selección del cultivo es necesaria para la observación y registro de datos, así como sus propiedades fisiológicas.

Familia: Asteraceae Compositae (Asterácea Compuesta).

Nombre científico: *Lactuca sativa* L.var.acePHala Dill.

Descripción Botánica: Esta subespecie de lechuga se caracteriza por tener hojas sueltas y dispersas corresponden a las llamadas Lollo Rosa, Lollo Bionda, Hoja Roble, etc. Son las lechugas de corte de hojas sueltas (loose leaf), ya que como su nombre lo

indica, este tipo no forma cogollo, sino que sus hojas son sueltas, no envolventes. Estas plantas forman una roseta muy plana, las hojas pueden variar en contenido de antocianos, dando muy interesantes colores o combinaciones de colores, además los bordes de las hojas son muy variados en formas.

### 2.10.16 Especificaciones del cultivo

Tabla 0-10.- Especificaciones de un sistema invernadero hidropónico.

Especificaciones para el cultivo seleccionado en un sistema de invernadero hidropónico.	
Especificación	Detalle
Dimensión del sistema de prueba	Largo:4 m;Ancho:3 m;Alto:2.5 m.
Temperatura del microambiente	Día: 18 °C +/- 3 °C; Noche: 15 °C +/- 3 °C
Humedad del microambiente	70% +/- 10% humedad relativa.
Luminosidad	Tiempo de iluminación min. de 6 horas
Número de plantas	12-60
PH de la solución nutritiva	6 – 6.5 +/- 0.2
Conductividad de solución nutritiva	0.9 mΩ <sup>-1</sup> /cm +/- 0.3 mΩ <sup>-1</sup> /cm /cm
Velocidad de flujo de la solución	1.8 L/min +/- 0.3 L/min
Altura de la columna de la solución	8mm +/- 3mm
Trasplante	Con las primeras 5 hojas.
Observaciones	Estanque de 60 litros; Estructura de cultivo PVC 3-4 pulgadas.

# Capítulo 3 Selección e Instrumentación de Sensores y Actuador

## 3.1 Software Proteus VMS

En la actualidad existen gran cantidad de programas dedicados al diseño de circuitos eléctricos y electrónicos para el desarrollo de anteproyectos con el fin de conocer su funcionamiento o comportamiento mediante la simulación.

Es un programa de software en diseño eléctrico y electrónico basado en simulación analógica, digital o ambas, tiene la capacidad de brindar de integrar e interactuar con varios elementos al realizar un circuito. [15]

Este programa es un sistema de modelado virtual (VMS de sus siglas en ingles Virtual System Modelling), de manera que Proteus permite modelar de forma virtual cualquier circuito en una computadora ya que incluye componentes animados para la visualización en tiempo real [15].

Es por ello que Proteus MVS es uno de los simuladores preferidos para llevar a cabo las tareas específicas en el diseño de nuestro circuito ya que brinda la posibilidad de simular circuitos que incluye microcontroladores y microprocesadores [15].

Aunque dentro del avance del desarrollo de software la actualización es indispensables existen diferentes versiones y a partir de ahora solo nos referiremos a él solo como Proteus.

Para instalar Proteus es necesario seleccionar una versión y descargarla en la computadora y ejecutar el archivo de instalación y seguir los pasos que normalmente se hacen en Windows para la instalación de cualquier aplicación. Dentro de la presente tesis se utiliza con la versión 8 Professional como se muestra en la Ilustración 0-1.- Ventana inicial de Proteus 8.11 Professional.

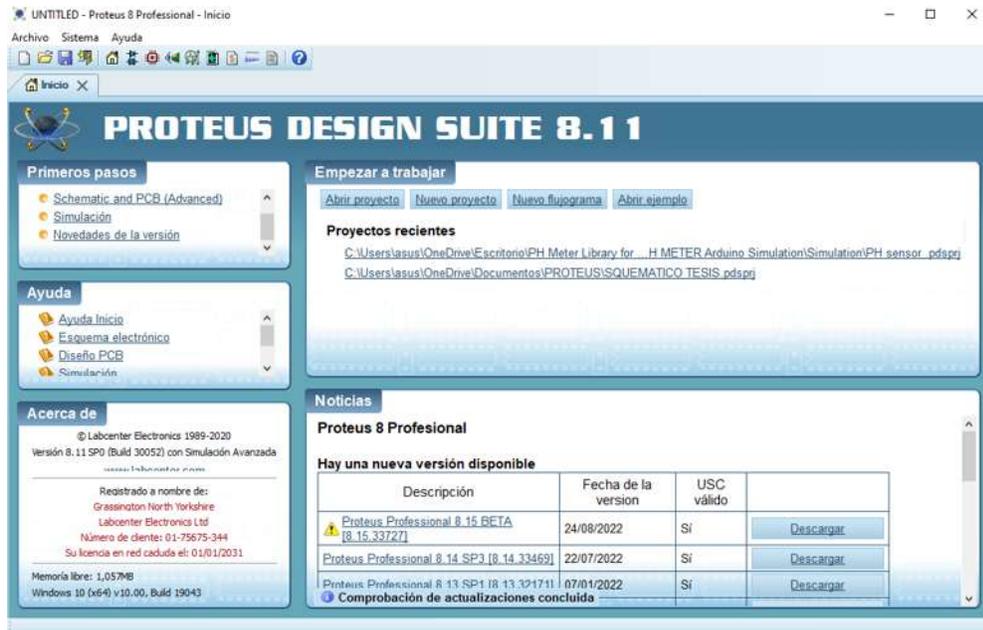


Ilustración 0-1.- Ventana inicial de Proteus 8.11 Professional.

### 3.1.1 Interfaz de ISIS

Dentro de Proteus existe el módulo ISIS es un campo para dibujar los diagramas de cualquier circuito [15]. En este espacio se encuentran todas las herramientas necesarias para la creación del circuito de manera que este espacio es apropiado para la ejecución de la simulación del circuito de observación y actuador de bomba. Se puede visualizar el espacio de trabajo en la Ilustración 0-2.- Espacio de trabajo ISIS.

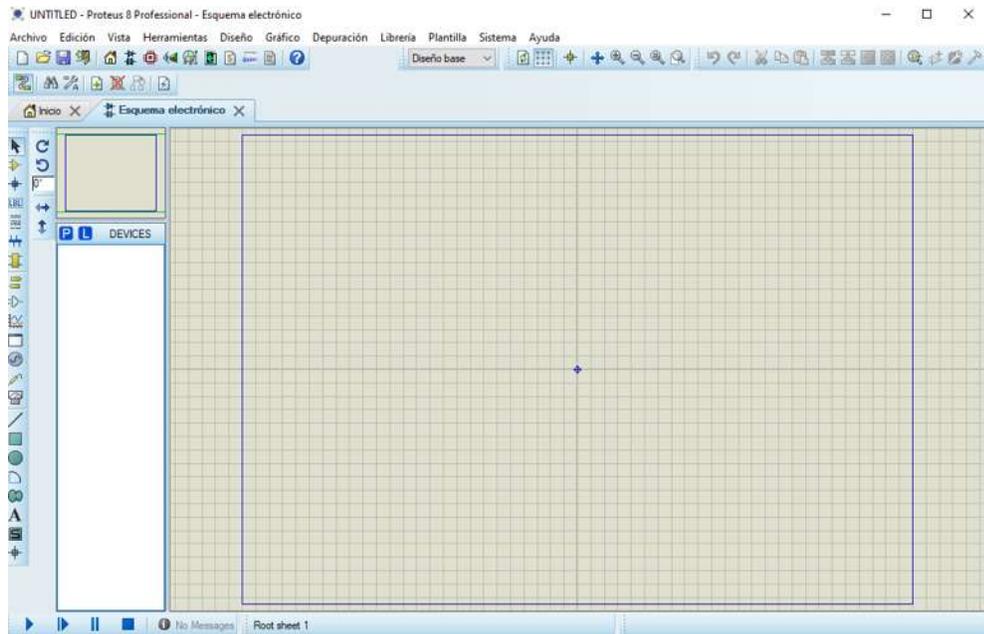


Ilustración 0-2.- Espacio de trabajo ISIS.

### 3.1.2 Interfaz ARES

La interfaz de Proteus tiene otro módulo llamado ARES, en este módulo su función es la creación de placas de circuito impreso (PCB de sus en inglés printed circuit board), para el armado de circuitos físicos. Por lo que Proteus es una herramienta muy utilizada en ingeniería para el desarrollo de circuitos a nivel profesional. Si quieres saber más del uso de esta herramienta puedes consultar la siguiente introducción a Proteus [15].

## 3.2 Arduino

Es hardware y software de código abierto para la creación de prototipos multidisciplinares para facilitar el uso de la electrónica.

### 3.2.1 Hardware

La placa ARDUINO en su diseño contiene un microcontrolador reprogramable o que permite su programación y una serie de pines hembras conectados a él para poder realizar las diferentes acciones con sensores o actuadores. Sin embargo, existen varias placas por lo que se especifica en la presente tesis y se propone el uso de la placa de la Ilustración 0-3.- ARDUINO UNO R3.



Ilustración 0-3.- ARDUINO UNO R3 [17].

### 3.2.2 Software

El lenguaje de programación para la placa ARDUINO está basada en un entorno de desarrollo inspirado en el lenguaje Processing, lo que lo caracteriza al resto es que es libre, gratis y multiplataforma siguiendo reglas sintácticas encontrando parecidos a otros lenguajes de programación como comandos, variables, condicionales y funciones [18].

No obstante, tiene otra gran ventaja como es libre es extensible por lo cualquier usuario puede mejorar o ampliar el uso del hardware y software de ARDUINO por lo que lo hace un ecosistema y una comunidad permitiendo la creación de librerías software de terceros o de placas no oficiales [18].

Estas librerías son instrucciones agrupadas de una forma lógica y eficaz para hacer ejecutadas cuando se requieran dando funcionalidad, organización y los programas resulten más pequeños y por supuesto a lo largo de la presente tesis se incorporarán algunas de sus librerías oficiales o creadas por terceros [18].

El software ARDUINO deber ser instalado en un ordenador y nos permite escribir, verificar y cargar todas las instrucciones necesarias que se ejecutaran para el proyecto en desarrollo [17].

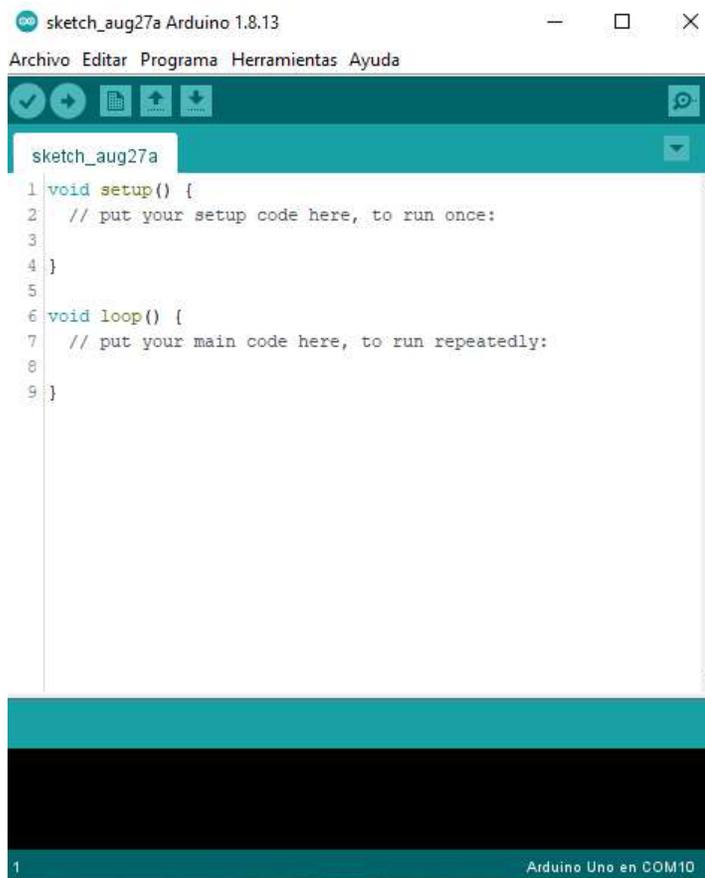


Ilustración 0-4.- Entorno de desarrollo Integrado de ARDUINO o IDE.

### 3.2.3 Ventajas de elegir Arduino

1. Precio accesible: Al comparar a ARDUINO con otras plataformas y microcontroladores ARDUINO dentro del mercado es una de las más baratas.
2. Multiplataforma: El software de comunicación y programación de ARDUINO puede ser ejecutado en sistemas operativos Windows, Mac OSX, GNU/Linux. En comparación con otros sistemas están limitados.
3. Autonomía: ARDUINO tiene las posibilidades de ser autónomo o no, ya una vez programado su microcontrolador puede estar conectado a alguna fuente de voltaje de forma permanente a un ordenador por medio de un cable USB.
4. Entorno de programación: El uso de su plataforma y lenguaje de programación es fácil lo que lo hace flexible para usuarios principiantes, avanzados y educadores.

5. Software abierto: Al ser un lenguaje abierto podemos modificar y extender para poder realizar nuestros proyectos y llevarlos a un nivel alto.
6. Hardware abierto: ARDUINO al ser un hardware libre se tiene la ventaja de crear versiones propias de los módulos de ARDUINO para extenderlos y mejorarlos.

### 3.2.4 Arduino UNO R3

Existen varios tipos de placas, no obstante existe la placa estándar utilizada para proyectos multidisciplinarios y es la seleccionada para el presente proyecto por su amplio uso y la información recabada por la comunidad ARDUINO [17].

En ARDUINO UNO R3 puede ser alimentada por conexión USB, una fuente de alimentación externa con un adaptador de AC-CD o con una batería.

### 3.2.5 Especificaciones de Arduino UNO R3

Tabla 0-1.- Especificaciones de ARDUINO.

Especificaciones	
Microcontroladores	ATmega328-ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limites)	6-20V
Pines E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan PWM)
Pines de entrada analógica	6
DC Corriente por I/O pin	40mA
Corriente CC PARA PIN 3.3V	50mA
Memoria Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Velocidad del reloj	16MHz

### 3.2.5.1 Pines de alimentación y suministro de voltaje

- **Vin.** Es utilizado cuando se trate de usar una fuente externa ya sea un adaptador de AC-CD O con clavija de 2,1 mm o una batería (9V) que aporte su voltaje dentro de los márgenes seguros conectando estos a su pin-hembra aportando un nivel de voltaje de 5V regulados y con una intensidad de corriente de 40 mA.
- **Gnd.** Pines-hembra o conexiones a tierra ya que es muy importante que todos los elementos compartan una tierra en común.
- **5V.** Este pin-hembra suministra una salida de 5V regulados con una intensidad de 40 mA.
- **3.3V.** Este pin-hembra suministra un voltaje de 3 voltios generado por un circuito específico de la placa, la corriente máxima es de 50 mA.
- **IOREF.** Es un pin y duplica regulada del pin “Vin” y opera con el mismo voltaje de referencia del microcontrolador.

### 3.2.5.2 Entradas/salidas analógicas y digitales

Los pines-hembra de entrada analógicas en la placa de ARDUINO consta de 6 canales etiquetado como “A0”, “A1”, “A2” ... hasta “A5” que permite un rango de voltaje de 0 V a 5 V. Un aspecto del funcionamiento es que su electrónica de la placa trabaja con valores digitales por lo que se requiere de una conversión del valor analógico al valor digital y esto se logra mediante un convertidor analógico/digital que está en la propia placa [19].

Es importante saber lo anterior y que el convertidor es de 6 canales y cada uno es de 10 bits de resolución para guardar cada valor de voltaje por lo cual se toman en cuenta esto los valores digitales van de 0 hasta 1023 o valores posibles en el que podemos dividir el rango de voltaje de entrada [19].

Las salidas Analógicas de Modulación de Ancho de Pulso (PWM de sus siglas en ingles Pulse Width Modulation) en ARDUINO Uno de 8 bits corresponden a 3, 5, 6, 9, 10 y 11 en donde cada una de las salidas analógicas emite una señal cuadrada por pulsos de frecuencia que pueden ayudar a variar la velocidad de un motor y como mencionamos la placa ARDUINO no tiene pines analógicos si no que son pines de

salidas digitales que simulan un comportamiento analógico gracias un sistema electrónico capaz de generar estas señales [19].

### 3.2.5.3 Otros pines de la placa Arduino

En la placa ARDUINO existen pines-hembra que tienen funciones específicas de entrada/salidas digitales como:

- Pin 0 (RX) y pin 1 (TX): Permiten recibir y transmitir datos en serie respectivamente sin pasar por la conversión USB-serie.
- Pines 2 y 3 pueden ser utilizados con la ayuda de programación software, para realizar interrupciones.
- Pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) y 13 (SCK) son pines de comunicación mediante protocolo SPI.
- Pines A4 (SDA) y A5 (SCL) son utilizados para conectar algún tipo de dispositivo que requiere de comunicación mediante el protocolo I<sup>2</sup>C/TWI.
- Pin AREF suministra un voltaje de referencia externo para entradas analógicas.

### 3.2.5.4 Protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C/TWI y SPI

Cuando se necesita enviar un conjunto de datos desde un componente electrónico a otro se puede comunicar en dos formas [18]:

- Comunicación serie. Es la comunicación que envía la información bit a bit por un único canal.
- Comunicación paralela. Es aquella donde se envían varios bits de manera simultánea cada uno por un canal separado y sincronizado del resto.

Existen muchos tipos de protocolos de comunicación en la transferencia de información en serie dentro de esta gran variedad nos interesan que el procesador de ARDUINO UNO R3 pueda comprender. Por lo cual los más importantes son [18]:

- I<sup>2</sup>C (TWI de sus siglas en inglés “Two-Wire” o también conocido como Inter-Integrated Circuit) en el español literal dos cables, un sistema utilizado en la industria para comunicar circuitos integrados entre sí.

Su principal característica es que su comunicación se establece por medio de dos cables de información la línea “SDA” que sirve para transferir los datos (0s y los 1s) y la línea “SCL” que sirve para enviar la señal de reloj. Lo cual hace que cada dispositivo conectado al bus con una comunicación I<sup>2</sup>C tiene una dirección específica respecto a otro.

- SPI (del inglés Serial PerIPHERal Interface) es un sistema que permite la comunicación a cortas distancias con cualquier dispositivo electrónico que utilice un flujo de bit serie sincronizado.

### 3.3 Módulo I2C

El módulo o dispositivo de comunicación serial I<sup>2</sup>C permite el uso de tu pantalla de cristal líquido (LCD de sus siglas en inglés Liquid Crystal Display), de una manera muy práctica ya que en algunos casos ARDUINO está limitado en entradas/salidas lo cual no permite conectar otros dispositivos como actuadores y sensores.



