



Trabajo de Diploma

Autor: Yasel Monier de Armas.

Tutor: MSc. David Díaz Martínez.

Santiago de Cuba
2017



UNIVERSIDAD
DE ORIENTE

Facultad de Ingeniería
Eléctrica

Departamento de Control Automático

Trabajo de Diploma

Título: Automatización de un Invernadero con Arduino.

Autor: Yasel Monier de Armas.

Tutor: MSc. David Díaz Martínez.

Santiago de Cuba
2017

Pensamiento

“Seamos realistas y hagamos lo imposible.”

Ernesto “Che” Guevara.

“He fallado más de 9.000 tiros en mi carrera. He perdido casi 300 partidos. 26 veces han confiado en mí para tomar el tiro que ganaba el partido y lo he fallado. He fracasado una y otra vez en mi vida y es por eso que tengo éxito”

Michael Jordan.

Dedicatoria.

Le dedico el presente trabajo a mi madre Ana Milagros de Armas Ferrera, a mi padre Gilberto Monier Tamayo y a mi hermana Rosana Isel Monier de Armas, que siempre han estado conmigo en todos los momentos de mi vida, en los buenos y pero especialmente en los malos. Nunca voy a sentirme más orgulloso que el día que coloque en sus manos mi título de ingeniero en automática. Gracias por ese voto de confianza que siempre han depositado en mí. Su amor y apoyo han sido incondicionales por lo que este momento sin duda es dedicado a ustedes.

Agradecimientos.

Son tantas las personas que de una forma u otra han influido en mi formación profesional que sería injusto omitir alguna de éstas. Expreso mi agradecimiento a:

- A mis padres que fueron los pilares fundamentales, los líderes y guías indiscutibles de todos mis logros y sacrificios, en todos los pasos dados a lo largo de mi vida y para los que vendrán en el futuro.
- A mi hermana Rosi y a mis primas Lisi y Arianne.
- A mis tías Alina, Ada y Georgina por la preocupación constante, el amor y los consejos.
- A mis abuelas Ana y Clotilde por todo el amor que me han brindado.
- A mi tutor MSc. David Díaz Martínez por los conocimientos brindados, su entrega, dedicación y por la confianza depositada.
- A mis excelentes profesores por su valiosa formación en el transcurso de la carrera.
- A mis amigos y compañeros de aula. En especial a Juan Carlos, Juan José, Rafael, Eliecer, Ernesto, Manuel, Pedro, Alejandro Kindelán, Iraelio por hacer que mi tránsito por la universidad sea uno de los momentos más especiales de mi vida.
- A mi amiga Madai por la eterna preocupación y apoyo incondicional.
- A los trabajadores de MegaPrint por su ayuda y dedicación.

A todos muchas gracias.

Resumen.

Un invernadero es una estructura dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima y con ello aumentar la productividad agrícola, sin embargo, a través del monitoreo y control en tiempo real de las condiciones climáticas en el interior de los invernaderos y los huertos caseros se provee a los cultivos las condiciones óptimas para su crecimiento, y se puede incrementar esta productividad aún más.

En este trabajo se plantea una solución innovadora basada en una plataforma de hardware y software de bajo coste para el monitoreo de variables climatológicas y la automatización de tareas dentro de invernaderos y huertos caseros. Se considera la construcción y adaptación de interfaces electrónicas para capturar los valores de los sensores y el desarrollo de software para la interpretación de los datos.

Todo el sistema está basado en la plataforma Arduino y además viene acompañado de una gama de sensores y actuadores compatibles, capaces de monitorear en tiempo real el comportamiento de las variables temperatura, humedad del aire, humedad de los suelos, luminosidad ambiente, etc., siendo a la vez almacenadas en bases de datos para su posterior análisis. Estas variables van a ser mostradas en una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) que será actualizada en tiempo real, lo que le permitirá al agricultor observar todos lo que está ocurriendo. También se diseñará e implementará un sistema de riego automatizado capaz de tomar decisiones en base a estas mediciones.

Abstract.

A greenhouse is a structure in which it is possible to obtain artificial microclimate conditions and thereby increase agricultural productivity, however, through real-time monitoring and control of climatic conditions inside greenhouses and orchards, the planting are provided with the optimum conditions of cultivation and growth and can increase this productivity even more.

This work presents an innovative solution based on a low cost hardware and software platform for monitoring climatological variables and the automation of tasks within greenhouses and home orchards. It is considered the construction and adaptation of electronic interfaces to capture the values of the sensors and the development of software for the interpretation of the data.

The entire system is based on the Arduino platform and also comes with a range of sensors and compatible actuators capable of monitoring in real time the behavior of temperature, air humidity, soil moisture, ambient light variables being stored in databases for later analysis. These variables will be displayed in a Human-Machine Interface (HMI) that will be updated in real time which will allow the farmer to observe all that is happening. An automated irrigation system capable of making decisions based on these measurements will also be designed and implemented.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 1: Estaciones Meteorológicas y Automatización de Invernaderos	8
Introducción.....	8
1.1. Estaciones meteorológicas.....	8
1.1.2 Representatividad de las estaciones meteorológicas.....	9
1.2 Automatización de Invernaderos.....	10
1.2.1 Parámetros para la construcción de un invernadero.....	11
1.2.2 Ventajas y desventajas de la producción bajo invernadero.....	12
1.2.3 Invernaderos convencionales.....	13
1.2.4 Control y monitorización de invernaderos:.....	14
1.2.5 Caracterización de los Cultivos:.....	16
1.2.5.1 Pepino.....	16
1.2.5.2 Lechuga.....	18
1.2.5.3 Tomate:.....	19
1.3. Plataforma Arduino	21
1.3.1 Descripción de la plataforma de Arduino.....	21
1.3.2 Ventajas del empleo de Arduino.....	21
1.3.3 Estructura del hardware de Arduino UNO.....	23
1.3.4 Estructura de hardware del Arduino MEGA.....	26
1.3.4 Lenguaje de programación de Arduino.....	28
1.3.5 Entorno de Programación de Arduino (IDE)	28
1.3.6 Aplicaciones de Arduino.....	29
Conclusiones parciales.....	30
2.1 Proyecto de modernización de casas de cultivo tapado en el país.....	31
2.2 Diseño y construcción de la maqueta.....	34
2.3. Instrumentación para la medición de las variables atmosféricas.....	36
2.3.1. Sensor de Humedad/Temperatura DHT11	36
2.3.2 Higrómetro FC-28.....	39
2.3.3 Sensor detector de lluvia MH-RD.....	40
2.3.4. Sensor de Luminosidad (Fotorresistencia KL-018).....	42
2.4. Reloj de Tiempo Real.....	42
2.5. Ventilación	44
2.6. Transceptores (Comunicación inalámbrica).....	45
2.7. Display LCD.....	48
2.8. Bomba de Riego.....	49
2.9. Relay para la conexión-desconexión de la bomba.....	50
2.10. Algoritmo de Control.....	51
2.11 Interfaz en LabWindow.....	53
2.12. Pruebas Experimentales.....	53
Valoración económica.....	55
Conclusiones Parciales:.....	56
CONCLUSIONES:.....	57
RECOMENDACIONES:	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN.

