

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA CULTIVO
HIDROPÓNICO AUTÓNOMO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

SANTIAGO ESPINOSA OSORIO

BRAHIAN STIVEN CERÓN RAMÍREZ

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DIEGO FERNANDO FRANCO OCAMPO, M.Sc.

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TULUÁ, VALLE

2022

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA CULTIVO
HIDROPÓNICO AUTÓNOMO UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

SANTIAGO ESPINOSA OSORIO

BRAHIAN STIVEN CERÓN RAMÍREZ

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TULUÁ, VALLE

2022

DEDICATORIA

En primer lugar, darle gracias a Dios por permitir que día a día me haya dado la capacidad de poder realizar cada trabajo que se cruzó en el camino en la elaboración del trabajo de grado, por haberme dado salud a pesar de las condiciones en las que se está viviendo, y aun así no es un impedimento para seguir luchando por cada ilusión.

A mi madre María Luisa Ramírez Hernández, por haberme apoyado incondicionalmente, desde que empecé la carrera, por sus consejos y sus motivaciones con el fin de ser una persona de bien.

A mi padre Carlos Julio Cerón Perea, que en paz descansa, quien por su esfuerzo, sacrificio y disciplina podré ser un ingeniero electrónico como yo tanto lo anhelaba.

A mis familiares y amigos que hicieron parte de este gran proceso, gracias e infinitamente gracias, por la paciencia y la motivación.

A mis profesores por su gran apoyo, su valioso conocimiento compartido, su tiempo y motivación que permitieron que todo esto haya sido posible, mil gracias.

Brahian Stiven Cerón Ramírez

Quiero primero darle gracias a Dios todo poderoso por darme todas las facultades para superar todas las pruebas que pude superar en este largo.

A mis tías Sandra y Nora Espinosa que gracias a su duro trabajo me regalaron la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

A mis padres Jen y Liliana que gracias su ejemplo de lo que es el trabajo duro me enseñaron que no hay caminos fáciles. Que con su consejo y consuelo en tiempos complicados me ayudaron a levantarme nuevamente

Y finalmente quiero dedicar este trabajo de grado a todos los profesores que hicieron parte de este proceso de formación, esos maestros cuyo objetivo principal era ver que el estudiante evolucionara en sus cursos, teniendo la capacidad de afrontar nuevos retos a futuro.

Santiago Espinosa Osorio

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO 1

JURADO 2

JURADO 3

FECHA _____ **LUGAR** _____

AGRADECIMIENTOS

Aprovechando este espacio, quiero agradecer a las personas que formaron de una u otra manera en la elaboración de este, especialmente:

Al profesor Diego Fernando Franco Ocampo, director del trabajo de grado, por su tiempo, consejos, asesoría y orientación brindada, así mismo por su formación de nuestra carrera universitaria.

Al profesor William, quien en su materia nos brindó mucho conocimiento y paciencia para la buena elaboración del trabajo de grado

A los jurados quienes son aquellos que corrigen las falencias que puedo tener durante el desarrollo de este, gracias por sus conocimientos y paciencia.

A todos nuestros profesores por su esfuerzo, motivación y dedicación para transmitirnos sus conocimientos.

A el profesor Diego Franco Ocampo, el cual ha ejercido una labor ejemplar como nuestro director de trabajo de grado. Por todos los consejos, ayudas y conocimiento que nos ha brindado durante todo este largo proceso.

Al profesor William Buitrago que nos orientó y nos dio una gran base para empezar nuestro trabajo de grado.

A todos los compañeros que nos compartieron su conocimiento y ayuda para llegar hoy hasta este punto.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	17
2.	Definición del Problema de Investigación.....	19
2.1	Antecedentes	19
2.2	Descripción del Problema.....	19
2.3	Formulación del Problema.....	21
3.	Justificación	22
4.	Objetivos.....	24
4.1	Objetivo General	24
4.2	Objetivos Específicos	24
5.	Marco Referencial.....	25
5.1	Marco Histórico	25
5.2	Marco Conceptual	27
5.3	Revisión del Estado del Arte	27
5.4	Marco Teórico	32
5.4.1	<i>Sistema Embebido Raspberry Pi</i>	32
5.4.2	<i>Sensor Dth11</i>	41
5.4.3	<i>Módulo Relé De 4 Canales</i>	42
5.4.4	<i>DS18B20</i>	43
5.4.5	<i>Sistema de Transferencia Automático</i>	49
5.4.6	<i>Paneles Solares</i>	50
5.4.7	<i>Controlador de Carga Solar</i>	52
5.4.8	<i>Luz UV</i>	53
6.	Diseño Metodológico	55
6.1	Metodología	56
6.1.1	<i>Primera Fase: Estado del Arte</i>	56
6.1.2	<i>Segunda Fase: Etapa de Estudio de los Paneles Solares</i>	56
6.1.3	<i>Tercera Fase: Etapa de Diseño</i>	57
6.1.4	<i>Cuarta Fase: Etapa de Implementación y Resultados</i>	57
7.	Desarrollo del Proyecto.....	58
7.1	Diseño, Funcionamiento Básico del Proyecto.....	58
7.1.1	<i>Dispositivos Electrónicos Usados en el Proyecto</i>	58
7.1.2	<i>Estructura del sistema y actuadores</i>	61
7.1.3	<i>Sistema De Transferencia Automático</i>	64
	65

7.1.4	<i>Sistema de control</i>	65
7.1.5	<i>Interfaz de usuario (HMI)</i>	67
7.1.6	<i>Panel Solar</i>	71
7.1.7	<i>Dimensionamiento De La Batería</i>	73
7.1.8	<i>Cálculo Del Panel Solar</i>	74
7.1.9	<i>Dimensionamiento Del Inversor</i>	76
7.1.10	<i>Controlador De Carga Solar</i>	77
7.1.11	<i>Lámpara UV</i>	79
7.2	<i>Implementación</i>	80
7.2.1	<i>Estructura Base Y Tubería</i>	81
7.2.2	<i>Montaje Eléctrico Y Electrónico Del Sistema</i>	83
7.2.3	<i>Montaje de Polisombra</i>	95
8.	<i>Pruebas Y Resultados Finales</i>	97
8.1.1	<i>Consumo Eléctrico Del Sistema</i>	97
8.1.2	<i>Consumo De Agua</i>	101
8.1.3	<i>¿Por Qué Trabajar con Cultivos Hidropónicos y Automatizarlos?</i>	106
8.1.4	<i>Plataforma Web</i>	114
9.	<i>Análisis Financiero</i>	116
9.1	<i>Costos del Proyecto</i>	116
9.2	<i>Recuperación de la Inversión</i>	120
10.	<i>Conclusiones</i>	125
11.	<i>Bibliografías</i>	127
12.	<i>Anexos</i>	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Raspberry Pi 4	33
Figura 2 Sensor de Temperatura y Humedad Dht11	42
Figura 3 Módulo Relé de Cuatro Canales	43
Figura 4 Sensor DS18B20	44
Figura 5 Error de Medición.....	46
Figura 6 Sensor Encapsulado Ds18b20	47
Figura 7 Sonda pH.	48
Figura 8 pH Algunas Sustancias.	49
Figura 9 Panel Solar.	52
Figura 10 Controlador de Carga Solar.....	53
Figura 11 Purificador de Luz Ultravioleta.....	54
Figura 12 Bomba de Aire (aireador)	62
Figura 13 Diagrama del sistema de transferencia automático	65
Figura 14 Diagrama de Bloques de la Estructura del Sistema de Control	67
Figura 15 Código HTML.....	68
Figura 16 Árbol de Jerarquía y Código PHP.....	69
Figura 17 Base de Datos MYSQL	69
Figura 18 Código Python.....	71
Figura 19 Radiación Solar en el Valle del Cauca	72
Figura 20 Sistema Fotovoltaico	74
Figura 21 Horas Sol Pico en Colombia.....	75
Figura 22 Inversor 500 W EN500	77
Figura 23 Controlador de Carga Solar.....	78
Figura 24 Lámpara UV Para el Control de Proliferación de Bacterias.	80
Figura 25 Estructura Base de Apoyo Para la Tubería.	81
Figura 26 Estructura Base Hidropónica.....	82
Figura 27 Estructura Física Real del Proyecto.	83
Figura 28 Tablero de Control de Proyecto.....	84
Figura 29 Sensor de pH.	85
Figura 30 Ads115.....	86
Figura 31 Módulo Relé y Módulo Sensor de pH.	86
Figura 32 Planta de Cilantro en el Cultivo Hidropónico.	87
Figura 33 Sistema de transferencia automático	88
Figura 34 Login de Usuario Aplicativo	89
Figura 35 Interfaz de Control.....	89
Figura 36 Modo Automático.	90
Figura 37 Modo Manual.	91
Figura 38 Menú de Ajustes	92
Figura 39 Bitácora Diaria.....	92
Figura 40 Bitácora Mensual	93

Figura 41 Consumo con UPS.....	94
Figura 42 UPS	94
Figura 43 Panel Solar Monocristalino 60W.	95
Figura 44 Polisombra	96
Figura 45 Consumo del Sistema	98
Figura 46 Consumo del Panel Solar.....	99
Figura 47 Depósito de Agua Antes del Mantenimiento.....	103
Figura 48 Filtro de Agua Pasivo	103
Figura 49 Tamaño de Lechuga en Tierra	108
Figura 50 Tamaño de lechuga en el sistema hidropónico	109
Figura 51 Espesor de Lechuga en Tierra	110
Figura 52 Espesor de Lechuga en el Sistema Hidropónico	111
Figura 53 Altura de Ajo en Tierra	111
Figura 54 Altura de Ajo en el Sistema Hidropónico	112
Figura 55 Espesor del Ajo en Tierra.....	113
Figura 56 Espesor de Ajo en el Sistema Hidropónico.....	113
Figura 57 200g de Lechuga Hidropónica.....	124
Figura 58 Especificaciones del Sensor.....	132
Figura 59 Especificaciones Modulo Relé 4 Canales.....	132
Figura 60 Especificaciones de la Sonda.....	133
Figura 61 Especificaciones del circuito.....	133
Figura 62 Ficha técnica Panel solar 60W.....	133
Figura 63 Pines de la Sonda	133
Figura 64 Ficha técnica Inversor 500W EN500	133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Producción Sistema de Cultivo Hidropónico Automatizado con Energía Solar	28
Tabla 2 <i>Hidroponía Chile Prepara Primer Invernadero con Energía Solar en el norte grande</i>	29
Tabla 3. <i>Producción Sistema de Cultivo Hidropónico Automatizado con Energía Solar</i>	30
Tabla 4. <i>Plan de Negocios Para la Creación de la Empresa Verde Arte S.A.S. s Fabricante de Huerta Hidropónicas en la Ciudad de Bogotá y sus Alrededores</i>	31
Tabla 5. Comparación de dispositivos para el sistema.	59
Tabla 6. <i>Variables Utilizadas en el Cálculo de la Batería</i>	73
Tabla 7. Ficha Técnica Controladora de Carga Solar	79
Tabla 8. Consumo Eléctrico Total.....	100
Tabla 9. <i>Consumo Eléctrico</i>	100
Tabla 10. Datos Consumo de Agua	105
Tabla 11. Datos Crecimiento de las Plantas en un Mes.....	110
Tabla 12. Inversión en Equipos Eléctricos.	117
Tabla 13. Inversión en Materiales.	118
Tabla 14. <i>Inversión Mano de Obra</i>	119
Tabla 15. Inversión Total del Proyecto.....	119
Tabla 16. Recuperación de Inversión	120
Tabla 17 Flujo de Caja Año	121
Tabla 18. Costo Total Nueva Inversión.....	123

LISTA DE ECUACIONES

Cálculo de la capacidad de la batería (Ecuación 1).....	73
Cálculo de panel solar (Ecuación 2).....	76
Volumen de un cilindro (Ecuación 3).....	101
Costo consumo mensual de agua (Ecuación 4).	104
Tiempo de recuperación de la inversión (Ecuación 5).....	121

Glosario

Actuador: dispositivo capaz de transformar algún tipo de energía (como hidráulica, neumática o eléctrica) en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado.

Batería: Dispositivo capaz de acumular energía eléctrica y suministrarla; normalmente está formado por placas de plomo que separan compartimentos con ácido.

Bit: Es la mínima capacidad de información de un sistema informático.

Byte: Es la unidad estándar de información utilizada en informática. Equivale a un conjunto de 8 Bits.

CPU: acrónimo de central processing unit (unidad central de procesamiento), es la unidad de procesamiento de la Raspberry pi, interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas, está compuesta por el procesador y las memorias.

EEPROM: acrónimo de Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (ROM programable y borrable eléctricamente), es un tipo de memoria ROM que puede ser programada, reprograma y borrada eléctricamente.

HMI: interfaz de usuario, usada para la interacción entre humanos y máquinas.

HTML: HyperText Markup Language ('lenguaje de marcas de hipertexto'), El HTML es el componente más básico de una página web. Es la estructura sobre la que se soporta esta.

Inversor eléctrico: es un dispositivo que cambia o transforma una tensión de entrada de corriente continua a una tensión alterna de salida.

JAVASCRIPT: Es un lenguaje de programación o de secuencia de comandos que permite realizar tareas complejas en una página web.

Memoria de imagen de proceso: parte de la memoria de una raspberry que la CPU pone a disposición del programa de usuario.

N/A: es una abreviatura de uso común en el inglés utilizada para indicar la omisión deliberada de información existente en un campo de una tabla, listado o formulario.

NETPOT: canastilla donde reposan las plantas y va ubicada en los diferentes agujeros de los tubos del sistema hidropónico.

Panel solar: Plancha de vidrio, estaño y otros materiales, que se coloca en un lugar despejado y recoge la energía solar para conducirla a un transformador de energía eléctrica.

Periférico: dispositivo hardware auxiliar externo conectado a una unidad de control o unidad de procesamiento.

pH: es el coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

PHP: es un lenguaje de programación de uso general que se adapta especialmente al desarrollo web.

Python: lenguaje de programación de propósito general, orientado a objetos.

Raspberry pi: es un sistema embebido similar a una computadora el cual permite el control electrónico de sensores y actuadores mediante un software.

Raspbian: sistema operativo basado en Linux para la operación de la raspberry pi.

RAM: acrónimo de random access memory (memoria de acceso aleatorio), memoria volátil en la cual se puede acceder aleatoria y rápidamente a cualquiera de sus ubicaciones.

Realimentación: medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar.

Relé: dispositivo electromagnético que funciona como interruptor controlado por un circuito eléctrico, en él se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes por medio de una bobina y un electroimán.

Sensor: dispositivo creado para determinar, calcular o revisar una unidad deseada, el cual es capaz de detectar magnitudes físicas o químicas llamadas variables instrumentales.

Señal: es una variación de corriente eléctrica que es usada para la transmisión de información.

Software: se le conoce como soporte lógico o sistema informático que comprende un conjunto de componentes lógicos creados para una tarea determinada o un proceso automático interno del hardware.

Tensión: también conocido como diferencial de potencia, es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencia eléctrica entre dos puntos.

UPS: *uninterruptible power supply* (sistema de alimentación ininterrumpida) es un dispositivo que gracias a sus baterías u otros elementos almacenadores de energía, durante un apagón eléctrico puede proporcionar energía eléctrica por un tiempo limitado a todos los dispositivos que tenga conectados.

Resumen

Este proyecto plantea el diseño e implementación de un sistema electrónico para la automatización de un cultivo hidropónico utilizando una fuente alterna de energía.

En el capítulo 1, el planteamiento del problema establece la posibilidad y/o la opción de optar por cultivos de este tipo con el fin de que las zonas urbanas también puedan beneficiarse de su implementación y más aún, tener un control de los mismos por medio de la automatización utilizando un sistema embebido.

En el capítulo 2, se justifica la solución al problema planteado, en la implementación del diseño electrónico para el control de este cultivo hidropónico.

En el capítulo 3, se plantea el objetivo: “Diseñar e implementar un sistema electrónico para cultivo hidropónico automatizado utilizando energía solar el cual permite ahorrar recursos y optimizar la producción del cultivo.” y los objetivos específicos, con los cuales se alcanzará el objetivo general.

En el capítulo 4, se presenta el marco teórico del proyecto, en el que se trata la introducción a los cultivos hidropónicos como una solución óptima para las zonas urbanas y como una aplicación más de la automatización y la electrónica.

En el capítulo 5, se describe el tipo de investigación y la metodología con la que se desarrolló el proyecto.

1. Introducción

En el presente trabajo de grado se realiza el diseño e implementación de un sistema electrónico para un cultivo hidropónico autónomo utilizando energía solar.

Un cultivo hidropónico es aquel que prescinde o no necesita de la tierra totalmente para cultivar los alimentos. Así, un huerto hidropónico funciona solo con las raíces en suspensión y con soportes variados que pueden ir desde la base principal, estos cultivos se acompañan de agua y algunos nutrientes necesarios para que los cultivos prosperen.

La electrónica y la automatización permiten conectar el mundo físico con el mundo digital, y su implementación en este proyecto hace posible el surgimiento de ideas y nuevas propuestas que permitan un control permanente y riguroso de los cultivos.

Los procesos de automatización y los desarrollos en diferentes tipos de sensores, electrónica, nuevos equipos y herramientas han dado paso a la agricultura de precisión. Los drones y los satélites son ejemplos claros de ello, han sido diseñados para tener un control remoto de las explotaciones agrícolas, para gestionar los cultivos, recogiendo información detallada para incursionar en el estudio e investigación de la salud de las plantas. Los drones, por ejemplo, en un solo vuelo tienen la capacidad de capturar gran cantidad de datos en tiempo real. En definitiva, detectan los problemas existentes y permiten poner en marcha una toma de decisiones a tiempo.

A estas herramientas se han sumado otras como los robots, sensores, en general, y el uso de softwares de inteligencia artificial.

Las herramientas de automatización han permitido obtener información de las plantas y trasladarla a plataformas digitales. Así, el mundo agrícola está construyendo auténticas bases de datos sobre las que controlar y tomar decisiones.

La hidroponía es uno de los métodos de producción agrícola que más se ha desarrollado en los últimos años, ya que ha permitido la optimización del espacio físico, dejando en segundo plano el uso de la tierra como base para el crecimiento de especies. Ha permitido también incorporar de una forma más accesible para cualquier persona nutrientes y fertilizantes orgánicos que favorecen el consumo de éstos. Además, este tipo de cultivos permiten un control más riguroso y un manejo de plagas efectivo. Al fusionar estas características con la automatización se encuentra una oportunidad de trabajar con un proyecto de impacto tanto ambiental como social, desarrollando su tecnología que viene a favorecer al agro y a la comunidad. Se busca así la producción controlada de alimentos de alta calidad, que ofrezcan características fisicoquímicas favorables para el consumo humano como temperatura, oxigenación, pH y nutrientes. (Behrentz Pfalz & Zambrano Cortés, 2014)

2. Definición Del Problema De Investigación

2.1 Antecedentes

La agricultura desde su invención hace más de 10.000 años ha sido un antes y un después en la historia del ser humano, pues cambió por completo su forma de vida pasando del nomadismo al sedentarismo, pudiendo así producir sus propios alimentos y permitiéndole practicar la domesticación de las especies. Hasta hace poco, los pueblos agrícolas más antiguos habían sido descubiertos en Palestina, Siria y el este de Turquía, donde los arqueólogos, mediante datación por radiocarbono, determinaron en unos 10.500 años la edad de las primeras especies domesticadas. Pero solo se conocían unos pocos yacimientos que llegaran más al este, hasta Irán. Desde entonces dada la importancia que tuvo esta actividad ha presentado un desarrollo enorme dando pie a que se crearan una gran cantidad de herramientas y técnicas que facilitan más la labor, volviéndola mucho más eficaz obteniendo así cosechas de más calidad con menor trabajo. (Investigacion y Ciencia, 2013) En la actualidad se hace uso de numerosas tecnologías que también optimizan el proceso, tales como el manejo de sensores remotos, los mencionados drones, vehículos de cosecha, riego automático y maquinaria para el arado, entre otros.

2.2 Descripción Del Problema.

Actualmente la siembra de cultivos se puede considerar una actividad no solo importante sino necesaria para el ser humano, pues no es un secreto que la vida depende de ella. Existen muchos sistemas de cultivo que el hombre usa para su sustento, encontramos, por ejemplo, los cultivos submarinos, los cultivos aeropónicos,

la agroindustria, los cultivos hidropónicos etc. Si bien el más explotado de estos sistemas ha sido la agricultura, los otros métodos están en un proceso de surgimiento continuo en las últimas décadas. Si hay algo que tienen en común algunos de estos métodos es la cantidad de recursos como una alta inversión inicial, espacio y tiempo. En esta categoría la agricultura es sin duda la que ocupa el primer lugar, es decir, que este método es recomendado para personas que se dedican netamente a esta actividad y que dispongan de todos esos recursos, lo que limita esto a una población relativamente reducida.