Ilustración 0-5.- Modulo I<sup>2</sup>C.

Al ser un dispositivo I<sup>2</sup>C su comunicación es en dos líneas ahorrando un número significativo, por otro lado, puede evitar la cantidad de cables que se utilizan al conectar la LCD [20].

### 3.3.1 Especificaciones del módulo I<sup>2</sup>C

Tabla 0-2.- Especificaciones electrónicas del módulo I<sup>2</sup>C.

Especificaciones	
Chip de adquisición de datos	PCF8574
Voltaje de alimentación	5 V DC
Protocolo de comunicación	I <sup>2</sup> C
Dirección I <sup>2</sup> C	0x3F / 0X27
LCD	16X2 / 20X4
Jumper	Macho – Hembra

### 3.3.2 Conexión en hardware Arduino y módulo I<sup>2</sup>C



Ilustración 0-6.- Conexiones en ARDUINO UNO del módulo I<sup>2</sup>C.

### 3.3.3 Programación en software Arduino del módulo I<sup>2</sup>C

Gracias a la creación de bibliotecas como es el caso de la biblioteca LiquidCrystal\_I2C, es más fácil la programación de la pantalla LCD. Es importante tener en cuenta que esta biblioteca debe estar instalada en el IDE de ARDUINO y además encontrar la dirección I<sup>2</sup>C predeterminada según el tipo o el fabricante después utilizar el código básico para mostrar datos gráficos en la pantalla LCD como se muestra en la Ilustración 0-7.-Código básico de LCD I2C.

```
1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2
3 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // I2C address 0x27, 16
4 column and 2 rows
```

```

5
6 void setup()
7 {
8   lcd.init(); // initialize the lcd
9   lcd.backlight();
10
11  lcd.setCursor(0, 0);           // move cursor to (0, 0)
12  lcd.print("ARDUINO");         // print message at (0, 0)
13  lcd.setCursor(2, 1);         // move cursor to (2, 1)
14  lcd.print("Hola Mundo");     // print message at (2, 1)
15 }
16
17 void loop()
18 {
19 }

```

Ilustración 0-7.-Código básico de LCD I2C [20].

### 3.4 Módulo RTC

Mejor conocido de como reloj de tiempo real (RTC de sus siglas en ingles Real Time Clock), es un dispositivo electrónico que permite el almacenamiento de eventos en las unidades temporales que comúnmente usamos [19].

La terminología de RTC se utiliza para diferenciar este tipo de reloj dentro de los relojes existente electrónicos, básicamente miden el tiempo registrando pulsos de una señal sin una conexión con unidades temporales [19].

El RTC son relojes calendarios que funcionan con segundos, minutos, horas, días, semanas, meses y años. Está conformado normalmente por un circuito integrado que contiene un resonador de cristal para contar de manera precisa el paso del tiempo.

Los relojes de tiempo real su es principalmente para la gestión de procesos por que reducen el consumo de energía y optimizan el uso del tiempo. Existen dos RTC el DS3231 y el DS1307 manufacturados por Maxim/Dallas Semiconductor. En la Ilustración 0-8.- Reloj RTC Tiny I2C. Se muestra reloj de tiempo real con chip DS1307 [19].



### 3.4.2 Conexión en hardware Arduino del módulo RTC TINY – DS1307

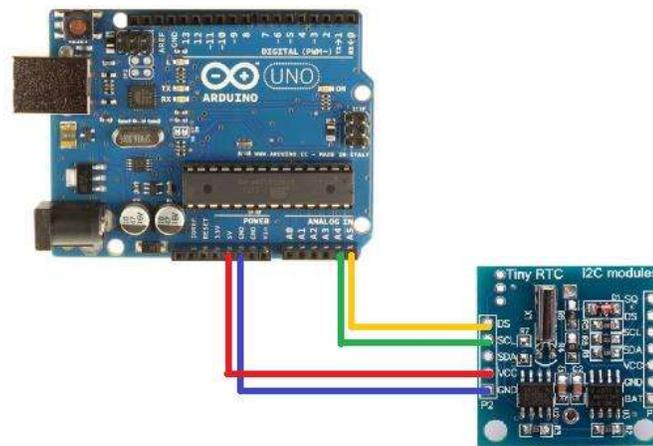


Ilustración 0-9.- Conexión del Módulo RTC Tiny-DS1307.

### 3.4.3 Programación en software Arduino del módulo RTC TINY – DS1307

La información recabada nos ayudara para darnos una idea de cómo estructura el algoritmo para leer y escribir el RTC DS1307. Para ellos haremos uso de la librería “Wire.h” que se encuentra instalada en ARDUINO para utilizar la comunicación I<sup>2</sup>C entre el DS1307 y ARDUINO [21].

El primer paso para poder trabajar con el DS1307 es poner en tiempo con un algoritmo básico y fácil de entender para principiantes como se observa en la Ilustración 0-10.-Código básico del módulo DS1307 para poner en tiempo [21].

<pre>#include &lt;Wire.h&gt; uint8_t second, minute, hour, wday, day, month, year;  void setup() {   pinMode(A3, OUTPUT);   digitalWrite(A3, HIGH);   pinMode(A2, OUTPUT);   digitalWrite(A2, LOW);    // Configurar la comunicacion a   9600 baudios   Serial.begin(9600);    // Preparar la librería Wire (I2C)   Wire.begin();</pre>	<pre>Serial.println("Poner a tiempo el DS1307 en Tiny RTC:"); print_time();   for (;;); } bool write_ds1307() {   Wire.beginTransmission(0x68);   Wire.write(0x00);   Wire.write(bin2bcd(second &amp; 0x7F));   Wire.write(bin2bcd(minute));   Wire.write(bin2bcd(hour));   Wire.write(bin2bcd(wday));   Wire.write(bin2bcd(day));   Wire.write(bin2bcd(month));   Wire.write(bin2bcd(year));</pre>
---	---

<pre> // Imprimir encabezado a la terminal Serial.println("----- ----- "); Serial.println(" EJEMPLO ESCRITURA DE DS1307 EN TINYRTC CON ARDUINO "); Serial.println("----- ----- ");  second = 10; minute = 21; hour = 15; wday = 4; day = 20; month = 10; year = 22; }  void loop() { write_ds1307(); </pre>	<pre> if (Wire.endTransmission() != 0) return false; return true; }  uint8_t bin2bcd(uint8_t bin) { return (bin / 10 * 16) + (bin % 10); }  void print_time() { Serial.print("Fecha: "); Serial.print(day); Serial.print('/'); Serial.print(month); Serial.print('/'); Serial.print(year); Serial.print(" Hora: "); Serial.print(hour); Serial.print(':'); Serial.print(minute); Serial.print(':'); Serial.print(second);  Serial.println(); } </pre>
---	---

Ilustración 0-10.-Código básico del módulo DS1307 para poner en tiempo [21].

El algoritmo de la ilustración anterior solamente pone en tiempo el reloj, una vez compilado y ejecutado el algoritmo podemos hacer el siguiente paso que es usar las librerías DS1307RTC y TimeLib para el DS1307 [21].

- Librería DS1307RTC. Permite leer y escribir el reloj DS1307.
- Librería TimeLib. Permite ejecutar operaciones de fecha y hora tipo unix.

El algoritmo es un ejemplo muy práctico y elegante para utilizar en múltiples tareas. Para asignar tiempo en hora y fecha aleatorias como el de la Ilustración 0-11.-Código con librerías DS1307RTC y TimeLib.

```

include <Wire.h>
#include <TimeLib.h>
#include <DS1307RTC.h>
void setup() {
// NOTA: Estas sentencias se requieren para alimentar
directamente el

```

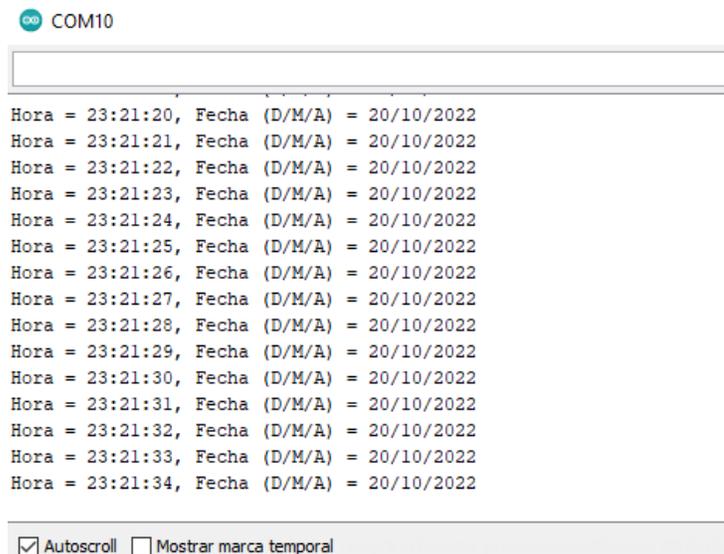
```

// chip RTC desde los pines A3 Y A2 (colocar directamente el
modulo sobre
// la tarjeta ARDUINO, sin la necesidad de cablear en ARDUINO
UNO).
// Si no se quiere hacer esto, se pueden eliminar o comentar sin
problemas
pinMode(A3, OUTPUT);
digitalWrite(A3, HIGH);
pinMode(A2, OUTPUT);
digitalWrite(A2, LOW);
// Configurar la comunicacion a 9600 baudios
Serial.begin(9600);
// Mostrar la leyenda inicial
// Imprimir encabezado a la terminal
Serial.println(F("-----
-----"));
Serial.println(F("EJEMPLO LECTURA DE RTC DS1307 EN TINYRTC CON
ARDUINO"));
Serial.println(F("-----
-----"));
}

```

Ilustración 0-11.-Código con librerías DS1307RTC y TimeLib [21].

El resultado obtenido de los primeros pasos del funcionamiento de tiempo real se muestra a continuación en la Ilustración 0-12.- Monitor serial y ejecución del algoritmo DS1307.



```

COM10
Hora = 23:21:20, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:21, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:22, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:23, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:24, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:25, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:26, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:27, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:28, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:29, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:30, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:31, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:32, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:33, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
Hora = 23:21:34, Fecha (D/M/A) = 20/10/2022
 Autoscroll  Mostrar marca temporal

```

Ilustración 0-12.- Monitor serial y ejecución del algoritmo DS1307.

Hasta el momento solo se mostró el funcionamiento del RTC DS1307, pero para nosotros es importante poder manipular otros dispositivos como sensores y actuación de una carga “bomba” mediante el comportamiento del RTC DS1307 en horas o fechas determinadas lo cual se encontrará en el siguiente capítulo de la presente tesis.

### 3.5 Módulo LCD

Las pantallas LCD brindan manera práctica y grafica de mostrar texto o mensajes se clasifican en LCDs de caracteres y LCDs de gráficas. Las más utilizadas sirven para mostrar texto en código ASCII y hay de diferentes dimensiones (16x2, 20x4...), donde el primer número pertenece al número de caracteres que caben por fila y el segundo al número de filas que caben en pantalla como se muestra en la Ilustración 0-13.- Dimensión y partes de una LCD.

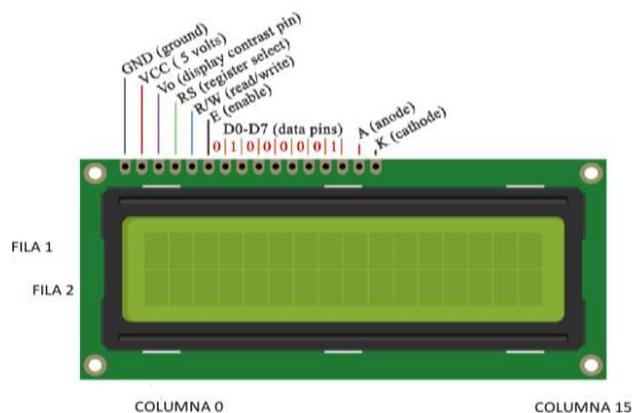


Ilustración 0-13.- Dimensión y partes de una LCD.

Las LCDs tiene la posibilidad de iluminarse en el fondo en los colores verde/azul o lo más normal blanco /negro. Pero cada LCD es diferente ya que depende de los caracteres de 4 o 8 bit de acuerdo al número de cables. Otras diferencias notables es la resolución, brillo, contraste y ángulo de visión.

Estas pantallas dentro de ARDUINO al momento de ser conectadas requieren de varias entradas o cables por lo que necesario el uso de módulos I<sup>2</sup>C, de manera que reduzca la cantidad de espacios que necesita para el uso más conveniente y cambiando al protocolo de comunicación serial para mejores trabajos.

### 3.5.1 Especificaciones la pantalla LCD

Tabla 0-4.- Características y pines de una LCD de 16x2.

Especificaciones.	
Voltaje de alimentación	Pin Vdd con +5 V
Contraste	Pin Vo
Registro de datos	Pin DB0 - DB7 son pines de datos y varen el fabricante o modelo.
Habilitar registros	Pin E
Lectura y escritura	Pin RW (Read/Write)
Control en memoria	Pin RS (Register Select)
Luminosidad del display	Pin BL1 y BL2 de retroalimentación o A y K.
Referencia a Tierra	GND

### 3.5.2 Conexión de pantalla LCD con módulo I<sup>2</sup>C

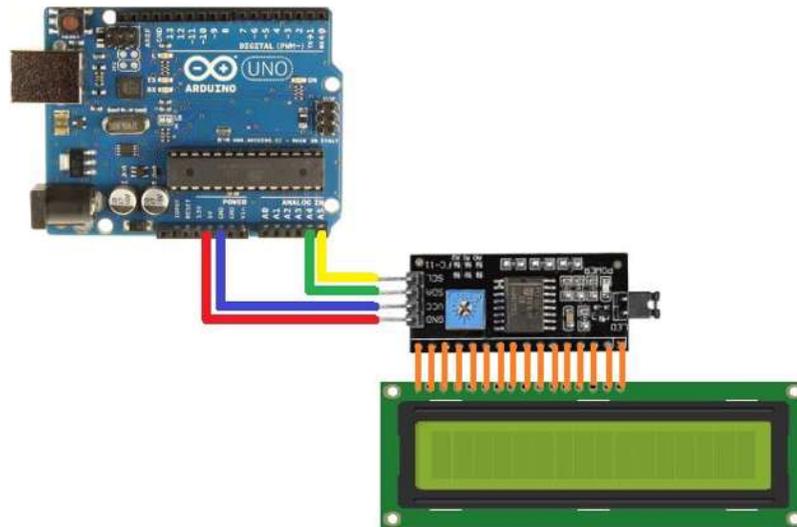


Ilustración 0-14.- Conexión de pantalla LCD con I<sup>2</sup>C en ARDUINO.

#### 3.5.1 Programación en software Arduino de la pantalla LCD y módulo I<sup>2</sup>C

Gracias a la creación de bibliotecas como es el caso de la biblioteca LiquidCriystal\_I2C, es más fácil la programación de la pantalla LCD. Es importante tener en cuenta que esta biblioteca debe estar instalada en el IDE de ARDUINO y

además encontrar la dirección I<sup>2</sup>C predeterminada según el tipo o el fabricante después utilizar el código básico para mostrar datos gráficos en la pantalla LCD como se muestra en la Ilustración 0-15.- Código básico de LCD I2C.

```
1 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
2 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // I2C address 0x27, 16
3 column and 2 rows
4
5 void setup()
6 {
7   lcd.init(); // initialize the lcd
8   lcd.backlight();
9
10  lcd.setCursor(0, 0); // move cursor to (0, 0)
11  lcd.print("ARDUINO"); // print message at (0, 0)
12  lcd.setCursor(2, 1); // move cursor to (2, 1)
13  lcd.print("Hola Mundo"); // print message at (2, 1)
14 }
15
16 void loop()
17 {
18 }
```

Ilustración 0-15.- Código básico de LCD I2C [20].

## 3.6 Actuadores

Los actuadores son dispositivos capaces de transformar una energía ya sea Hidráulica, Eléctrica, Mecánica y Neumática, en un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre otro sistema externo mediante la ejecución de una orden por un dispositivo de control como ARDUINO.

### 3.6.1 Actuador relevador

Los relevadores (Relay en inglés), son interruptores accionados eléctricamente mediante un electroimán para abrir o cerrar un interruptor mecánicamente de otro circuito independiente de esta manera aislando dos tipos de sistemas de control y de potencia crenado sistemas complejos o bien más eficientes.

Dentro de la clasificación hay diferentes tipos de relevadores por su aplicación y su construcción como los de estado sólido, electromagnéticos entre otros. Los

relevadores electromagnéticos son los más usados dentro de la comunidad de ARDUINO.

A sí mismo en ARDUINO estos relevadores son etiquetados como relay drivers ya que utilizan de la electrónica mediante el uso de optocopladores y transistores para activar la bobina del relevador con corrientes pequeñas un ejemplo de ello se encuentra en la Ilustración 0-16.- Modulo Relay Driver 2 Canales.

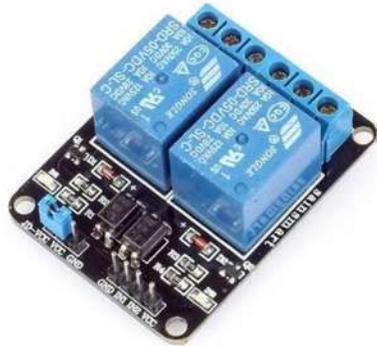


Ilustración 0-16.- Modulo Relay Driver 2 Canales.

El módulo driver que seleccionamos es muy práctico y de precio accesible. Los relevadores dentro de este módulo son para conmutación con cargas de potencia por lo cual sus contactos están diseñados para conmutar cargas de 10A y 250VCA, de preferencia usar voltajes por debajo de estos límites [22].

En el circuito del módulo de relevadores cada entrada es aislada con un optocoplador para disminuir el ruido mientras se realiza la conmutación de carga. La señal para ser activados es a través del microcontrolador ARDUINO y el esquema del circuito responsable está en la Ilustración 0-17.- Circuito de módulo relevador driver.

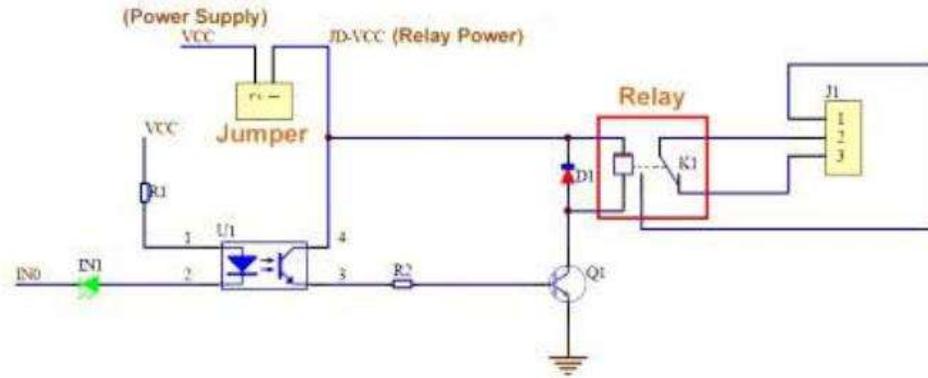


Ilustración 0-17.- Circuito de módulo relevador driver [22].