La agricultura depende de una multiplicidad de factores en los que el hombre no tiene influencia sustancial alguna. Esto afecta de manera directa a los diferentes tipos de cultivos. Desde 1850 se descubrió que el cultivo en invernaderos con calefacción incrementaba el rendimiento; las plantas crecían más rápidamente cuando se les daba más luz y cuando el entorno cálido era constante. Así surge la necesidad y la idea de un invernadero en Holanda para el cultivo de uvas. En España, debido a las condiciones climáticas de la costa mediterránea, se desarrolló a finales de la década de los 70 una proliferación del cultivo en invernaderos. En las décadas siguientes, la agricultura afronta una demanda creciente en alimentos y materias primas básicas y a la necesidad de utilizar los recursos sin causar degradación o agotamiento del ambiente.

América Latina es una de las regiones del mundo que mayor cantidad de alimentos produce. Sin embargo, gran parte de su población padece de hambre, con un estimado de 37 millones de personas para este año 2015. En esta dirección, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se plantea diversas estrategias para dotar a los gobiernos de los recursos y mecanismos que les permita garantizar una seguridad alimentaria a su población. Dentro de las estrategias impulsadas por los gobiernos, los invernaderos y huertos caseros, también llamados familiares o artesanales se han convertido en un recurso clave en la producción de alimentos para el sustento de las familias en áreas rurales y áreas urbanas.

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada y cubierta, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas y fuera de temporada. Los invernaderos y los huertos caseros son estructuras construidas principalmente para el cultivo de hortalizas, aunque también se utilizan para el cultivo de plantas ornamentales y medicinales para el abastecimiento familiar o comunitario. Ambas estructuras apuntan a un objetivo común: asegurar una disponibilidad de alimentos de forma continua durante todo el año. Además, comparten características similares relacionadas a las condiciones climáticas del entorno, y mecanismos

rudimentarios de riego y ventilación, que pueden ser objetos de algún tipo de control.

El invernadero, así como otros sistemas para la protección de cultivos, permite influir sobre los factores climáticos que intervienen en el desarrollo del cultivo. Un desarrollo óptimo y equilibrado de las plantas, depende de la forma en la cual factores como temperatura, humedad e iluminación inciden de forma favorable sobre ello. Las cubiertas utilizadas tienen un cierto grado de sombra, lo que permite el paso de la luz e impide la salida del calor, lo cual se conoce como efecto invernadero, de ahí el nombre.

Se tiene muchas ventajas al tener cultivos bajo invernadero, esto evita los cambios bruscos del clima como la variación de temperatura, la escasez o exceso de humedad, se puede producir cultivos en las épocas del año más difíciles teniendo cosechas fuera de temporada, sustituyendo el clima de otras regiones y alargando el ciclo del cultivo. Además, el control de un microclima dentro del entorno apunta hacia una optimización en el gasto de agua, insumos, un control eficiente de plagas y enfermedades, un aumento en la producción y en la calidad de los productos.

El aumento en la construcción de invernadero y huertos caseros se ha debido en los últimos años a las irregularidades climáticas en el cultivo en suelo abierto, el incremento del precio de los productos por los intermediarios, la necesidad de consumir alimentos frescos y libres de contaminación, y la posibilidad de cultivar productos en cualquier época del año.

Los avances alcanzados en el desarrollo de microcontroladores han permitido integrarlos en todo tipo de sistemas de control, incluido el ambiental. Éste se encarga de manejar de forma adecuada todos aquellos sistemas que puedan ser instalados en el invernadero: calefacción, humidificador y ventilación para mantener los niveles adecuados de temperatura, humedad relativa y calidad del aire y con ello crearse un microclima que logre conseguir la mejor respuesta del cultivo.

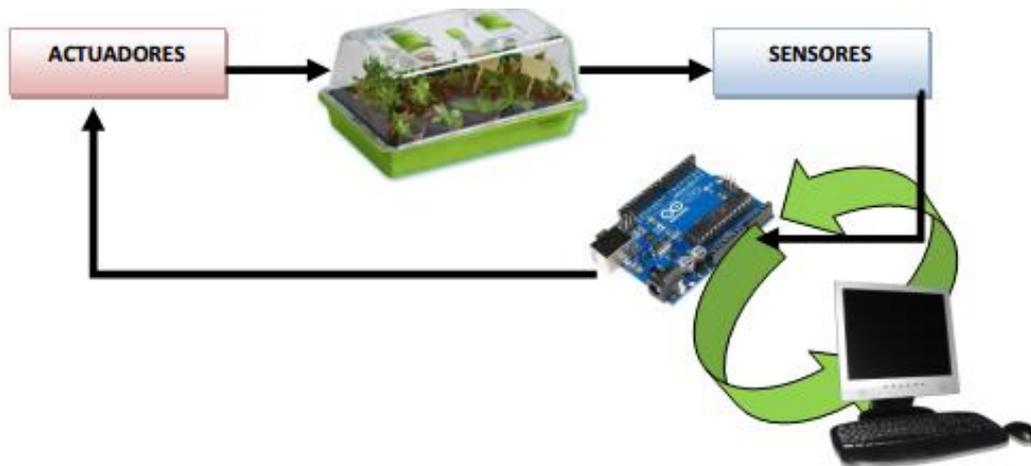


Figura 1: Sistema de Control y Monitorización de Invernaderos.

Otra tarea importante, además de establecer la relación entre entradas y salidas, es la de otorgar información al usuario sobre el estado de los parámetros del invernadero. Este proceso es de suma importancia, pues permite un vínculo entre el usuario y el sistema, de manera que el individuo pueda realizar una labor de supervisión y, en caso de requerirse, de actuación sobre el invernadero.

Ya son varias las empresas que brindan sus servicios al consumidor en materia de automatización de invernaderos, incorporando los elementos necesarios para el control y gestión de los diferentes elementos y equipos que regulan el ambiente del invernadero. Los sistemas de calefacción por aire y agua, contribuyen a proporcionar una temperatura adecuada a los cultivos de alto requerimiento, sumado a un control de ventilación y renovación de aire, que ofrece un equilibrio y calidad del ambiente en el interior, necesario para la correcta evolución de la plantación y terminando por equipos de monitorización y supervisión más complejos, diseñados para cubrir los requerimientos de los invernaderos más sofisticados. Estos equipos permiten controlar, de manera inteligente y coordinada, parámetros vitales para el cultivo. Sumado a un potente sistema de alarmas que controlan en todo momento el estado del invernadero: temperatura, humedad del aire, nivel de CO_2 , fallos de calefacción, sensores, suministro eléctrico, fallo de estación meteorológica. Estos sistemas pueden configurarse en base a las necesidades del cliente, modificando parámetros de trabajo desde el terminal en la plantación. La evolución en el tiempo de estos parámetros queda registrada por programa y se puede visualizar de forma gráfica combinando

aquellos parámetros que resulten útiles en cada caso en los gráficos para poder planificar las estrategias de control climático.

Sin embargo, estos sistemas comerciales de control y supervisión de ambientes controlados vienen con unos precios elevados que superan los miles de dólares de inversión. Esto se traduce en la compra de tecnología extranjera cuyo costo es elevado para el promedio de los productores. Nuestro país no está exento de esta situación, sin embargo, si bien es cierto que la gran mayoría de los invernaderos cubanos carecen de sistemas de control automático, también es cierto que a nivel gubernamental se están haciendo grandes esfuerzos para aumentar paulatinamente el nivel de automatización en los invernaderos por los beneficios que esto representa en el sistema de producción. A partir de los Lineamientos del Partido y la orientación por parte del Ministerio MINDUS del reordenamiento de la industria, se orientó a la empresa de automatización CEDAI la tarea de rehabilitar los Sistemas Automáticos de las Casas de Cultivos Protegidos existentes en el país a un ritmo de 20 módulos anuales. Estas casas, producen fundamentalmente verduras como tomate, pepino, ají pimiento, lechuga, etc., y la producción es destinada fundamentalmente a las cadenas hoteleras, aunque no satisface toda la demanda. Los niveles de productividad no son los más adecuados al carecer de sistemas automáticos que garanticen un riego y fertilización eficiente. No obstante, el equipamiento propuesto es a base de Automatas programables y sensores-actuadores compatibles de un alto valor en el mercado internacional. Es precisamente el precio de los equipos lo que frena el avance de este proceso. Frente a esta situación, se hace indispensable dotar a los productores en zonas rurales y urbanas con tecnologías de bajo costo que automaticen tareas rutinarias dentro de invernaderos y huertos caseros.