Actualmente con el apogeo de las grandes ciudades la siembra de cultivos se va convirtiendo a ritmo moderado en algo complejo para poner en práctica, pues los espacios se van limitando cada vez más; es entonces cuando por ejemplo, métodos de siembra como la agricultura prácticamente se deben dejar de lado, por lo que una idea de negocio que se decante por el sector agro y que a su vez busque la productividad debe limitarse a las zonas rurales donde el tema del espacio y la superficie de siembra se vuelven un problema mucho más fácil de tratar. Pero luego entonces esto no se podría acoger como una solución definitiva al problema, ya que en pocas palabras se estaría dando a entender que esta actividad se debe limitar a la relativamente poca población que cuenta con terrenos aptos para esto y que a su vez pongan en práctica este negocio.

Llegados a este punto es evidente que se requiere de una solución práctica que acoja en gran parte o en su totalidad las falencias y desventajas que poseen los métodos de cultivos convencionales que demandan grandes espacios y superficies, y esta manera replantear el concepto de siembra como una actividad y/o un negocio que

puede ser puesto en práctica por casi cualquiera que solo cuente con una iniciativa sólida. Es aquí donde más que plantear una búsqueda a la solución del problema se plantea un método de siembra que se puede ver como una potencial idea de negocio y que cumple con los requerimientos mencionados a lo largo de este documento; es de aclarar que no es una idea nueva, pero sí una que se puede mejorar. A este método se le conoce como hidroponía.

La hidroponía si se le compara con la agricultura se obtiene que es un método que está al alcance de la mayoría de las personas, pues demanda una mínima cantidad de recursos como espacio y tiempo, además, si bien la hidroponía por sí sola es muy productiva, cuando se agrega un plus a la fórmula como herramientas tecnológicas que optimicen y faciliten los procesos, hace de esta actividad una opción muy atractiva. El presente proyecto se orienta hacia este tipo de cultivos, y tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de cultivo hidropónico automatizado de lechuga y cilantro donde el aprovechamiento de manera eficiente y eficaz de los recursos es indispensable y permite demostrar las ventajas que existen al optar por esta como una idea de negocio. (CitySens, s.f.)

2.3 Formulación Del Problema

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de riego automatizado para un cultivo hidropónico que utilice energía solar permitiendo ahorro de recursos y optimización en la producción de cultivos?

3. Justificación

Si se compara la hidroponía con la agricultura tradicional, se encuentran varias ventajas, por ejemplo, la cantidad de agua que se utiliza es muy baja comparada con la siembra agrícola, pues los cultivos hidropónicos con la adecuada oxigenación del agua permiten su recirculación con el consecuente ahorro de hasta un 95% del recurso hídrico (Arango, 2020); otra ventaja notable es la eliminación total del uso de insecticidas, pesticidas y herbicidas ya que no crecen malas hierbas (Puerto Rico Farm Credit, s.f.), por lo cual el método de siembra en agua es muy ventajoso ya que dichos cultivos crecerán más rápidamente y producirán alimentos más sanos; también el hecho de que no se utiliza maquinaria agrícola como se hace en los cultivos tradicionales en tierra, siembra, cosecha y en la reducción de la necesidad de transportes que lleven el producto final a centros de distribución urbanos ya que la versatilidad que aporta al no tener que usarse la tierra permite practicar la cosecha directamente en el sitio que se va a consumir, permitiendo así su práctica a un conjunto mucho mayor de personas.

El proyecto tiene como finalidad ofrecer una alternativa que permita implementarse en las viviendas familiares y disponer de una fuente de alimentos en casa o en un espacio relativamente reducido que requiere de poco tiempo invertido en el cuidado y mantenimiento del sistema gracias a la automatización implementada, con una inversión inicial aceptable y que será recuperada en el proceso. Además, la aplicación de la electrónica en los cultivos hidropónicos puede convertirse en una idea

de negocio que esté al alcance de un pequeño y mediano inversionista o simplemente de toda persona que desee tener un abastecimiento alimenticio para su hogar.

Otro aspecto relevante del proyecto es el ambiental, pues para su implementación se utilizará energías alternativas (energía solar fotovoltaica) y el uso de agua lluvia por lo que se reduce la huella ecológica.

El proyecto aporta al desarrollo de la investigación de nuevos cultivos hidropónicos con estudiantes que trabajen en esa línea.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema electrónico para cultivo hidropónico automatizado utilizando energía solar que permita ahorro de recursos y optimizar la producción del cultivo.

4.2 Objetivos Específicos

Estudiar el estado del arte alrededor de la problemática planteada.

Diseñar y ensamblar el sistema electrónico que permita articular los diferentes componentes del cultivo hidropónico.

Implementar el sistema bajo las características y parámetros estipulados en el diseño.

Verificar y ajustar el correcto funcionamiento de la electrónica y el software del cultivo hidropónico.

5. Marco Referencial

5.1 Marco Histórico

La inversión internacional en el desarrollo de soluciones que ayuden a mejorar los rendimientos de los diversos procesos agrícolas ha llegado a niveles históricos. Al uso de drones se ha sumado la proliferación de robots, en conjunto con la integración de softwares de inteligencia artificial que apuntan a “hacer más con menos”. ¿Ciencia ficción? Para nada. La automatización es una realidad que sigue avanzando en labores como poda, polinización, cosecha, riego y procesamiento de frutas y verduras.

Conducir a través de un sistema de realidad virtual, una máquina cosechadora de manzana ubicada en las regiones de O’Higgins o del Maule, desde Santiago o incluso desde otro país, puede parecer ciencia ficción, pero está cada día más cerca de ser una realidad. De hecho, controlar el riego a distancia con el botón del teléfono celular es una posibilidad habitual para muchos en la agricultura y contar con sistemas masivos de recolección de datos de los campos a través de drones se ha ido extendiendo en la industria. Pero estos son solo algunos de muchos avances

A lo largo de las últimas décadas, la mecanización de los procesos productivos se ha enfocado en reemplazar con máquinas las tareas realizadas por las personas. Sin embargo, en la actualidad los desarrolladores de estas tecnologías están yendo más allá, ya que se necesita hacer mucho más con menos recursos: agua, suelo y clima son elementos cada vez más limitados. De hecho, para el Banco Mundial, en el futuro se precisa de un sistema agrícola que produzca un 50 % más de alimentos para abastecer a los 9.000 millones de personas que habitarán el planeta en 2050,

haciéndolo de tal forma que entreguen una solución nutricional óptima, utilicen eficientemente los recursos y cuiden el medioambiente.

Por otra parte, la falta de mano de obra y sus altos costos asociados están planteando diversos desafíos para la producción agrícola y, especialmente, para la fruticultura en Chile y el mundo. Solo en California, el 71% de los productores reconoce tener problemas en esta materia, dejando a un quinto de los agricultores sin posibilidades de terminar sus cosechas por no contar con personal para hacerlo. “Los recursos disponibles de mano de obra para la industria de vegetales y frutas frescas se están volviendo cada vez más escasos. Solo en Estados Unidos la fuerza de trabajo agrícola ha caído desde 3,4 millones a un millón durante el último siglo y un 20% entre 2002 y 2014, y los costos han aumentado 51%”, dice Al respecto, Ed Treacy, vicepresidente de Eficiencias de la Cadena de Suministro de Produce Marketing Association (PMA).

A pesar de que el agro es una de las industrias menos digitalizadas en el mundo, existen diversos ejemplos en que la automatización y, en algunos casos, la inclusión de AI está cambiando el potencial de lo que se puede alcanzar en el futuro.

Se trata, a fin de cuentas, de soluciones deslumbrantes. Pero Ed Treacy advierte que los productores deben tener cuidado al implementarlas.

Si intentan automatizar o aplicar tecnología a una operación mal administrada, lo que se obtiene es una operación que falla más rápido. Hay que asegurarse de estar dispuestos a cambiar y colocar las disciplinas en su lugar cuando sea necesario, para así administrar la nueva tecnología correctamente. En la mayoría de los casos, no se

puede ejecutar la operación de la misma manera que antes de la implementación tecnológica. Puede que se tenga que contratar a alguien con diferentes habilidades, ya que la persona que fue excelente en la administración de un equipo de trabajo puede no poseer las habilidades para administrar una operación automatizada. (Redagrícola, 2017)

5.2 Marco Conceptual

Una de las principales problemáticas que se presenta al llevar a cabo un proyecto de cultivo tiene que ver con los factores que influyen en todo su proceso. Es por esta razón que para implementar un cultivo de cualquier tipo se deben tener en cuenta varios aspectos, como, por ejemplo, el buen estado inicial de las semillas, los factores físicos como las condiciones climáticas de la zona, los factores químicos como son el pH, nutrientes y sustratos, y factores tecnológicos (dispositivos y tecnologías usadas la optimización del proceso).

Por esta razón antes de implementar un cultivo hidropónico se debe tener en cuenta cada uno de los pasos y procesos que este lleva con el fin de obtener una buena plantación y una buena producción de este. Además, se debe saber que una implementación conjunta con automatización no solo dará un control total del cultivo sino también estadísticas necesarias para adaptar a varios tipos de plantación.

5.3 Revisión del Estado del Arte

En el estado del arte se estudian trabajos de hidroponía a nivel nacional e internacional que implementen la energía fotovoltaica como sustento para el sistema:

Tabla 1

Producción Sistema de Cultivo Hidropónico Automatizado con Energía Solar

ESTADO DEL ARTE A NIVEL INTERNACIONAL		
TÍTULO: Producción sistema de cultivo hidropónico automatizado con energía solar		
AUTOR: Espinosa Quispe Hugo	AÑO: 2018	ORIGEN: Perú
DESCRIPCIÓN: un sistema de riego hidropónico con panel solar encargado de proporcionar energía para el funcionamiento del sistema. En este sistema de cultivo las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos necesarios para el desarrollo de las plantas, las cuales pueden crecer directamente sobre la solución mineral, o bien en un sustrato o medio inerte.		
<i>Nota. Adaptado de Producción sistema de cultivo hidropónico automatizado con energía solar [Tabla], de Espinosa Quispe Hugo, 2018, (https://growthcenter.continental.edu.pe/project/xix-produccion-sistema-de-cultivo-hidroponico-automatizado-con-energia-solar).</i>		

Tabla 2

Hidroponía Chile Prepara Primer Invernadero con Energía Solar en el norte grande

ESTADO DEL ARTE A NIVEL INTERNACIONAL		
TÍTULO: Hidroponía Chile Prepara Primer Invernadero con Energía Solar en el norte grande		
AUTOR: Eduardo Nicol	AÑO: 2015	ORIGEN: Brasil
DESCRIPCIÓN: Construcción y demostración del funcionamiento de una huerta hidropónica que funciona de forma totalmente autónoma e independiente de la red eléctrica. A través de un panel solar que alimenta un centro de control, los nutrientes se bombean al sistema de acuerdo con un cronograma. El sistema también cuenta con agua pulverizada para enfriar en días muy calurosos, así como para regar plántulas y otras plantas que no se encuentran en los tubos de producción hidropónica.		
<p><i>Nota. Adaptado de <i>Hidroponía Chile Prepara Primer Invernadero con Energía Solar en el norte grande</i> [Tabla], de Eduardo Nicol, (2015), (https://agriculturers.com/huerta-hidroponica-autonoma-alimentada-con-energia-solar)</i></p>		

Tabla 3.*Producción Sistema de Cultivo Hidropónico Automatizado con Energía Solar*

ESTADO DEL ARTE A NIVEL INTERNACIONAL		
TÍTULO: Producción sistema de cultivo hidropónico automatizado con energía solar		
AUTOR: Jorge Arenas	AÑO: 2015	ORIGEN: Chile
<p>DESCRIPCIÓN: En pleno desierto Jorge Arenas desarrolla hidroponía tecnologicada para cultivar lechugas, tomates, melones y berenjenas, entre otros. También produce forraje verde hidropónico para alimentación de animales y ofrece cursos para difundir esta técnica. Además, pronto inaugurará el primer invernadero completamente tecnologicado y con energía solar del país. Asegura que, gracias al control con equipos Hanna Instruments de parámetros como T°, pH, CE, humedad y nutrientes N, P, K y Ca, bajan los costos y logran más que triplicar la producción frente a los cultivos tradicionales.</p>		
<p>Nota. Adaptado de Producción sistema de cultivo hidropónico automatizado con energía solar [Tabla], de Jorge Arenas. (2015). (http://www.hidroponiachile.cl/node/35)</p>		

Tabla 4.

Plan de Negocios Para la Creación de la Empresa Verde Arte S.A.S.

Fabricante de Huerta Hidropónicas en la Ciudad de Bogotá y sus Alrededores

ESTADO DEL ARTE A NIVEL NACIONAL		
TÍTULO: Plan de negocios para la creación de la empresa verde arte s.a.s. fabricante de huerta hidropónicas en la ciudad de Bogotá y sus alrededores.		
AUTOR: Cristian Camilo Barahona Salinas - Henry Alberto Espinel Bohorquez - María Alejandra Amado López	AÑO: 2017	ORIGEN: Colombia
DESCRIPCIÓN: se propone una alternativa que permite contribuir con el medio ambiente y calidad de vida de las personas creando sistemas de cultivos hidropónicos alimentados por energía solar generando diferentes tipos alimentos (verduras, legumbres, hierbas aromáticas, hortalizas y frutas), ofreciendo sostenibilidad funcional con productos orgánicos que eliminan el uso de agroquímicos en la producción, para prevenir a futuro complicaciones de salud en las personas por la ingesta de estas sustancias químicas.		
Nota. Adaptado de <i>Plan de negocios para la creación de la empresa verde arte s.a.s. fabricante de huerta hidropónicas en la ciudad de Bogotá y sus</i>		

alrededores [Tabla], de Cristian Camilo Barahona Salinas. (2018).

https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5991/TIND_BarahonaEspinelAmado_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

5.4 Marco Teórico

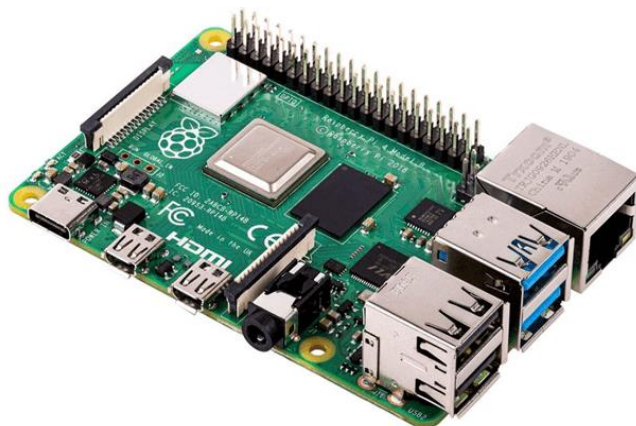
A continuación, se presenta la descripción y definición de los dispositivos e instrumentos utilizados en este trabajo.

5.4.1 Sistema Embebido Raspberry Pi

Es un ordenador del tamaño de una tarjeta de crédito el cual se presenta en la Figura 1. Consta de una placa base sobre la que se monta un procesador, un chip gráfico y memoria RAM. Fue lanzado en 2006 por la fundación RASPBERRY PI con el objeto de estimular la enseñanza de informática en las escuelas de todo el mundo. El procesador funciona a 700 MHz. y puede acelerar gráficos 3D por HARDWARE. Más o menos como el ordenador que tenías en 2003, con la salvedad de que puedes ver películas en alta definición. Se pueden instalar un buen puñado de ellos, la mayoría basados en el kernel de Linux. Algunos de los más conocidos son Android, Firefox OS, Raspbian, Open WebOS o Unix. También se pueden cargar interfaces gráficas similares a Windows, de modo que la curva de aprendizaje del sistema no es demasiado pronunciada. (Pascual, 2013)

Figura 1

Raspberry Pi 4



Nota. Adaptado de *redeszone* [Figura], por Sergio De Luz, 2019, *redeszone* (<https://www.redeszone.net/raspberry-pi/raspberry-pi-4-analisis>).

5.4.1.1 Funciones De La Raspberry Pi. La raspberry pi tiene múltiples usos y funciones dentro de las principales se encuentra los siguientes (Andres, 2018):

- Mini PC de escritorio

El uso más evidente que se le puede dar a una Raspberry Pi es como un mini PC de escritorio. En los poco menos de 10 cm que ocupa la Raspberry Pi encontrarás todo lo necesario para convertirla en un pequeño ordenador de escritorio con la potencia suficiente para realizar tareas de gestión de correo, navegar o editar tus documentos

- Servidor de impresión Wi-Fi y AirPrint

Este es uno de los mayores problemas para muchas pequeñas empresas o empresas dedicadas a las artes gráficas, que ven como las inversiones que hicieron en

impresoras caen en saco roto por no contar con funciones de red o no ser compatibles con sistemas de impresión propietarios como AirPrint.

- Configura un servidor web o FTP con tu Raspberry Pi

Otro de los usos útiles es convertir tu Raspberry Pi en un servidor web en la que alojar tu página web personal o tu blog. El reducido consumo de este dispositivo te permite mantenerlo activo durante todo el día sin que apenas lo notes en tu factura de la luz y ocupando un mínimo espacio.

- Crea tu propio sistema NAS

Directamente relacionado con el punto anterior, puedes convertir la Raspberry Pi en un sistema de almacenamiento NAS para poder acceder a tus archivos desde la red.

Un sistema de almacenamiento NAS (de las siglas en inglés de Network Attached Storage), consiste en una unidad de almacenamiento que dispone de su propio sistema de gestión y conexión.

- Raspberry Pi como Media Center

Las especiales características de la Raspberry Pi la han convertido en la plataforma más elegida para convertirla en un centro multimedia desde el que disfrutar de las mejores series y películas, sin tener que invertir una gran suma en un ordenador específico para el salón.

- Controlador para robótica

Otro de los usos más extendidos para la Raspberry Pi lo que se encuentra en el ámbito de la robótica. En realidad, el uso de este pequeño ordenador se ha extendido tanto que ya puedes encontrar kits completos de coches robot controlados mediante una Raspberry Pi

- Crea tu propio hogar domótico

Se habla de las innumerables aplicaciones de la Raspberry Pi en el ámbito de la domótica. Los módulos de control por infrarrojos, diferentes sensores y receptores de radio lo convierten en una herramienta versátil para controlar luces, termostatos de temperatura o automatismos para puertas.

La conectividad inalámbrica de la Raspberry Pi también permite llevar el control de todos los elementos domóticos de tu hogar hasta tu smartphone de modo que solo necesitas tocar un botón en tu smartphone para que se active la calefacción de tu casa para que tenga la temperatura adecuada cuando llegues.

- Sistema de video vigilancia y seguridad

Sin abandonar del todo los límites de tu hogar conectado, no se debe dejar pasar la ocasión de mencionar el potencial de la Raspberry Pi como dispositivo para controlar los sistemas de seguridad y video vigilancia

5.4.1.2 Estructura Externa De La Raspberry. pi El término estructura externa o configuración externa de un sistema embebido se refiere al aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido. A continuación, se observa una descripción detallada de los componentes que se pueden visualizar externamente:

En uno de los laterales que se tiene es la tarjeta de red (aunque es **Gigabit Ethernet** la controla el controlador USB, por lo que su velocidad máxima es de 300 Mbps) para conectar la Raspberry Pi por cable al router, así como los **4 puertos USB** que aún siguen siendo USB 2.0. En el lado perpendicular se encuentra el puerto micro **HDMI** y el conector USB tipo c para conectarlo a la corriente.

En cuanto a los demás conectores y puertos, están los **puertos CSI y DSI** para conectar una cámara y una pantalla fácilmente (marcados como display y camera), además del **GPIO**, uno de los pilares base de este microordenador. Los 4 pines que aparecen detrás de los puertos USB sirven para configurar el **PoE** y, por último, en la parte inferior se ve la ranura en la que se inserta la **micro-SD**. (Velazco, 2020)

5.4.1.3 Estructura Interna De La Raspberry Pi. El microprocesador ejecuta instrucciones almacenadas como números binarios organizados secuencialmente en la memoria principal. La ejecución de las instrucciones se puede realizar en varias fases. Cada una de estas fases se realiza en uno o varios ciclos de CPU, dependiendo de la estructura del procesador, y concretamente de su grado de segmentación. La duración de estos ciclos viene determinada por la frecuencia de reloj, y nunca podrá ser inferior al tiempo requerido para realizar la tarea individual.

El procesador se compone de un grupo de unidades interrelación (o unidades de control). Aunque la arquitectura del microprocesador varía considerablemente de un diseño a otro, los elementos principales del microprocesador son los siguientes:

Una unidad de control que vincula la información entrante para luego decodificarla y enviarla a la unidad de ejecución: La unidad de control se compone de los siguientes elementos: Secuenciado (o unidad lógica y de supervisión), que sincroniza la ejecución de la instrucción con la velocidad de reloj. También envía señales de control: Contador ordinal, que contiene la dirección de la instrucción que se está ejecutando actualmente; registro de instrucción, que contiene la instrucción siguiente. Unidad de ejecución (o unidad de procesamiento), que cumple las tareas que le asigna la unidad de instrucción. La unidad de ejecución se compone de los siguientes elementos:

La unidad aritmética lógica (se escribe ALU); sirve para la ejecución de cálculos aritméticos básicos y funciones lógicas (Y, O, O EXCLUSIVO, etc.).

La unidad de punto flotante (se escribe FPU), que ejecuta cálculos complejos parciales que la unidad aritmética lógica no puede realizar:

*El registro de estado.