### 3.6.1.1 Especificaciones de módulo relevador

Tabla 0-5.- Especificaciones del módulo relevador SONGLE [22].

Características eléctricas de relevador.	
Voltaje de alimentación	3.3 – 5 V
Corriente máxima	200 mA
Corriente alterna máxima en contactores	10 A
Corriente directa máxima en contactores	10 A
Voltaje de alterna máximo	250 V
Voltaje de directa máximo	30 V
Pin de señal digital	In1 / In2
Contactos	NA (Normalmente Abiertos)

### 3.6.1.2 Conexión en hardware Arduino del módulo relevador

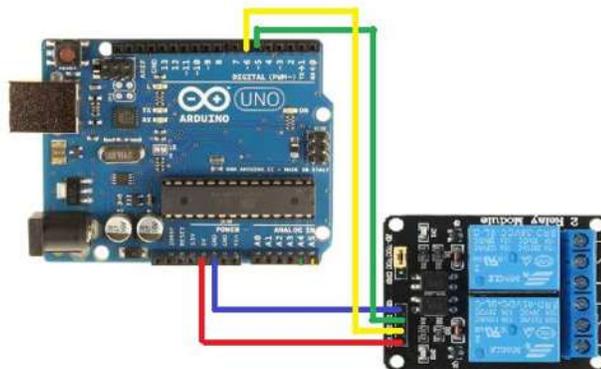


Ilustración 0-18.- Conexión del módulo relé 2 canales.

### 3.6.1.3 Programación en software Arduino del módulo relevador

Dentro de la programación del módulo de relevadores con opto-acopladores se requiere de una señal para cada uno de los relevadores y dependiendo de cómo conectemos el relé estará normalmente abierto o normalmente cerrado y dicho estado también puede ser manipulado por ARDUINO mediante su programación.

Las tareas pueden ser variadas desde encender una bombilla o en nuestro caso una bomba. Un ejemplo básico de programación de relevadores con una activación de 5 segundos como se muestra en la Ilustración 0-19.- Código de relevadores de 2 canales en ARDUINO.

```
const int RELE1 = 13;
const int RELE2 = 12;

void setup() {
  pinMode(RELE1, OUTPUT);
  pinMode(RELE2, OUTPUT);
}

void loop() {
  digitalWrite(RELE1, HIGH);
  delay(5000);
  digitalWrite(RELE1, LOW);
  delay(5000);
  digitalWrite(RELE2, LOW);
  delay(5000);
  digitalWrite(RELE2, HIGH);
  delay(5000);
}
```

Ilustración 0-19.- Código de relevadores de 2 canales en ARDUINO.

### 3.6.2 Bomba

La selección de la bomba está dada por las especificaciones del cultivo y/o parámetros básicos para el mismo, en nuestro caso por las especificaciones de la Tabla 0-10.- Especificaciones de un sistema invernadero hidropónico.

Dentro las especificaciones que debe cumplir la bomba para el sistema hidropónico es una altura de 1.8 metros y un flujo de agua 1.5 a 6.0 litros por minuto para poder satisfacer al sistema ya sea continuo o intervalos de tiempo precisos de 30 minutos a 3 horas por intervalo.

Las bombas se clasifican según su aplicación, corriente directa (CD), corriente alterna (CA), voltaje, conexión, flujo entre otros dando una amplia gama de máquinas o actuadores eléctricos. Es importante para este tema de tesis incorporar actuadores accesibles y que su consumo sea el óptimo por lo cual seleccionamos un tipo de bomba sumergible de corriente directa.

Este tipo de bombas sumergibles de corriente directa son componentes electrónicos y resistentes al desgaste e incluso no requieren de un mantenimiento constante. Dentro de su funcionamiento su trabajo es de alta eficiencia, bajo nivel de ruido y larga vida útil, siendo utilizadas en la industria e investigación científica.

La bomba de nuestra selección es una bomba centrífuga sin escobillas la cual no requiere de un arduo mantenimiento y no requiere de auto-cebado por cual debe estar siempre con agua. Además, que cumple con las especificaciones de caudal y altura máxima para el sistema hidropónico.



Ilustración 0-20.- Bomba sumergible CD 12-24V.

La importancia de la selección de una bomba de CD sumergible como trabajos futuros es incorporar fuentes alternas de energía, para suministrar de manera autónoma la energía eléctrica a la bomba y al propio sistema de observación de variables en espacio remotos o muy alejados de la mancha urbana.

### 3.6.2.1 Especificaciones de la bomba sumergible

Tabla 0-6.- Características físicas y eléctricas de bomba sumergible.

Características de Bomba sumergible	
Material	Plástico
Color	Negro
Entrada/Salida	Cabezal macho ½ pulgada
Voltaje	12-24 CD
Potencia	19-22 W
Corriente Nominal	1000 mA
Caudal	800 L/Hora.
Altura máxima	2.0 metros.
Temperatura máxima del agua circulante	100 °C

### 3.6.2.2 Conexión de la bomba sumergible

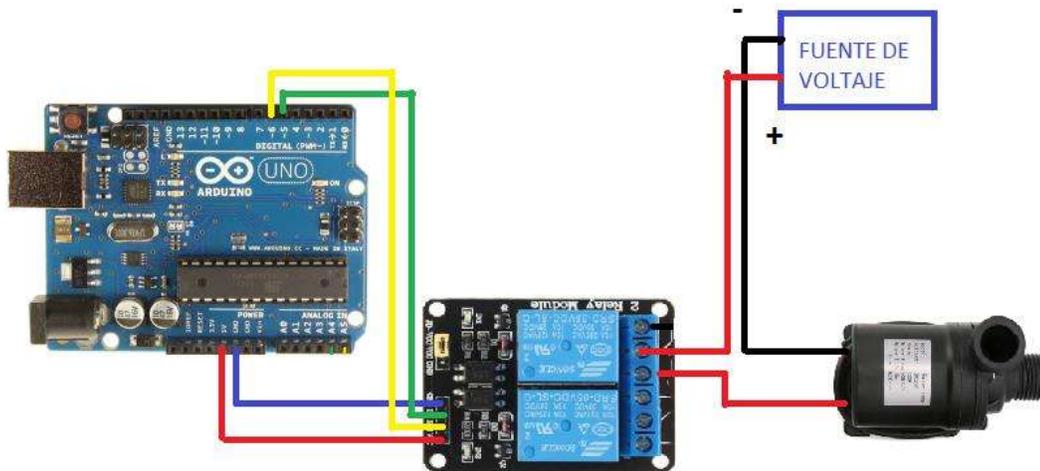


Ilustración 0-21.- Conexión de bomba sumergible.

## 3.7 Sensores

Como mencionamos el Capítulo 2 FUNDAMENTOS TEORICOS es importante para todo cultivo las variables de temperatura, humedad, total de sales, PH y flujo continuo de la solución nutritiva afectando principalmente las funciones de la

fotosíntesis, respiración, absorción del agua y nutrientes entre otras actividades propias de planta.

Por tal motivo es importante el uso de sensores siendo dispositivos de entrada con la capacidad cambiar una variable física en otro mediante un transductor, pero con una salida útil para ser medible. Por lo que dentro de una investigación conocer el comportamiento de estas variables en el sistema ya que si no es observadas no se puede tomar decisiones que no afecten al desarrollo del cultivo de esta manera forman parte importante del trabajo de tesis.

### **3.7.1 Calibración**

Un sensor calibrado es un requisito para poder obtener precisión, reproducibilidad con otros instrumentos de medición y fiables para el usuario. Por lo cual es necesario comparar con un patrón o instrumento y reducir el margen de error mediante el comportamiento matemático del sensor.

La calibración se basó en método por comparación que es el más utilizado, utilizando los valores que el sensor proporciona y los valores que brinda otro patrón o instrumento de medición mostrando una coincidencia o lo más exacto posible. Para ello se realizó un protocolo de calibración para cada uno de los sensores de este trabajo de tesis.

### **3.7.2 Sensor de temperatura y humedad**

Es un sensor que ofrece dos sensores en uno, con la capacidad de medir temperatura y humedad relativa del microambiente, como se muestra en la Ilustración 0-22.- Sensor de Temperatura AMT1001 (AOSONG).



Ilustración 0-22.- Sensor de Temperatura AMT1001 (AOSONG).

Realiza mediciones con alta precisión, de muy buena confiabilidad, consistencia y compensando la temperatura para garantizar estabilidad a largo plazo. Además, con un precio económico y fácil funcionamiento, siendo un dispositivo oportuno para nuestro proyecto.

### 3.7.2.1 Características

Tabla 0-7.- Especificaciones eléctricas del sensor AMT1001 (AOSONG)

Modelo	AMT1001
Voltaje	4 – 5.5 V
Señal de salida	0.6 – 2.7 V CD
Rango de operación de humedad	20 – 90 %
Rango de operación de temperatura	0 – 50 °C
Precisión	Humedad +-1% RH / Temperatura +-1 °C
Sensibilidad	Humedad 1% RH / Temperatura 1 °C
Histéresis de humedad	+ -1% RH
Estabilidad	+ -1%RH/año
Respuesta en el tiempo	10 segundos

### 3.7.2.2 Conexión del sensor de temperatura y humedad AMT1001

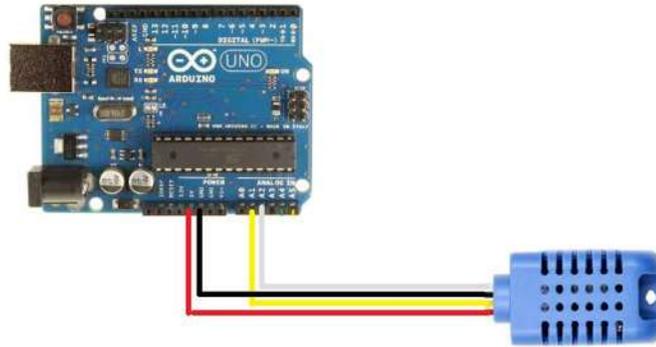


Ilustración 0-23.- Conexión de Sensor AMT1001 en ARDUINO.

Descripción de los Pines:

- Vin (Rojo): Tensión de alimentación (5V).
- Hout (Amarillo): Señal de salida medida de Humedad.
- GND (Negro): Tierra (0V).
- Tout (Blanco): Señal de salida medida de Temperatura.

### 3.7.2.3 Funcionamiento y lenguaje de programación del sensor de temperatura y humedad AMT1001

El sensor se comunica de forma digital mediante dos cables de salida o pin de data que corresponde a cada uno de los sensores y dos más de alimentación.

Las medidas que realiza el sensor AMT1001 vienen a ser calculadas a través de un nivel de tensión de salida. Esta tensión es proporcional a la humedad relativa o temperatura según la variable que se desee medir.

Cada una de estas señales de salida se comunican por medio de una tarjeta ARDUINO R3 y leer cada una de ellas mediante el software ARDUINO con el uso de instrucciones y un protocolo de comunicación, permitiendo el envío y recepción de datos. Esto es posible gracias a la comunicación y las instrucciones dentro de la plataforma de programación ARDUINO como se muestra a continuación en la Ilustración 0-24.-Instrucciones en Software ARDUINO. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Es un segmento del código para poder observar la señal obtenida y acondicionada para ser interpretada por el usuario.

```

int humPin = A1; //No es necesaria esta función
int tempPin = A2; void iniciotyh() {
float h = 0; // Inicializar el monitor serial
float t = 0; //Serial.begin(9600);
//funcion calcular temperatura }
AMT1001
float calc_temp(float val){
float Temp; void sensortyh() {
Temp = log(10000.0*((1024.0/val- h = calc_hum(analogRead(humPin));
1))); //se uso una resistencia de t = calc_temp(analogRead(tempPin));
10k =10000 ohmios
Temp = 1 / (0.001129148 +
(0.000234125 + (0.0000000876741
* Temp * Temp ))* Temp
);
Temp = Temp - 273.15; //
Convertir de Kelvin a Celcius
return Temp;
}

//funcion calcular humedad
AMT1001
float calc_hum(float h){
h= ((h*5)/1023)*100)/3;
return h;
}

```

Ilustración 0-24.-Instrucciones en Software ARDUINO.

### 3.7.2.4 Protocolo de calibración del sensor de temperatura y humedad AMT1001

#### 1) Conexión y prueba de funcionamiento del sensor en ARDUINO

Obsérvese en la Ilustración 0-25.- Alimentación del sensor AMT1001. La conexión del sensor requiere del uso de una resistencia ya que el sensor de temperatura resistivo o termistor NTC. Lo cual requiere de un circuito de acondicionamiento para obtener su lectura.

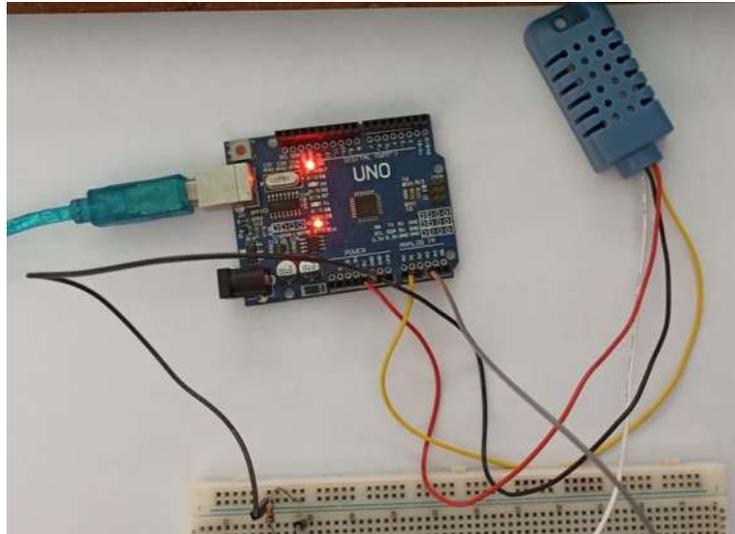


Ilustración 0-25.- Alimentación del sensor AMT1001.

Las instrucciones en el software ARDUINO son compiladas y subidas al hardware Arduino UNO R3 para ser ejecutadas y tener lectura en nuestra ventana monitor serial como se muestra en la Ilustración 0-26.- Prueba de funcionamiento y lecturas en el monitor serial. Una vez obtenida las primeras lecturas podemos realizar la calibración del sensor AMT1001.

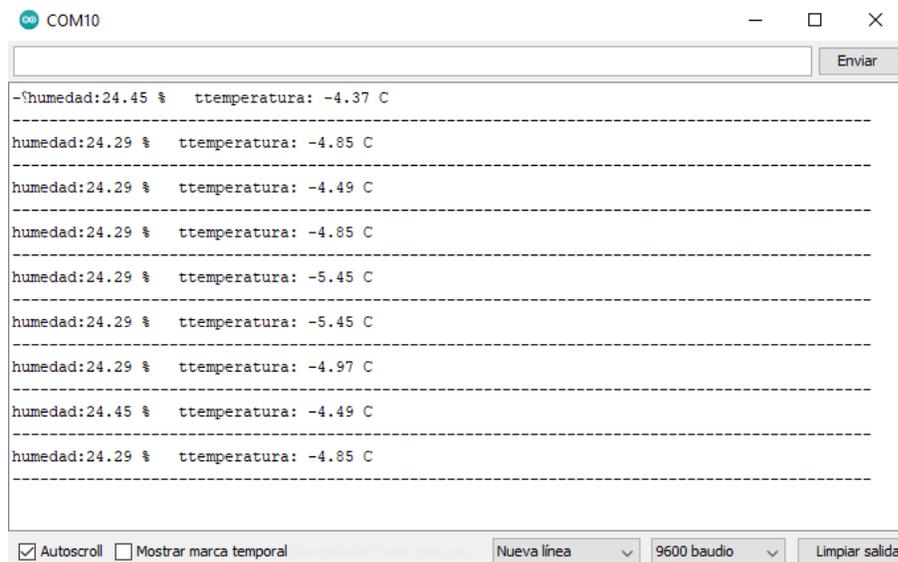


Ilustración 0-26.- Prueba de funcionamiento y lecturas en el monitor serial.

- 2) Comportamiento y obtención de la ecuación mediante la graficación que permitirá transformar las medidas de voltaje en humedad relativa

Bajo la supuesta linealidad podemos aproximar utilizando la relación de pendiente e interpretación entre la señal eléctrica y la humedad relativa medida.

Donde el voltaje emitido por el sensor de humedad es de un rango de los 0.6 V y 2.7 V además con un rango de 20% al 90% de humedad relativa de esta manera se grafica para obtener la ecuación como se observa Ilustración 0-27.- Grafica y ecuación de la recta del sensor AMT1001.

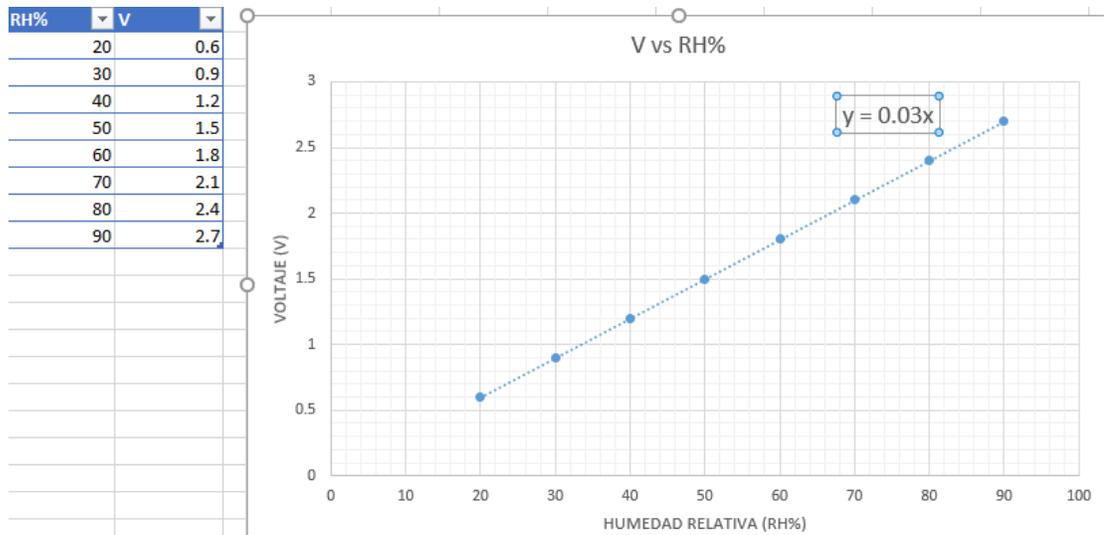


Ilustración 0-27.- Grafica y ecuación de la recta del sensor AMT1001.