Por lo que se plantea como **problema de la investigación**: la necesidad de introducir un sistema de medición y control de bajo coste para incrementar la productividad en cultivos invernaderos en el territorio oriental cubano.

El **objeto de la investigación** lo conforman los invernaderos y casas de cultivo de la provincia Santiago.

El **objetivo** radica en elaborar un sistema basado en la plataforma Arduino para el monitoreo de algunas variables ambientales que sea capaz de garantizar condiciones adecuadas de cultivo en invernaderos.

Se define como **campo de acción de la investigación** la automatización de invernaderos usando la plataforma Arduino.

Luego se plantea la siguiente **hipótesis** que si se diseña e implementa la automatización del funcionamiento de un invernadero que garantice condiciones adecuadas para determinados cultivos se estaría abriendo el camino en el país a nuevos y actuales métodos de agricultura que incrementan la producción y calidad de los productos alimenticios.

Para llevar a cabo la realización exitosa del objetivo de la investigación se proponen las siguientes Tareas de la investigación:

- 1- Diagnosticar y fundamentar el problema de la insuficiente experiencia previa en el país de los métodos correspondientes a la medición y control de parámetros ambientales en invernaderos.
- 2- Caracterizar desde el punto de vista gnoseológico, histórico y en la actualidad los aspectos teóricos referidos a las mini-estaciones meteorológicas que midan variables atmosféricas que puedan ser usadas con fines agrícolas.
- 3- Elección de las variables meteorológicas principales a ser tomadas en cuenta y selección de la instrumentación adecuada para llevar a cabo las mediciones.
- 4- Implementación de un sistema de medición y control basado en la plataforma Arduino que garantice las condiciones adecuadas para un buen cultivo.
- 5- Implementación de la comunicación inalámbrica entre la instrumentación de campo y una pequeña sala de supervisión de los datos.

- 6- Construcción de una maqueta física donde se compruebe el funcionamiento y desempeño de sistema a largo plazo.

Métodos y técnicas empleados en la investigación:

1. Análisis de fuentes documentales.
2. Técnicas y métodos empíricos: Observación, encuesta y entrevista.
3. Método histórico lógico.
4. Método de análisis y síntesis.
5. Métodos experimentales: Programación

Significación Práctica.

Esta investigación pretende aportar al sector agroindustrial cubano, un sistema de monitoreo y control para invernaderos y cultivos tapados basado en hardware y software libre. La misma permite realizar en tiempo real una serie de mediciones de variables climatológicas como son la temperatura, la humedad del aire, la humedad del suelo y la luminosidad, además de guardar estas en registros para su análisis posterior. También se cuenta con varias tareas automatizadas como son un sistema de riego y el control de la temperatura. Mediante estas técnicas se puede optimizar el uso de insumos dígase fertilizantes y abonos naturales, promover la estabilidad en la producción, maximizar el retorno económico ya que se necesita menos mano de obra a la hora de realizar el trabajo, el ahorro del agua que contribuye directamente a la conservación ambiental, y la calidad superior de la cosecha convierten a la agricultura en ambiente controlado en unas de las técnicas más utilizadas y eficientes.

Organización del trabajo:

La presente investigación se encuentra organizada de la siguiente forma: una introducción general, dos capítulos, conclusiones generales, recomendaciones, bibliografía y 7 anexos.

En el **Capítulo 1** se presenta el estudio teórico del presente trabajo de diploma. Para ello se exponen las generalidades de las estaciones meteorológicas y la automatización de invernaderos.

En el **Capítulo 2** se exponen las características específicas del sistema desarrollado, los sensores y actuadores seleccionados para su implementación, la comunicación inalámbrica, el interfaz HMI desarrollado para el monitoreo, facilidades que ofrece y su implementación en una maqueta física .

Capítulo 1: Estaciones Meteorológicas y Automatización de Invernaderos

Introducción

En el presente capítulo se realiza un breve estudio sobre las estaciones meteorológicas, la automatización de invernaderos, haciendo énfasis en el monitoreo y control de los mismos. También se expresa las ventajas y desventajas de la producción bajo invernadero. Además se detallan de la plataforma Arduino las principales características como son hardware, software, aplicaciones, funciones principales, y módulos que poseen. Por último, se estudia el comportamiento de los parámetros temperatura, humedad, terreno, etc. en el cultivo de la lechuga, pepino y tomate.

1.1. Estaciones meteorológicas.

Una estación meteorológica es el lugar donde se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico. A continuación, se detalla una clasificación de las características de una estación meteorológica, siguiendo las normas técnicas:

- Estación pluviométrica: Es la estación meteorológica que tiene un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos mediciones realizadas consecutivas.
- Estación pluviográfica: Es cuando la estación meteorológica puede realizar de forma continua y mecánica un registro de las precipitaciones, por lo que nos permite conocer la cantidad, intensidad, duración y período en que ha ocurrido la lluvia.
- Estación climatológica principal: Es aquella estación meteorológica que esta provista para realizar observaciones del tiempo atmosférico actual, cantidad, visibilidad, precipitaciones, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, evaporación y otros fenómenos especiales. Normalmente se realizan unas tres mediciones diarias.

- Estación climatológica ordinaria: Esta estación meteorológica tiene que estar provista obligatoriamente de psicrómetro, de un pluviómetro y un pluviógrafo, para así poder medir las precipitaciones y la temperatura de manera instantánea.

- Estación sinóptica principal: Este tipo de estación meteorológica realiza observaciones de los principales elementos meteorológicos en horas convenida internacionalmente. Los datos se toman horariamente y corresponden a nubosidad, dirección y velocidad de los vientos, presión atmosférica, temperatura del aire, tipo y altura de las nubes, visibilidad, fenómenos especiales, características de humedad, precipitaciones, temperaturas extremas, capas significativas de las nubes, recorrido del viento y secuencia de los fenómenos atmosféricos. Esta información se codifica y se intercambia a través de los centros mundiales con el fin de alimentar los modelos globales y locales de pronóstico y para el servicio de la aviación.

- Estación sinóptica suplementaria: Al igual que en la estación meteorológica anterior, las observaciones se realizan a horas convenidas internacionalmente y los datos corresponden comúnmente a la visibilidad, fenómenos especiales, tiempo atmosférico, nubosidad, estado del suelo, precipitaciones, temperatura y humedad del aire, viento.

- Estación agrometeorológica: En esta estación meteorológica se realizan mediciones y observaciones meteorológicas y biológicas, incluyendo fenológicas y otro tipo de observaciones que puedan ayudar a la determinación de las relaciones entre el tiempo y el clima, por una parte y la vida de las plantas y los animales, por la otra. Incluye el mismo programa de observaciones de la estación climatológica principal, más registros de temperatura a varias profundidades (hasta un metro) y en la capa cercana al suelo (0, 10 y 20 cm sobre el suelo) [7,10,18].