*El registro acumulador.

Una unidad de administración del bus (o unidad de entrada-salida) que administra el flujo de información entrante y saliente, y que se encuentra interconectado con el sistema RAM. (Aguilar, Nahuel, s.f.)

5.4.1.4 Unidad Aritmética Lógica (ALU). ALU o mejor conocida como unidad aritmética lógica es aquella que le permite al computador procesar los datos numéricos que se le ingresan es decir operaciones básicas como lo son suma resta multiplicación y división pero no solo estas también operaciones de tipo científico pero adicional a esto los datos introducidos en el computador se utilizan como base para operaciones de todo tipo aritméticos y lógicos además la ALU contiene registros especiales y de uso general donde procesa la información antes y después de su uso para luego ser almacenado en la memoria central, que es la zona de almacenamiento de gran capacidad, se guardan aquí tanto datos como programas ejecutables. (Aguilar, Nahuel, s.f.)

5.4.1.5 Unidad de Punto Flotante (fpu). La unidad del punto flotante es una unidad de ejecución dedicada, diseñada para realizar las funciones matemáticas con números del punto flotante. Un número del punto flotante es cualquier número continuo, esto es no entero; cualquier número que requiere un punto decimal para ser representado es un número del punto flotante. Los enteros (y los datos almacenados como enteros) se procesan usando la unidad de ejecución entera.

Al hablar de Punto Flotante se describe una manera de expresar los valores, no como un tipo matemáticamente definido del número tal como un número entero,

número racional, o número real. La esencia de un número de punto flotante es que su punto “flota” entre un número predefinido de dígitos significativos, igual a la notación científica, donde el punto decimal puede moverse entre diferentes posiciones del número. (Aguilar, Nahuel, s.f.)

5.4.1.6 Unidad de Control (UC). La unidad de control es el elemento que se encarga de sincronizar las acciones que realiza cada una de las unidades funcionales de un computador. Las funciones de la unidad de control son básicamente dos.

Interpretación de las instrucciones: La unidad de control debe ser capaz de decodificar los códigos de operación y los modos de direccionamiento de las instrucciones y actuar de forma diferente para cada uno de ellos.

Secuenciación de las operaciones: La unidad de control se encarga de la temporización de las distintas operaciones necesarias para la ejecución de cada instrucción. También debe controlar el secuenciamiento de las instrucciones en función de la evolución del registro contador de programa.

La función principal de la unidad de control de la UCP es dirigir la secuencia de pasos de modo que la computadora lleve a cabo un ciclo completo de ejecución de una instrucción, y hacer esto con todas las instrucciones de que consta el programa. Los pasos para ejecutar una instrucción cualquiera son los siguientes:

1. Ir a la memoria y extraer el código de la siguiente instrucción (que estará en la siguiente celda de memoria por leer). Este paso se llama ciclo de fetch en la literatura computacional (to fetch significa traer, ir por).

2. Decodificar la instrucción recién leída (determinar de qué instrucción se trata).

3. Ejecutar la instrucción.

4. Prepararse para leer la siguiente casilla de memoria (que contendrá la siguiente instrucción), y volver al paso 1 para continuar. (Aguilar, Nahuel, s.f.)

5.4.1.7 Unidad de Interfaz en el Bus. La unidad de interfaz del bus o unidad E/S, es la parte del procesador que se une con el resto de la PC. Debe su nombre al hecho de que realiza los movimientos de datos hacia el bus de datos del procesador, el primer conducto en la transferencia de información hacia y desde el CPU. La BIU es la responsable de responder a todas las señales que van al procesador, y de generar todas las señales que van del procesador a las demás partes del sistema. También sirve de paso a las instrucciones de programa y los datos para que éstos puedan alcanzar los registros de la unidad de control y de la ALU. La BIU sincroniza los niveles de las señales de la circuitería interna del microprocesador con los de los otros componentes dentro de la PC. Los circuitos internos de un microprocesador, por ejemplo, se diseñan para consumir poca electricidad de modo que puedan funcionar más rápidamente y evitar el calentamiento excesivo. Estos circuitos internos delicados no pueden manejar los voltajes más altos necesarios para los componentes externos. Por lo tanto, cada señal que sale del microprocesador pasa a través de un buffer de señal intermedio en la BIU que incrementa su voltaje. (Aguilar, Nahuel, s.f.)

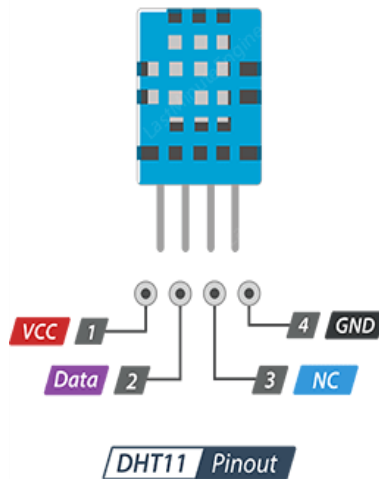
5.4.2 Sensor Dht11

El sensor DHT11 permite monitorear temperatura y humedad relativa de forma precisa y sencilla a un bajo precio. La salida suministrada es de tipo digital, no refiriéndose utilizar entradas analógicas este dispositivo se muestra en la Figura 2.

El DHT11 (AM2302) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). Utilizado en aplicaciones de control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más. Utilizar el sensor DHT11 con las plataformas Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para Arduino con soporte para el protocolo "Single bus". En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital al Arduino. Si se desea conectar varios sensores DHT11 a un mismo Arduino, cada sensor debe tener su propio pin de datos. Quizá la única desventaja del sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Cada sensor es calibrado en fábrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo. El protocolo de comunicación entre el sensor y el microcontrolador emplea un único hilo o cable, la distancia máxima recomendable de longitud de cable es de 20m., de preferencia utilizar cable apantallado. Proteger el sensor de la luz directa del sol (radiación UV). (Naylamp mechatronics, s.f.)

Figura 2

Sensor de Temperatura y Humedad



Nota. Adaptado de *Dht11 sensor de temperatura y humedad* [Figura], de *Last minute engineers*, (s.f.) (<https://lastminuteengineers.com/dht11-module-arduino-tutorial>)

5.4.3 Módulo Relé De 4 Canales

Esta placa puede ser controlada directamente desde cualquier controlador Home-SX, Arduino, PIC, ARM, etc., usando TTL. Solo se requiere que el microcontrolador proporcione 5 Voltios y 20 mA por cada uno de los dos pines y fácilmente estará comandando artefactos eléctricos de hasta 10 Amperios y 220 voltios en corriente alterna o artefactos de 10 Amperios y 30 Voltios en corriente continua. Se ha verificado la calidad de este componente del proveedor de Ucrania junto a los clientes y no ha presentado fallas. El único inconveniente que se encontró fue la falta

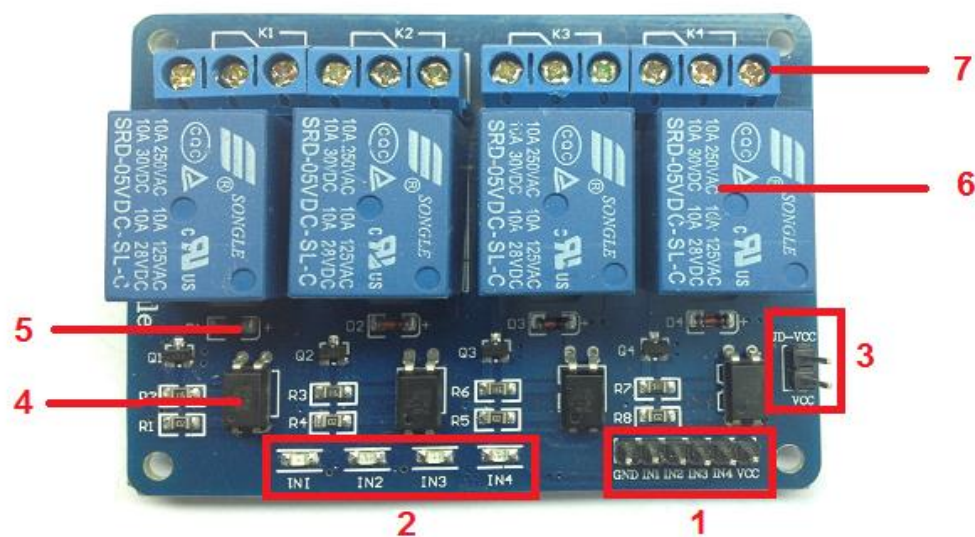
de imágenes de conexión, pero este inconveniente se puede solucionar al contactar con el fabricante. El dispositivo se muestra en la Figura 3.

Con el jumper en la posición JD-VCC/ VCC: La bobina del relé es excitado con la misma fuente de poder que es alimentado el módulo.

Sin el jumper se requiere alimentar independientemente la bobina del relé en los pines VCC Y GND, con esto se asegura una máxima protección en posibles cortocircuitos. (Tolocka, 2015)

Figura 3

Módulo Relé de Cuatro Canales



Nota. Ernesto Tolocka (2015). Modulo relé 4 canales. [Figura]. Disponible en: (<https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>)

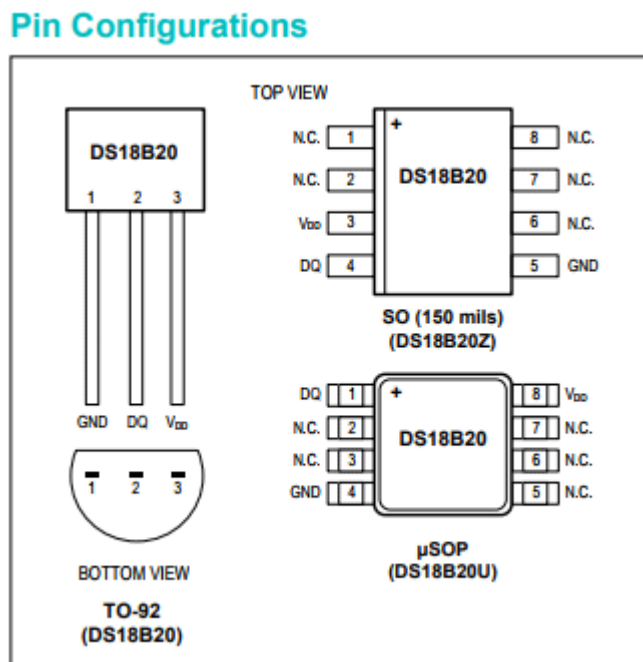
5.4.4 DS18B20

Lo más importante de esta parte es la disposición de los pines. Para cada encapsulado habrá una disposición diferente. Existen tres encapsulados: TO-92, SO y

μ SOP. El más adecuado para prototipar con Arduino es el TO-92 por su fácil conexión en la una protoboard. El sensor se presenta en la Figura 4.

Figura 4

Sensor DS18B20



Nota. Adaptado de DS18B20 [Figura], Luis del Valle Hernández, s.f.,
(<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino>)

La única diferencia entre ellos es la forma o encapsulado. Todos tienen tres pines útiles VDD, GND y DQ.

- VDD: es la tensión de alimentación, es decir, que voltaje necesita para que el sensor de temperatura DS18B20 funcione correctamente. Se debe alimentar desde 3V a 5,5V. Ojo con este dato ya que es muy interesante cuando se trabaja con placas como Arduino MKR 1000 y NodeMCU que trabajan a 3,3V.

- GND: es la toma de tierra. A este pin se conecta la referencia 0V de este circuito.
- DQ: es el pin de datos. Por este pin es por donde se recibirán todos los datos en el protocolo 1-Wire. Este protocolo tiene una ventaja. Como su propio nombre indica (1-Wire significa un cable en español) solo es necesario utilizar un cable para conectar varios sensores de temperatura DS18B20. Por lo tanto, solo se utiliza 1 pin de Arduino para conectar múltiples sensores.

5.4.4.1 Rango de Temperaturas del DS18B20 Algo muy importante es saber qué rango de temperaturas es capaz de medir un sensor de este tipo. No es lo mismo medir la temperatura ambiente de una casa situada en Alicante que medir la temperatura de un congelador o frigorífico.

También es importante conocer el error que puede llegar a tener y la resolución del sensor de temperatura DS18B20. Toda esta información se encuentra en la hoja de características técnicas.

Empieza con el rango de temperaturas. El DS18B20 puede medir temperaturas entre -55°C y 125°C . Es un rango muy amplio, sin embargo, no en todo el rango se tiene el mismo error. Ahora te estarás preguntando ¿qué es el error de un sensor de temperatura?

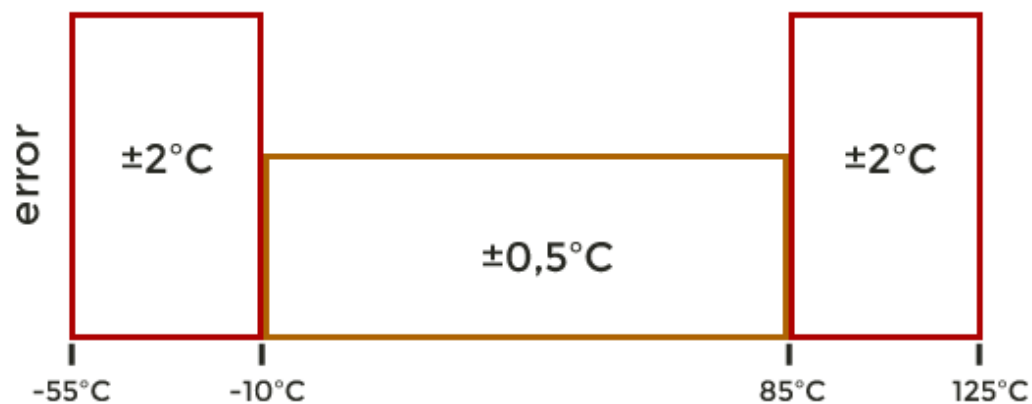
5.4.4.2 DS18B20 y el Error en la Medición En este mundo, el real, un sensor de temperatura como el DS18B20 tiene errores debido a factores externos, al ruido inherente en los circuitos eléctricos y alteraciones en el medio físico. El error de medición puede observarse en la Figura 5

No todo son malas noticias, aunque los componentes eléctricos tengan errores, estos se pueden medir. Por lo tanto, se conoce más o menos cuanto oscilará la medición en torno a su valor real. En el caso del DS18B20 el error depende del rango de temperaturas.

Para temperaturas entre -10°C y 85°C se puede tener $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Para el resto de las temperaturas entre -55°C y 125°C el error es de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Figura 5

Error de Medición



Nota. Adaptado de *Error de medición*. [Figura], Luis del Valle Hernández, s.f., (<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino>)

Esto equivale a decir que si el sensor DS18B20 suministra una temperatura de 23°C el valor real estará entre 22,5°C y 23,5°C. Si por el contrario suministra un valor de 90°C el valor real estará entre 88°C y 92°C.

5.4.4.3 Resolución Del Sensor De Temperatura DS18B20. Una de las características más interesantes de este sensor es que se trabaja con diferentes resoluciones. Cuando se habla de resoluciones se refiere a cuál es la variación mínima que se puede medir entre dos temperaturas. El sensor puede visualizarse en la Figura 6.

Es lo mismo que sucede con los pines analógicos en Arduino o cualquier otra placa de desarrollo. El DS18B20 admite resoluciones de 9-bit, 10-bit, 11-bit y 12-bit. Por defecto utiliza la resolución de 12-bit. (Hernandez, s.f.)

Figura 6

Sensor Encapsulado Ds18b20



Nota. Adaptado de *Sensor encapsulado ds18b20*. [Figura], Luis del Valle Hernández, s.f., (<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino>)

Sensor pH 4502c

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, la escala de pH varía de 0 a 14. El pH indica la concentración de iones hidrógeno $[H]^+$ presentes en determinadas disoluciones. Se puede cuantificar de forma precisa mediante un sensor, el cual se aprecia en la Figura 7. Este mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. Esto es lo que formará la sonda. Además, hay que utilizar un circuito electrónico para acondicionar la señal adecuadamente y que se puede usar este sensor con un microcontrolador, como por ejemplo con Arduino. (Caballero, 2017)

Figura 7

Sonda pH.



Nota. Adaptado de *Sensor de pH con sonda* [Figura], David Cervantes Caballero, (2017), (<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph>)

Figura 8

pH Algunas Sustancias.

Sustancia	pH aproximado
Jugo de limón	2,4 – 2,6
Bebida de cola	2,5
Vinagre	2,5 – 2,9
Jugo de naranja o de manzana	3,5
Cerveza	4,5
Café	5,0
Té	5,5
Leche	6,5
Agua	7,0
Saliva	6,5 – 7,4
Sangre	7,38 – 7,42
Agua de mar	8,0
Jabón	9,0 a 10,0
Lejía	11

Nota. Adaptado de *Datos de pH aproximado de algunas sustancias.* [Figura], David Cervantes Caballero. (2017), (<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph>)

5.4.5 Sistema de Transferencia Automático

Es una unidad que se instala para que, inmediatamente se presente una falla en el suministro de energía, se encienda automáticamente la planta eléctrica. La transferencia automática es un complemento muy útil para la planta eléctrica cuando la necesidad de energía eléctrica es constante para garantizar la seguridad de las personas y de los locales comerciales, conservación de alimentos, funcionamiento de equipos y maquinarias para procesos productivos y de atención al cliente. (Ingenieros, 2018)

5.4.6 Paneles Solares

Un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para generar calor o electricidad. Según estos dos fines se puede distinguir entre colectores solares, que producen agua caliente (generalmente de uso doméstico) utilizando la energía solar térmica, y paneles fotovoltaicos, que generan electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre las células fotovoltaicas del panel. El panel se presenta en la Figura 9.

En el colector o captador solar hay un líquido que absorbe la radiación solar en forma de calor, este líquido pasa posteriormente a un compartimento de almacenado de calor. Los paneles constan de una placa receptora y unos conductos por los que circula dicho líquido. El líquido caliente se hace pasar a un intercambiador de calor, donde cede su calor calentando el agua de posterior uso doméstico. Cuando sale del intercambiador de calor el líquido está frío y se recircula de nuevo al colector solar.

Los paneles solares fotovoltaicos constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.

Los materiales más utilizados para fabricar estas células son el arseniuro de galio (GaAs), que se utiliza en otros dispositivos electrónicos complejos, y el silicio (Si), de menor coste económico y que se utiliza también en la industria microelectrónica.

Las células de silicio son las más comunes y más utilizadas. El rendimiento de las células fotovoltaicas depende de la estructura tridimensional interna que tengan estas láminas de silicio. Según esta estructura se clasifican del siguiente modo:

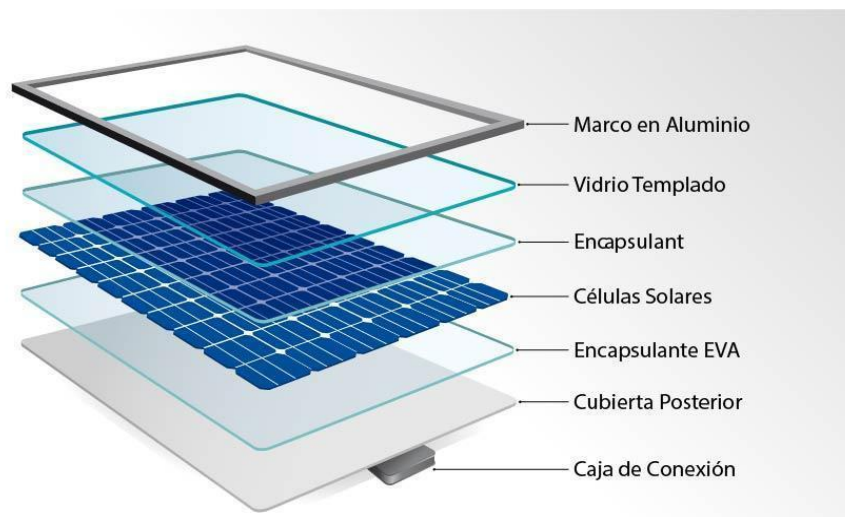
- Células de silicio monocristalino: constituido por un solo cristal de grandes dimensiones que es cortado en finas láminas, generalmente de azul uniforme. Son las más avanzadas, el coste de fabricación es superior y proporcionan un rendimiento superior bajo determinadas condiciones.

- Células de silicio policristalino: están constituidas por varios cristales, tienen un color azul no uniforme, aunque las últimas técnicas de fabricación ya otorgan de mayor uniformidad al aspecto de la célula.

- Células de silicio amorfo: no está formada por cristales. Es la más barata pero también las que menores rendimientos ofrecen, se utilizan, por ejemplo, en dispositivos como calculadoras o relojes y tienen la particularidad de que pueden producir electricidad (en poca cantidad) aunque no estén expuestas directamente a la radiación solar de manera perpendicular. (Autosolar, 2015)

Figura 9

Panel Solar.