### 3) Respuesta y comparación con otros instrumentos de medición

Al utilizar la ecuación de la gráfica tenemos una respuesta favorable y poder utilizar el método por comparación o patrón, utilizando un equipo externo como el de la Ilustración 0-28.- Termo-higrómetro digital para interiores y exteriores. Para tener una calibración más precisa para nuestro sistema de observación.



Ilustración 0-28.- Termo-higrómetro digital para interiores y exteriores.

Al utilizar la ecuación de la recta en nuestro algoritmo los resultados se acercan al valor de nuestro patrón como se muestra en la siguiente Ilustración 0-29.- Lectura generada con la ecuación de la recta del sensor AMT1001.

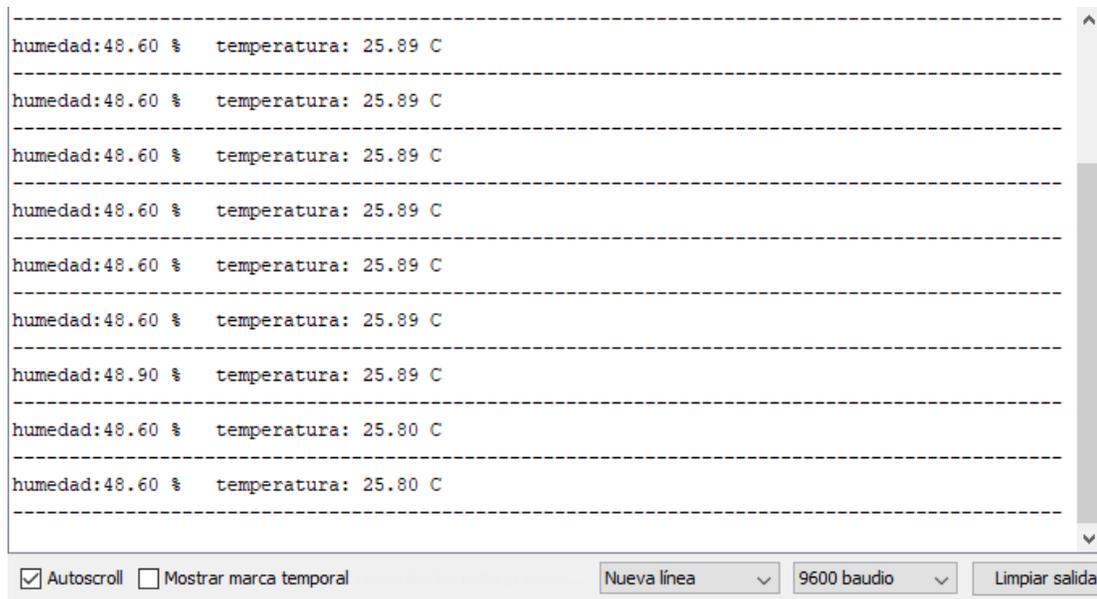


Ilustración 0-29.- Lectura generada con la ecuación de la recta del sensor AMT1001.

Como muestran las lecturas del sensor AMT1001 en la ilustración anterior y las comparamos con nuestro termo-higrómetro, observamos que la temperatura está dentro

de un rango de precisión considerable pero la humedad relativa tiene un error considerable lo cual se requiere de reajustar la ecuación de la recta para obtener un dato más preciso.

#### 4) Precisión y resultados obtenidos

Al reajustar la ecuación dentro del algoritmo arrojé datos más confiables y disminuyendo el porcentaje de error como se demuestra en la siguiente Ilustración 0-30.- Reajuste de la ecuación y lecturas obtenidas del sensor AMT1001.

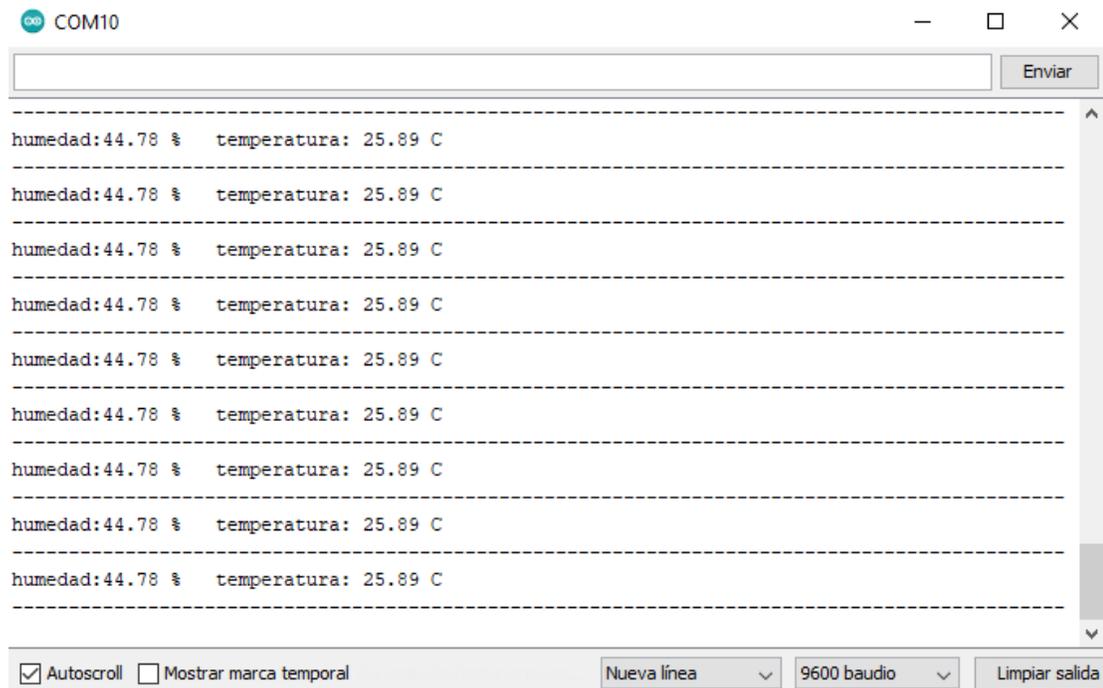


Ilustración 0-30.- Reajuste de la ecuación y lecturas obtenidas del sensor AMT1001.

Como se puede observar se observó la disminución del error con porcentaje de error del 0.0003% lo cual lo hace un muy buen resultado para ser utilizado dentro de nuestro sistema.

### 3.7.3 Sensor PH

Una de las variables clave que se debe de monitorear en la solución nutritiva o agua es el potencial de hidrogeno por las repercusiones que puede tener como se mencionó en el Capítulo 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS, por lo cual es necesario el uso de sensores compatibles con la tarjeta ARDUINO y de bajo costo.

Como el módulo sensor para medir PH, de la Ilustración 0-31.- Sensor de Potencial de hidrogeno 4502C. Cabe resaltar que este sensor es muy práctico y una conexión muy simple y tiene un rango de medición de 0-14.



Ilustración 0-31.- Sensor de Potencial de hidrogeno 4502C.

Puede obtener mediciones con una precisión de  $\pm 0.2$  PH a  $25^{\circ}\text{C}$ . Para usarlo, basta con conectar el sensor de PH con conector BNC, y conecte la interfaz en el puerto de entrada analógica de cualquier microcontrolador como el ARDUINO, obtendrá el valor del PH con facilidad.

Es importante tener este dispositivo ya que reduce el costo por análisis de laboratorio e incluso el tiempo de demora correspondientes a otros métodos de medición o poco confiables.

### 3.7.3.1 Características eléctricas del sensor de PH-4502C

Tabla 0-8.- Especificaciones del fabricante del sensor PH-4502C.

Características eléctricas.	
Modelo	PH-4502C/SONDA SENSOR BNC
Voltaje de operación	5 V
Corriente de operación	5 – 10 mA
Consumo de potencia	0.5 W
Rango de medición	0.00 - 14.00

Rango de temperatura	0-60 °C
Tiempo de respuesta	5 segundos
Error	0.2 PH
Tiempo de estabilización	60 segundos
Resistencia interna	250 MΩ
Salida	Analógica.

### 3.7.3.2 Conexión del sensor de PH-4502C en Arduino

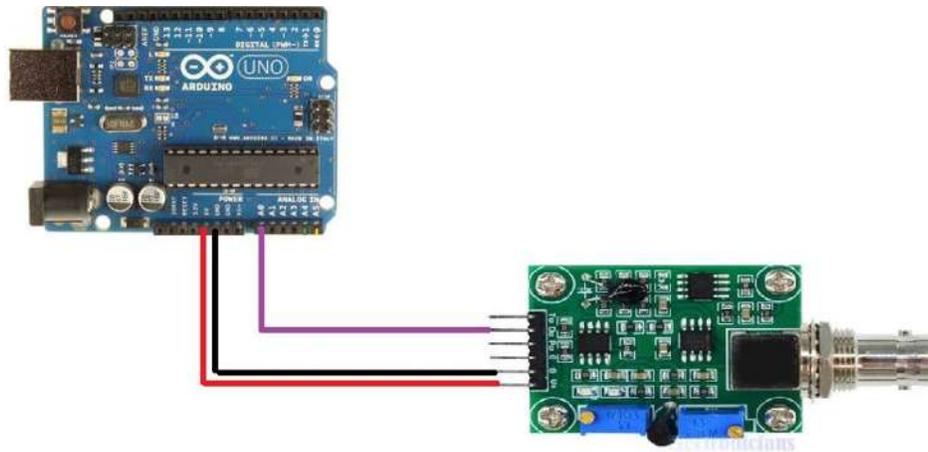


Ilustración 0-32.- Conexión de Modulo sensor PH en ARDUINO.

Descripción de los pines:

- Vcc : Tensión de alimentación 5 V.
- Gnd : Referencia a tierra.
- TO: Salida Analógica de temperatura.
- DO: Salida digital de PH (3.3 V).
- PO: Salida Analógica de PH (V).
- LED ROJO: Limite de PH.
- LED VERDE: Alimentación.
- POT1: Lectura analógica (offset).
- POT2: Limite de medición PH.

### 3.7.3.3 Funcionamiento y lenguaje de programación del sensor de PH-4502C

El sensor PH se compone de un módulo o tarjeta electrónica y sonda de PH. El módulo es un sistema muy compacto que se adapta muy bien en ARDUINO, lo cual permite al usuario monitorear con precisión el PH sin la necesidad de adicionar otros componentes.

La sonda de PH es el medir la actividad de iones de hidrogeno en una solución, en la punta de la sonda de PH se encuentra una membrana de vidrio muy delgada que tiene la capacidad de reaccionar con la humedad creando una capa fina de solución.

En el electrodo de medición se genera un potencial que es proporcional a la cantidad de iones de hidrogeno (fuera de la sonda contra dentro de la sonda) creando una diferencia de potencial o tensión eléctrica entre el electrodo de referencia y el electrodo de medición ambos se encuentran un electrodo combinado integrando dos canales para que sea interpretada por el circuito electrónico y ser observado de manera gráfica.

Dentro de la interpretación de la información de las señales de voltaje que son generadas por la sonda y modificadas por el módulo de PH, se requiere del lenguaje de programación para poder observada como se muestra un segmento de las instrucciones en la Ilustración 0-33.- Instrucciones en software ARDUINO del PH sensor.

```
const int analogInPin = A3;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10], temp;
float pHVol= 0;
float pHValue= 0;
void iniciophsens() {
  //Serial.begin(9600);
}
void phsens() {
  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buf[i]=analogRead(analogInPin);
    delay(10);
    for(int i=0;i<9;i++)
    {
      for(int j=i+1;j<10;j++)
      {
        if(buf[i]>buf[j])
        {
          temp=buf[i];
          buf[i]=buf[j];
          buf[j]=temp;
        }
      }
      avgValue=0;
      for(int i=2;i<8;i++)
      avgValue+=buf[i];
      pHVol=(float) avgValue*5.0/1024/6;
      pHValue = -5.10 * pHVol + 21.44;
      Serial.print("sensor = ");
      Serial.println(pHValue);
      delay(500);
    }
  }
}
```

Ilustración 0-33.- Instrucciones en software ARDUINO del PH sensor.

### 3.7.3.4 Protocolo de calibración del sensor de PH-4502C

#### 1) Conexión y prueba de funcionamiento del sensor en ARDUINO

Obsérvese en la Ilustración 0-34.- Alimentación de módulo y sonda de PH-4502C. La conexión del sensor comprende de dos partes: el módulo y la sonda ya descritos anteriormente.

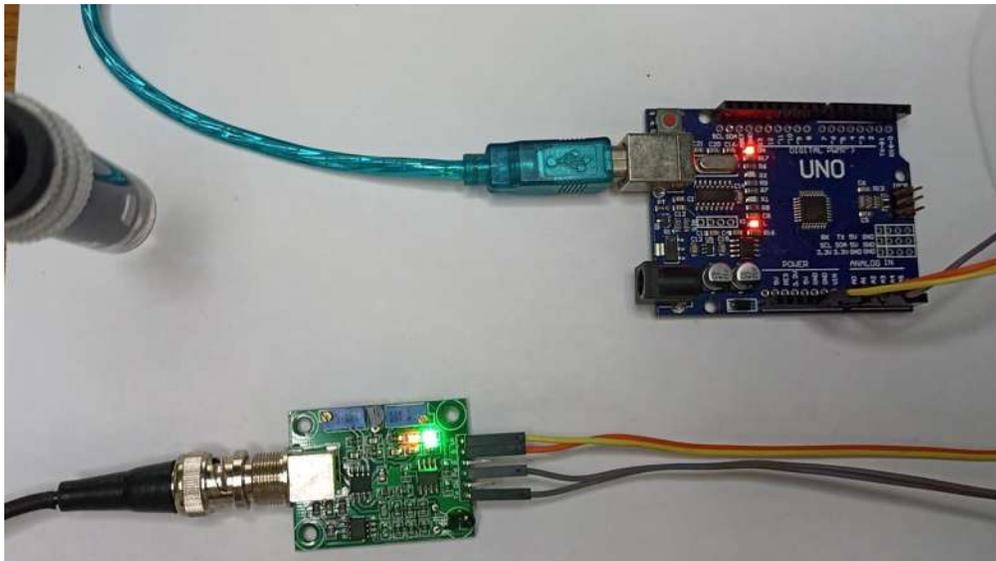


Ilustración 0-34.- Alimentación de módulo y sonda de PH-4502C.

Las instrucciones en el software ARDUINO son compiladas y subidas al hardware Arduino UNO R3 para ser ejecutadas y tener lectura en nuestra ventana monitor serial como se muestra en la Ilustración 0-35.- Lecturas del sensor PH-4502C en monitor serial. Una vez obtenidas las primeras lecturas podemos realizar la calibración del sensor PH-4502C.



### 3) Respuesta y comparación con otros instrumentos de medición

Al utilizar la ecuación de la gráfica tenemos una respuesta favorable y poder utilizar el método por comparación o patrón, utilizando un equipo externo como el de la Ilustración 0-37.- Medidor PC45 para mesa de PH, Conductividad y Resistividad. Para tener una calibración más precisa para nuestro sistema de observación.



Ilustración 0-37.- Medidor PC45 para mesa de PH, Conductividad y Resistividad.

Al utilizar la ecuación de la recta en nuestro algoritmo los resultados se acercan al valor de nuestro patrón como se muestra en la siguiente Ilustración 0-38.- Lectura generada del sensor PH-450C con la ecuación de la recta.

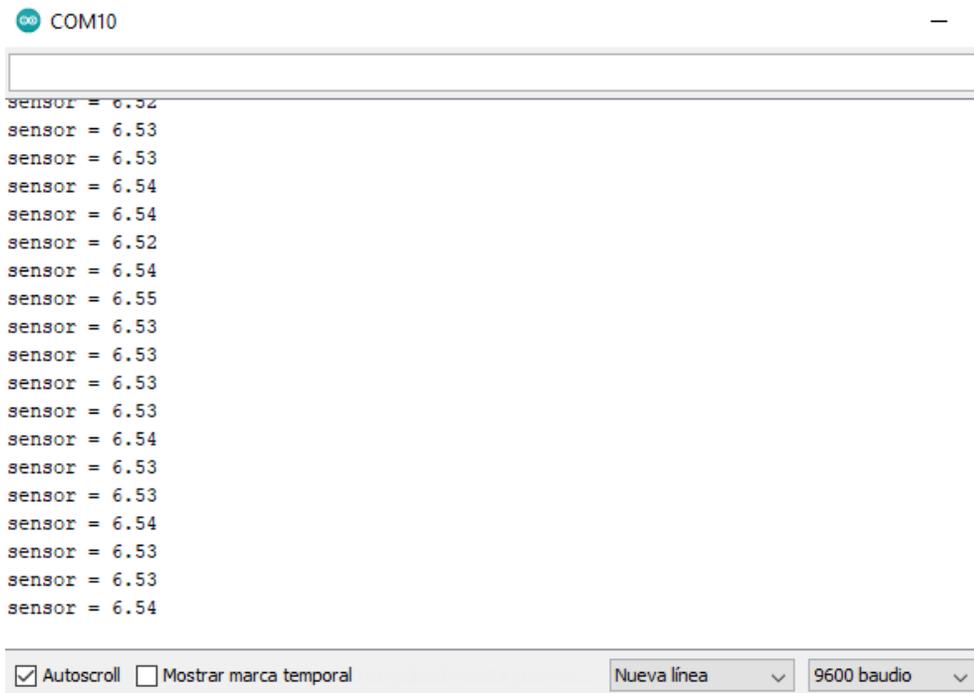
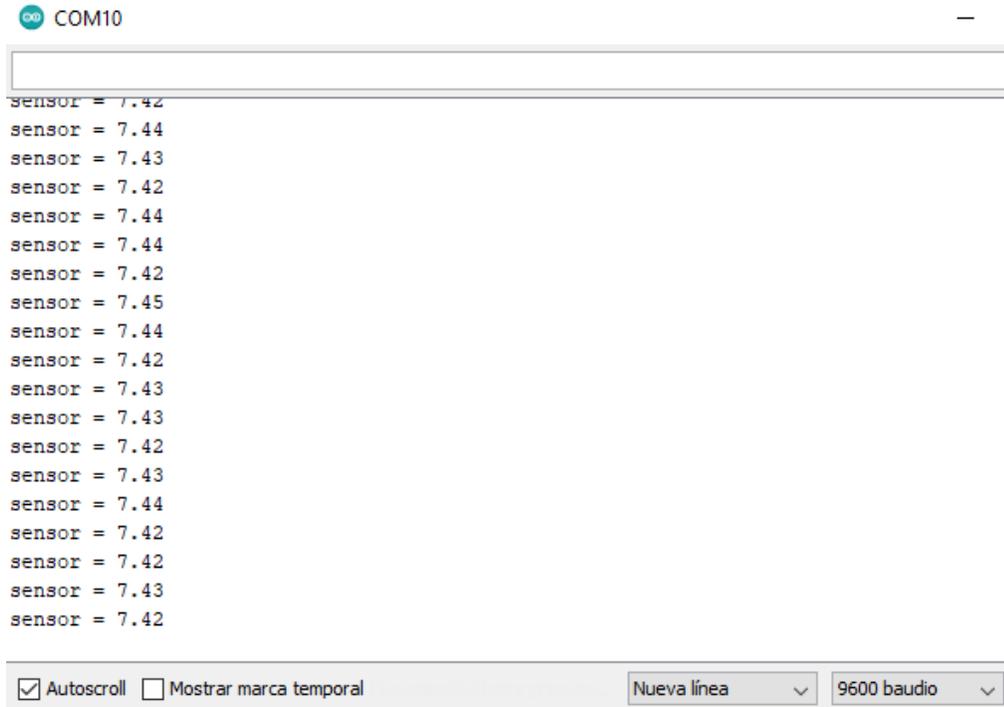


Ilustración 0-38.- Lectura generada del sensor PH-450C con la ecuación de la recta.