1.1.2 Representatividad de las estaciones meteorológicas.

La representatividad de una observación se define como el grado de exactitud necesaria para describir el valor de la variable para un fin específico. Por lo tanto, no existe un valor fijo en cuanto a la calidad de cualquier observación, pero es el

resultado del instrumental instalado, el intervalo de tiempo de las medidas y la exposición en función de los requerimientos de una aplicación específica.

En particular, las distintas aplicaciones tienen su escala espacial y temporal definida para realizar sus promedios, para definir la densidad de la red de observaciones necesaria respecto a la resolución del fenómeno que se quiere estudiar. Las escalas de pronóstico están estrechamente relacionadas a la escala temporal del fenómeno, por ejemplo, para un pronóstico del tiempo a muy corto plazo se requiere observaciones más frecuentes provenientes de una densa red de observaciones sobre un área limitada para poder detectar cualquier fenómeno de pequeña escala y su rápida evolución.

Recordando las escalas meteorológicas horizontales, las podemos clasificar como:

- a) Microescala: Menor a 100 m: por ejemplo aplicación en agrometeorología: evaporación.
- b) Escala Local: Entre 100 m y 3 km: contaminación atmosférica, tornados, etc.
- c) Mesoescala: De 3 a 100 Km: tormentas, brisa de mar y tierra, etc.
- d) Escala Sinóptica: De 100 a 3000 km: frentes, ciclones, clústeres nubosos.
- e) Escala planetaria: Mayor a 3000 km: ondas largas en altura.

Los intervalos temporales entre las mediciones dependen y varían según la aplicación, a modo de ejemplo serían, por ejemplo minutos para la aviación, horas para agrometeorología y días para descripciones climáticas [18].

1.2 Automatización de Invernaderos.

También conocido como cultivo protegido, un invernadero es un sistema agrícola especializado en el cual se lleva a cabo un cierto control del medio climático alterando sus condiciones (suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad y composición atmosférica). Mediante estas técnicas de protección se cultivan plantas modificando su entorno natural para prolongar el periodo de recolección, alterar los ciclos convencionales, aumentar los rendimientos y mejorar su calidad, estabilizar las producciones y disponer de productos cuando la producción al aire libre se encuentra limitada.

El objetivo del cultivo protegido es obtener producciones de alto valor añadido (hortalizas, frutas, flores, ornamentales y plantas de vivero). El factor determinante más relevante de la actividad productiva hortícola es el clima. Entre las más importantes limitaciones para la producción hortícola cabe citar la falta de radiación solar, la temperatura insuficiente o excesiva, el exceso o falta de humedad, las deficiencias de nutrientes, la presencia de malas hierbas, el exceso de viento y el inadecuado contenido de dióxido de carbono (o anhídrido carbónico) del aire. La mayor parte de las limitaciones citadas son factores climáticos o directamente relacionados con el clima, que pueden alterarse mediante el cultivo protegido [5].

1.2.1 Parámetros para la construcción de un invernadero.

Para la elaboración de un invernadero se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. **Elección del modelo del invernadero:** en la forma y modelo del invernadero se deben tener en cuenta las condiciones económicas de cada productor, siempre y cuando la estructura cumpla con los requerimientos apropiados para el desarrollo del cultivo, sea funcional y de fácil operación, permita el cultivo de otras especies, sea lo suficientemente fuerte como para soportar condiciones climáticas extremas y el peso de las plantas y de los sistemas internos, y tenga una duración prolongada y una cobertura fácil de cambiar y de fácil mantenimiento.
2. **Orientación:** La orientación del invernadero es otro factor que interviene directamente en la captación de la radiación y la cantidad de sombra que la misma estructura del invernadero provoca, por lo que es importante que la estructura este orientada de norte a sur con una ligera inclinación hacia el noreste, de tal modo que los rayos del sol siempre lleguen a la cubierta plástica de forma perpendicular. También es fundamental que la cubierta del invernadero permita el paso de por lo menos el 70% de radiación solar; de lo contrario la radiación fotosintéticamente activa (PAR) disminuye considerablemente, creando problemas de elongación de entrenudos, follaje muy abundante y disminución de la producción. Con menor cantidad de radiación solar, las plantas y los frutos también se hacen más sensibles

al ataque de plagas y enfermedades, pero además disminuye la transpiración y en consecuencia se provoca desnutrición en la planta.

3. **Invernadero a dos aguas con diente de sierra:** está formado por una nave a dos aguas en que uno de los planos inclinados del techado tiene distinta inclinación y en vez de formar la unión de las dos cubiertas queda como un diente de sierra. La ventilación de estos invernaderos, siempre que las dimensiones no sean exageradas, es excelente, ya que a la ventilación normal de las paredes laterales se une otra central, formada por los huecos que forman cada uno de los dientes de sierra.
4. **Radiación Solar:** la radiación que proviene directamente del sol se denomina radiación directa; con este tipo de radiación la geometría de la cubierta y la orientación del invernadero determinarán la transmisibilidad global del invernadero. Cuando la radiación solar atraviesa la cubierta del invernadero se modifica la proporción entre radiación directa y difusa, dependiendo de los materiales con los que se elabora. La radiación difusa es la que toma diferentes direcciones al haber sido reflejada, desviada o dispersa por dicha cubierta. En este caso la forma de la cubierta así como la forma del invernadero tendrán poca importancia. Las cubiertas con difusores de luz crean condiciones similares a cuando se presenta un día nublado, condición que es favorable para el cultivo ya que disminuye las sombras en el interior del invernadero. Un aspecto importante a destacar es el uso de las cubiertas en invernadero, independientemente del color del pigmento de las cubiertas, estas deben tener aditivos difusores de luz para lograr menor sombra dentro del cultivo al paso de la radiación difusa; los pigmentos blancos de las cubiertas plásticas tienen mayor cantidad de aditivos difusores que los pigmentos verdes [18].

1.2.2 Ventajas y desventajas de la producción bajo invernadero.

El producir un cultivo bajo un invernadero tiene las siguientes ventajas y desventajas comparadas con los que no lo hacen:

Ventajas:

- ❖ Protección contra condiciones climáticas extremas.

- ❖ Control sobre otros factores climáticos.
- ❖ Obtención de cosechas fuera de época.
- ❖ Mejor calidad de la cosecha.
- ❖ Preservación de la estructura del suelo.
- ❖ Siembra de materiales seleccionados.
- ❖ Aumento considerable de la producción.
- ❖ Ahorro en costos de producción.
- ❖ Disminución en la utilización de plaguicidas.
- ❖ Aprovechamiento más eficiente del área de cultivo.

Desventajas:

- ❖ Alta inversión inicial.
- ❖ Requiere personal especializado.
- ❖ Supervisión permanente.

1.2.3 Invernaderos convencionales.

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada y cubierta, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas y fuera de temporada. La idea y la necesidad de este sistema se remontan a 1850, donde la horticultura neerlandesa comenzó a utilizarlos para el cultivo de uvas. Se descubrió que el cultivo en invernaderos con calefacción y con el más alto nivel de cristal incrementaba el rendimiento. Las plantas crecían más rápidamente cuando se les daba más luz y cuando el entorno cálido era constante. Esto significa que, si no hubiera invernaderos, en los Países Bajos no se podrían explotar plantaciones solamente cultivables en países cálidos.