Nota. Adaptado de. Panel solar. [Figura], por Ineldec, s.f.;

(<https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos>)

5.4.7 Controlador de Carga Solar

El controlador como su nombre lo indica, se encarga de controlar constantemente el estado de carga de las baterías, así como de regular la intensidad de la carga con el fin de alargar la vida útil de estas. El controlador, controla la entrada de la energía proveniente de los paneles solares a las baterías dependiendo del estado en que las baterías se encuentren, a medida que el voltaje proveniente de los paneles solares se eleva, el controlador de carga regula la carga de las baterías para evitar alguna sobrecarga. Esto evita que la tensión excesiva dañe las baterías. (Ingeniería y construcciones S.A.S). El controlador se puede apreciar en la Figura 10.

Figura 10

Controlador de Carga Solar



Nota. Adaptado de Controlador de carga solar. [Figura], por Auto solar, 2018, (<https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-controlador-de-carga-necesito-para-mi-instalacion-solar>)

5.4.8 Luz UV

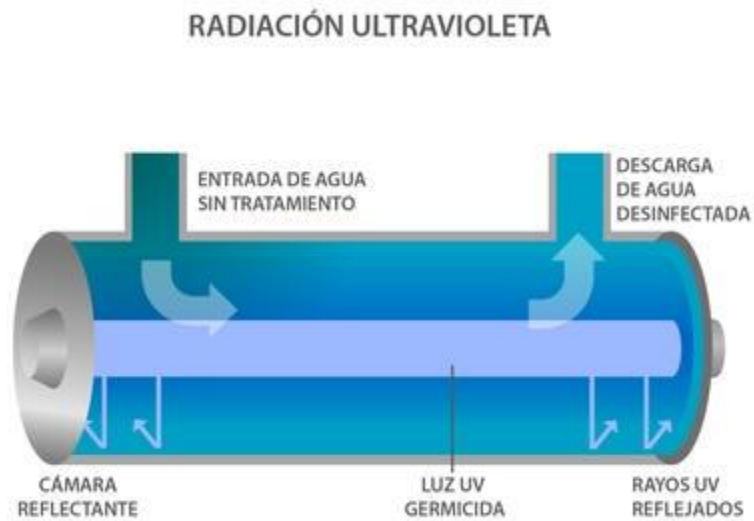
La luz ultravioleta (UV) es una forma de luz invisible para el ojo humano esta se encuentra en una longitud de onda entre 200 y 300 nanómetros, se emplea como germicida es decir, puede inactivar microorganismos como bacterias, virus y protozoos y eliminar el 99.99% de patógenos en el agua que podrían ser perjudiciales para el consumo humano, el agua fluye a través de esta luz para ser limpiada, pero dicho método no elimina metales pesados, cloros y otros minerales, prácticamente este método es usado en agua ya tratada. (Pure Water, 2021)

La luz ultravioleta (UV) presenta un método de desinfección alternativo al uso del cloro y el ozono en muchas aplicaciones de tratamiento tanto de agua potable como de

aguas residuales. La UV brinda una desinfección efectiva sin generar subproductos de desinfección problemáticos. En la Figura 11 se puede observar el funcionamiento de un purificador de luz ultravioleta.

Figura 11

Purificador de Luz Ultravioleta



Nota. Adaptado de Radiación ultravioleta. [Figura], por Pure Water, 2021, (<https://bit.ly/33cqvsX>)

6. Diseño Metodológico

El método implementado está enfocado a una serie de objetivos a realizar los cuales permiten desarrollar diversas pruebas con el fin de obtener unos resultados, teniendo en cuenta lo anterior se dice que según el libro “metodología de la investigación de Roberto Hernández Sampieri & Carlos Fernández Callado & Pilar Baptista Lucio” se estará desarrollando un proceso de investigación cuantitativa aplicada debido a que:

- Plantear el problema de investigación cuantitativa consiste en afinar y estructurar más formalmente la idea de investigación, desarrollando cinco elementos de la investigación: objetivos, preguntas, justificación, viabilidad y evaluación de las deficiencias.

- En la investigación cuantitativa los cinco elementos deben ser capaces de conducir hacia una investigación concreta y con posibilidad de prueba empírica.

- En el enfoque cuantitativo el planteamiento del problema de investigación precede a la revisión de la literatura y al resto del proceso de investigación; sin embargo, esta revisión puede modificar el planteamiento original.

- Los objetivos y las preguntas de investigación deben ser congruentes entre sí e ir en la misma dirección.

- Los objetivos establecen qué se pretende con la investigación; las preguntas dicen qué respuestas deben encontrarse mediante la investigación; la justificación indica por qué y para qué debe hacerse la investigación; la viabilidad señala si es posible realizarla y la evaluación de deficiencias ubica en la evolución del estudio del problema.

– Los criterios principales para evaluar la importancia potencial de una investigación son: conveniencia, relevancia social, implicaciones prácticas, valor teórico y utilidad metodológica. Además de analizarse la viabilidad de la investigación deben considerarse sus posibles consecuencias.

– El planteamiento de un problema de investigación no puede incluir juicios morales ni estéticos, pero el investigador debe cuestionarse si es o no ético llevarlo a cabo. (Sampieri et al., 2010, pág. 44)

6.1 Metodología

Se realiza el desarrollo del proyecto bajo las siguientes fases:

6.1.1 Primera Fase: Estado del Arte

Realizar el estado del arte asociado a los sistemas electrónicos alimentados con energía solar en cultivos hidropónicos.

Esta etapa incluye:

- Indagar sobre trabajos realizados a nivel internacional, nacional y local relativo a la utilización de sistemas fotovoltaicos aplicados en cultivos hidropónicos

- Sistematizar la información.

6.1.2 Segunda Fase: Etapa de Estudio de los Paneles Solares

Identificar los tipos y características principales de paneles solares comerciales.

Se considera:

- Identificación de las características y clasificación de los paneles solares.

- Estudio del funcionamiento de los paneles solares.

6.1.3 Tercera Fase: Etapa de Diseño

Diseñar el sistema que permita articular los diferentes bloques del sistema hidropónico.

Las tareas se llevan a través de los siguientes pasos:

- Estudio de la estructura, funcionamiento y requerimientos técnicos de sistemas de cultivo hidropónicos y paneles solares.
- Diseño del sistema de generación.

6.1.4 Cuarta Fase: Etapa de Implementación y Resultados.

Evaluar el funcionamiento del sistema haciendo el seguimiento y mediciones correspondientes para obtener los resultados esperados.

Las fases a llevar a cabo son:

Implementación del sistema.

Evaluación financiera.

Evaluación técnica.

7. Desarrollo del Proyecto

En este capítulo se describirán los pasos llevados a cabo para finalizar este proyecto, teniendo en cuenta la estructuración del sistema al cual se va a realizar la programación y el montaje final del cultivo con el cual se puede mostrar finalmente el funcionamiento de este y posteriormente realizar los consumos energéticos e hídricos.

7.1 Diseño, Funcionamiento Básico del Proyecto

A continuación, se presenta toda la etapa de diseño del proyecto en donde se describirán todas las características, especificaciones, herramientas, dispositivos y software que se implementarán en el sistema.

7.1.1 Dispositivos Electrónicos Usados en el Proyecto.

Raspberry pi 4. Se escogió este dispositivo Raspberry pi 4 ya que cuenta con conectividad Wi-Fi, se puede crear una interfaz web, no necesita de un pc para su programación y usa lenguaje Python. Lo anterior se requiere en el sistema desarrollado, además, su costo es bajo en comparación con otros sistemas embebidos. Esta comparación se puede ver en la Tabla 5.

Tabla 5.

Comparación de dispositivos para el sistema.

Dispositivo	Raspberry pi	Arduino UNO	Logo 8	PLC S7-1200
	4			
Procesador	Cortex-A72	Atmega 328p	Sin datos	Sin datos
Reloj	1.5GHz	16Mhz	Sin datos	Sin datos
Capacidad	32GB	32Kb	Sin datos	Sin datos
Wi-Fi	Si	No	No	No
Ethernet	Si	No	No	Si
Interfaz web	Si	No	No	Si
Lenguaje	Python	C	KOP	KOP
Voltaje (V)	5	5	24	24
Costo (\$)	460.000	100.000	720.000	1.190.000

Nota. Autoría propia.

Sensor DHT11. Se opta por este sensor pues cumple a cabalidad con lo que se requiere en el proyecto y su costo es más accesible a diferencia de otros sensores como lo son el DHT22 o el DHT21 que, aunque son mejores en cuanto a precisión se refiere, su coste es más elevado y la precisión del DHT11 se adecua a la necesidad.

Sensor DS18B20. Se utilizó este sensor ya que tiene la capacidad de sumergirlo, además de que utiliza la comunicación OneWire y gracias a esto podemos conectar hasta 100 dispositivos en un mismo bus, comparado con otros sensores como

el Im35 que es analógico y no posee la misma precisión que el anterior el cual es digital.

Sensor sonda de pH Este sensor se implementó para controlar la medición de pH en el agua y por su accesibilidad en el mercado ya que es el más usado y no se encuentran muchas opciones distintas a esta sonda.

Módulo Relé 4 canales Se determinó utilizar este módulo relé para la conmutación ya que es suficiente para la aplicación en el proyecto gracias a su bajo costo en comparación a un módulo relé de estado sólido.

Módulo ACDC Este módulo se utiliza para convertir la señal analógica de la sonda de pH a una señal digital la cual puede ser leída por la Raspberry pi, dicho modulo se implementó por su resolución de 16bit y comunicación i2c en comparación al ADC0804 que solo posee una entrada analógica y 8 bits de salidas digitales.

Inversor de voltaje 500w Se implementa este inversor de 500w onda modificada ya que cumple con lo necesario para la alimentación del proyecto a diferencia de un inversor de onda pura el utilizado es más favorable en costos.

Panel solar monocristalino 60w Se utiliza un panel solar de 60w monocristalino ya que a diferencia de uno policristalino este es más eficiente y se reduce el espacio comparado a la misma potencia.

Batería 12v gel En sistemas fotovoltaicos es ideal usar baterías de gel o de polímeros de litio y no se suele utilizar batería de plomo-acido ya que las de gel o litio tienen un ciclo más profundo esto quiere decir que su vida útil se alarga, en este

proyecto se utilizó una batería de gel por su ventaja hacia las de plomo en cuanto a ciclos de carga y descarga y también en mejor costo en comparación a las de litio.

UPS Esta se encarga de mantener una alimentación en caso de corte de energía, esta UPS utilizada es suficiente para el uso del sistema ya que cuenta con la capacidad necesaria.

Luz UV Se decide implementar esta lámpara de luz UV tipo tubo porque abarca el tamaño del tanque para su iluminación y desinfección.

7.1.2 Estructura del sistema y actuadores

El cultivo hidropónico consta de 5 tubos de PVC de 7.62 cm de diámetro (3") y 1.7 m de largo cada uno montado sobre una estructura metálica en forma de triángulo cuyas medidas son 1 m x 1.4 m x 1.7 m, el área del tubo de aluminio con el que se construyó la estructura es de 2 cm². Esto se observa en la Figura 25. Estas medidas permiten la distribución correcta de la distancia entre plantas, así, se tienen 8 plantas por cada tubo separadas una de la otra a 15 cm y una distancia entre filas de 35 cm aproximadamente. Esto se puede apreciar en la Figura 26. Esta disposición permite una adecuada densidad de siembra, donde cada planta puede crecer sin verse afectada por las que la rodean. Cada agujero tiene un diámetro de 7.62 cm para introducir unas pequeñas canastillas, donde se soportará la raíz de la variedad sembrada. Esto se puede ver en la Figura 27. (Muñoz, 2019)

En cuanto a los actuadores se dispondrá de una bomba que se encargará de enviar el agua al sistema de tuberías impulsando el líquido a una altura de 1,7 m, para que posteriormente este líquido regrese al tanque de almacenamiento por gravedad

decantándose de un tubo a otro hasta regresar finalmente al tanque de almacenamiento. La bomba no entrará en funcionamiento únicamente cuando se requiera de agua, sino también cuando la temperatura sobrepase un límite establecido por el usuario, esto se detalla en la sección de controlador y sensores.

Por otra parte, otro detalle que se debía tener en cuenta para el correcto crecimiento de las plantas es el hecho de que el agua requiere estar oxigenada, por eso se opta por usar una bomba de aire que abastecerá la demanda de oxígeno de las raíces evitando así que la planta muera. La bomba se aprecia en la Figura 12.

Figura 12

Bomba de Aire (aireador)



Nota. Autoría propia.

La estructura soporta un tanque de 65 L en su base, donde se almacenan 50 litros de agua, cantidad que supe los requerimientos de cada tubo cuya capacidad es de 8,2 litros por unidad, pero que se llenarán hasta un 40% aproximadamente, así, se

tiene una necesidad de 3,28 litros por cada tubería, para un total de 16,4 L en todo el sistema. Los restantes 33 L estarán almacenados en el tanque, oxigenándose para su posterior flujo a través del sistema.

Por último, se tiene la lámpara led de Luz ultravioleta que purifica el agua mediante radiación. Se elige los rayos UV para la eliminación de patógenos como se menciona anteriormente debido a la facilidad de su instalación y que se evita el uso de químicos que pueden ser nocivos para el ser humano.

El sistema tiene un conjunto de actuadores los cuales pueden ser activados por el usuario desde el modo manual o por el controlador en el modo automático.

Además de su oxigenación, al agua se le agregan nutrientes ideales para el buen desarrollo de las plantas (Basterrechea, 2014). Los 4 elementos primarios que necesita una planta son potasio, calcio, fósforo y nitrógeno, llamados macronutrientes que se disuelven 5 cc por cada litro de agua, también se disuelven otro tipo de nutrientes llamados micronutrientes, como lo son azufre, hierro, cobre, zinc, magnesio, manganeso, molibdeno y boro, disueltos en el agua en una cantidad de 2 cc por cada litro de agua. Las cantidades vienen establecidas por el fabricante del producto para cultivos hidropónicos. (Walco S.A, 2001)

El sistema posee interruptores manuales para encender los actuadores desde la misma estructura, cuenta con un respaldo de energía mediante una UPS con una duración aproximada de 8 horas.

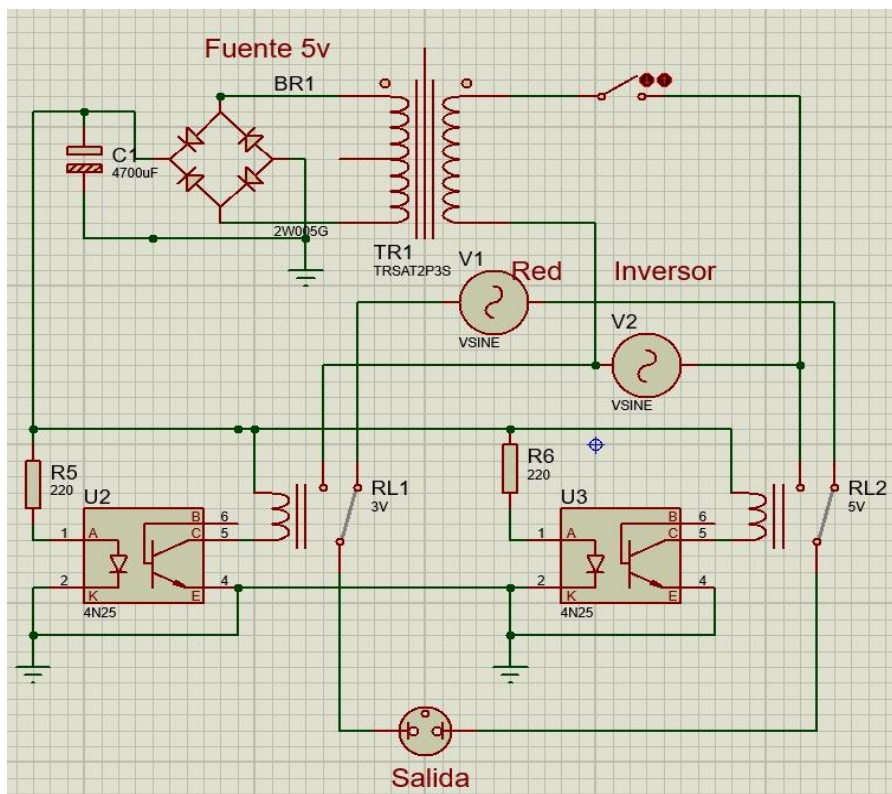
7.1.3 Sistema De Transferencia Automático

El sistema de transferencia automático consta de dos relés los cuales conmutan entre la red comercial y la energía proveniente del inversor, en este caso cuando el mismo esté en funcionamiento activara ambos relés entregando así la energía hacia el sistema, dado el caso de que la batería agote su reserva se desenergiza los relés y pasando de inmediato al suministro de la red pública automáticamente hasta que el panel solar cargue nuevamente la batería y tenga energía suficiente para reactivar el inversor y que el sistema de transferencia haga el cambio hacia este.

En la Figura 13 se aprecia el esquemático del sistema de transferencia donde hay una fuente de 5v y dos relevadores en el cual la salida hacia el sistema de alimentación del cultivo está conectada a los pines comunes de cada relé, estos se encargan de hacer el cambio entre redes.

Figura 13

Diagrama del sistema de transferencia automática



Nota. Autoría propia

7.1.4 Sistema de control

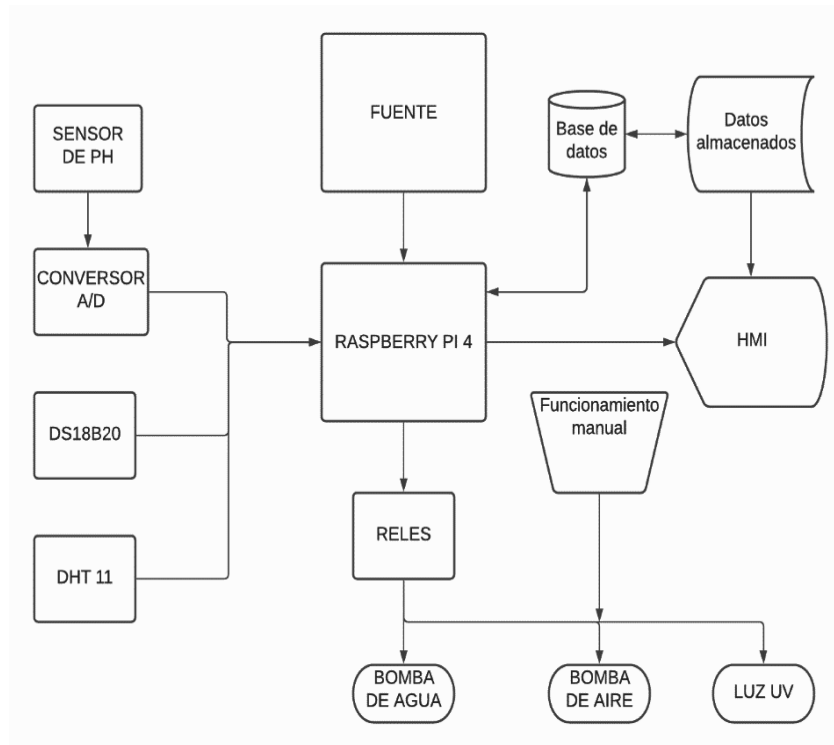
Para el control del sistema se usará una Raspberry pi 4, que mediante la IDE Python se encargará de recopilar los datos de los sensores y tomar las decisiones que ejecutarán los actuadores. El programa actualizará en una base de datos las lecturas de los sensores y registrará en una bitácora el valor de los mismos cuando se cumpla el horario establecido por el usuario.

El sistema posee 7 sensores:

- Sensor de pH 4502c, para monitorear el pH de la misma las 24 horas del día, ya que las plantas necesitan un nivel de acidez o alcalinidad para su desarrollo. En este caso el pH deberá de estar entre 5.0 que es el apto para las especies de lechuga (COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT S.A., s.f.).
- Sensor de temperatura y humedad DHT11: este es un sensor digital que muestra la temperatura del aire y la humedad relativa. Cada cultivo necesita una temperatura ideal para su formación está entre los 20 y 28 °C.
- Sensado de temperatura del agua: se usaron los sensores DS18B20 sumergibles, los cuales monitorean la temperatura del agua las 24 horas. Este monitoreo permite tomar acción cuando la temperatura alcance un umbral establecido en 32 °C, activando así la bomba de agua para que esta recircule y baje la temperatura, manteniendo seguras las raíces de las plantas. La Figura 14 muestra el diagrama de bloques del sistema de control.

Figura 14

Diagrama de Bloques de la Estructura del Sistema de Control



Nota. Autoría propia.

7.1.5 Interfaz de usuario (HMI)

El sistema tiene una interfaz de usuario mediante una página web, la cual tendrá login para su ingreso. Posterior al ingreso se tiene un menú con tres botones “Automático”, “Manual” y “Bitácora”. Si se ingresa a automático mostrará los datos de los sensores actualizados cada 3 segundos y el estado de los actuadores ON/OFF. En el modo manual, se tendrá lo mismo que en automático con la diferencia de que los actuadores podrán ser puestos en marcha directamente por el usuario cuando sea

necesario. En la bitácora mostrará el registro de los sensores durante el día mediante una gráfica y en la parte inferior una segunda gráfica para visualizar los registros que se han obtenido en el mes y, además, se podrá elegir la fecha que desee visualizar.