Como muestran las lecturas del sensor PH-450C en la ilustración anterior y las comparamos con nuestro termo-higrómetro, observamos que la temperatura que no es encuentra dentro de un rango de precisión considerable por lo que tiene un error considerable lo cual se requiere de reajustar la ecuación de la recta y/o controlar el potenciómetro offset del módulo del sensor para obtener un dato más preciso.

#### 4) Precisión y resultados obtenidos

Al reajustar la ecuación dentro del algoritmo y modificar potenciómetro offset arrojó datos más confiables y disminuyendo el porcentaje de error como se demuestra en la siguiente Ilustración 0-39.- Lectura de reajuste de la ecuación de la recta y potenciómetro offset.



The image shows a serial monitor window titled 'COM10'. The main area displays a list of sensor readings: 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.44', 'sensor = 7.43', 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.44', 'sensor = 7.44', 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.45', 'sensor = 7.44', 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.43', 'sensor = 7.43', 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.44', 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.42', 'sensor = 7.43', and 'sensor = 7.42'. At the bottom, there is a control bar with a checked 'Autoscroll' checkbox, an unchecked 'Mostrar marca temporal' checkbox, a 'Nueva línea' dropdown menu, and a '9600 baudio' dropdown menu.

Ilustración 0-39.- Lectura de reajuste de la ecuación de la recta y potenciómetro offset.

Como se puede observar se observó la disminución del error con porcentaje de error del 0.4% lo cual lo hace un muy buen resultado para ser utilizado dentro de nuestro sistema.

### 3.7.4 Sensor total de sólidos disueltos

Sensor Total de sólidos disueltos (TDS de sus siglas en inglés: Total Dissolved Solids) funciona por conductividad y este se mide en ppm indica cuántos sólidos solubles hay en una disolución. El precio es asequible y fácil de usar, sin embargo, por lo general, no puede transmitir datos a un sistema de control para el monitoreo en línea de la calidad del agua.

En general, los instrumentos profesionales tienen una alta precisión y pueden enviar datos al sistema de control, pero el precio es caro para la persona común.

Con este fin, hemos optado por un kit de sensor TDS analógico que es compatible con ARDUINO, y fácil de usar. Combinando con el controlador ARDUINO, puede construir un detector TDS fácilmente para medir el valor TDS del líquido sin necesidad de comprar equipos costosos.



Ilustración 0-40.- Modulo y sonda TDS Meter V1.0

Este producto puede usarse en aplicaciones de calidad del agua, como análisis de agua doméstica e hidroponía.

### 3.7.4.1 Características del modulo y sonda del sensor de total de sales disueltas

Tabla 0-9.- Especificaciones eléctricas de TDS Meter V1.0

Características eléctricas	
Modelo	TDS Meter V1.0
Voltaje de alimentación	3.3 – 5.5 V
Corriente de trabajo	3 – 6 mA
Rango de medición	0 – 1000 ppm
Precisión	+/-10%
Interfaz del modulo	PH2.0-3P
Interfaz del electrodo	XH2.54-2P
Rango de temperatura	0-55 °C

### 3.7.4.2 Conexión del módulo y sonda del sensor de total de sales disueltas

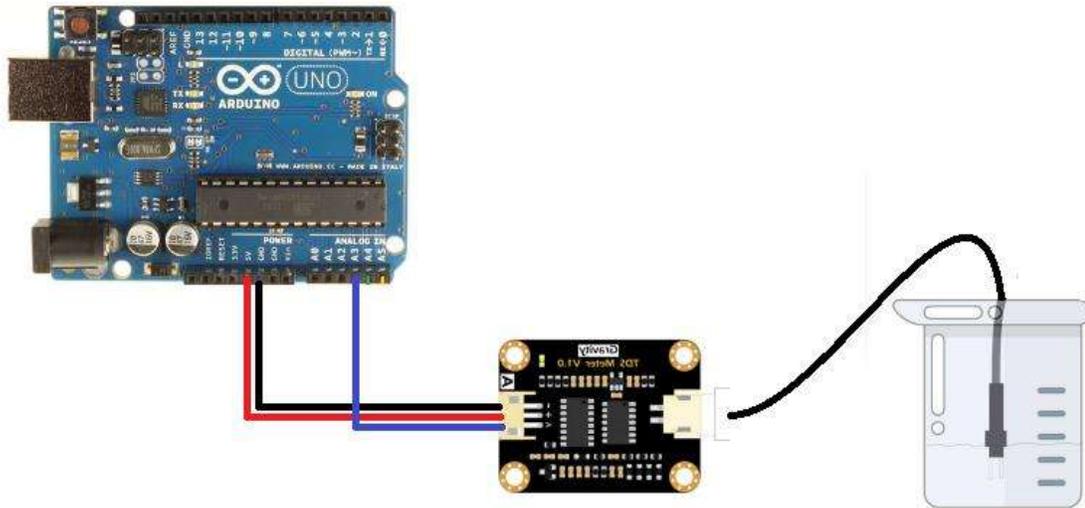


Ilustración 0-41.- Conexión de sensor TDS en ARDUINO.

Descripción de pines:

- Vcc: Tensión de alimentación (3.3 – 5.5 V).
- GND: Referencia a tierra.
- A: Salida de señal analógica (0 – 2.3 V)
- TDS: Conexión de sonda TDS.
- LED: Indicador de encendido.

### 3.7.4.3 Funcionamiento y lenguaje de programación del módulo y sonda del sensor de total de sales disueltas

Al igual que sensor de PH consta de un módulo y una sonda o pluma, el modulo es una tarjeta electrónica capaz de obtener la señal de voltaje y acondicionarla para que sea utilizada por dispositivos como el ARDUINO y una pluma TDS, una pieza de equipo ampliamente utilizada para medir el valor de TDS.

En general, se basa en la conductividad de tal manera que cuanto mayor cantidad de sales contenga una disolución será un mejor conductor, todo esto mediante la aplicación de un potencial a través de dos placas o electrodos.

Obteniendo la capacidad de una solución o una disolución de conducir corriente eléctrica de esta manera entre mayor es el valor de TDS, más sólidos solubles se

disuelven en agua y menos limpia es el agua. Por lo tanto, el valor TDS puede usarse como un punto de referencia para reflejar la limpieza del agua.

Admite una entrada de voltaje de 3.3 ~ 5.5V de ancho y una salida de voltaje analógico de 0 ~ 2.3V, lo que lo hace compatible con sistemas o tableros de control de 5V o 3.3V. La fuente de excitación es la señal de CA, que puede prevenir efectivamente la polarización de la sonda y prolongar la vida útil de la sonda, mientras que puede ayudar a aumentar la estabilidad de la señal de salida.

Con respecto a la interpretación de la señal de salida requiere ser interpretada por el lenguaje ARDUINO mediante el uso de los pines de entrada y con las instrucciones necesarias para poder tener una representación gráfica mediante el proceso matemático y del lenguaje de programación como se muestra un segmento en la Ilustración 0-42.- Instrucciones en software ARDUINO.

```
#include <EEPROM.h>          gravityTds.begin(); //initialization
#include "GravityTDS.h"
#define TdsSensorPin A0    }
GravityTDS gravityTds;     void CLTDSNL() {

//Crear el objeto lcd      //temperature =
dirección 0x3F y 16 columnas readTemperature(); //add your
x 2 filas                  temperature sensor and read it
//LiquidCrystal_I2C
lcd(0x27,16,2); //          gravityTds.setTemperature(temperature
                             ); // set the temperature and
                             execute temperature compensation
float temperature =        gravityTds.update(); //sample
25,tdsValue = 0,fcValue = 0; and calculate
                             tdsValue =
void TDSNDL() {            gravityTds.getTdsValue(); // then
                             get the value
gravityTds.setPin(TdsSensorPin fcValue = (tdsValue/644)*10;
);
                             Serial.print(tdsValue,0);
    gravityTds.setAref(5.0);   Serial.println("ppm");
//reference voltage on ADC,   Serial.print(fcValue,0);
default 5.0V on ARDUINO UNO   Serial.println("mmh0/cm");
                             delay(500);
gravityTds.setAdcRange(1024);
//1024 for 10bit ADC;4096 for
12bit ADC                    }
```

Ilustración 0-42.- Instrucciones en software ARDUINO.

### 3.7.4.4 Protocolo de calibración del módulo y sonda del sensor de total de sales disueltas

- 1) Conexión y prueba de funcionamiento del sensor en ARDUINO

Obsérvese en la Ilustración 0-43.- Alimentación de módulo y sonda TDS Meter V1.0. La conexión del sensor comprende de dos partes el módulo y la sonda ya descritos anteriormente.

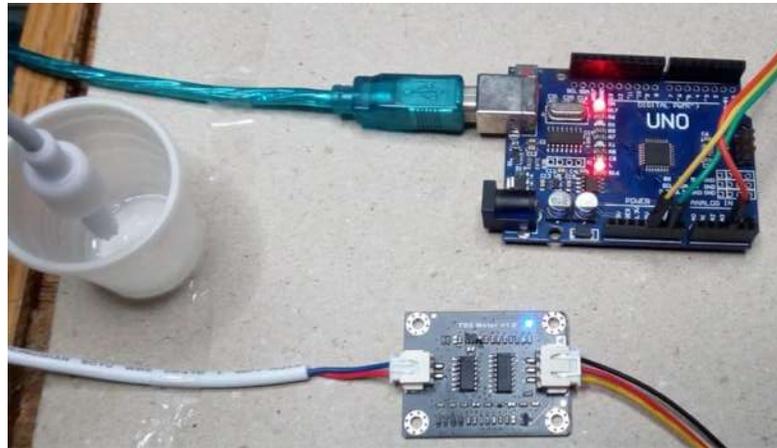


Ilustración 0-43.- Alimentación de módulo y sonda TDS Meter V1.0.

Las instrucciones en el software ARDUINO son compiladas y subidas al hardware Arduino UNO R3 para ser ejecutadas y tener lectura en nuestra ventana monitor serial como se muestra en la Ilustración 0-44.- Lectura inicial del TDS Meter V1.0. Una vez obtenida las primeras lecturas podemos realizar la calibración del sensor TDS Meter V1.0.

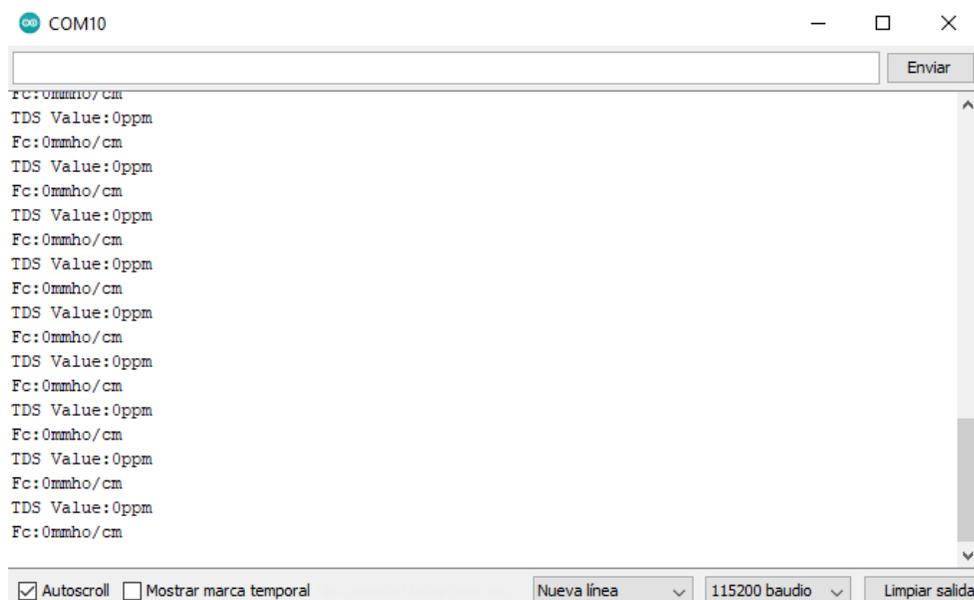


Ilustración 0-44.- Lectura inicial del TDS Meter V1.0.

2) Comportamiento y obtención de la ecuación mediante la graficación que permitirá transformar las medidas de voltaje en potencial de hidrogeno

Bajo la supuesta linealidad podemos aproximar utilizando la relación de pendiente e interpretación entre la señal eléctrica y el total de sales disueltos.

Donde el voltaje emitido por el sensor de TDS Meter V1.0 es de un rango de los 0 V y 2.3 V además con un rango de 0 al 1000ppm de esta manera se grafica para obtener la ecuación como se observa la Ilustración 0-45.- Grafica y ecuación de la recta del sensor TDS Meter V1.0.

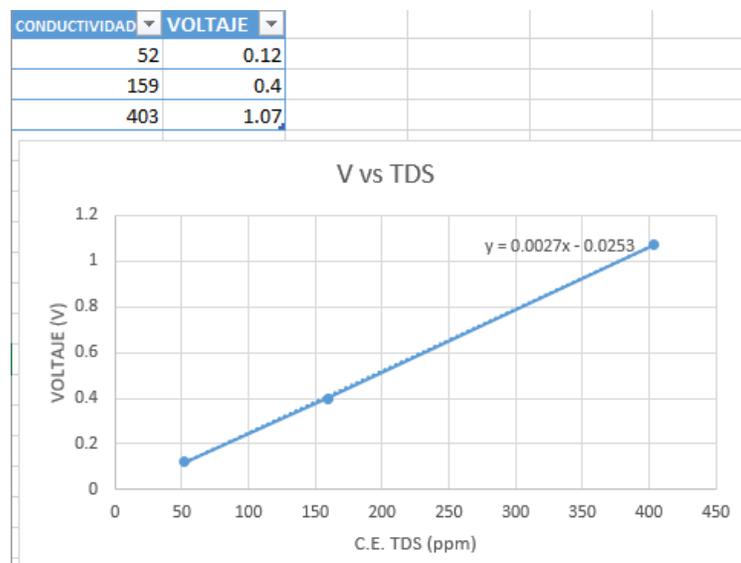


Ilustración 0-45.- Grafica y ecuación de la recta del sensor TDS Meter V1.0.

3) Respuesta y comparación con otros instrumentos de medición

Al utilizar la ecuación de la gráfica tenemos una respuesta favorable y poder utilizar el método por comparación o patrón, utilizando un equipo externo como el de la Ilustración 0-46.- Medidor de conductividad HACH 51800-10 sensION 5. Para tener una calibración más precisa para nuestro sistema de observación.



Ilustración 0-46.- Medidor de conductividad HACH 51800-10 sensION 5.

Al utilizar la ecuación de la recta en nuestro algoritmo los resultados se acercan al valor de nuestro patrón como se muestra en la siguiente Ilustración 0-47.- Lectura generada del sensor TDS Meter V1.0 con la ecuación de la recta.

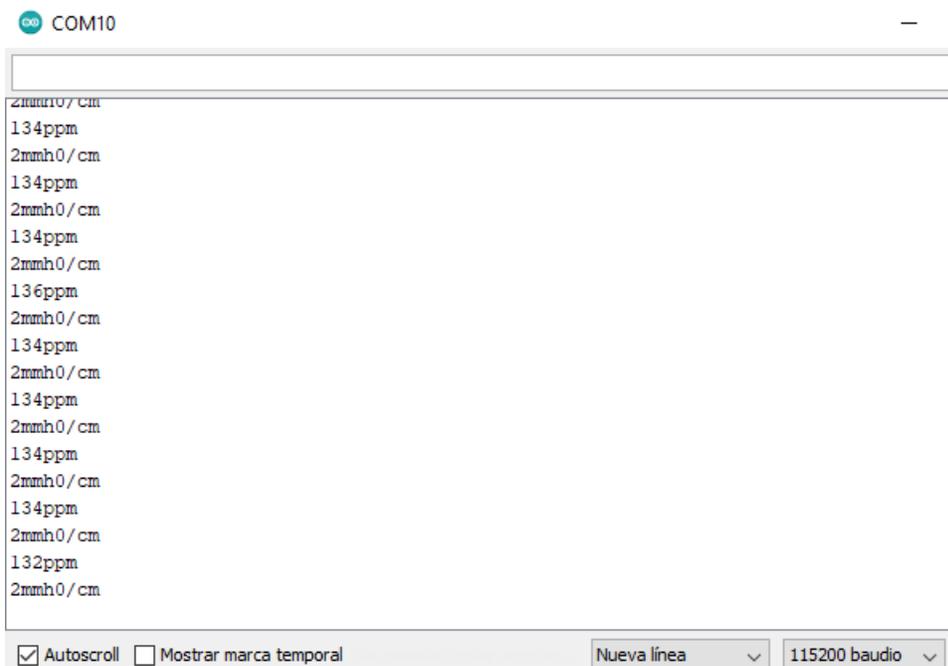


Ilustración 0-47.- Lectura generada del sensor TDS Meter V1.0 con la ecuación de la recta.

Como muestran las lecturas del sensor TDS Meter V1.0 en la ilustración anterior y las comparamos con nuestro medidor de conductividad, observamos que la conductividad no se encuentra dentro de un rango de precisión considerable por lo que tiene un error considerable lo cual se requiere de reajustar la ecuación de la recta y/o recalibrar.

#### 4) Precisión y resultados obtenidos

Al reajustar la ecuación dentro del algoritmo y modificar con solución de amortiguamiento arrojo datos más confiables y disminuyendo el porcentaje de error como se demuestra en la siguiente

Se observó la disminución del error con porcentaje de error del 1.4% lo cual lo hace un muy buen resultado para ser utilizado dentro de nuestro sistema.