Las tormentas de 1972 y 1973 fueron la razón de llevar a cabo investigaciones científicas técnicas y sistemáticas en la construcción de invernaderos. Conjuntamente con pioneros de la industria y comercio, se redactó la primera normativa para la construcción de invernaderos neerlandesa, NEN 3859. En España, debido a las condiciones climáticas de la costa mediterránea, se desarrolló a finales de la década de los 70 una proliferación del cultivo en invernaderos, siendo las provincias de Alicante, Murcia, Almería y Granada las

principales áreas de proliferación. Se notó un impacto mayor en la costa almeriense, donde casi toda su superficie de costa está cubierta por el conocido como "mar de plástico". El clima terrestre es caótico y complejo, lo que se debe a una multiplicidad de factores en los que el hombre no tiene influencia sustancial alguna. Esto afecta de manera directa a los diferentes tipos de cultivos.

En las décadas siguientes, la agricultura deberá afrontar, por una parte, una demanda creciente en alimentos y materias primas básicas, y a la necesidad de utilizar los recursos sin causar degradación o agotamiento del ambiente.

Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final. En los últimos años son muchos los agricultores que han iniciado la instalación de artilugios que permiten la automatización de la apertura de las ventilaciones, radiómetros que indican el grado de luminosidad en el interior del invernadero, instalación de equipos de calefacción, etc. [1,7].

1.2.4 Control y monitorización de invernaderos.

Durante la década de los 70's se comienza a desarrollar un elemento fundamental en la rama de la electrónica y el control, el microcontrolador. Un elemento formado por un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria, diseñado para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular.

Desde su origen, se han perfeccionado y mejorado los distintos tipos de micro controladores en el mercado. Este potencial desarrollado durante estos últimos años ha facilitado la integración de microcontroladores en todo tipo de sistemas de control, de forma que se pueda realizar una regulación del sistema por un módico precio y una gran fiabilidad y precisión. Jugando un papel fundamental como cerebro y controlador de señales en cualquier sistema de lazo cerrado, el microcontrolador permite recibir señales de entrada (sensores), interpretarlas, y tomar decisiones en sus salidas (actuadores). Este elemento es el pilar básico en el control ambiental, basado en manejar de forma adecuada todos aquellos

sistemas instalados en el invernadero: sistema de calefacción, sistema humidificador y de ventilación, para mantener los niveles adecuados de temperatura, humedad relativa y calidad del aire, y con ello conseguir la mejor respuesta del cultivo y por tanto, mejoras en el rendimiento, precocidad, calidad del producto y calidad del cultivo. El usuario introduce las condiciones ambientales deseadas y el microcontrolador actúa sobre sus salidas para conseguirlas, corrigiendo sus decisiones gracias a la labor de los sensores, los cuales permiten cerrar el lazo de control. De esta forma, puede crearse un microclima con unas condiciones determinadas de temperatura, humedad y calidad de aire en el invernadero. Otra tarea importante que ocupa el controlador, además de establecer la relación entre entradas y salidas, es la de otorgar información al usuario sobre el estado de sus variables. La monitorización de variables permite una ventana de visualización al operario sobre la evolución y el estado de los parámetros del invernadero. Este proceso es de suma importancia, pues permite un vínculo entre el usuario y el sistema, de manera que el individuo pueda realizar una labor de supervisión y, en caso de requerirse, de actuación sobre el invernadero. Mediante un sistema de adquisición de datos, un equipo informático obtiene información sobre el estado de las variables del sistema, comunicándose con el microcontrolador. Una correcta representación y una interfaz clara proporcionan una herramienta fundamental y determinante al usuario, el cual puede conocer el estado del sistema en todo momento.

Se puede encontrar extensa documentación sobre invernaderos automatizados, desarrollados desde la primera década del siglo XXI hasta el momento actual. Ya son varias las empresas que brindan sus servicios al consumidor en materia de automatizar invernaderos, incorporando centralitas en los cuadros de control (con sus diferentes sondas de medición disponibles) necesarias para el control y gestión de los diferentes elementos y equipos que regulan el ambiente del invernadero. En lo referente a la actuación sobre los parámetros climáticos, cuentan con la instalación de pantallas térmicas, enrollamientos laterales, etc. Las cuales utilizan el sistema de tracción accionado por cremalleras, el cual puede motorizarse y automatizarse mediante un temporizador horario digital o mediante una sonda de radiación/iluminación (watts/m² o Lux). Los sistemas de calefacción por aire y agua, contribuyen a proporcionar una temperatura adecuada a los

cultivos de alto requerimiento. Sumado a un control de ventilación y renovación de aire, que ofrece un equilibrio y calidad del ambiente en el interior, necesario para la correcta evolución de la plantación. Terminando por equipos de monitorización y supervisión más complejos, diseñados para cubrir los requerimientos de los invernaderos más sofisticados. Estos equipos permiten controlar, de manera inteligente y coordinada, parámetros vitales para el cultivo. Sumado a un potente sistema de alarmas que controlan en todo momento el estado del invernadero: temperatura, humedad del aire, nivel de CO_2 , fallos de calefacción, sensores, suministro eléctrico, fallo de estación meteorológica. Todas estas alarmas se pueden enviar vía SMS, para mantener al usuario en todo momento informado. Estos sistemas pueden configurarse en base a las necesidades del cliente, modificando parámetros de trabajo desde el terminal en la plantación. La evolución en el tiempo de estos parámetros queda registrada por programa y se puede visualizar de forma gráfica, combinando a voluntad aquellos parámetros que resulten útiles en cada caso en los gráficos para poder planificar las estrategias de control climático [1,5].

1.2.5 Caracterización de los Cultivos.

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación de uno de estos incide sobre el resto. En este epígrafe se realiza la caracterización de los cultivos pepino, lechuga y tomate en cuanto a los parámetros temperatura, humedad relativa, luminosidad, suelo, riego, etc.

1.2.5.1 Pepino.

-Temperatura: Es menos exigente en calor que el melón, pero más que el calabacín. Las temperaturas que durante el día oscilen entre 20 °C y 30 °C apenas tienen incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25 °C, mayor es la producción precoz. Por encima de los 30 °C se observan desequilibrios en las plantas que afectan directamente a los procesos de fotosíntesis y respiración, y temperaturas nocturnas iguales o inferiores a 17 °C ocasionan malformaciones en hojas y frutos. El umbral mínimo

crítico nocturno es de 12 °C y a 1 °C se produce la helada de la planta. El empleo de dobles cubiertas en invernaderos tipo parral supone un sistema útil para aumentar la temperatura y la producción del pepino.

-Humedad Relativa: Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70 % y durante la noche del 70-90 %. Sin embargo, los excesos de humedad durante el día pueden reducir la producción, al disminuir la transpiración y en consecuencia la fotosíntesis, aunque esta situación no es frecuente. Para humedad superior al 90 % y con atmósfera saturada de vapor de agua, las condensaciones sobre el cultivo o el goteo procedente de la cubierta, pueden originar enfermedades fúngicas. Además un cultivo mojado por la mañana empieza a trabajar más tarde, ya que la primera energía disponible deberá cederla a las hojas para poder evaporar el agua de su superficie.

-Luminosidad: El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz), aunque también soporta elevadas intensidades luminosas y a mayor cantidad de radiación solar, mayor es la producción.

-Suelo: El pepino puede cultivarse en cualquier tipo de suelo de estructura suelta, bien drenado y con suficiente materia orgánica. Es una planta medianamente tolerante a la salinidad, de forma que si la concentración de sales en el suelo es demasiado elevada las plantas absorben con dificultad el agua de riego, el crecimiento es más lento, el tallo se debilita, las hojas son más pequeñas y de color oscuro y los frutos obtenidos serán torcidos. Si la concentración de sales es demasiado baja el resultado se invertirá, dando plantas más frondosas, que presentan mayor sensibilidad a diversas enfermedades. El pH óptimo oscila entre 5,5 y 7.