La interfaz web se crea con el programa Brackets usando el lenguaje HTML, PHP y JAVASCRIPT. Utilizar una interfaz web tiene la ventaja de acceder a los datos obtenidos desde cualquier dispositivo mediante el explorador web, pues la página estará alojada en el servidor.

El IDE Brackets permite un desarrollo de la página más cómodo ya que se puede distinguir las líneas de código gracias a que este tiene un color diferente para cada comando como se observa en la Figura 15, además, un orden de jerarquía entre las diferentes páginas permite llevar a cabo una programación más organizada tal y como se ve en la Figura 16.

Figura 15

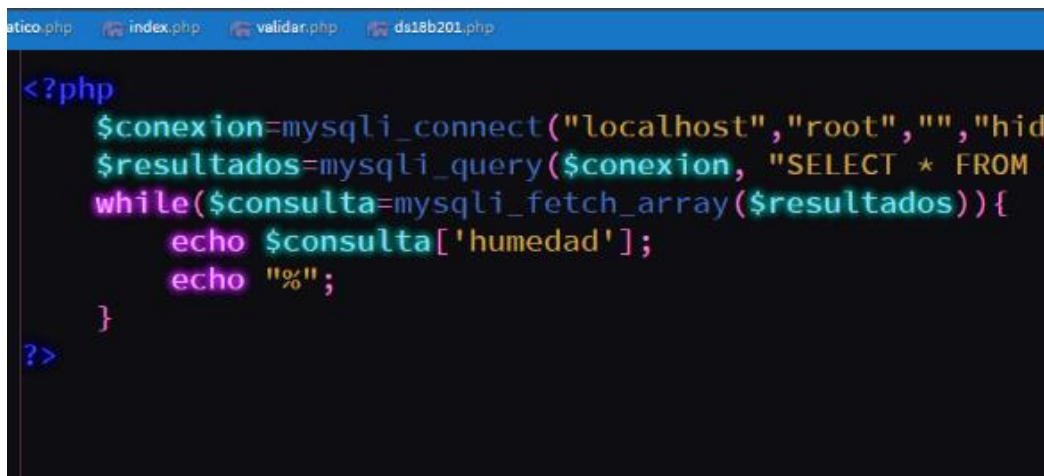
Código HTML

```
</head>
<body style="background-image: url('imagenes/automatico.jpg'); ba
  <h1 align="center" style="font-size:400%;"></h1>
  <!--Temperatura ambiente -->
  <div style="border:1px solid; width: 16%; height:30%; positio
    <p style="font-size:150%" align="center">Temperatura ambi
    
  <div id=dht11t style="font-size:200%; width: 5%; height:10%;
  left:9%;">
    <p>25°C</p>
  </div>
```

Nota. Autoría propia.

Figura 16

Árbol de Jerarquía y Código PHP



```

<?php
$conexion=mysqli_connect("localhost","root","","hidroponia");
$resultados=mysqli_query($conexion,"SELECT * FROM datos");
while($consulta=mysqli_fetch_array($resultados)){
    echo $consulta['humedad'];
    echo "%";
}
?>

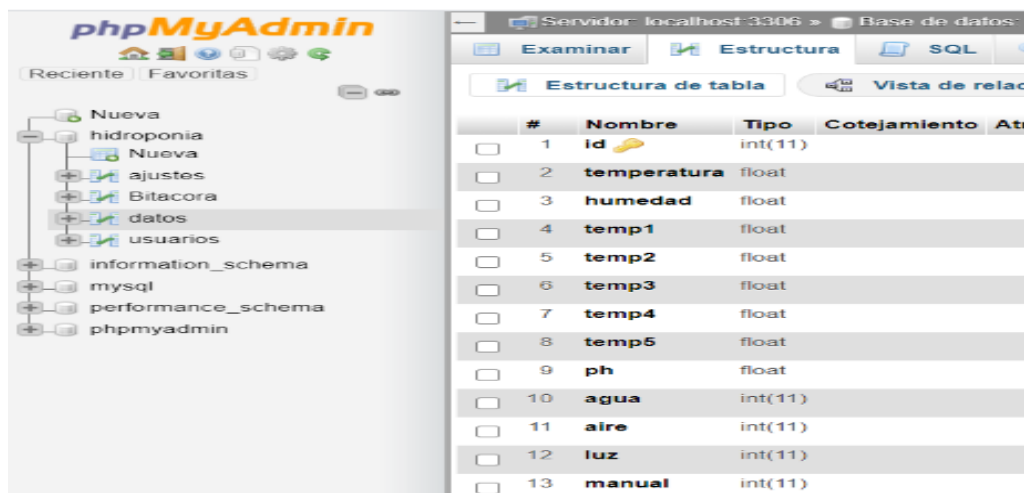
```

Nota. Autoría propia.

Los datos serán almacenados en una base de datos llamada MYSQL que se encargará de almacenar las mediciones de los sensores y la bitácora en todo momento. Esta se aprecia en la Figura 17.

Figura 17

Base de Datos MYSQL



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	At
<input type="checkbox"/>	1 id	int(11)		
<input type="checkbox"/>	2 temperatura	float		
<input type="checkbox"/>	3 humedad	float		
<input type="checkbox"/>	4 temp1	float		
<input type="checkbox"/>	5 temp2	float		
<input type="checkbox"/>	6 temp3	float		
<input type="checkbox"/>	7 temp4	float		
<input type="checkbox"/>	8 temp5	float		
<input type="checkbox"/>	9 ph	float		
<input type="checkbox"/>	10 agua	int(11)		
<input type="checkbox"/>	11 aire	int(11)		
<input type="checkbox"/>	12 luz	int(11)		
<input type="checkbox"/>	13 manual	int(11)		

Nota. Autoría propia.

Esta herramienta tiene entre otras ventajas:

Gratuita, pues es de código abierto.

Sencilla de aprender a manejar.

Optimizada, por lo que es muy rápida en su funcionamiento.

Cuenta con varias opciones de seguridad como contraseñas, derechos de acceso y privilegios para los usuarios.

Necesita pocos recursos de CPU o RAM.

El código para la toma de decisiones se implementó en Python el cual se encarga de leer los diferentes sensores, almacenar mediciones en la base de datos y accionar los actuadores al horario establecido.

El lenguaje Python es muy versátil y la facilidad al implementar códigos lo hace uno de los preferidos a la hora de realizar trabajos en la Raspberry pi.

Figura 18

Código Python

```

1▼ sql = ("UPDATE datos SET temperatura='%f', humedad='%f' ,temp1='%f', temp2='%f', temp3='%f',
temp4='%f',temp5='%f', ph='%0.1f' WHERE id='1'"%
(température, humidity, tempds[0], tempds[1], tempds[2], tempds[3], tempds[4], ph))
2     cursor.execute (sql)
3     db.commit()
4▼     if(manual==0):
5▼         if(hora>=horai1 and hora<horaf1 or hora>=horai2 and hora<horaf2 or hora>=horai3 and
or hora>=horai4 and hora<horaf4 or hora>=horai5 and hora<horaf5):
6             print("hora cumplida")
7             sql = "UPDATE datos SET agua='1', aire='1' WHERE id='1'"
8             cursor.execute (sql)
9             db.commit()
10             GPIO.output(agua, False)
11             GPIO.output(aire, False)
12▼             if(bandera==0):
13                 sql = "INSERT INTO Bitacora
                    (temperatura, humedad, temp1, temp2, temp3, temp4, temp5, ph, fecha, fecha2, día, mes,
                    utos) VALUES
                    (%f, %f, %f, %f, %f, %f, %f, %f, %f, %f, %f, %f, %f)

```

Nota. Autoría propia.

7.1.6 Panel Solar

Al planeta tierra llega suficiente energía solar en una hora como para abastecer al mundo entero durante un año, a diferencia de los importantes recursos y capital necesarios para extraer y quemar combustibles fósiles.

A diferencia de la energía generada por algunos combustibles fósiles, la energía solar no causa daños significativos al medio ambiente ni libera emisiones peligrosas de dióxido de carbono (Social Energy, 2020).

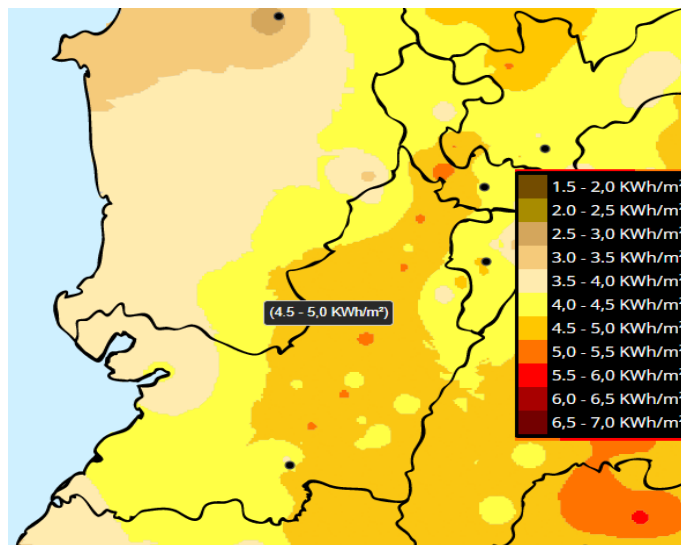
Contar con soluciones energéticas sostenibles sin carbono en proyectos de este tipo es esencial para ralentizar el cambio climático y prevenir mayores daños al medio ambiente, además es una solución que brinda eficacia y no solo reduce

contaminaciones, sino que también reduce costos energéticos. Por ejemplo, la instalación de paneles solares reduce significativamente la factura eléctrica mensual y la dependencia de una red pública saturada, lo cual da una independencia energética que protege el aumento contra el aumento del costo de la electricidad. Al pasar de cada año calendario se refleja que el coste eléctrico es mayor por lo cual las alternativas energéticas como lo son los paneles solares son la visión futurista de los sistemas para disminuir los costos y la contaminación ambiental por lo cual se puede concluir que la energía solar sigue siendo una solución rentable y una inversión a largo plazo en el futuro.

En Tuluá Valle del Cauca se genera una radiación entre 4.5KWh/m² y 5.5KWh/m² tal como se muestra en la figura 19

Figura 19

Radiación Solar en el Valle del Cauca



Nota. Adaptado de visorAtlasRadiacion. [Figura], Ideam, s.f.,
(<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>)

7.1.7 Dimensionamiento De La Batería.

Las variables involucradas en el cálculo de la batería se presentan a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6.

Variables Utilizadas en el Cálculo de la B

Consumo diario	121.18 Wh/día
Cantidad de días en funcionamiento	1 día
Profundidad de descarga (pd)	60%
Voltaje de la batería	12v
Pérdidas (p)	15%

Nota. Adaptado de *PANEL SOLAR*. [Tabla], por INELDEC, (s.f.),

(<https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos>)

Cálculo de la capacidad de la batería (Ecuación 1).

$$Ah = \frac{\frac{w}{\text{día}} * \text{días}}{pd * V} 1 + p, \quad (1)$$

De donde se obtiene:

$$Ah = \frac{\frac{121.16 w}{\text{día}} * 1 \text{ día}}{0.6 * 12V} * 1.15$$

$$Ah = 19.36$$

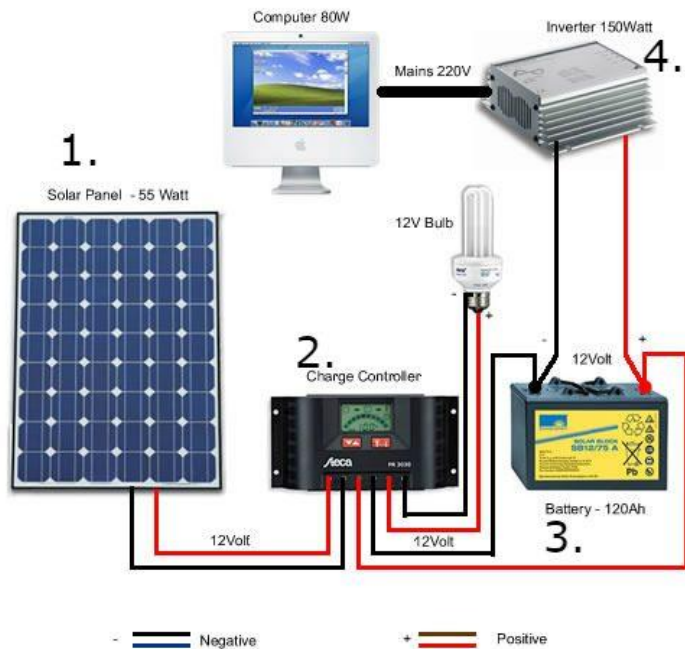
Con base en este resultado obtenido de 19.36 Ah, se escoge una batería comercial de gel de 12v con capacidad de 20 Ah para una autonomía de 1 día.

7.1.8 Cálculo Del Panel Solar.

El sistema necesita un sistema de energía limpia. En este caso se usará un sistema fotovoltaico que requiere el uso de ciertos materiales como el panel solar, regulador, batería e inversor tal y como se aprecia en la Figura 20.

Figura 20

Sistema Fotovoltaico



Nota. Adaptado de *Diagrama sistema solar fotovoltaico*. [Figura], Eliseo Sebastián, s.f., (<https://eliseosebastian.com/diagramas-panes-fotovoltaicos-aislados>)

Usando un panel solar de 60Wh (el utilizado actualmente) y teniendo en cuenta que en Colombia el sol entrega un nivel de energía óptimo en promedio de 5.4 h/día aproximadamente (Martínez et al., 2017), el panel entregará:

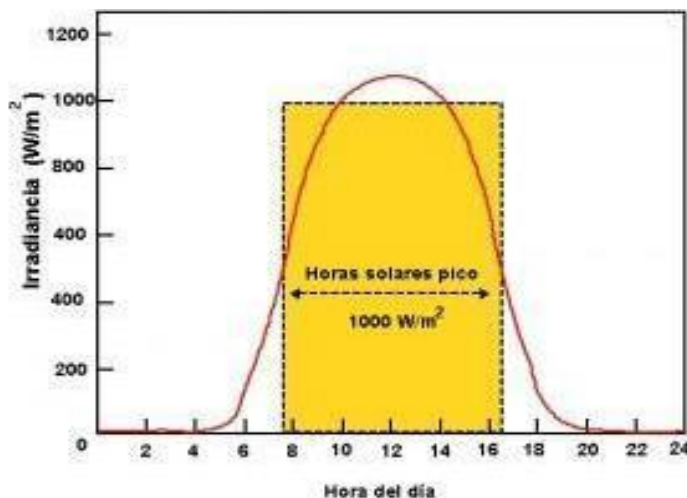
$$60Wh * 5.4 h = 324Wh/dia$$

Debido a que el panel utilizado no proporciona la misma potencia durante el día, hay que tener en cuenta las horas pico del sol donde hay mayor irradiancia, es por esto que para el caso en cuestión este rango se maneja en el lapso de tiempo mencionado (entre las 11:00 am y las 4:00pm), tal y como se observa en la Figura 21.

Además, se debe tener presente que, aunque el panel pueda proporcionar 60w el sistema y la batería solo usaran lo que estos requieran en ese momento y el restante se estará desperdiciando.

Figura 21

Horas Sol Pico en Colombia



Nota. Adaptado de Horas solares pico. [Figura], M. P. Martínez, 2017, (<https://www.semanticscholar.org/paper/La-hora-solar-pico-equivalente%2C->

definici%C3%B3n-e-%2FThe-Mart%C3%ADnez

Rodr%C3%ADguez/dfaf24149ce9909c2427ab9b2e978f4f204d95ad)

El panel ideal para el sistema se calcula:

Cálculo de panel solar (Ecuación 2).

$$\text{Potencia del panel solar} = \frac{\text{potencia del sistema}}{\text{horas pico}}, \quad (2)$$

$$\frac{121.18 \text{ W/día}}{5.4 \text{ h}} = 22.44 \text{ W}$$

Se necesita un panel solar comercial de: 30 W.

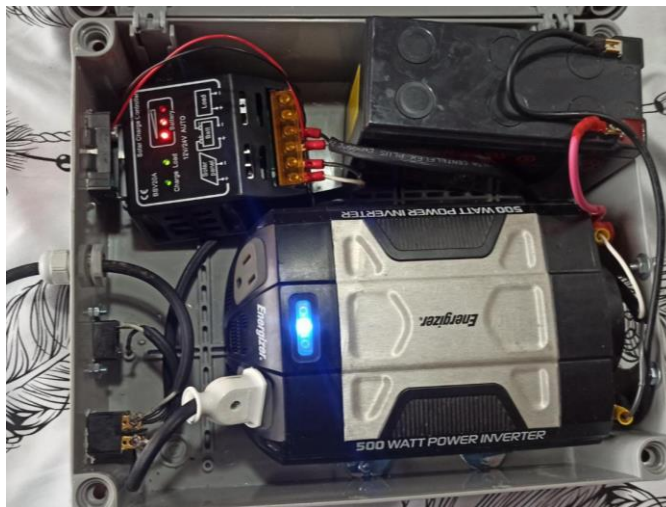
El sistema puede funcionar de modo autónomo (sin necesidad de la red eléctrica), usando los elementos (batería y panel solar ideales) determinados anteriormente, sin embargo, el costo del sistema es mayor y queda supeditado a la capacidad de inversión del usuario. Para el caso de este proyecto, se implementó un sistema híbrido en el cual el alimentador fotovoltaico es de menor potencia que el del caso ideal para que los gastos de inversión no fueran tan elevados debido al presupuesto; el resto de energía lo suministra la red eléctrica.

7.1.9 Dimensionamiento Del Inversor.

El inversor es el que se encarga de convertir la corriente directa en corriente alterna y elevar el voltaje de la batería de 12 Vdc a 120 Vac. para el sistema actual se debe usar un inversor con un margen superior al consumo del sistema con todos los actuadores encendidos en este caso 29.8 W. Por lo que el inversor comercial más cercano es de 500 W como el de la Figura 22.

Figura 22

Inversor 500 W EN500



Nota. Autoría propia.

7.1.10 Controlador De Carga Solar.

Es el encargado de suministrar el voltaje regulado a la batería de forma segura. El voltaje que entrega el panel solar es de unos 19.6 V que llegan al controlador para obtener un adecuado voltaje de carga de 14.4 V. sin este dispositivo la batería sufriría una sobre carga de tensión lo cual producirá daños irreparables en ella. El Controlador de carga utilizado es el de la Figura 23

Figura 23*Controlador de Carga Solar*

Nota. Autoría propia.

Tabla 7.

Ficha Técnica Controladora de Carga Solar

Descripción	Valor
Salida de voltaje	12V o 24V
Corriente nominal de carga	10:00 a. m.
Corriente máxima	10:00 a. m.
Voltaje de la fuente de alimentación de parada	10,8 V o 21,6 V
Voltaje de la fuente de alimentación de reanudación	11,8 V o 23,6 V
Voltaje de parada de carga	14 V o 28 V
Temperatura de trabajo	-20 ~ + 60 c°
Tamaño del artículo	10.2 * 9.5 * 3.8cm / 4 * 3.7 * 1.5in
Peso del artículo	132g / 4.7oz
Tamaño del paquete	11.5 * 10 * 4cm / 4.5 * 3.9 * 1.6in
Peso del paquete	136g

Nota. Adaptado de Ficha técnica controlador de carga solar [Tabla], por

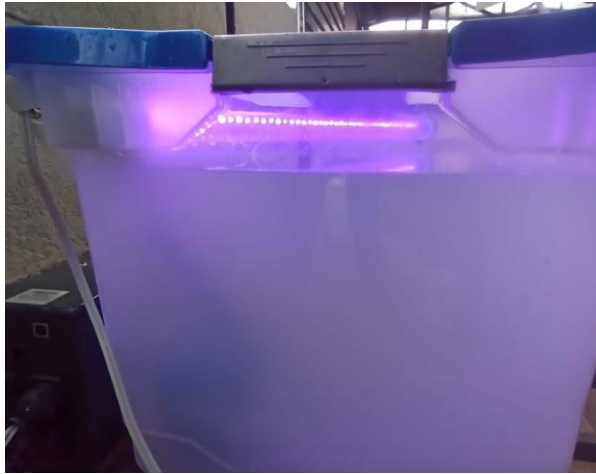
Docooler. (s.f.), (<https://www.docooler.com/p-h9194-1.html>)

7.1.11 Lámpara UV

Para la realización del proyecto se pensó en la implementación de un control de bacterias por medio de la luz ultravioleta (UV) empleando una lámpara LED ya que es una alternativa establecida y cada vez más popular frente al uso de productos químicos para la desinfección de agua potable, aguas residuales y aguas industriales de varias calidades. En la Figura 24 se aprecia la lámpara en funcionamiento dentro del sistema.

Figura 24

Lampara UV Para el Control de Proliferación de Bacterias.