### 3.7.5 Sensor de presión con columna de nivel de líquido

Sensor de nivel de líquido funciona mediante un módulo sensor de presión con un convertidor de ADC y columna de líquido, este sensor de presión se adaptó para la medición de nivel de un líquido contenido en un estanque para sumergirse dentro de él.

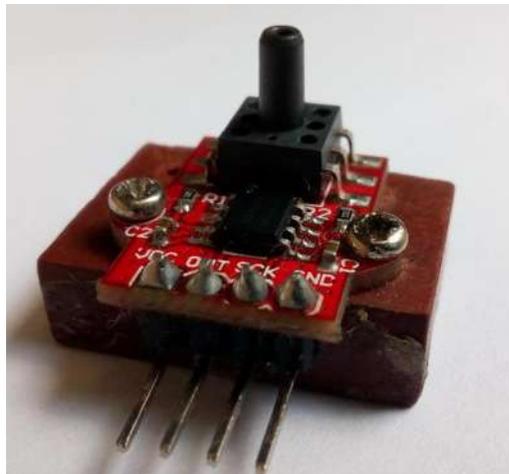


Ilustración 0-48.- Modulo de sensor de presión y convertidor (ADC).

### 3.7.5.1 Características del sensor de presión del sistema de nivel de líquido

Tabla 0-10.- Especificaciones eléctricas del Sensor de presión y convertidor ADC.

Especificaciones eléctricas.	
Transductor	MPS20N0040D-S
Convertidor Analógico a digital (ADC)	24 bits HX710B
Rango de Presión	3447.5-39991 Pa.
Voltaje de alimentación	3.3 – 5 V
Señal de salida del transductor	50-100 mV
Precisión lineal	0.25%.
Temperatura de funcionamiento	-40 a 125 °C
Señal de salida del convertidor	Datos en serie (HEX).

### 3.7.5.2 Conexión del sensor de presión del sistema de nivel de líquido

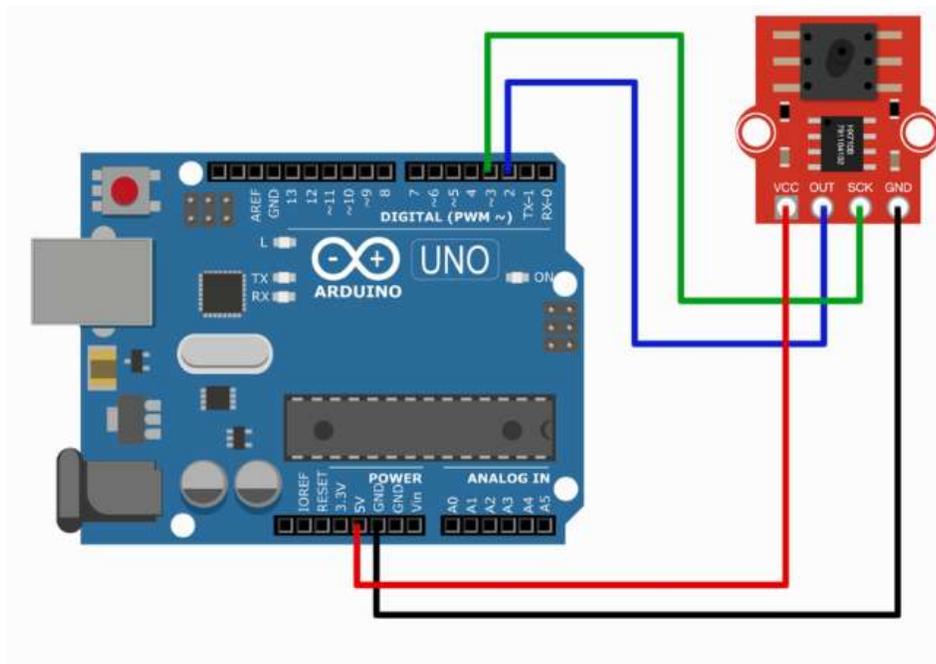


Ilustración 0-49.- Conexión del sensor MPS20N0040D en ARDUINO.

### 3.7.5.3 Funcionamiento y lenguaje de programación del sensor de presión del sistema de nivel de líquido

El sensor de nivel de líquido funciona de tal manera que conforme aumenta el llenado aumenta la presión dentro de la columna de líquido, esta presión se transfiere

al transductor y emite energía en forma analógica y después pasa a un convertidor de analógico-digital con diferentes características, y enviada al microcontrolador con señal digital.

El sensor de presión trabaja bajo algunos principios físicos como: densidad, gravedad del fluido, piezoelectricidad, capacitancia eléctrica y resistividad eléctrica. El sensor está conectado a un convertidor de analógico a digital para que la señal sea introducida a ARDUINO y tener una representación numérica o grafica del comportamiento o proporcionalidad en el aumento o descenso de la solución.

Esto no se lograría sin el software ARDUINO y las instrucciones necesarias como se muestran en la Ilustración 0-50.- Instrucciones en programación ARDUINO del sensor MPS20N0040D.

```

//Estas librerias deben ir en el programa principal donde estan las
funciones setup y loop
#include <ARDUINO.h>
#include "HX711.h"

// HX711 circuit wiring
const int LOADCELL_DOUT_PIN = 8;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 9;

// Parámetro para calibrar el peso y el sensor
#define CALIBRA 2280.f //Valor de calibracion y pruebas

HX711 scale;

float Med1=0, MedPl=0;

//Antes Ers setud del medidor de presion Ahora es una funcion VOID
inicio de Presion-Altura
//void setup()

void inicioPresAlt()
{
//Serial.begin(19200); //Esta seria la velocidad para todo los programas y va en el programa principal
//Se pueden Reducir la presentacion de comunicacion serial y solo mastras los Datos
Serial.println("HX711 Demo by Satyam Singh");
Serial.println("Initializing the scale");
// Iniciar sensor
scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);

Serial.println("Antes de configurar la escala:");
Serial.print("leer Sensor: \t\t");
Serial.println(scale.read());
// print a raw reading from the ADC

Serial.print("Lectura Promedio: \t\t");
Serial.println(scale.read());

// print the average of 20 readings from the ADC

Serial.print("Obtener valor: \t\t");
Serial.println(scale.get_value(5));
// print the average of 5 readings from the ADC minus the tare weight, set with tare()

Serial.print("obtener unidades: \t\t");
Serial.println(scale.get_units(5), 1);
// print the average of 5 readings from the ADC minus tare weight, divided

scale.set_scale(CALIBRA);
//scale.set_scale(2280.f); // this value is obtained by calibrating the scale with known weights; see the README for details
//scale.tare(); // reset the scale to 0

Serial.println("Después de configurar la escala:");

Serial.print("Leer Nuv: \t\t");
Serial.println(scale.read());
// print a raw reading from the ADC

Serial.print("Lectura Promedio: \t\t");
Serial.println(scale.read_average(20));
// print the average of 20 readings from the ADC

Serial.print("Obtener valor: \t\t");
Serial.println(scale.get_value(5));
// print the average of 5 readings from the ADC minus the tare weight, set with tare()

Serial.print("obtener unidades: \t\t");
Serial.println(scale.get_units(5), 1);
// print the average of 5 readings from the ADC minus tare weight, divided

```

Ilustración 0-50.- Instrucciones en programación ARDUINO del sensor MPS20N0040D.

### 3.7.5.4 Protocolo de calibración del sensor de presión del sistema de nivel de líquido

#### 1) . Conexión y prueba de funcionamiento del sensor en ARDUINO

Obsérvese en la Ilustración 0-51.- Alimentación de modulo Sensor de presión MPS20N0040D. La conexión del sensor comprende de dos parte el modulo y una columna de líquido.

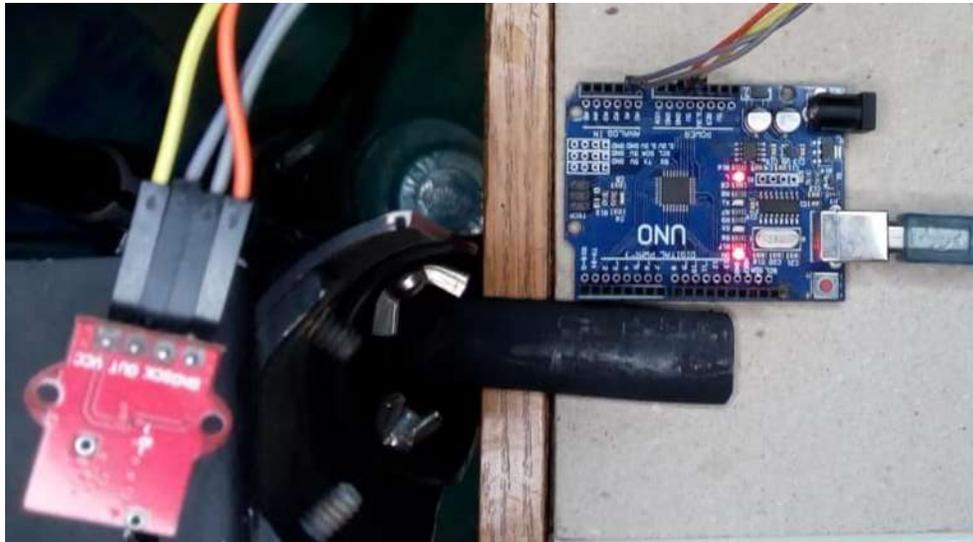


Ilustración 0-51.- Alimentación de modulo Sensor de presión MPS20N0040D.

Las instrucciones en el software ARDUINO son compiladas y subidas al hardware Arduino UNO R3 para ser ejecutadas y tener lectura en nuestra ventana monitor serial como se muestra en la Ilustración 0-52.- Lectura inicial del sensor de presión MPS20N0040D. Una vez obtenida las primeras lecturas podemos realizar la calibración del sensor de presión MPS20N0040D..

```
COM10
HX711 reading: 2092379
Resul. Ecuacion: 0.96
vol: 60322
voll: 0.93
read average:          2092574.00
HX711 reading: 2092244
Resul. Ecuacion: 0.96
vol: 60574
voll: 0.93
read average:          2092740.00
HX711 reading: 2092426
Resul. Ecuacion: 0.96
vol: 60740
voll: 0.93
read average:          2092852.00
HX711 reading: 2092747
Resul. Ecuacion: 0.96
vol: 60852
voll: 0.94
```

Autoscroll  Mostrar marca temporal Nueva línea 57600 baudio

Ilustración 0-52.- Lectura inicial del sensor de presión MPS20N0040D.

- 2) Comportamiento y obtención de la ecuación mediante la graficación que permitirá transformar las medidas de voltaje en variación de presión en la columna de líquido y el sensor de presión

Bajo la supuesta linealidad podemos aproximar utilizando la relación de pendiente e interpretación entre la señal eléctrica y el aumento de presión en la columna de líquido.

Donde el voltaje emitido por el sensor de presión con una escala de 50 mV a 100 mV además con un rango de presión de los 0 a los 40KPa de esta manera se grafica la relación volumen en la columna de líquido y presión para obtener la ecuación como se observa la Ilustración 0-53.- Grafica y ecuación de la recta en relación columna de líquido y presión.

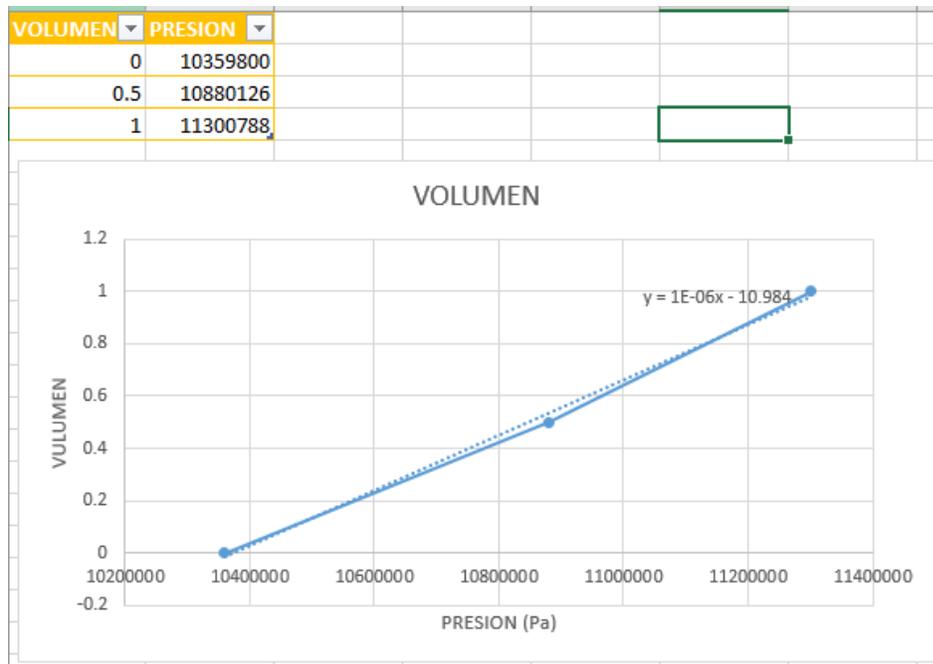


Ilustración 0-53.- Grafica y ecuación de la recta en relación columna de líquido y presión.

### 3) Respuesta

Al utilizar la ecuación de la recta en nuestro algoritmo los resultados se acercan al valor como se muestra en la siguiente Ilustración 0-54.- Lectura generada por el sistema nivel de líquido con la ecuación de la recta.

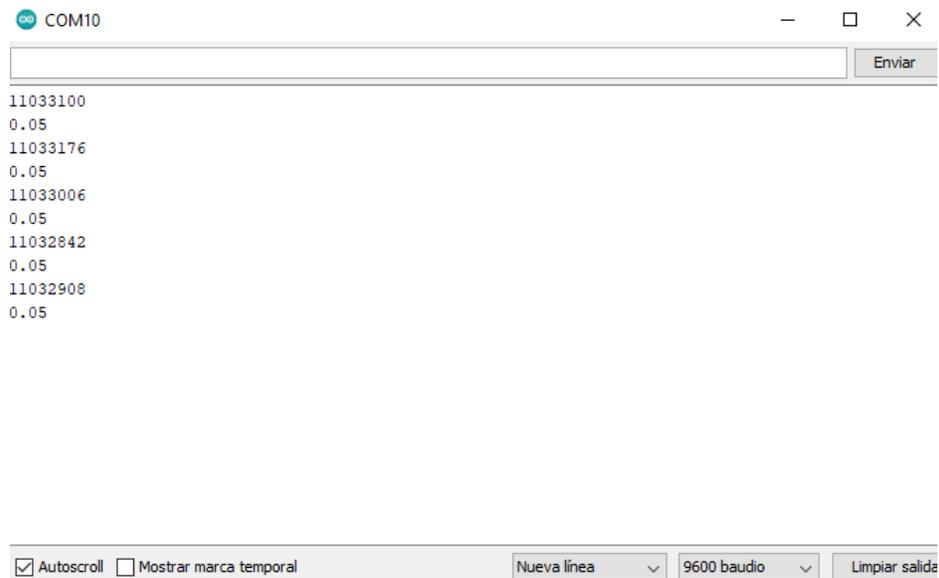


Ilustración 0-54.- Lectura generada por el sistema nivel de líquido con la ecuación de la recta.

Como muestran las lecturas del sistema de nivel de líquido con el sensor MPS20N0040D en la ilustración anterior, observamos que no se encuentra dentro de un rango de precisión considerable por lo que tiene un error considerable lo cual se requiere se puede reajustar, pero dentro de las opciones en mercado ya que es económico no es muy preciso.

# Capítulo 4 Sistema de Observación y Actuación para un Sistema Hidropónico

## 4.1 Diagrama de flujo y código para la simulación en interfaz ISIS de Proteus

El objetivo de este sistema de observación es brindar una herramienta fácil de utilizar y visualizar con impresión gráfica en LCD para que se aplique en múltiples cultivos. Dentro de la importancia del diseño de este prototipo es importante tener un esquema o diagrama de flujo como se muestra en la siguiente Ilustración 0-1.- Diagrama de flujo del sistema de observación

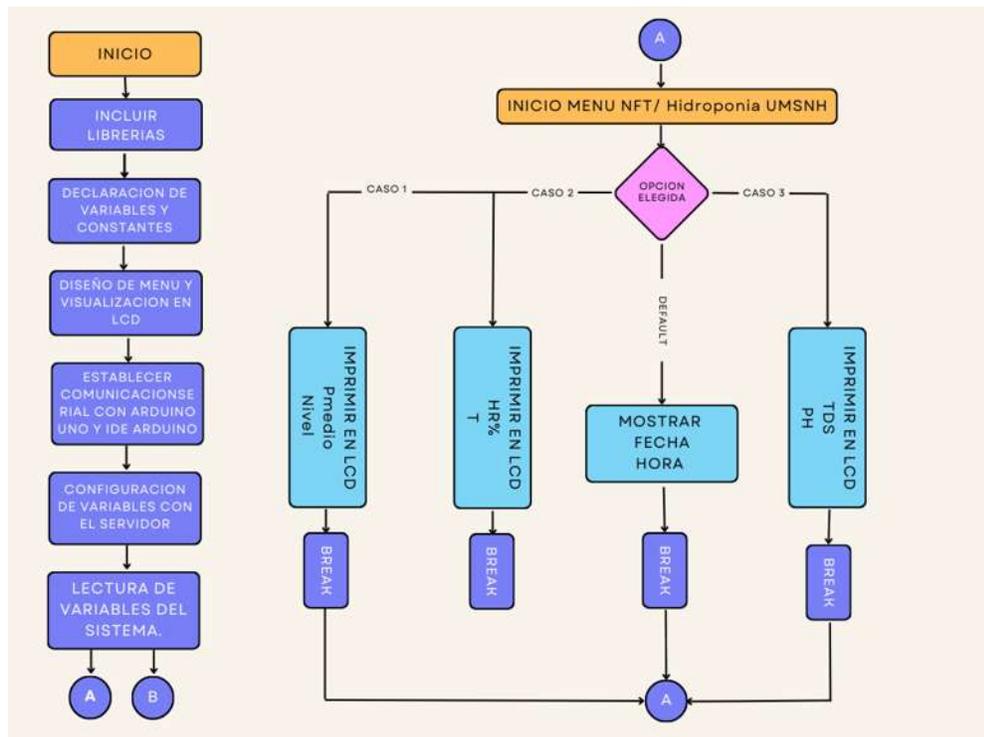


Ilustración 0-1.- Diagrama de flujo del sistema de observación

En la ilustración anterior se puede observar que es la primera parte del sistema de observación, donde se describe cada acción que se realiza en el código para que se cumplan todas las funciones. Para ver el diagrama completo véase en anexos.