-Fertilización carbónica: La aportación de CO_2 permite compensar el consumo de las plantas y garantiza el mantenimiento de una concentración superior a la media en la atmósfera del invernadero; así la fotosíntesis se estimula y se acelera el crecimiento de las plantas. Para valorar las necesidades de CO_2 de los cultivos en invernadero se necesita realizar, en los diversos periodos del año, un balance de

las pérdidas derivadas de la absorción por parte de las plantas, de las renovaciones de aire hechas en el invernadero y las aportaciones proporcionadas por el suelo a la atmósfera del mismo. Del enriquecimiento en CO_2 del invernadero depende la calidad, la productividad y la precocidad de los cultivos. Hay que tener presente que un exceso de CO_2 produce daños debidos al cierre de los estomas, que cesan la fotosíntesis y pueden originar quemaduras. Los aparatos más utilizados en la fertilización carbónica son los quemadores de gas propano y los de distribución de CO_2 . En el cultivo del pepino las cantidades óptimas de CO_2 son de 500-900 ppm (partes por millón) [16].

1.2.5.2 Lechuga.

-Temperatura: La temperatura óptima de germinación oscila en un rango de 18 - 20 °C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14 - 18 °C por el día y 5-8 °C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 12 °C por el día y 3-5 °C por la noche. Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, ya que como temperatura máxima puede soportar hasta los 30 °C y como mínima de hasta -6 °C. Cuando la lechuga soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia.

-Humedad relativa: El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60-80 %, aunque en determinados momentos agradece menos del 60 %. Los problemas que presenta este cultivo en invernadero es que incrementa la humedad ambiental.

-Suelo: Los suelos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6,7 y 7,4. En suelos húmiferos, la lechuga vegeta bien, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar. Este cultivo, en ningún caso admite la sequía, aunque la superficie del suelo es conveniente que esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello.

-En cultivos de primavera, se recomiendan suelos arenosos, pues se calientan más rápidamente y permiten cosechas más tempranas.

-En cultivos de otoño, se recomiendan los suelos francos, ya que se enfrían más despacio que los suelos arenosos.

-En cultivos de verano, es preferible los suelos ricos en materia orgánica, pues hay un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y el crecimiento de las plantas es más rápido.

-Riego: Los mejores sistemas de riego, que actualmente se están utilizando para el cultivo de la lechuga son, el riego por goteo (cuando se cultiva en invernadero), y las cintas de exudación (cuando el cultivo se realiza al aire libre). Existen otras maneras de regar la lechuga como el riego por gravedad y el riego por aspersión, pero cada vez están más en recesión, aunque el riego por surcos permite incrementar el nitrógeno en un 20 %. Los riegos se darán de manera frecuente y con poca cantidad de agua, procurando que el suelo quede aparentemente seco en la parte superficial. Se recomienda el riego por aspersión en los primeros días post-trasplante, para conseguir que las plantas agarren bien [17].

1.2.5.3 Tomate.

Hoy en día puede verse cultivado en cualquier parte (geográficamente). Un huerto veraniego casi siempre está constituido por el cultivo del tomate, entre otros. No sólo el huerto clásico situado en la tierra, si no el huerto en macetas situado en la terraza, balcón o dentro de casa, y las mesas de cultivo.

-Temperatura: Es menos exigente en temperatura que la berenjena y el pimiento. La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30 °C durante el día y entre 1 y 17 °C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35 °C afectan la fructificación por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15 °C también originan problemas en el desarrollo de la planta. A temperaturas superiores a los 25 °C e inferiores a 12 °C la fecundación es defectuosa o nula. La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración, de forma que valores cercanos a los 10 °C así como superiores a los 30 °C originan tonalidades amarillentas. No obstante, los valores

de temperatura descritos son meramente indicativos, debiendo tener en cuenta las interacciones de la temperatura con el resto de los parámetros climáticos.

-Humedad: La humedad relativa óptima oscila entre un 60-80 %. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico. También una humedad relativa baja dificulta la fijación del polen al estigma de la flor.

-Luminosidad: Valores reducidos pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta. En los momentos críticos durante el período vegetativo resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad.

-Suelo: La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo - arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante, se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego.

-Fertilización carbónica: Hay que tener presente que un exceso de CO_2 produce daños debidos al cierre de los estomas, que cesan la fotosíntesis y pueden originar quemaduras. Los aparatos más utilizados en la fertilización carbónica son los quemadores de gas propano y los de distribución de CO_2 . En el cultivo del tomate las cantidades óptimas de CO_2 son de 700-800 ppm. En cuanto a los rendimientos netos dan incrementos del 15-25 % en función del tipo de invernadero, el sistema de control climático, etc.

-Riego: En los cultivos protegidos de tomate el aporte de agua y gran parte de los nutrientes se realiza de forma generalizada mediante riego por goteo y va a ser

función del estado fenológico de la planta, así como del ambiente en que ésta se desarrolla (tipo de suelo, condiciones climáticas, calidad del agua de riego) [16].

1.3. Plataforma Arduino.

En la actualidad la evolución de los microcontroladores han impulsado en gran medida el desarrollo de la Ingeniería de Control permitiendo diseñar equipos más compactos y versátiles para la medición y control. Es por ello que cosas tan comunes hoy en día como el transporte, las comunicaciones y en general los procesos de producción han tenido una evolución extraordinaria, alcanzando niveles de seguridad y calidad con los que no se contaba algunas décadas atrás. Con esta evolución de los microcontroladores se han desarrollado nuevas plataformas, una de la más utilizada en el mundo actual es la de Arduino.

1.3.1 Descripción de la plataforma de Arduino.

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de los microcontroladores en proyectos multidisciplinarios. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más usados son el ATmega168, ATmega328, ATmega1280, ATmega8 por su sencillez y bajo costo que permiten el desarrollo de múltiples diseños.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a una computadora, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (por ejemplo: Flash, Processing, MaxMSP, C, C++) [11].

1.3.2 Ventajas del empleo de Arduino.

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas con microcontroladores disponibles para la realización de proyectos multidisciplinarios. Parallax Basic

Stamp, BX-24 de *Netmedia*, *Phidgets*, *Handyboard* del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), y muchos otros ofrecen funcionalidades similares. Todas estas herramientas organizan el complicado trabajo de programar un microcontrolador en paquetes fáciles de usar. Arduino, además de simplificar el proceso de trabajar con microcontroladores, ofrece algunas ventajas respecto a otros sistemas a profesores y estudiantes:

- ❖ *Económicas*: Las placas de Arduino son más baratas comparadas con otras plataformas de microcontroladores. La versión más cara de un módulo de Arduino tiene un precio que oscila en el mercado entre los 20 USD o 30 USD.
- ❖ *Multi-Plataforma*: El software de Arduino funciona en los sistemas operativos *Windows*, *Macintosh OSX* y *Linux*. La mayoría de los entornos para microcontroladores están limitados a *Windows*.
- ❖ *Entorno de programación simple y directa*: El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes y lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados. Pensando en los profesores, Arduino está basado en el entorno de programación de *Processing* con lo que el estudiante que aprenda a programar en este entorno se sentirá familiarizado con el entorno de desarrollo Arduino.
- ❖ *Software ampliable y de código abierto*: El software Arduino está publicado bajo una licencia libre y puede ser ampliado por programadores experimentados. El lenguaje puede ampliarse a través de librerías de C++, y si se está interesado en profundizar en los detalles técnicos, se puede dar el salto a la programación en el lenguaje AVR C en el que está basado.
- ❖ *Hardware ampliable y de Código abierto*: En cuanto a hardware los microcontroladores más usados son los ATmega como se nombraron anteriormente. Los planos de los módulos están publicados bajo licencia *Creative Commons*, por lo que diseñadores de circuitos con experiencia pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo u optimizándolo. Incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión para placa de desarrollo para entender cómo funciona y ahorrar algo de dinero [11].