Nota. Autoría propia

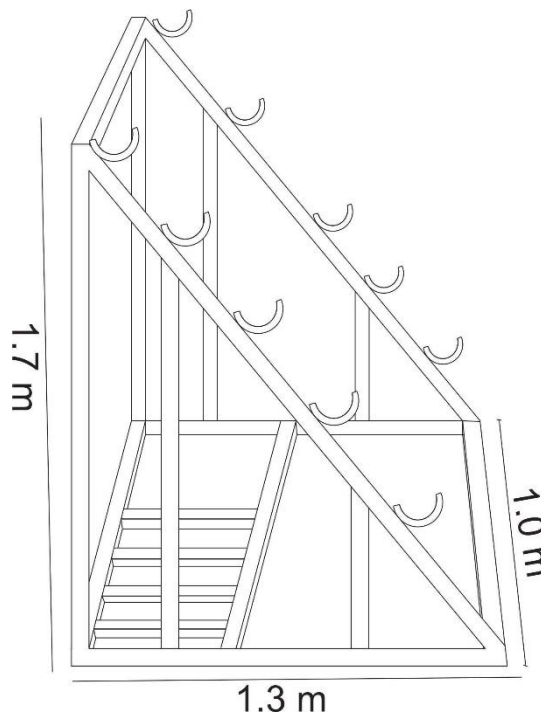
7.2 Implementación

A continuación, se da a conocer el proceso relacionado con la implementación del sistema. En este apartado se ejecuta el desarrollo del sistema a partir del diseño obtenido.

7.2.1 Estructura Base Y Tubería

Figura 25

Estructura Base de Apoyo Para la Tubería.



Nota. Autoría propia

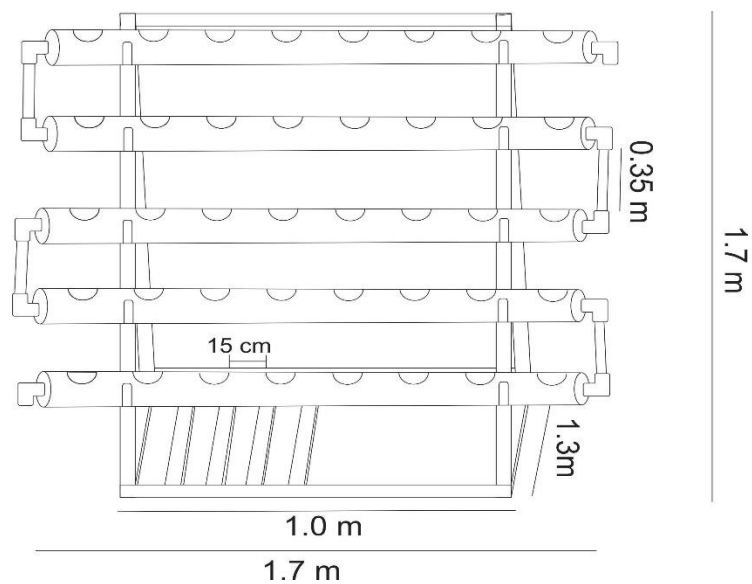
En la Figura 25 se aprecia el diseño de la estructura base a construir que soportaría casi la totalidad del sistema. El esquema se envió para que se realizará por terceros puesto que no se contaba con los materiales ni los conocimientos para su construcción.

Mientras se realizaba la construcción de la estructura base se procedió a implementar todo lo relacionado con la tubería tal como muestra la Figura 26. En esta parte se usaron tubos de PVC con todas las medidas que se plantearon en la sección 6.1.1. Finalmente, en los agujeros que se hicieron en cada tubo se insertaron los netpots encargados de soportar las plantas y suspender sus raíces para recibir los

nutrientes que pasan a través de la tubería. El resultado obtenido de esta parte se observa en la Figura 27. Con este diseño se consigue que el agua que entra por el tubo que se encuentra en la parte superior se decante de un tubo a otro por gravedad hasta llegar nuevamente al tanque de almacenamiento que se dispuso en la base de la estructura.

Figura 26

Estructura Base Hidropónica



Nota. Autoría propia

Figura 27

Estructura Física Real del Proyecto.



Nota. Autoría propia

7.2.2 Montaje Eléctrico Y Electrónico Del Sistema

Lo primero que se implementa es la bomba de agua, pues era necesario comprobar el correcto flujo del líquido desde el tanque de almacenamiento a la tubería y de la tubería al tanque de almacenamiento. Lo siguiente fue conectar la lámpara de Luz ultravioleta para purificar el agua. Cuando se comprueba que todo funciona correctamente se añade la bomba de aire y se procede con la instalación del sistema de control y los sensores.

Figura 28

Tablero de Control de Proyecto.



Nota. Autoría propia

En la Figura 28 se puede observar el sistema de control el cual, es una unidad donde se disponen la Raspberry, el módulo del sensor pH en la Figura 29, un conversor analógico digital y los relés. Este conjunto de dispositivos se puede apreciar en la Figura 30 y 31 respectivamente. Después de comprobar que la comunicación de la Raspberry desde el PC es correcta se procede a conectar los sensores, entre los cuales se encuentran el sensor de pH que se conecta a su respectivo módulo y al ADC, el sensor dht11 de temperatura y humedad cuyos pines se conectan directamente a la Raspberry y los sensores de temperatura DS18B20 que también se conectan a la Raspberry. Terminada la conexión, se realizan múltiples pruebas para comprobar que los sensores trabajan conjuntamente con la Raspberry sin ningún fallo. En esta parte se

solucionaron algunos problemas en el código implementado y en las conexiones realizadas.

Figura 29

Sensor de pH.



Nota. Autoría propia

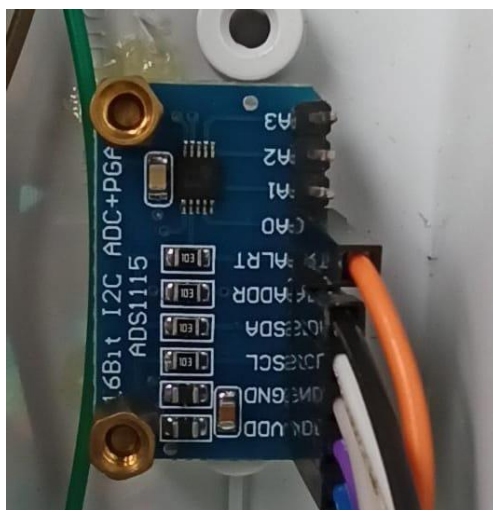
Figura 30*Ads1115**Nota. Autoría propia***Figura 31***Módulo Relé y Modulo Sensor de pH.**Nota. Autoría propia*

Figura 32

Planta de Cilantro en el Cultivo Hidropónico.

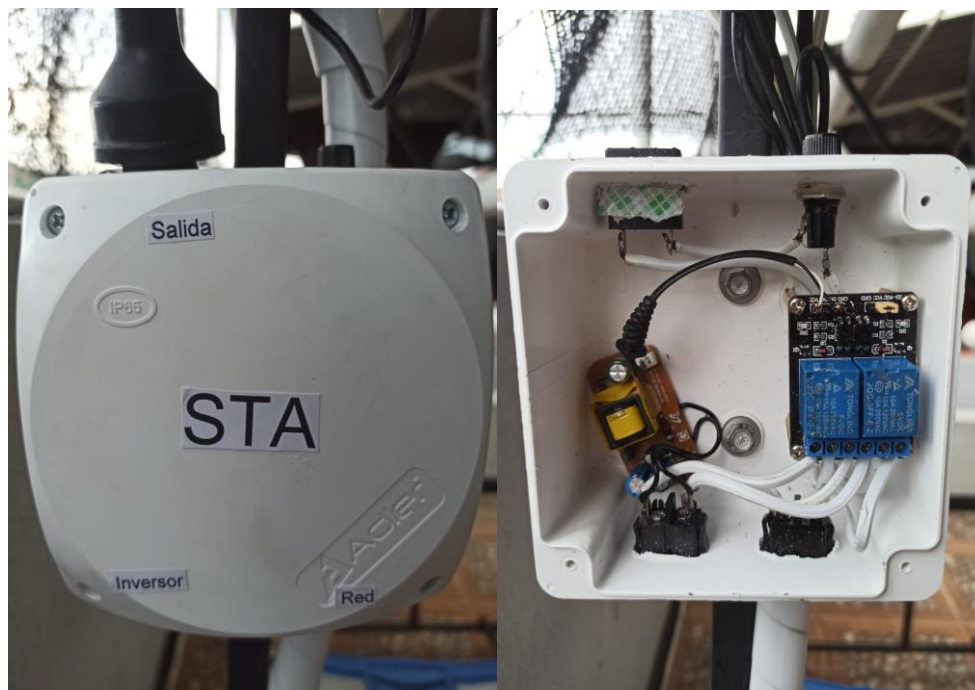


Nota. Autoría propia

En la Figura 33 (a) se aprecia el sistema de transferencia automático montado en la estructura y en la Figura 33 (b) se muestra el interior de este revelando los componentes electrónicos utilizados.

Figura 33

Sistema de transferencia automático



(a)

(b)

Nota. Autoría propia

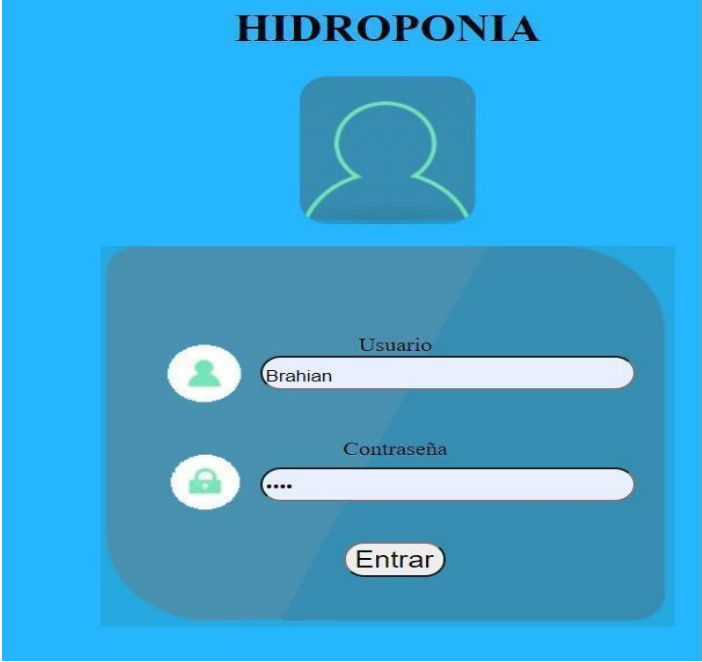
Cuando el sistema de control inició su funcionamiento satisfactoriamente en conjunto con los módulos, sensores y actuadores, se procedió con la creación de una interfaz de usuario para el control del cultivo. Para acceder al menú se creó un login al que se ingresa con las credenciales del usuario como se observa en la Figura 34, esto con el fin de restringir el acceso al control del sistema solo a las personas que estén autorizadas y capacitadas para su manejo.

En la Figura 35 se observa el menú donde se selecciona el modo de operación del cultivo y bitácora donde queda registrado los datos a través del tiempo. El usuario

podrá escoger entre dos modos de operación del sistema según le convenga, el modo automático y manual.

Figura 34

Login de Usuario Aplicativo



HIDROPONIA

Usuario
Brahian

Contraseña
....

Entrar

Nota. Autoría propia

Figura 35

Interfaz de Control.

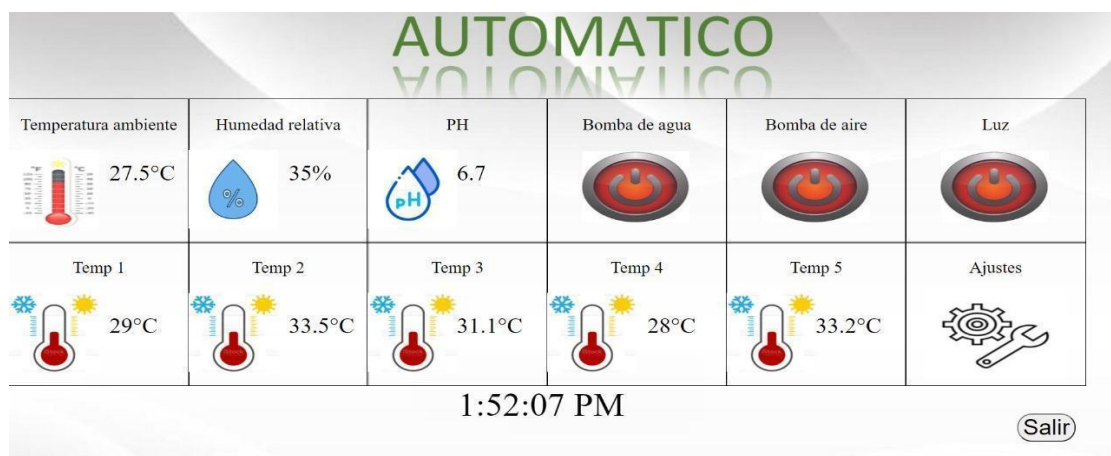


Nota. Autoría propia

En la Figura 36 observa el modo automático donde se muestran los datos de los sensores a la izquierda y en la fila inferior, también indicación de que el actuador está encendido alternando el icono entre rojo y verde en la parte derecha; en la esquina inferior derecha un botón que lleva al usuario a un menú de ajustes como el que se ve en la Figura 38 donde se pueden organizar los horarios de encendido y establecer la temperatura máxima a superar para encender la bomba de agua y aire. Finalmente se añade un reloj para tener fácil acceso a la hora.

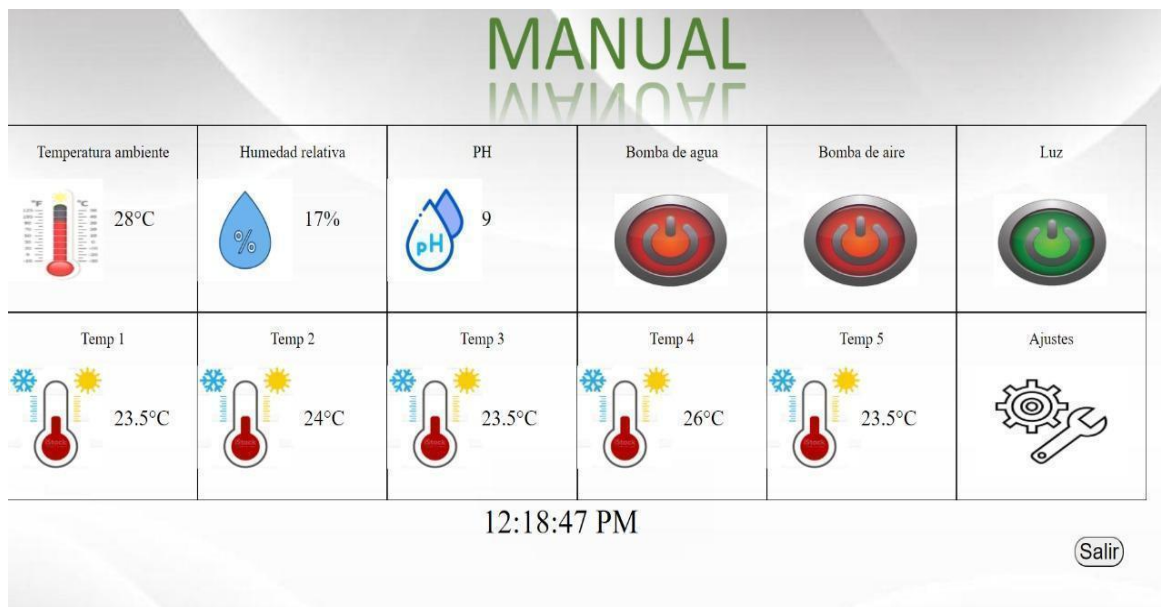
Figura 36

Modo Automático.



Nota. Autoría propia

El modo manual posee las mismas características que el automático en cuanto al apartado visual, la diferencia es que aquí los actuadores pueden ser puestos en funcionamiento cuando se desee y no en función de la temperatura Figura 37.

Figura 37*Modo Manual.**Nota. Autoría propia*

La última opción que se añadió a la interfaz fue la bitácora donde es posible ver en la parte superior un calendario que cuenta con la opción de seleccionar la fecha para ver dos gráficas. En la Figura 38 se puede observar el dato de los sensores a determinadas horas y en la Figura 39 los datos en el mes promediados. Esto permite hacer un seguimiento permanente de las mediciones de los sensores en todo momento, tanto para dar un mejor cuidado al cultivo como para ver anomalías que puedan significar el fallo o des calibración de alguno de los dispositivos.

Figura 38

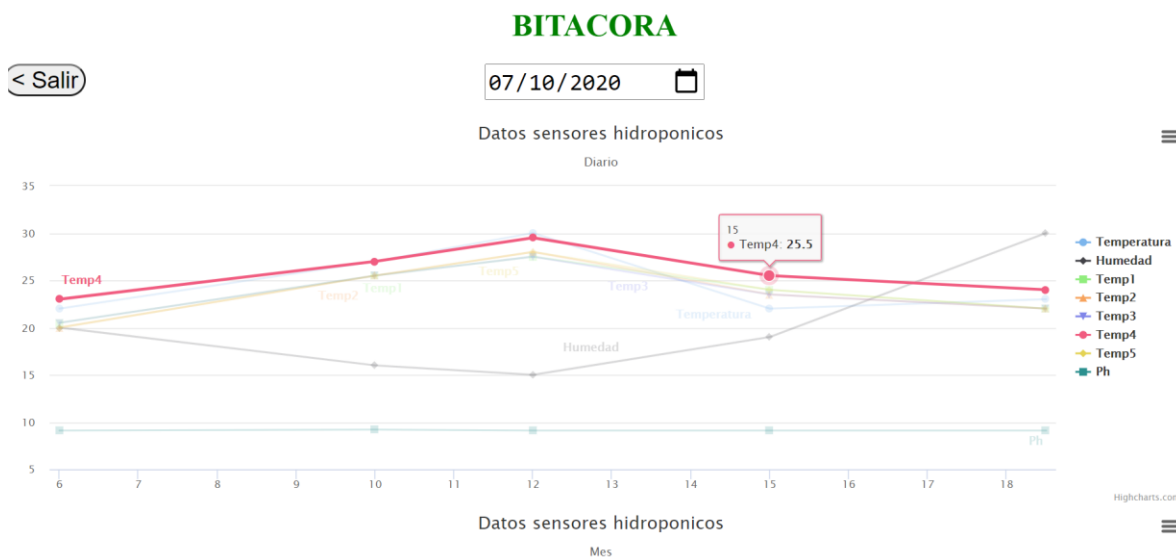
Menú de Ajustes



Nota. Autoría propia

Figura 39

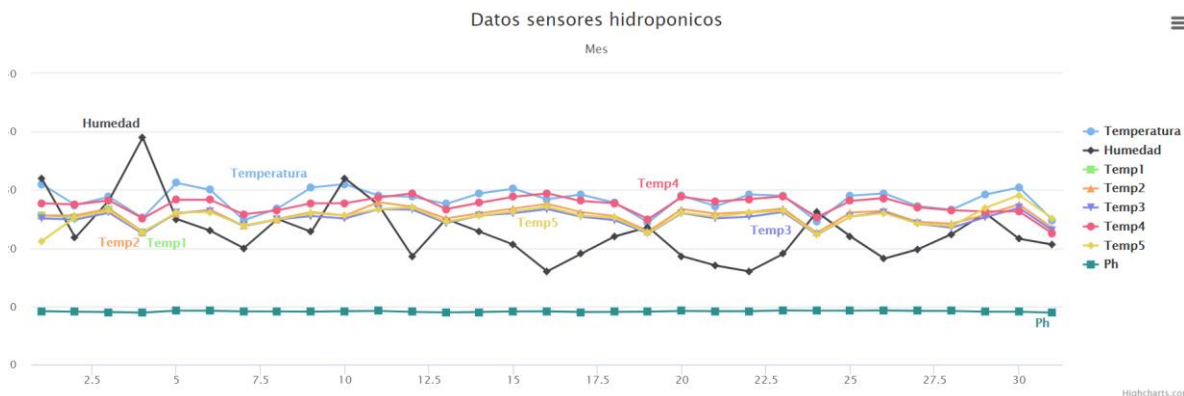
Bitácora Diaria



Nota. Autoría propia

Figura 40

Bitácora Mensual



Nota. Autoría propia

La UPS se encargará de respaldar la energía eléctrica en caso de un corte de la red pública, esto para que el sistema no se apague y se pierda información recopilada de los sensores, en la Figura 42 UPS(a) se muestra la parte posterior de la UPS donde se conectara el sistema, en la parte frontal Figura 42 UPS(b) se muestran los parámetros de la UPS como son el voltaje de entrada y salida tanto como el nivel de carga que posee la batería. Cuando la red eléctrica falla, la unidad de respaldo, trabaja durante 27 minutos aproximadamente y presenta un consumo de 9 Wh, datos obtenidos con el sistema real, como se aprecia en la Figura 41

Figura 41*Consumo con UPS**Nota. Autoría propia***Figura 42***UPS*

(a)

(b)

Nota. Autoría propia

El panel solar se ubica convenientemente en el techo del sitio para evitar que reciba sombra en algún momento del día tal y como se aprecia en la Figura 43. El voltaje DC obtenido por el panel solar es llevado al controlador de carga solar y posteriormente a la batería para ser elevado a 120V AC por el inversor.

Figura 43

Panel Solar Monocristalino 60W.