Después del análisis gráfico y de la toma de decisiones que hará el sistema podemos desarrollar el sistema en un algoritmo que tenga la capacidad de hacer todas las funciones necesarias en esta primera etapa de desarrollo y en la presente tesis. Con la conjunción de varios códigos y librerías de cada uno de los dispositivos electrónicos que han sido seleccionados.

```

//LIBRERIAS
#include <ARDUINO.h>
#include "RTC_LCD_pruebas.h"
#include "SENSORTDSLCD.h"
#include "fpresion1.h"
#include "SENSORTLCD.h"
#include "SENSORHLCD.h"

// DEFINIMOS CONSTANTES
GLOBALES.
#define COLS 16 // Numero
de Columnas del LCD
#define ROWS 2 // Numero
de Filas del LCD
#define VELOCIDAD 300 //
Velocidad para mover el texto
#define ARRAYTXT 5 // Número de
textos a escribir

// Pulsadores boton conectados a
pines 0 y 3
#define BTN1 3 //boton Arriba
BTN1

#define BTN2 4 //boton abajo
BYN2

#define BTN3 2 //BTN3 boton de
entrada INTRO

//Variables globales generales
programa princial
int Dig1 = 0, Dig0=0; //Valores
modificados
float digit1 = 0, digit0 = 0,
temp1, temp2;

int indice; //Posicion del array
de textos

//char Digit01;

byte smiley[8] = {
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
};

//Inicio de LCD configuracion
void inicioLCD()
{
    //lcd.init();
    // initialize the lcd
    // Print a message to the LCD.
    //lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Inicio SH -- NFT");
    lcd.print("Hidroponia UMSNH");
    delay(1000);
    lcd.clear();
}

```

Ilustración 0-2.- Código y primera fase del algoritmo del sistema de observación.

Como se puede observar en la Ilustración 0-2.- Código y primera fase del algoritmo del sistema de observación. El código principal es un conjunto de otros archivos y utilizados como librerías para que puedan ser ejecutadas en el algoritmo

principal donde se encuentra el diseño del menú y la activación de los relés que activaran la bomba del sistema de riego o recirculamiento.

El diseño del menú es conformado por tres botones dos direcciones (arriba y abajo) y otro por de regreso a su estado inicial. Este diseño es muy simple ya que solo se pretende observar las variables del sistema, pero como trabajos futuros es crear un algoritmo con la capacidad de modificar esos parámetros. Los códigos añadidos son cada uno de los sensores, módulos y actuadores utilizados, los códigos pueden ser vistos con más detalle en el apartado de anexos.

## **4.2 Simulación del sistema en la interfaz ISIS de Proteus**

Siempre es importante dentro de un trabajo de investigación y prototipo tener herramientas capaces de simular sistemas para entender o visualizar de manera rápida y grafica el sistema. Para ello utilizamos la herramienta ISIS de Proteus que ya se describió en el capítulo anterior por lo cual en este capítulo solo se enfocara en la etapa de simulación del menú y prototipo del sistema.

La simulación del sistema se basó en dos partes importantes que son: el código de la Ilustración 0-2.- Código y primera fase del algoritmo del sistema de observación. Y la conexión que se muestra en la Ilustración 0-3.- Diagrama de conexión del sistema de observación. Necesarios para ejecutar la simulación en la interfaz.

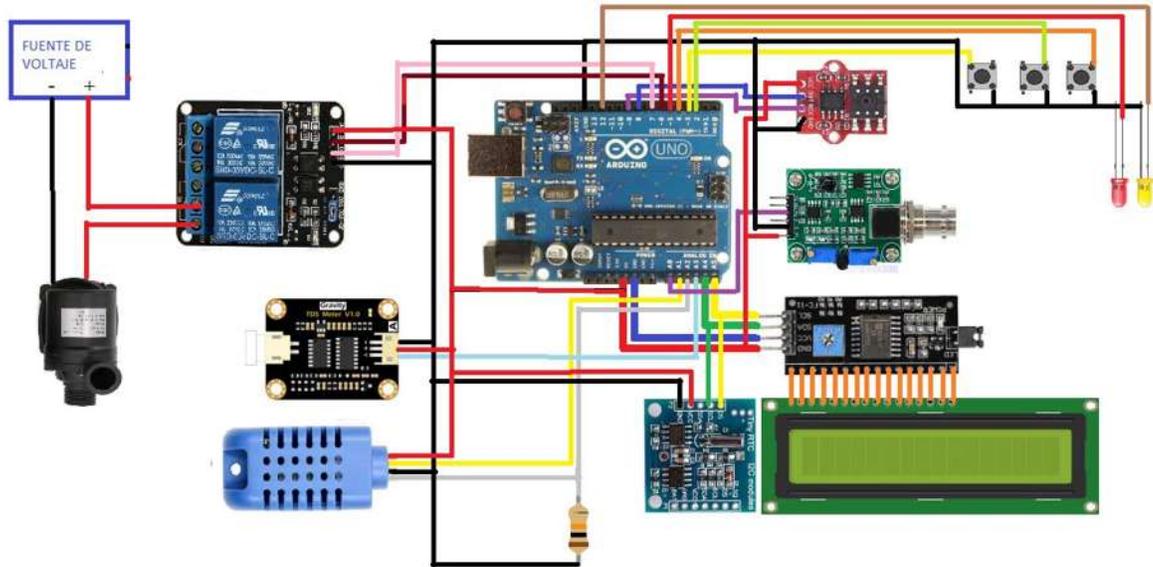


Ilustración 0-3.- Diagrama de conexión del sistema de observación.

Al tener estas dos partes podemos abrir paso al proceso de simulación como se muestra en la siguiente Ilustración 0-4.- Simulación del sistema de observación en ISIS. Donde podemos observar que es muy simple utilizar la interfaz de simulación.

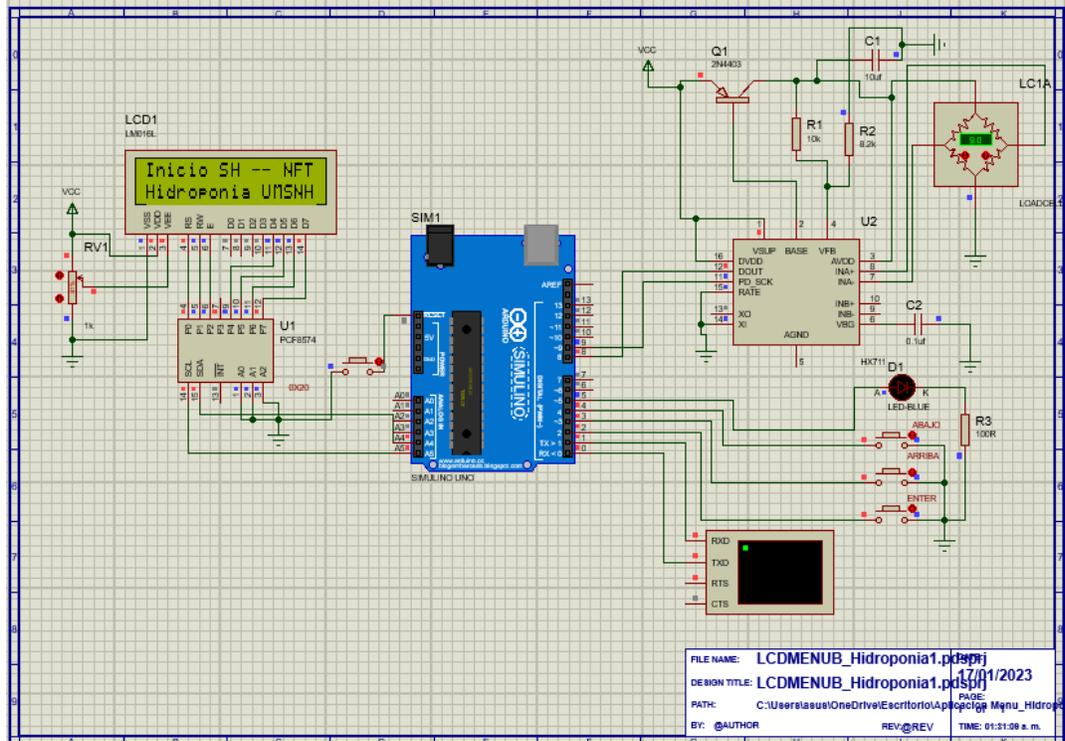


Ilustración 0-4.- Simulación del sistema de observación en ISIS.

Algunos de los elementos de simulación son: ARDUINO UNO, LCD, el módulo I<sup>2</sup>C, el sensor de presión para el sistema de nivel de líquido, botones y un led indicador; los cuales son parte del sistema y que se usaron para entender como funcionaria el algoritmo o en otro caso tuviera algún problema al ejecutarse.

Ya que el código presentaba varias fallas en su algoritmo requirió ser modificado hasta llegar a la primera fase la cual se se puede observar en la ilustración anterior de manera que se tuviera una mejor visualización y también una adaptación con el usuario.

### **4.3 Propuesta de funcionamiento del sistema de observación**

La propuesta se basa en la utilización de todos los dispositivos anteriormente descritos, claro haciendo la unión de estos en un solo circuito electrónico y la algorítmica para que sea capaz de responder a las señales generadas por los sensores para realizar acciones sobre los actuadores.

El sistema será programado de tal forma que trabaje y se visualicen los registros de temperatura, humedad, PH, conductividad eléctrica y nivel de líquido para un buen desarrollo de la planta. Para el encendido y apagado de la bomba se realizó un horario de riego no perjudicial para el cultivo y haciendo uso de relés (actuadores), los mismos que están condicionados en la programación.

Todo esto será descrito en la propuesta de funcionamiento y será simplificada por estados los cuales son:

- Inicio.

Ejecución del software ARDUINO IDE para poder incluir todas las librerías a utilizar de cada uno de los dispositivos como: sensores, actuadores y módulos de ARDUINO (relevadores y reloj de tiempo real). Declarar variables y configurar cada una de ellas ya que esto adecuada la señal de cada sensor para ser utilizada. Además, un mensaje cada vez que se encienda el sistema completo como se muestra en la siguiente Ilustración 0-5.- Mensaje de encendido del sistema en la LCD.



Ilustración 0-5.- Mensaje de encendido del sistema en la LCD.

- Menú.

Diseño del menú de inicio y botones de dirección para poder visualizar en una pantalla tipo LCD las lecturas ya adecuadas de cada uno de los sensores.

- Estado “0” o Default (Evalúa, muestra fecha y hora).

En este estado es en el que inicia el menú del sistema de observación por defecto, y evalúa constantemente si la temperatura, humedad, PH, conductividad eléctrica y nivel de líquido el cual siempre se encontrara por el mensaje de la ilustración



Ilustración 0-6.- Mensaje del menú de inicio muestra fecha y hora.

- Estado “1” (Muestra el registro Nivel de líquido y promedio).

Este estado es se visualiza el registro en tiempo real de la señal adecuada por el algoritmo y generada por el sensor de presión observe en la Ilustración 0-7.- Estado “1” o Caso “1” muestra el registro del Nivel de líquido.



Ilustración 0-7.- Estado “1” o Caso “1” muestra el registro del Nivel de líquido.

- Estado “2” (Muestra el registro de Humedad relativa y Temperatura).

En este estado muestra el registro de la lectura generada del sensor ATM1001 y adecuada en el algoritmo como se muestra en la Ilustración 0-8.- Estado “2” o Caso “1” muestra el registro del sensor de temperatura y humedad AMT1001.



Ilustración 0-8.- Estado “2” o Caso “1” muestra el registro del sensor de temperatura y humedad AMT1001.

- Estado “3” (Muestra el registro de PH y C.E).

En este estado muestra el registro de la lectura generada del sensor de potencia de hidrogeno (PH-4502C) y el sensor de C.E.(TDS Meter V1.0), señales adecuadas en el algoritmo como se muestra en la Ilustración 0-9.- Estado "3" o Caso "3" muestra el registro del sensor de PH y C.E.



Ilustración 0-9.- Estado "3" o Caso "3" muestra el registro del sensor de PH y C.E.

- Actuador Bomba (Accionar relevador 1 y 2 = Horario de Riego).

Este estado es la actuación de relés y desactivara led indicador. Encenderá la bomba siempre que se cumpla la hora, minutos y segundos, estipuladas dentro del ciclo de riego. Obsérvese la Tabla 0-1.- Propuesta de ciclos de riego.

Tabla 0-1.- Propuesta de ciclos de riego.

<b>Ciclo de riego (6 Ciclo de 45min./ciclo)</b>			
<b>Ciclos</b>	<b>Hora (Encendido).</b>	<b>Hora (Apagado)</b>	<b>Activar/Desactivar</b>
<b>Mañana</b>	12:30 am.	01:15 am.	Relevador 1/ Encender led rojo
<b>Mañana</b>	04:30 am.	05:15 am.	Relevador 1/ Encender led rojo
<b>Mañana</b>	08:30 am.	09:15 am.	Relevador 1/ Encender led rojo
<b>Tarde</b>	12:30 pm.	13:15 pm.	Relevador 1/ Encender led rojo
<b>Tarde</b>	16:30 pm .	17:15 pm.	Relevador 1/ Encender led rojo
<b>Noche</b>	20:30 pm	21:15 pm.	Relevador 1/ Encender led rojo

La propuesta de ciclo riego se analizó de manera que el cultivo no se vea afectado de esta manera se continuo con el desarrollo del prototipo donde se puede

observar la activación del relevador 1 y 2 como se muestra en la Ilustración 0-10.-  
Activación de relevador 1 y 2.

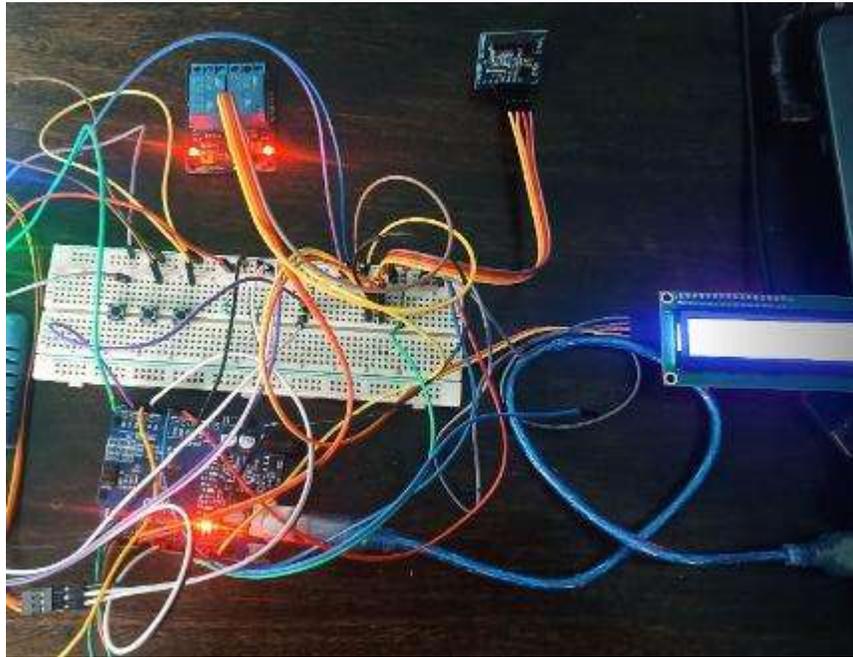


Ilustración 0-10.- Activación de relevador 1 y 2.

#### **4.4 Implementación del circuito y prototipo del sistema de observación**

Dentro de los objetivos es crear un prototipo físico y portable el cual ha sido construido por materiales que estando expuestos al ambiente no tengan problemas de corrosión o incluso que protejan al equipo de la humedad o el polvo para que tengo un óptimo funcionamiento.

La construcción del prototipo se basó en materiales como el acrílico de baja y alta densidad el cual es resistente a la corrosión, además que es fácil de cortar logrando cortes exactos. Otra parte importante es sujetar todos los dispositivos el cual se utilizaron tornillos u otros materiales para tener la menos movilidad posible.

Como parte final del prototipo era el armado y conexión se requirió cables tipo macho-macho y macho-hembra y sujetados por cinchos para tener una conexión más segura y estética. El resultado final del prototipo se puede ver en la siguiente Ilustración 0-11.- Prototipo del sistema de observación. Si desea ver más de su desarrollo véase en anexos



Ilustración 0-11.- Prototipo del sistema de observación.

#### **4.5 Análisis de costos del sistema de observación**

En el análisis de costos de la siguiente Ilustración 0-12.- Análisis de costos y precio de los equipos en el mercado. Se puede observar el costo total del prototipo y el costo de cada uno de los equipos en el mercado, de tal manera que los equipos son sustituidos por la primera etapa del prototipo de observación y control de flujo.

En el cual es costo total es de dos mil trescientos veinte y siete con noventa y ocho centavos (\$2,327.98), lo cual representa un ahorro del 67.4% con referente al valor de los equipos que se encuentran en el mercado que ascienden a siete mil ciento cuarenta y ocho con noventa y nueve centavos (\$7,148.99)



# Capítulo 5 Conclusiones Y Trabajos Futuros

## 5.1 Conclusiones

Finalmente podemos concluir que un sistema de observación variables fisicoquímicas y control de flujo de la solución nutritiva por medio la técnica recirculamiento por bombeo, por medio de un microcontrolador aplicados a un sistema hidropónico NFT, cumpliendo con éxito y será de ayuda para que el usuario en su primera etapa logre visualizar con solo equipo las variables básicas y que son pauta para crear sistemas más avanzados.

De igual manera esto no se podría haber llevado a cabo sin la información recabada a lo largo de la carrera ya que me proporcionó una gran cantidad de herramientas tanto en el área eléctrica, electrónica y computación para aplicar o interpretar mis conocimientos, y a su vez aplicarlo a cualquier proyecto de ingeniería o área de conocimiento.

- Se concluye que se logró exitosamente la información de la literatura con el objetivo de aprender de las variables fisicoquímicas y del ciclo de riego del sistema hidropónico en su primera etapa de desarrollo.
- Se concluye que los diferentes módulos de sensores requieren de su caracterización y análisis para un óptimo funcionamiento, ya que los dispositivos que se eligieron se encuentran bastante información en las plataformas digitales, pero si se requiere profesionalizar requiere de estudios superiores como el presente trabajo de tesis.
- A nivel programación se cumplió con las especificaciones permitiendo una fácil visualización de los parámetros, actuadores. Otro aspecto importante a resaltar es el uso de simulación en esta tesis para tener una idea óptima o ideal de cómo funcionaría el sistema sin perturbaciones externas y comprender más de él, es sumamente recomendable hacerlo previo al diseño físico ya que se puede ahorrar tiempo y costos.

- Se concluye que el prototipo es capaz no solo de observar las variables básicas de un sistema hidropónico como son temperatura y humedad, similares a otros equipos que existen en el mercado. si no ir más allá con variables como conductividad eléctrica, PH, el nivel de la solución y activación de la bomba la cual se cumplieron con éxito.