1.3.3 Estructura del hardware de Arduino UNO.

Para la realización de este trabajo es utilizado uno de los últimos modelos diseñados y distribuido por la comunidad Arduino. La placa tiene un tamaño de 75x53mm. Su unidad de procesamiento consiste en un microcontrolador ATmega328. Puede ser alimentada mediante USB o alimentación externa y contiene pines tanto analógicos como digitales, lo que permita desarrollar disímiles proyectos de ingeniería.

En la **Tabla 1.1** se muestra un resumen con las principales características de este modelo.

El Arduino es alimentado mediante la conexión USB o mediante una fuente externa (recomendada de 7-12V), por lo que se obtendrán unas salidas de tensión continua debido a unos reguladores de tensión y condensadores de estabilización.

Tabla 1.1: Resumen características Arduino Uno.

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega328
Voltaje operativo	5 V
Voltaje de alimentación (límites)	6 - 20 V
Pines digitales E/S	14 (6 proporcionan salidas PWM)
Pines de entrada analógica	6
Memoria Flash	32 kB (ATmega328) de los cuales 0.5 kB son para el <i>bootloader</i>
SRAM	2 kB (ATmega328)
EEPROM	1 kB (ATmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz

Estos pines son:

❖ VIN: Es el voltaje de entrada cuando se usa una fuente de alimentación externa (no tiene en cuenta la conexión USB). A través de este pin se puede proporcionar voltaje a la placa, o en caso de estar utilizando una fuente de alimentación externa el pin toma el valor que está siendo suministrado.

- ❖ 5V: Este pin obtiene una tensión de 5 V del regulador de la placa. El regulador es necesario debido a que es alimentado con distintos voltajes. Es una fuente de tensión regulada de 5V, esta tensión puede venir ya sea de pin VIN a través de un regulador interno, o se suministra a través de USB o de otra fuente de 5V regulada.
- ❖ 3.3V: Desde aquí se puede suministrar 3.3 V generados por el regulador interno a los dispositivos que lo necesiten con una corriente máxima de 50 mA.
- ❖ GND: Pines de tierra.
- ❖ Pin de Reset: Se puede imitar el funcionamiento del botón reset suministrando un valor LOW (0 V) para reiniciar el microcontrolador.

Cada uno de los 14 pines digitales se puede utilizar como una entrada o salida. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de *pull-up* (desconectado por defecto) de 20 a 50 kΩ. Además, algunos pines tienen funciones especializadas como:

- ❖ Pin 0 (RX) y 1 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y la transmisión (TX) de datos serie TTL. Están directamente conectados a los pines serie del microcontrolador. Utilizando estos pines se pueden conectar con otras placas.
- ❖ Pin 2 y 3. Interrupciones externas: Se trata de pines encargados de interrumpir el programa secuencial establecido por el usuario.
- ❖ Pin 3, 5, 6, 9, 10 y 11. PWM (modulación por ancho de pulso). Constituyen 8 bits de salida PWM (valores de 0 a 255) con la función *analogWrite ()*.
- ❖ Pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Estos pines son de apoyo a la comunicación SPI. Estos pines soportan la librería de comunicación de dispositivos SPI. Integrados para trabajar con información serial sincrónica, proporcionan comunicación SPI, que a pesar de que el hardware la proporcione actualmente no está incluido en el lenguaje Arduino.
- ❖ Pin 13. LED. Este pin está conectado con un LED de la placa. Cuando se le asigne un valor HIGH (nivel ALTO) se enciende, en cambio si se deja en LOW (nivel BAJO) estará apagado.

El Arduino posee 6 entradas analógicas, etiquetadas desde la A0 a A5, cada una de las cuales ofrecen 10 bits de resolución (es decir, 1024 estados). Por defecto, se tiene una tensión de 5V, pero se podría cambiar este rango utilizando el pin de

AREF y utilizando la función *analogReference()*, donde es introducida una señal externa de continua que es utilizada como referencia.

En la (Figura 1.1) se muestran los componentes importantes que se encuentran en la placa Arduino UNO:

- Conector USB (*Universal Serial Bus*): Existen varios tipos de conectores USB, en concreto esta placa utiliza el tipo B hembra. Con lo cual se necesitará un cable tipo B macho – tipo A macho (aunque se pueden utilizar otros este es el más extendido) que deberá conectarse a un conector tipo A hembra (por ejemplo a un computadora o al cargador de un móvil). La placa se puede alimentar con la tensión de 5 V que le proporciona el bus serie USB. Cuando se cargue el programa a la placa desde el software de Arduino se inyectará el código de la computadora por este bus.
- Microcontrolador ATmega328: El microcontrolador es el elemento más importante de la placa. Es donde se instala y ejecuta el código que se haya diseñado. Ha sido creado por la compañía Atmel, tiene un voltaje operativo de 5 V, aunque se recomienda como entrada de 7-12 V con un límite de 20 V. Contiene 14 pines digitales de entrada y salida, 6 pines analógicos que están conectados directamente a los pines de la placa Arduino comentados anteriormente. Dispone de 32 kB de memoria flash para almacenar código (de los cuales 512 bytes son utilizados por el bootloader, es decir, para el arranque del sistema). Tiene 2 kB de memoria SRAM (*Static Random Access Memory*) y 1kB de EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*).
- Botón *Reset*: Utilizando este botón se puede reiniciar la ejecución del código del microcontrolador.
- Fuente de alimentación externa: La placa puede ser alimentada también mediante corriente directa (CD) suministrada por el conector *jack* de 3.5mm que podrá recibir entre 7 y 12 V.
- ICSP (*In Circuit Serial Programming*): Es un conector utilizado en los dispositivos PIC (*Peripheral Interface Controller*) para programarlos sin necesidad de tener que retirar el chip del circuito del que forma parte [11].

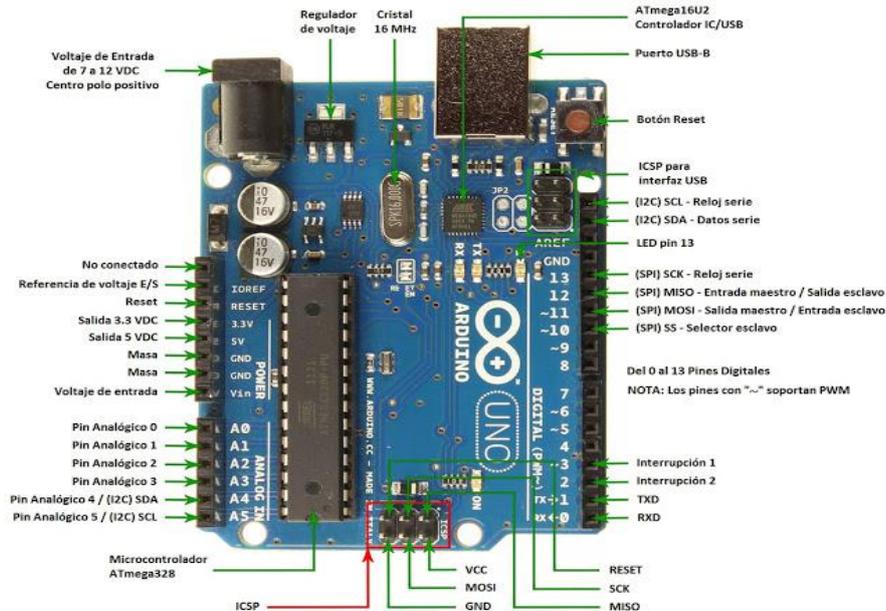


Figura 1.1: Arduino UNO

1.3.4 Estructura de hardware del Arduino MEGA.

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo *open-source* (fuente abierta) construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. Las posibilidades de realizar desarrollos basados en Arduino tienen como límite la imaginación.