Nota. Autoría propia

7.2.3 Montaje de Polisombra

Las plantas requieren de luz solar para su desarrollo, demasiada luz solar es perjudicial para ellas ya que las puede secar o inclusive quemarlas, por ello es necesario el uso de una polisombra para proveer la energía adecuada.

Antes de instalar la polisombra se apreció que las plantas se estaban marchitando, tornándose de un color pálido. Se usa una malla poli sombra de un 60% de filtración como la que se observa en la Figura 44, la cual cubre la parte

superior de las plantas logrando una mejoría ostensible y mostrando en ellas un color verde muy saludable.

Figura 44

Polisombra



Nota. Autoría propia

8. Pruebas Y Resultados Finales

En este apartado se presentan los resultados obtenidos. Se aborda una revisión de los consumos de agua y electricidad, y se hace una comparación de los cultivos en tierra tradicionales frente a los cultivos hidropónicos, considerando los resultados obtenidos en el proyecto.

8.1.1 Consumo Eléctrico Del Sistema.

La instalación solar fotovoltaica utilizada para alimentar el cultivo hidropónico es un sistema híbrido, en donde la batería junto con el panel solar trabaja en promedio un total 18.5 horas. En el momento que se agote la batería el cultivo es alimentado por la red eléctrica. En el lapso en el cual está trabajando la instalación solar, se está ahorrando el consumo de energía de la red eléctrica.

Los datos de consumo eléctrico se obtienen utilizando un medidor de consumo. En la Figura 45 (a) se aprecia el consumo que se tiene actualmente en stand by (sin los actuadores encendidos) y en la Figura 45 (b) se observa el consumo cuando se encienden los actuadores los datos obtenidos se consignan en la Tabla 8 y Tabla 9.

Figura 45*Consumo del Sistema**(a)**(b)**Nota. Autoría propia*

En la Tabla 8 se obtiene el consumo total del sistema durante 24 horas, donde se observa que el total diario es de 121.16 Wh. En la Figura también se observa la energía entregada por el panel solar en un día, donde el vatímetro marca un total de 93 Wh, lo que corresponde a un 76.75% del consumo diario (Energía solar). El 23.25% restante pertenece al consumo de la red eléctrica cuando la batería se descarga y el sistema de transferencia conmuta.

Se observó el tiempo de funcionamiento del inversor gracias a un medidor de consumo el cual arrojó que el sistema funciona por aproximadamente 18.5 horas al día con un consumo de 93.39 w/día como se observa en la Figura 46 antes de agotar la

batería y cambiar a la red pública que aporta 5.5 horas restantes con un consumo de 27.77 w/día, En conclusión, la energía solar genera un 77.08% del consumo y el 22.92% restante la red, cabe aclarar que no todos los días se genera el mismo consumo eléctrico ya que por lo general algunos días esta nublado o no se presenta la misma radiación solar.

Figura 46

Consumo del Panel Solar



Nota. Autoría propia

Tabla 8.*Consumo Eléctrico Total*

DESCRIPCIÓN	CONSUMO (W)	HORAS DE TRABAJO (h)	CONSUMO DIARIO TOTAL (Wh/día)
Bomba de agua	14.2	1	14.2
Bomba de aire	1.8	1	1.8
Lampara LED UV	8.9	0.25	2.2
Raspberry pi 4	4.9	24	102.96
Total, consumo			121.16

*Nota. Autoría propia***Tabla 9.***Consumo Eléctrico*

DESCRIPCIÓN	CONSUMO MENSUAL (Wh/mes)	COSTO DE ENERGIA (\$)
Bomba de agua	426	226,50
Bomba de aire	54	28,71
LED UV	267	141,96
Raspberry pi 4	3.089	1.642,42
Total consumo	3.836	2.039,59
Energía generada por el panel solar	2801,7	1.489,66
Total consumo de la red	833,1	442,96

Nota. Autoría propia

El costo del KWh se obtiene de la tarifa de la empresa Cetsa de Tuluá obtenido en su plataforma web para propiedades clientes de estrato 3 es de \$531.70/KWh.

(CETSA, 2021)

Nota: tener en cuenta que de acuerdo con las condiciones climáticas pueden presentarse ligeras variaciones en los datos y resultados obtenidos para el panel solar.

Para calcular el consumo total del sistema es necesario tener en cuenta varios cálculos.

Para empezar la bomba de agua y la de aire se activan 5 veces al día 10 o 15 minutos en cada turno trabajando un promedio 60 minutos diarios, la luz UV es activada en la noche 15 minutos al día, mientras que la raspberry pi 4 funciona las 24 horas, estos horarios se pueden modificar en los ajustes del sistema mostrados en la Figura 38.

8.1.2 Consumo De Agua

Para conocer el consumo de agua requerido por el sistema se calcula la capacidad máxima de los tubos. La cantidad de agua almacenada en estos será del 40% aproximadamente, debido a que los tubos decantan al tubo inferior cuando superan un llenado del 50%, que es la altura de salida hacia el tubo inferior. Los netpots permiten que las raíces estén más cercanas a la superficie inferior interna del tubo. Ahora, teniendo en cuenta que son 5 tubos con las mismas dimensiones se procede con el cálculo:

Volumen de un cilindro (Ecuación 3).

$$\mathbf{Volumen\ de\ cada\ tubo = \pi r^2 h, (3)}$$

$$\pi(0.0381m)^2(1.8m) = 0.008208m^3$$

$$Volumen\ total\ del\ sistema = 5\ tubos \times 0.008208m^3 = 0.04104m^3$$

$$Volumen\ total\ requerido = 40\% \times 0.04104m^3 = 0.01641m^3$$

$$Volumen\ en\ litros = 16.41\ L$$

Conociendo este total, se escoge un depósito con una capacidad de 60 L, suficiente para suplir los 16.41 L calculados. Se llena hasta los 50 L, esto para dar un amplio margen que permite principalmente que la bomba trabaje correctamente y por otra parte suplir algún proceso de evaporación que pueda presentar el agua, lo cual no se calcula, pues se comprobó en sitio que la cantidad evaporada no es relevante con relación a los niveles de agua considerados en el proceso.

El consumo mensual de agua se calcula teniendo en cuenta que el sistema necesita un mantenimiento cada 30 días, lo que significa que al mes consume 50 L de agua para realizar el respectivo cambio. El agua que es reemplazada se utiliza nuevamente para regar cultivos sembrados en tierra. El cambio mensual es necesario pues con el paso de los días el agua empieza a tornarse color verde como en la Figura 47, esto debido a los microorganismos que pueden aparecer. Para mitigar estos efectos se añade al depósito de agua un filtro pasivo como el que se ve en la Figura 48 y que va conectado directamente al aireador. (Barrio, 2018)

Figura 47

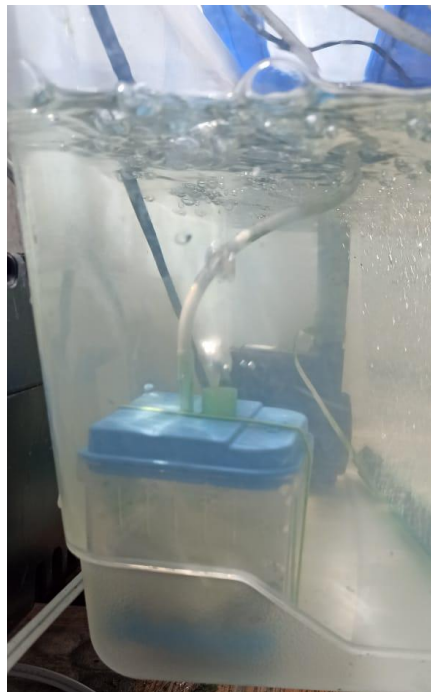
Depósito de Agua Antes del Mantenimiento



Nota. Autoría propia

Figura 48

Filtro de Agua Pasivo



Nota. Autoría propia

Conociendo los consumos de agua se tiene entonces:

$$\text{Consumo de agua por mes en L} = 50 \text{ L/mes}$$

$$\text{Consumo de agua por mes en m}^3 = 0,05\text{m}^3/\text{mes}$$

$$\text{Tarifa m}^3\text{de agua} = \$2.148$$

En teoría si se hace una comparación con la agricultura convencional, en tierra, por cada metro cuadrado entran 8 lechugas y en una hidropónica puede entrar 30 de acuerdo a la densidad que uno elige, hay un amplio rango entre convencional y lo hidropónico. (La nación, s.f.)

Considerando lo anterior, el cultivo hidropónico considerado de 40 plantas corresponde a un equivalente estimado de 11 plantas en el sistema convencional, es decir, aproximadamente de 1.4 m².

Las necesidades de riego del cultivo de lechuga pueden ir desde 0,5 L/m² /día cuando las plantas son pequeñas hasta más de 4 L/m² /día para plantas adultas. (MENESES, 2017) Lo anterior indica que para 1.4 m² (plantas grandes), correspondería un consumo hídrico diario de 5.6 L/m² y al mes un aproximado de 168 L/m² en comparación a los 50 L mensuales del sistema hidropónico, un ahorro del 29.76%.

Costo consumo mensual de agua (Ecuación 4).

$$\text{Costo consumo mensual de agua} = \text{Tarifa/m}^3 * \text{Consumo m}^3/\text{mes}, \quad (4)$$

$$\text{Total gasto de agua en pesos por mes} = \$2207/\text{m}^3 \times 0.05\text{m}^3/\text{mes} = \$110.35/\text{mes}$$

$$\begin{aligned} \text{Total gasto de agua convencional en pesos por mes} &= \$2207/m^3 \times 0.168m^3/mes \\ &= \$370.78/mes \end{aligned}$$

$$\text{Ahorro} = \$370.78 - \$110.35 = \$260.43$$

El costo y consumo es constante mes a mes debido a que el agua llevada por la bomba a los tubos posteriormente regresará al depósito, es decir, el recurso hídrico se está reutilizando constantemente, esto permite un ahorro muy significativo del mismo, que a largo e incluso mediano plazo se traduce en menos gastos. Los datos se pueden apreciar en la

Tabla 10.

Datos Consumo de Agua

Descripción	Cantidad (Hidropónico)	Cantidad (Convencional)
Cantidad de agua requerida según los cálculos (L)	16,41	168
Capacidad del tanque de almacenamiento (L)	60	N/A
Agua almacenada para abastecer el sistema mensualmente (L)	50	N/A
Agua almacenada para abastecer el sistema mensualmente(m3)	0.05	N/A
Tarifa Centroaguas por metro cúbico (\$-Pesos)	2.207	2.207
Total gasto de agua en pesos por mes (\$-Pesos)	110.35	370.78

Nota. Autoría propia

8.1.3 ¿Por Qué Trabajar con Cultivos Hidropónicos y Automatizarlos?

Para responder a esta pregunta se consideraron varios aspectos claves los cuales se abordan a continuación y que muestran las ventajas que presenta la hidroponía frente a la agricultura tradicional.

El ahorro de agua es quizá la ventaja más relevante, esto debido a que el montaje de tubería es un sistema cerrado donde el agua que se utiliza recircula durante un mes antes de ser cambiada. En el caso de este proyecto el consumo es mínimo debido a dos factores, uno de ellos, el área ocupada por el cultivo, pues no es de grandes proporciones, y segundo, se aprovecha el agua lluvia para satisfacer las necesidades hídricas de las raíces. Esto representa una gran ventaja en costos de operación para el productor, adicionalmente, un sistema hidropónico no requiere que el agua este fluyendo permanentemente, lo que permite que la bomba de agua al igual que la bomba de aire puedan ser encendidas unas cuantas veces al día durante cortos periodos de tiempo, lo cual se hace de manera automática. Lo anterior no solo aumenta la vida útil de los actuadores, sino que reduce el consumo eléctrico. Al compararlo con los riegos por aspersión muy utilizados en la agricultura, se puede decir que la hidroponía presenta ventajas en los aspectos mencionados. Cuando el riego se automatizó no solo se redujo el trabajo humano, también evita el error de este en la aplicación y tiempos de riego, oxigenación de las raíces y costos en general.

Otra ventaja relevante identificada desde el inicio del proyecto y que se experimentó en su desarrollo, es la posibilidad que brinda la hidroponía de cultivar en condiciones ambientales limitadas, como son: espacios reducidos y suelos no aptos

para la siembra. En este trabajo se pudo evidenciar y comprobar en la práctica estas ventajas y características, puesto que se implementa en la terraza de una vivienda con piso de baldosa y espacio limitado. El sistema implementado, que se presenta en la Figura 27, aunque no es la distribución más eficiente que hay para acuaponía, sigue presentando ventaja en cuanto a densidad de plantas se refiere, con un máximo de $24/m^2$ frente a $16/m^2$ que permitiría un cultivo tradicional (el cálculo se realiza teniendo en cuenta las distancias de separación que requiere la lechuga, variedad que se sembró en este proyecto). Existen incluso estructuras que tienen una mayor densidad debido a su disposición de verticalidad, el cual es posible gracias a que el conjunto no necesita de tierra lo que le da un menor peso. Un montaje con estas características facilita entre otras cosas su automatización, ya que al ser mejor aprovechado el espacio se requiere menor inversión en elementos de cableado, actuadores como bombas de agua y de aire; también aplican aspersores y calefactores en caso de requerirse; por otra parte, se requiere el uso de un menor número de sensores pues la zona a monitorear es más reducida.

Otro beneficio, no menos importante es el hecho de que al no utilizar suelo en tierra, se elimina el uso de herbicidas, lo que ahorra dinero, tiempo y esfuerzo humano.

Pasado un mes de crecimiento se realizó la respectiva medición tanto de las plantas sembradas en tierra como las que se sembraron en la estructura hidropónica y se obtiene un promedio encontrando diferencias importantes, por ejemplo, la lechuga en tierra posee una altura de 6 cm. Como se ve en la Figura 499 Mientras que la hidropónica muestra una altura de 12 cm. Esto se observa en la Figura 500. a su vez, en la Figura 51 y Figura 52 se observa respectivamente que se mide un espesor en

tierra de 4.8 mm y de 7.5 mm en el hidropónico. Los datos obtenidos demuestran que las lechugas hidropónicas presentan un mejor desarrollo en el mismo lapso de tiempo que las sembradas en tierra, esto es debido a que las raíces de las plantas reciben el nutriente de manera directa al estar suspendidas en la tubería por donde éste fluye.

Figura 49

Tamaño de Lechuga en Tierra



Nota. Autoría propia

Figura 50

Tamaño de lechuga en el sistema hidropónico



Nota. Autoría propia

El ajo también presenta diferencias en su longitud y espesor en tierra con una altura promedio de 6 cm. En la Figura 53. contra 7 cm en el sistema hidropónico. En la Figura 54. El espesor en tierra fue de 3.8 mm. En la Figura 55. y en el sistema de 9.1 mm. En la Figura 56. Existen maneras de mejorar el crecimiento de las plantas ensamblando un dosificador electrónico al montaje, que automatizado aumentará la precisión con la que el nutriente se dosifica. En la Tabla 3 hay más información que puede ser consultada acerca de un proyecto en donde se implementa este tipo de tecnología con resultados aún más notorios.

Los datos obtenidos se aprecian más claramente en la Tabla 11.

Tabla 11.

Datos Crecimiento de las Plantas en un

Variedad	Altura de la planta (cm)	Espesor del tallo (mm)
Ajo hidropónico	7	9.1
Ajo en tierra	6	3.8
Lechuga hidropónica	12	7.5
Lechuga en tierra	6	4.8

*Nota. Autoría propia***Figura 51***Espesor de Lechuga en Tierra**Nota. Autoría propia*

Figura 52

Espesor de Lechuga en el Sistema Hidropónico



Nota. Autoría Propia

Figura 53

Altura de Ajo en Tierra



Nota. Autoría propia

Figura 54

Altura de Ajo en el Sistema Hidropónico



Nota. Autoría propia

Figura 55

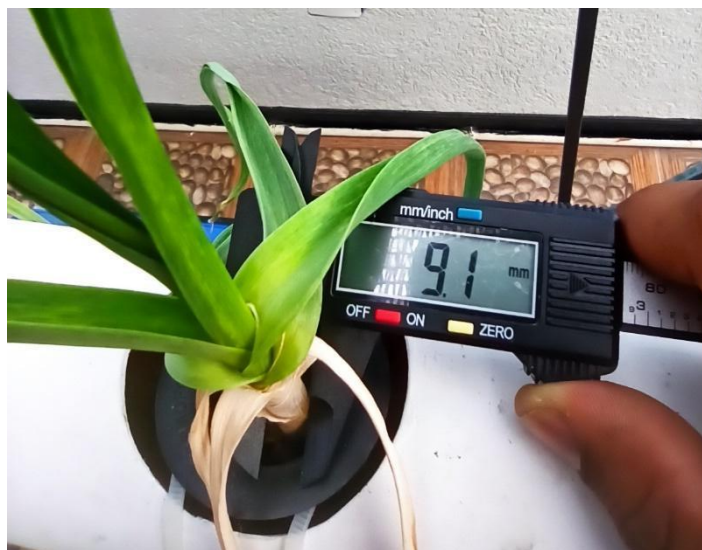
Espesor del Ajo en Ti



Nota. Autoría propia

Figura 56

Espesor de Ajo en el Sistema Hidropónico



Nota. Autoría propia

8.1.4 Plataforma web

La creación de una plataforma web permitió principalmente la recopilación de datos en el tiempo para llevar un control más completo de las condiciones ambientales a las que se han visto sometidas las plantas. Las variables observadas son: temperatura ambiente, temperatura y pH del agua que circula por el sistema, además de la humedad relativa. Las mediciones que realizan los sensores pueden ser leídas en tiempo real y en una bitácora con un gráfico que se actualiza diariamente.

El control para el desarrollo de las plantas es aún más estricto gracias a la implementación de lazos de control en los que se ajusta la temperatura del agua o se fijan los set-points (punto de ajuste), que al ser superada pone en marcha los actuadores para que recircule el agua y pueda bajar un poco la misma.

Durante los dos primeros meses de observación del cultivo no se presentaron problemas en las condiciones ambientales, Sin embargo, durante este tiempo se llevó a cabo la puesta a punto y calibración de los sensores, por ejemplo, el sensor de humedad relativa DHT11 fue cambiado posteriormente. El sensor de pH presentó anomalías en su gráfico durante la primera semana, pero se soluciona recalibrando.

Una plataforma con estas características es de gran ayuda para el productor pues le permite hacer un seguimiento al cultivo en general y no solo podrá dar un cuidado más asistido, sino que permite recopilar información valiosa que puede ser tomada en cuenta en futuras cosechas.

Gracias a la bitácora se puede tener un registro del clima en la fecha seleccionada para obtener información de su comportamiento y cómo puede este

afectar al cultivo en el tiempo. Por ejemplo, obtener un patrón del comportamiento del pH y poder realizar los ajustes correspondientes. Por otra parte, guardar información histórica de los sensores es bueno para datos futuros que se requieran.

9. Análisis Financiero

Para el análisis financiero se realizaron cotizaciones de cada uno de los materiales que fueron seleccionados para la construcción del sistema con el fin de establecer cuál sería la inversión inicial del proyecto.

9.1 Costos del Proyecto

En el costo del proyecto se tiene en cuenta el precio de los equipos eléctricos necesarios para el funcionamiento del proyecto, materiales varios como tornillos, tubos, entre otros y se tiene en cuenta el costo de la mano de obra por el diseño y fabricación del sistema. En la Tabla 12 se pueden apreciar los costos.

Tabla 12.

Inversión en Equipos Eléctricos.

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Bomba de aire 3W Jeneca AP-9802	UN	1	\$45.000	\$45.000
Lámpara led ultravioleta 10 W	UN	1	\$25.000	\$25.000
Sensor de temperatura y humedad DHT11	UN	1	\$9.000	\$9.000
Sensor de temperatura DS18B20	UN	5	\$6.000	\$30.000
LDR	UN	1	\$2.000	\$2.000
Bomba de agua	UN	1	\$85.000	\$85.000
Netpot 2"	UN	60	\$550	\$33.000
Sensor de pH E201-BNC + Módulo Controlador pH-4502C	UN	1	\$125.400	\$125.400
Panel solar monocristalino 60w	UN	1	\$200.000	\$200.000
UPS startec 650VA	UN	1	\$130.000	\$130.000
Modulo relé 2 canales	UN	1	\$6.000	\$6.000
Raspberry PI 4 4gb RAM	UN	1	\$460.000	\$460.000
Cable dúplex 2x14	m	3	\$1.600	\$4.800
Inversor 12v 120V	UN	1	\$180.000	\$180.000
Controlador de carga	UN	1	\$59.000	\$59.000

Conectores y otros	UN	1	\$30.000	30.000
Total inversión				\$1.424.200

Nota. Autoría propia

Tabla 13.

Inversión en Materiales.