## **5.2 Trabajos futuros**

Como trabajos futuros se pretende alimentar con fuentes alternas de energía y se creara un registro o base de datos de cada variable o fallas que presente el sistema para lograr más avances en el uso correcto de los recursos. Además, agregar una conexión remota mediante wifi para tener un mejor cuidado del cultivo a larga distancia y un sistema de iluminación artificial.

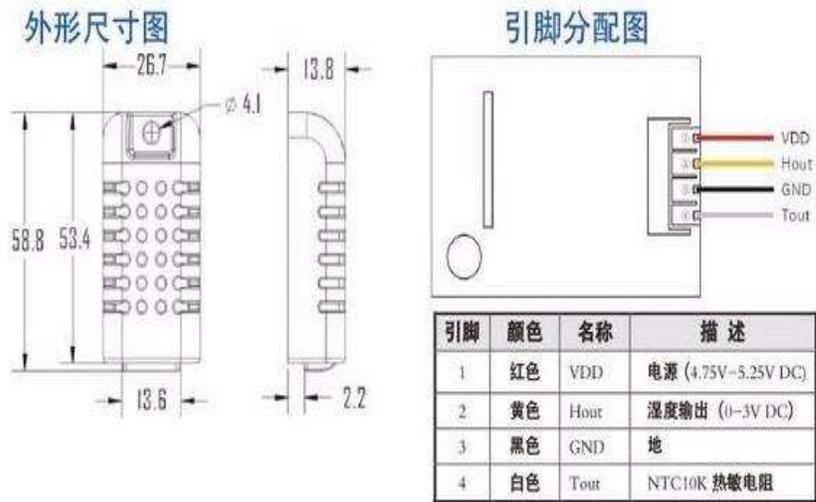
# Referencias

- [1] J. Beltran y D. Giménez, Cultivo en hidroponía, Buenos Aires, Argentina: Editorail de la Uiversidad de la Plata, 2015.
- [2] A. C. Ramírez, Diseño de un sistema para y monitoreo de invernadero hidroponico., Instituto Politécnico Nacional, 2014.
- [3] Centro de Estudios Agropecuarios, Hidroponía, CD. México, México: Trillas, 2019.
- [4] Hidroinova, Hidroponia, vol. vi, Hidronova S.A. de C.V, 2019, pp. 29-40.
- [5] INAH, «Detalle de un mural chinampas mexicas,» Museo de Antropología e Historia, Ciudad de México.
- [6] O. G. Solutions, «Manual de Hidroponia,» Smithers Oasis de Mexico S.A. de C.V, Ciudad de Mexico, Mexico, 2019.
- [7] D. V. Suma, «Internet of Things (IoT) based Smart Agriculture in India: An Overview,» *Journal of ISMAC*, vol. 03, nº 01, pp. 1-15, 2021.
- [8] J. S. B. Segovia, F. A. D. Rojas y M. W. V. Quishpe, «Estudio del uso de técnicas de inteligencia artificial aplicadas para el analisis de suelos para el sector agrícola,» *Revista Cientifica Mundo de la Investigacion y el Conocimiento*, vol. 05, nº 01, pp. 4-19, 2021.
- [9] A. K. Constantino Valero y C. C. y J. d. C. Antonio Barriento, «Protoipo para la fertilizacion ecologica robotizada de plantas individuales,» *Tierras: Agricultura*, vol. 304, 2022.
- [10] I. R. S. N. Acosta, Sistema de control con vision artificial para cultivos con luz artificial., Ecuador: UTA, 2022.
- [11] A. M. Macías y Y. L. S. García, «Desarrollo agroindustrialy degradacion ambiental en México (1941-2021),» *Observatorio Ambiental*, nº 24, pp. 195-228, 2021.
- [12] Intef, «Recursostic,» [En línea]. Available: [http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esohistoria/quincena2/quincena2\\_contenidos\\_2a.htm](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esohistoria/quincena2/quincena2_contenidos_2a.htm). [Último acceso: 15 08 2022].
- [13] R. N. Soto-Aguilar, Principios Agronomicos. Bases para una Teoria Agronomica, Santiago de Chile: Sociedad Agronomica de Chile, 2014.
- [14] G. Carrasco, La Empresa Hidroponica de mediana escala:La Tecnica de Solucion Nutritiva Recirculante (NFT), Talca,Chile: Universidad de Talca, 1996.
- [15] USERS, «redusers.com,» [En línea]. Available: <https://www.latecnicalf.com.ar/descargas/material/informaticaelectronica/Proteus%20Introduccion.pdf>. [Último acceso: 26 08 2022].
- [16] Labcebtter Electronics, «labcenter.com,» [En línea]. Available: <https://www.labcenter.com/>. [Último acceso: 26 08 2022].
- [17] C. P. Millahual, ARDUINO La guia para realizar tus protipos electronicos., Buenos Aires: Manuales Users, 2017.

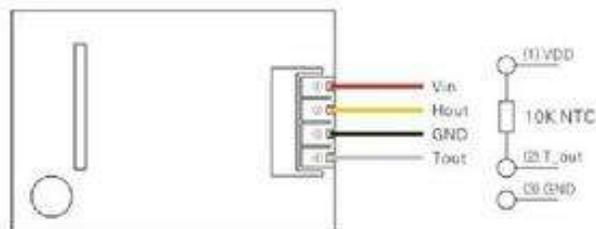
- [18] O. T. Artero, ARDUINO Curso practico de formacion, Mexico: Alfaomega, 2013.
- [19] A. D. G. Ruiz, Desarrollo e implementacion de un Invernadero automatizado con cultivo hidropónico y aplicación móvil para el seguimiento de datos, Sevilla: Universidad de Sevilla, 2017.
- [20] ARDUINO Get Started.com, «ARDUINO GET STARTED,» 2021. [En línea]. Available: <https://ARDUINOgetstarted.com/tutorials/ARDUINO-lcd-i2c>. [Último acceso: 20 10 2022].
- [21] Geek Factory, «Geek Factory,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos/generales/ds1307-modulo-tiny-rtc-reloj-en-tiempo-real/>. [Último acceso: 20 10 2022].
- [22] Handsontec, «handsontec.com,» [En línea]. Available: <http://www.handsontec.com/dataspecs/2Ch-relay.pdf>. [Último acceso: 22 10 2022].
- [23] ASAIR, «asong,» [En línea]. Available: <http://www.aosong.com/en/products-46.html>. [Último acceso: 18 Diciembre 2019].
- [24] «DFROBOT,» [En línea]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Gravity\\_\\_Analog\\_TDS\\_Sensor\\_\\_\\_Meter\\_For\\_ARDUINO\\_SKU\\_\\_SEN0244](https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_TDS_Sensor___Meter_For_ARDUINO_SKU__SEN0244). [Último acceso: 18 Diciembre 2019].
- [25] IDEA, «Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos,» *Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura*, vol. 1, n° 7, p. 66, 2008.
- [26] P. C. M. A. R. A. Raquel Salazar Moreno, «Efeciencia en el uso de la energía en invernaderos mexicanos,» *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, n° 04, pp. 736-742, 2012.
- [27] M. G. Oscar, «Elementos para el análisis del problema energético en las zonas rurales de México,» *Energía y sector agrícola de subsistencia*, vol. 32, n° 04, pp. 420-437, 1981.
- [28] J. E. O. Victor Urdiales Ponce, «Monitoreo de un sistema hidropónico NFT a escala usando arquitectura ARDUINO (PARTE 1),» *Tecnología en Marcha*, vol. 31, n° 02, pp. 147-158, 2018.
- [29] J. G. Tlahque, Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva, Chapingo, Mexico: Universidad Autónoma Chapingo, 2011.
- [30] M. F. S. René Oziel Reyes Gutiérrez, Automatización de un sistema invernadero con hidroponia, Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [31] R. M. Carsten, Automatización de un cultivo hidropónico NFT para el control de temperatura, riego y mezcla de solución nutritiva, ubicada en la zona urbana de Quito, Quito: Universidad Politécnica Salesiana., 2017.

# Anexos

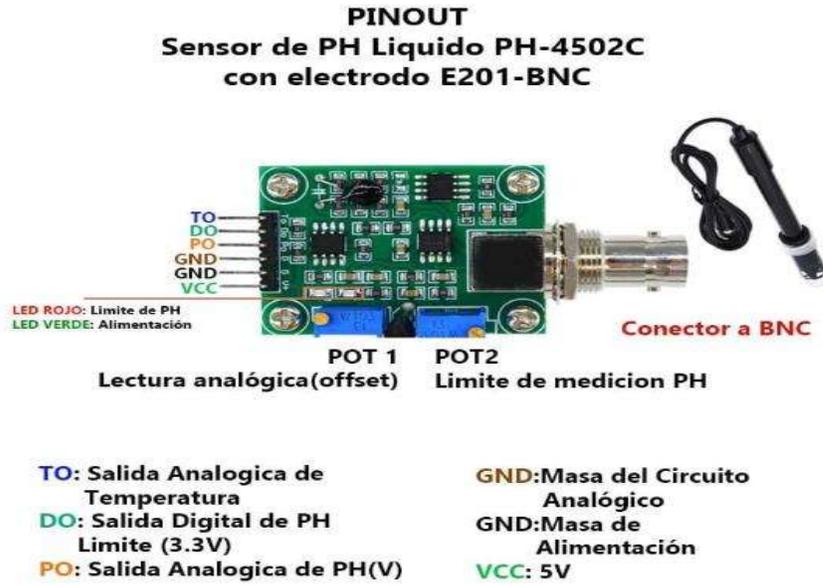
## Anexo 1. Sensor de humedad y temperatura



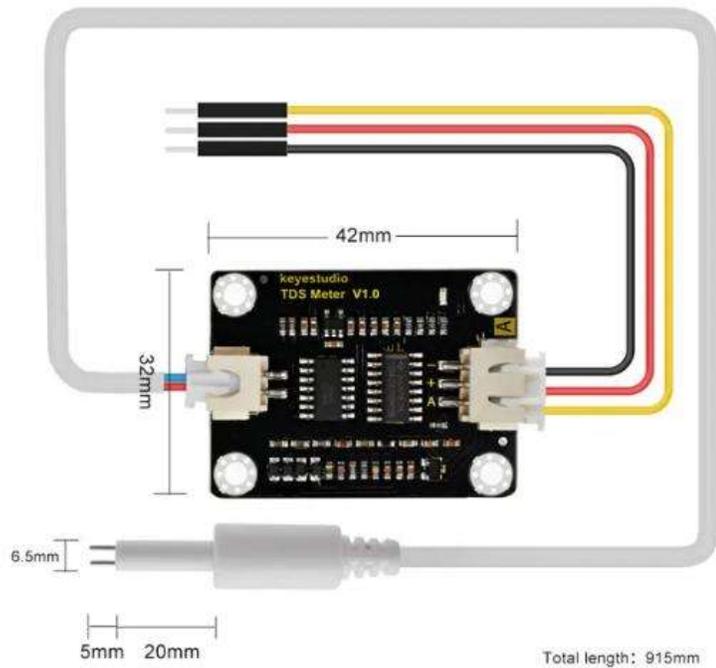
La humedad relativa (% RH)	20	30	40	50	60	70	80	90
La tensión de salida (V)	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7



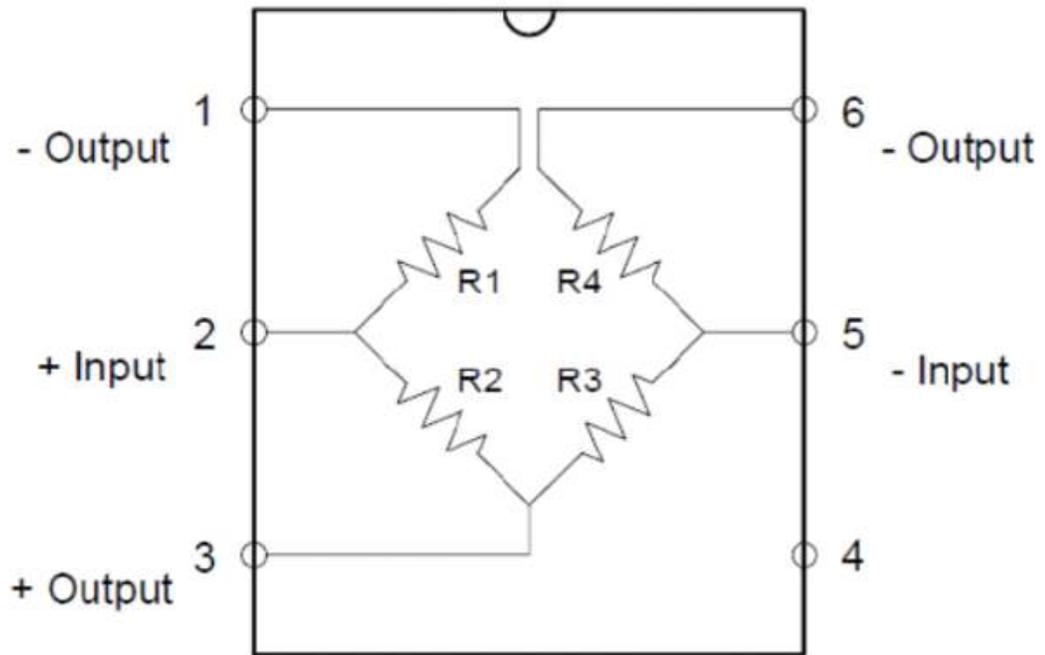
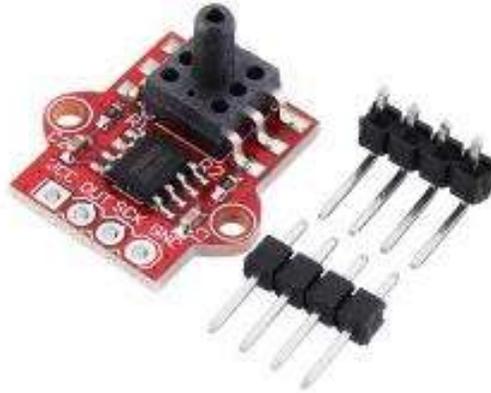
## Anexo 2. Sensor de PH



## Anexo 3. Sensor de conductividad eléctrica



#### Anexo 4. Sensor de presión



## Anexo 5. Programa principal del sistema de observación

```
//LIBRERIAS
#include <ARDUINO.h>
#include "RTC_LCD_pruebas.h"
#include "SENSORDSLCD.h"
#include "fpresion1.h"
#include "SENSORLCD.h"
#include "SENSORHLCD.h"

// DEFINIMOS CONSTANTES GLOBALES.
#define COLS 16 // Numero de
Columnas del LCD
#define ROWS 2 // Numero de Filas
del LCD
#define VELOCIDAD 300 // Velocidad para
mover el texto
#define ARRAYTXT 5 // Número de textos a
escribir

// Pulsadores boton conectados a pines 0
y 3
#define BTN1 3 //boton Arriba BTN1

#define BTN2 4 //boton abajo BYN2

#define BTN3 2 //BTN3 boton de entrada
INTRO

//Variables globales generales programa
principal
int Dig1 = 0, Dig0=0; //Valores
modificados
float digit1 = 0, digit0 = 0, temp1,
temp2; // Variable para almacenar el
valor obtenido del sensor (0 a 1023)
//int pinLM35 = 0; // Variable del pin
de entrada del sensor (A0)
int indice; //Posicion del array de
textos

//char Digit01;

byte smiley[8] = {
    B11111,
    B11111,
    B11111,
}

void setup()
{
    IncioLCD2();
    inicioLCD();
    pinMode(BTN1, INPUT_PULLUP); //
boton1. Incrementa
    pinMode(BTN2, INPUT_PULLUP); //
boton2. Decrementa
    pinMode(BTN3, INPUT_PULLUP);
    //pinMode(13, OUTPUT);
    Serial.begin(19200);
    inicioPresAlt();
    TDSNDL();
}

void loop(){
    //primer menu muestra las variables
    //Aqui se mandan a llamar la funiones
de los demas Archivos.h

    //Funcion loop del archivo de
presion o de nivel de liquido
    PresAlt();
    sensortyh();
    CLTDSNL();
    phsens();

    int val1, val2;
    int val3 = digitalRead(BTN3);
    delay(10);

    if(val3 == 0)
    {
        Dig0 = 0;
    }

    //Variables globales
    val1 = digitalRead(BTN1);
    //Detecta si se presiono el boton de
arriba o incremento
    delay(10);
}
```

```

    B11111,
    B11111,
    B11111,
    B11111,
};

//Inicio de LCD configuracion
void inicioLCD()
{
    //lcd.init(); // initialize the lcd
    // Print a message to the LCD.
    //lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Inicio SH -- NFT");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Hidroponia UMSNH");
    delay(1000);
    lcd.clear();
}

//Al presionar boton1. Incrementa EN
//VARIAS Unidades funcion generica
float Incrementa(int val, int Lim, float
Unid1, float Valr)
{
    float digit2 = Unid1;
    if (val == LOW)
    {
        if (digit2 >= Lim)
        {
            digit2 = 0;
        }else
        {
            digit2=digit2+Valr;
        }
    }
    return digit2;
}

//Al presionar boton2. Decrementa EN
//VARIAS Unidades genericas
float Decrementa(int val0, int Lim,
float Unid1, float Valr)
{
    float digit2 = Unid1;
    if (val0 == LOW)
    {
        if (digit2 >= 0)
        {
            digit2=digit2-Valr;
            val2 = digitalRead(BTN2);
            //Detecta si se presiono el boton de
            //abajo o decremento
            delay(10);

            if(val1 == 0 && val2 == 1)
            {
                Dig0 = Increm1(val1, 4, Dig0);
            }

            if(val1 == 1 && val2 == 0)
            {
                Dig0 = Decrem1(val2, 4, Dig0);
            }

            switch (Dig0)
            {
                case 1: //Que queremos muestre
                    el menu 1
                    lcd.clear();
                    lcd.setCursor(0,0);
                    lcd.print("Pmedio= ");
                    lcd.print(Med1,2);
                    //El valor del sensor de presion
                    //lcd.print("0"+String(temp1));
                    lcd.print(" Unid");
                    // VALores en el segundo
                    espacio LCD
                    lcd.setCursor(0,1);
                    lcd.print("Nivel= ");
                    lcd.print(String(MedP1)+"
CM"); //El valor del nivel de presion
                    break;

                case 2: //Que queremos muestre
                    el menu 2
                    lcd.clear();
                    lcd.setCursor(0,0);
                    lcd.print("HR%= ");
                    lcd.print(h,2);
                    //El valor del sensor de presion
                    //lcd.print("0"+String(temp1));
                    lcd.print("%");
                    // VALores en el segundo
                    espacio LCD
                    lcd.setCursor(2,1);
                    lcd.print("T= ");
                    lcd.print(String(t)+"C");
                    //El valor del nivel de presion
                    //lcd.createChar(0, smiley);

```



**Anexo 5.1. Desarrollo de prototipo**