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Manguera	m	2	\$1.000	\$2.000
Piedra de aire	UN	2	\$20.000	\$40.000
Bolsa de semillas	UN	2	\$2.500	\$5.000
Semillero	UN	1	\$7.000	\$7.000
Tierra	UN	1	\$2.000	\$2.000
Tubería PVC 3" 5 m	UN	2	\$27.000	\$54.000
Tapas tubos 3"	UN	10	\$1.500	\$54.000
Recipiente plástico de 60 L	UN	1	\$62.000	\$62.000
Estructura de hierro	UN	1	\$160.000	\$160.000
Solución nutritiva para hidroponía	UN	1	\$26.000	\$26.000
Netpot 2"	UN	60	\$550	\$33.000
Tubería 1/2"	UN	2	\$3.000	\$6.000
Accesorio tubería codo 1/2"	UN	10	\$400	\$4.000
Tapón tubería 1/2"	UN	10	\$400	\$4.000
Bolsa amarra plástica 100 unidades	UN	1	\$3.900	\$3.900
Caja plástica 23x18x10	UN	1	\$36.000	\$36.000

Caja plástica 10x10x10	UN	1	\$7.000	\$7.000
Caja plástica 30x25x12.5	UN	1	\$50.100	\$50.100
Total inversión				\$556.000

Nota. Autoría propia

Tabla 14.

Inversión Mano de Obra

Concepto	Tiempo(días)	Costo por día	Costo total
Elaboración de la estructura	2	\$80.000	\$160.000
Elaboración del hardware	2	\$80.000	\$160.000
Elaboración del software	5	\$80.000	\$400.000
Total inversión	9		\$720.000

Nota. Autoría propia

Tabla 15.

Inversión Total del Proye

Concepto	VALOR
Inversión en equipos eléctricos	\$1.424.200
Inversión en materiales	\$556.000
Inversión mano de obra	\$720.000
Inversión total	\$2.700.200

Nota. Autoría propia

9.2 Recuperación de la Inversión.

El peso promedio de las plantas cosechadas fue de 200 gr como aparece en la Figura 57. Si se establece un precio de venta fijo por planta de \$2000 se obtienen los datos de la Tabla 16.

Tabla 16.

Recuperación de Inversión

Descripción	Costo mensual (pesos)
Costo agua	110,35
Costo energía	2.453
Nutriente	3.750
Semillas	2.500
Total costos	8.848,35
Venta de lechuga al mes (8 Kg)	80.000
Utilidad neta	71.151,65

Nota. Autoría propia

Tabla 17

Flujo de Caja Año

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Inversión inicial (\$)	2.700.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastos (\$)	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848	8.848
Venta (\$)	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
Utilidad (\$)	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152	71.152
Acumulada (\$)	71.152	142.304	213.456	284.608	355.760	426.912	498.064	569.216	640.368	711.520	782.672	853.824

Nota. Autoría propia

El flujo de caja se observa que en el primer año se tiene una utilidad de \$853.824

Tiempo de recuperación de la inversión (Ecuación 5).

$$T = \frac{\text{Inversión}}{\text{Utilidad}}, \quad (5)$$

$$T = \frac{\$2.700.200}{\$853.824}$$

$$T = 3.16 \text{ años}$$

Los cálculos y tablas anteriores muestran que el sistema genera una utilidad anual promedio de \$853.828 con una inversión total del sistema hidropónico de \$2.700.200, como se aprecia en la Tabla 18, y se recupera el costo de la inversión en 3.1 años aproximadamente. Se observa que el proyecto tendrá una rentabilidad a partir del segundo mes del tercer año. Si bien, este resultado no representa un proyecto altamente rentable, se propone un plan que reduzca ese lapso de 3.1 años hasta en un 51%. La idea consiste en aumentar la densidad de siembra del sistema de 40 a un total de 80 plantas simplemente añadiendo 4 filas de tubos a la estructura de las figuras 24 y 25. Esto duplicaría la cosecha aumentando las ganancias, aunque, por otra parte, se requerirá de más tubería sumando nuevos gastos. Estos nuevos costos se adicionan en la tabla 18.

Tabla 18.

Costo Total Nueva Inversión

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tubería PVC 3" 5 m	UN	2	\$27.000	\$54.000
Tapas tubos 3"	UN	10	\$1.500	\$15.000
Netpot 2"	UN	20	\$550	\$11.000
Tubería ½"	UN	2	\$3.000	\$6.000
Accesorio tubería codo ½"	UN	10	\$400	\$4.000
Tapón tubería ½"	UN	10	\$400	\$4.000
Inversión total del proyecto actual				\$2.700.200
costo total con la nueva inversión				\$2.794.200

Nota. Autoría propia

Ahora bien, como se observa la nueva inversión es de \$2.745.100 y la utilidad anual promedio es \$1.813.824. Si se aplica nuevamente la ecuación 5, el tiempo de recuperación de inversión es de 1.51 años lo que se traduce en una mejora del 51%.

Figura 57

200g de Lechuga Hidropónica



Nota. Autoría propia

10. Conclusiones

Se desarrolla el diseño e implementación de un proyecto tecnológica y económicamente factible, con el que se da solución satisfactoria a la problemática planteada, pues se reduce al mínimo el gasto de recursos como se evidencia en el análisis de la sección de consumo eléctrico y de agua del sistema del documento, lo cual se traduce en costos fijos más accesibles para el productor.

El uso del panel solar fue una decisión acertada pues supone tener un sistema autosostenible aportando el 77.08% de la energía diaria consumida (un total de 93 Wh/día), lo que brinda un ahorro energético quizá no considerable a corto plazo para un sistema pequeño en proporción, pero que a largo plazo sí puede suponer un ahorro importante para el productor. Si lo que se desea es reducir aún más los gastos eléctricos, se recomienda añadir otro panel solar para así satisfacer los requisitos de potencia de todo el sistema. En cuanto al ahorro de agua, su recirculación por el sistema produce un ahorro muy considerable, incluso si el sistema se hace mucho más grande. Cuando se realiza el cambio mensual del recurso hídrico, por lo general se utiliza agua lluvia, disminuyendo aún más los gastos.

El sistema de control permite tener los datos del cultivo, sincronizarlos y procesarlos mediante una plataforma web de comunicación IoT gracias a la implementación de está utilizando una Raspberry pi 4. La plataforma permitió mantener las condiciones controladas para las plantas, facilitando la tarea del productor, quien puede monitorear y hacer seguimiento a los datos obtenidos de los

sensores y controlar el sistema desde cualquier ubicación si así lo desea haciendo uso de internet.

El sistema desarrollado en este trabajo puede escalarse a cultivos mucho más grandes, para lo cual se recomienda el uso de equipos más robustos como una UPS de mayor potencia, aumento de la cantidad de paneles solares, un aireador y una bomba de agua de mayor capacidad. Lo anterior, si bien implica una considerable inversión inicial, a mediano y largo plazo se traducirá en grandes beneficios gracias a la eficiencia y autosostenibilidad del sistema.

11. Bibliografías

- Aguilar, Nahuel. (s.f.). *Estructura de los microprocesadores*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <https://sites.google.com/site/noafjb2017/microprocesadores-estructura/>
- Andres, R. (27 de Enero de 2018). *15 usos de la Raspberry que no sabias que podias darle*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <https://computerhoy.com/noticias/hardware/15-usos-raspberry-pi-que-no-sabias-que-podias-darle-74905>
- Arango, S. S. (14 de Agosto de 2020). *15 VENTAJAS DE LA HIDROPONÍA PARA ANIMARTE A CULTIVAR HOY MISMO*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://ecosiglos.com/15-ventajas-de-la-hidroponia/>
- Auto solar. (24 de Julio de 2018). *¿Qué es un panel solar?* Recuperado el 14 de mayo de 2021, de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-controlador-de-carga-necesito-para-mi-instalacion-solar>
- Autosolar. (19 de Mayo de 2015). *¿Qué es un panel solar?* Recuperado el 15 de Julio de 2020, de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-panel-solar#:~:text=Un%20panel%20solar%n>
- Barrio, G. (31 de enero de 2018). *Fundamentos de la filtración*. Recuperado el 14 de mayo de 2021, de <https://acuarema.com/filtro-acuario/>
- Basterrechea, M. (6 de Junio de 2014). *Hidroponia casera*. Recuperado el 6 de mayo de 2021, de <https://bit.ly/3epydXp>
- Behrentz Pfalz, M. C., & Zambrano Cortés, N. H. (2014). *Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables*. Recuperado el 07 de 10 de 2020, de <https://doi.org/10.23850/24220582.114>
- Caballero, D. C. (10 de Marzo de 2017). *Cómo usar un sensor de pH con Arduino*. Recuperado el 15 de Julio de 2020, de <https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>
- Centroaguas. (2021). *Tarifas de agua por metro cubico*. Recuperado el 14 de mayo de 2021, de http://www.centroaguas.com/documentos/tarifas_primer_semestre2021.pdf
- CETSA. (abril de 2021). *Tarifas Celsia*. Recuperado el 14 de mayo de 2021, de <https://www.celsia.com/wp-content/uploads/2021/04/tarifas-cetsa-abril-2021.pdf>
- CitySens. (s.f.). *Ventajas y desventajas de la hidroponía*. Recuperado el 12 de Julio de 2020, de <https://www.citysens.com/es/content/16-ventajas-desventajas-hidroponia>

- COMERCIALIZADORA HYDRO ENVIRONMENT S.A. (s.f.). *Hydro Environment*.
Obtenido de
https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=51
- datasheetpdf.com. (2014). *datasheetpdf*. Obtenido de
<https://datasheetpdf.com/pdf/792210/ABCPROYECTOS/DHT11/1>
- Diagrama de paneles fotovoltaicos aislados*. (s.f.). Obtenido de
<https://eliseosebastian.com/diagramas-paneles-fotovoltaicos-aislados/>
- Docooler. (s.f.). *Docooler Solar Charge Controller Solar Panel Battery Regulator Safe Protection 10A 12V/24V*. Recuperado el 23 de mayo de 2021, de
<https://www.docooler.com/p-h9194-1.html>
- Ecolinventos. (16 de Diciembre de 2020). *Las 5W del cultivo hidropónico*. Recuperado el 07 de Octubre de 2020, de <https://ecoinventos.com/las-5w-del-cultivo-hidropónico>
- Energizer. (s.f.). *EN500 Product datasheet*. Recuperado el 14 de mayo de 2021, de
<https://energizerpower.com/wp-content/uploads/2016/04/EN500-Specification-Sheet.compressed.pdf>
- Garcia, A. d. (2006). *Manual practico de la produccion de la riqueza*. Barcelona: Juan Carlos Martinez Coll.
- Hernandez, L. d. (s.f.). *DS18B20 sensor de temperatura para líquidos con Arduino*. Recuperado el 15 de Julio de 2020, de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ds18b20-sensor-temperatura-arduino/>
- Hidroponia Chile. (s.f.). *Hidroponía Chile Prepara Primer Invernadero con Energía Solar en el norte grande*. Recuperado el 20 de Enero de 2021, de
<http://www.hidroponiachile.cl/node/35>
- Hugo, E. Q. (2018). *Producción sistema de cultivo hidropónico automatizado con energía solar*. Recuperado el Enero de 15 de 2021, de
growthcenter.continental.edu.pe/project/xix-produccion-sistema-de-cultivo-hidropónico-automatizado-con-energía-solar/
- ideam. (s.f.). *Atlas*. Obtenido de <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- Ineldec. (s.f.). *De que estan hechos los paneles solares fotovoltaicos*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de <https://ineldec.com/de-que-estan-hechos-los-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Inge solar. (s.f.). *Panel 50-100w*. Recuperado el 14 de mayo de 2021, de
<https://ingesolar.com.co/gallery/panel50-100w.pdf>
- Ingeniería y construcciones S.A.S. (s.f.). *¿Qué es un controlador de carga y cuál es su función en un sistema solar fotovoltaico?* Recuperado el 14 de mayo de 2021, de

<https://www.hgingeneria.com.co/que-es-un-controlador-de-carga-y-cual-es-su-funcion-en-un-sistema-solar-fotovoltaico/>

- Ingenieros, a. &. (04 de abril de 2018). *¿Cómo funciona un tablero de Transferencia Automática?* Obtenido de <https://www.ac-cc.com/blog/como-funciona-un-tablero-de-transferencia-automatica#:~:text=La%20transferencia%20autom%C3%A1tica%20es%20un,planta%20el%C3%A9ctrica%20que%20se%20encienda>
- Investigacion y Ciencia. (11 de Julio de 2013). *Origen de la agricultura*. Recuperado el 12 de Julio de 2020, de <https://www.investigacionyciencia.es/noticias/origen-de-la-agricultura-11284>
- Khan Academy. (s.f.). *Volumen y área de la superficie de un cilindro*. Recuperado el 16 de Octubre de 2020, de <https://bit.ly/3ergEWK>
- La nación. (s.f.). *Estudiantes itapuenses producen 4.000 lechugas hidropónicas*. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de <https://www.lanacion.com.py/negocios/2017/09/18/estudiantes-itapuenses-producen-4-000-lechugas-hidroponicas>
- Last minute engineers. (s.f.). *How DHT11 DHT22 Sensors Work & Interface With Arduino*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <https://lastminuteengineers.com/dht11-dht22-arduino-tutorial/>
- Martínez et al., M. (2017). *La hora solar pico equivalente, definición e interpretación*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2020, de <https://bit.ly/33n4Cal>
- MENESES, L. P. (junio de 2017). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HIDRICA EN CULTIVO DE LECHUGA BATAVIA*. Recuperado el 13 de mayo de 2021, de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6225/MenesesLiscanoLeidyPaola2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz, L. (9 de Junio de 2019). *Distancias de siembra. Qué distancia dejar entre las plantas del huerto*. Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de <https://www.agrohuerto.com/distancias-de-siembra-plantas-del-huerto-separacion/>
- Naylamp mechatronics. (s.f.). *SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DHT22 (AM2302)*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- naylampmechatronics. (s.f.). *MÓDULO RELAY 4CH 5VDC*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/drivers/152-modulo-relay-4-canales-5vdc.html>

- Nicol, E. (18 de Agosto de 2015). *Huerta hidroponica autonoma alimentada con energia solar*. Recuperado el 19 de Enero de 2021, de <https://agriculturers.com/huerta-hidroponica-autonoma-alimentada-con-energia-solar>
- Pascual, A. (22 de Noviembre de 2013). *Dos millones de razones para saber qué es exactamente Raspberry Pi*. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de https://www.elconfidencial.com/tecnologia/2013-11-22/dos-millones-de-razones-para-saber-que-es-exactamente-raspberry-pi_56003/
- Puerto Rico Farm Credit. (s.f.). *Ventajas y Desventajas de los Hidropónicos*. Recuperado el 14 de septiembre de 2020, de <https://prfarmcredit.com/ventajas-y-desventajas-de-los-hidroponicos>
- Pure Water. (5 de Mayo de 2021). *Sistemas de desinfección de Agua mediante luz Ultra Violeta*. Recuperado el 4 de Mayo de 2021, de <https://bit.ly/33cqvsX>
- Redagícola. (Noviembre de 2017). *El avance de la automatización en la agricultura*. Recuperado el 7 de Octubre de 2020, de <https://www.redagricola.com/cl/el-avance-de-la-automatizacion-en-la-agricultura>
- Salinas, C. C. (1 de Enero de 2018). *repository.uniminuto.edu*. Recuperado el 21 de Enero de 2021, de <https://bit.ly/3ennvjS>
- Sampieri et al., R. H. (2010). *Metodología de la investigación* (Quinta ed.). (I. E. S.A., Ed.) Mexico DF: Mcgraw-Hill.
- Sanchez, R. A. (13 de octubre de 2019). *La pared viva: Importancia de la implementación hidropónica vertical*. Recuperado el 14 de mayo de 2021, de <https://rociagrobio11.blogspot.com/2019/>
- Sebastian, E. (9 de septiembre de 2018). *Diagramas de paneles fotovoltaicos aislados*. Recuperado el 13 de Mayo de 2021, de <https://eliseosebastian.com/diagramas-paneles-fotovoltaicos-aislados/>
- Sergio De Luz. (30 de julio de 2019). *redeszone.net*. Recuperado el 2020 de julio de 14, de Raspberry Pi 4: Análisis de este mini ordenador (versión 4GB de RAM): <https://www.redeszone.net/analisis/otros-dispositivos/raspberry-pi-4-analisis/>
- Social Energy. (9 de Julio de 2020). *¿Qué es y para qué sirve la energía solar?* Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de <https://www.socialenergy.es/blog/beneficio-energia-solar-ambiente/>
- Tolocka, E. (9 de Mayo de 2015). *Módulo de 4 relés para Arduino*. Recuperado el 2020 de Julio de 15, de <https://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>

tutiendaenergetica. (6 de Junio de 2017). *https://www.youtube.com*. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=3y3tMlzoQtU>

Velazco, R. (18 de Diciembre de 2020). *Analisis: Raspberry Pi 3 Modelo B+*. Recuperado el 6 de Mayo de 2021, de <https://hardzone.es/reviews/perifericos/analisis-raspberry-pi-3-modelo-b/>

Walco S.A. (18 de mayo de 2001). *La Solución Nutritiva, Nutrientes Comerciales, Formulas completas*. Recuperado el 6 de mayo de 2021, de <http://www.drcalderonlabs.com/Hidroponicos/Soluciones1.html>

12. Anexos

Figura 58

Especificaciones del Sensor

DHT11

- Alimentación de 3.3V a 5VDC
- Corriente máxima 2.5mA durante la conversión
- Lectura de humedad con un +/- 5% de precisión
- Lectura de temperatura con un +/- 2°C de precisión
- Capaz de medir humedad de 20% a 80%
- Capaz de medir temperatura de 0 a 50°C
- No más de 1 Hz en velocidad de muestreo (una vez cada segundo)
- Dimensiones: 15.5mm x 12mm x 5.5mm

Nota. Adaptado de sensor de humedad y temperatura DHT11 y DHT22 [Figura], por datasheetspd. (datasheetspdf.com, 2014)

Figura 59

Especificaciones Modulo Relé 4 Canales

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- N° de Relays (canales): **4 CH**
- Modelo Relay: SRD-05VDC-SL-C
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Para activar salida NO: 0 Voltios
- Entradas Optoacopladas
- Indicadores LED de activación

Nota. Adaptado de módulo relay 4ch 5vdc, [figura], por naylampmechatronics, s.f (naylampmechatronics)

Figura 60*Especificaciones de la Sonda*

Tipo de Electrodo	Rango de pH	Temperatura (°C)	Punto Cero (pH)	Tiempo de respuesta (min)	Ruido (mV)
65-1	0-14	0-80	7±1	<2	
BX-5	0-14	0-80	7X±11	<2	
E-201	0-14	0-80	7±0.5	<2	<0.5
E-201-C	0-14	0-80	7X±0.5	<2	<0.5
95-1	0-14	0-80	7X±0.5	<2	<0.5
E-900	0-14	0-80	7X±0.5	<2	<0.5

Nota. Adaptado de Especificaciones de sonda. [Figura], de David Cervantes Caballero. (2017), (<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-pH>)

Figura 61*Especificaciones del circuito*

Voltaje de alimentación	5 V
Corriente	5-10 mA
Consumo	≤ 0.5 W
Temperatura de trabajo	10-50 °C
LED Verde	Alimentación
LED Rojo	Límite de pH

Nota. Especificaciones del circuito. [Figura], David Cervantes Caballero, (2017), (<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-pH>)

Figura 62

Ficha técnica Panel solar 60W.

Photovoltaic Modules		
Module		
Encapsulation		
Maximum Power Pmax	W	60
Maximum Power Voltage (Vmp)	V	18.50
Maximum Power Current (Imp)	A	3.25
Open Circuit Voltage (Voc)	V	22.20
Short Circuit Current (Isc)	A	3.41
Cell Efficiency	%	16.18
Module Efficiency	%	14.40
Tolerance		0+3%
Max System Open Circuit Voltage		600V
Junction Box (protection degree)		≥IP67
Dimension		680*620*25mm
Weight		6kg
Operate Temperature Scope		-40/+85°C
Relative Humidity		0~100%
Frame Thinkness		25mm
Frame Colour		Gold/Brown/Black/Silver

Nota. Adaptado de Ficha técnica Panel solar monocristalino [Figura], por Ingesolar, s.f. (<https://ingesolar.com.co/gallery/panel50-100w.pdf>)

Figura 63

Pines de la Sonda

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

Nota. Adaptado de Pines. [Figura], de David Cervantes Caballero, (2017), (<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-pH>)

Figura 64

Ficha técnica Inversor 500W EN500

EN500

500W Power Inverter - Get power on the GO! Run your AC electrical devices with this inverter which plugs into your cigarette lighter or connects directly to a car battery to power laptops, cell phone chargers, small electronic devices and more. Plus, charge USB devices directly from the USB charging port at the same time. With this inverter, you will never be left without power when you need it!



Product Detail:

Designation:	500 Watt POWER INVERTER
Model:	EN500
Color:	Black
AC output voltage:	120VAC/60Hz
Continuous AC output power:	500W
Peak output power:	1000W
AC output wave form:	Modified sine wave
AC output frequency:	60 ± 3Hz
2 x USB DC output current:	2.1 Amp (Shared)
Typical Weight (lbs):	1.98 lbs
Dimensions (in):	2.64(H) x 9.06(L) x 5.39(W)

*Nota. Adaptado de Product datasheet. [Figura], por Energizer, s.f.,
(<https://energizerpower.com/wp-content/uploads/2016/04/EN500-Specification-Sheet.compressed.pdf>)*