El Arduino Mega tiene 54 pines de entradas/salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serial por hardware), cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, jack de alimentación, conector ICSP y botón de reset. Arduino Mega incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; simplemente conéctalo a tu PC por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa (9 hasta 12VDC). El Arduino Mega es compatible con la mayoría de los shields diseñados para Arduino Duemilanove, Diecimila o UNO.

Esta nueva versión de Arduino Mega 2560 adicionalmente a todas las características de su sucesor utiliza un microcontrolador ATmega8U2 en vez del

circuito integrado FTDI. Esto permite mayores velocidades de transmisión por su puerto USB y no requiere drivers para Linux o MAC (archivo inf es necesario para Windows) además ahora cuenta con la capacidad de ser reconocido por el PC como un teclado, mouse, joystick, etc. En la (Figura 1.2) se muestran los componentes importantes que se encuentran en la placa Arduino MEGA.

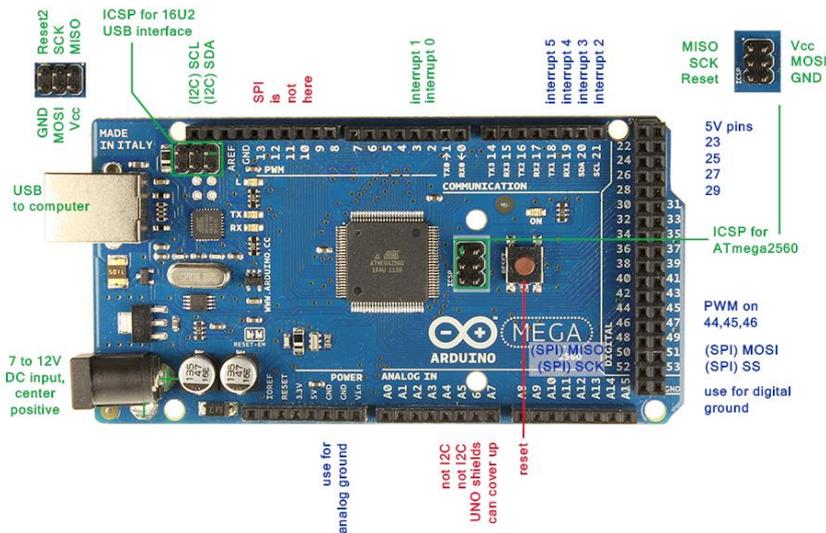


Figura 1.2: Arduino MEGA

En la siguiente tabla se resumen las características principales del hardware Arduino MEGA.

Tabla 1.2: Resumen características Arduino MEGA.

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje operativo	5 V
Voltaje de alimentación (límites)	7-12V
Pines digitales E/S	54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Memoria Flash	256 KB (8KB usados por el bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad del reloj	16 MHz

1.3.4 Lenguaje de programación de Arduino.

La plataforma Arduino tiene un lenguaje propio que está basado en C/C++ y por ello soporta las funciones del estándar C y algunas de C++. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino como Java, Processing, Php, C#, Matlab, Visual Basic, entre otros. Esto es posible debido a que Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie que es algo que la mayoría de los lenguajes anteriormente citados soportan. Para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida. Es bastante interesante tener la posibilidad de interactuar con Arduino mediante esta gran variedad de sistemas y lenguajes, ya que dependiendo de cuales sean las necesidades del problema que se va a resolver se aprovecha de la gran compatibilidad de comunicación que ofrece [11].

1.3.5 Entorno de Programación de Arduino (IDE).

El entorno de desarrollo integrado, llamado IDE (sigla en inglés de integrated development environment), se puede observar su interfaz en la (Figura 1.3) es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación. Puede dedicarse en exclusiva a un solo lenguaje de programación o bien puede utilizarse para varios.

Un IDE es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware a través del puerto serie.

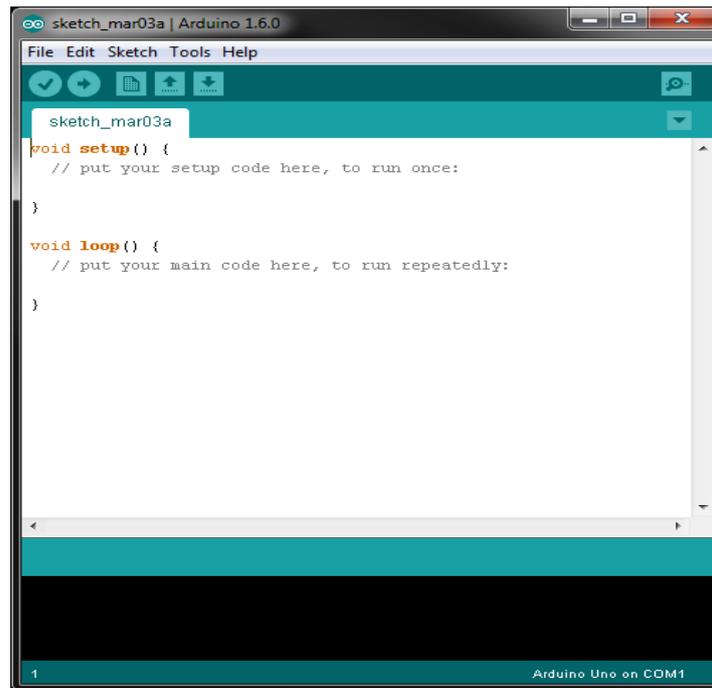


Figura 1.3: Arduino IDE.

Los programas de Arduino están compuestos por un solo fichero con extensión “ino”, aunque es posible organizarlo en varios ficheros. El fichero principal siempre debe estar en una carpeta con el mismo nombre que el fichero.

1.3.6 Aplicaciones de Arduino.

Las aplicaciones que ofrece Arduino son múltiples dependiendo del problema a resolver, se pueden crear aplicaciones sencillas enfocadas a la docencia para estudiantes de la carrera de ingeniería automática o proyectos más elaborados para la industria. Ejemplos de estas aplicaciones:

- ✓ Xoscillo: Osciloscopio de código abierto.
- ✓ Industruino: PLC usado en algunas aplicaciones de la industria basado en Arduino.
- ✓ Brazo robótico.
- ✓ OBDuino: Un económetro, es un indicador del consumo de un vehículo, que usa una interfaz de diagnóstico a bordo que se halla en los automóviles modernos.
- ✓ Humane Reader: Dispositivo electrónico de bajo coste con salida de señal de TV que puede manejar una biblioteca de 5000 títulos en una tarjeta microSD.

- ✓ The Humane PC: Equipo que usa un módulo Arduino para emular un computador personal, con un monitor de televisión y un teclado para computadora.
- ✓ Ardupilot: Software y hardware de aeronaves no tripuladas.
- ✓ ArduinoPhone: Un teléfono móvil construido sobre un módulo Arduino.
- ✓ Impresoras 3D

Conclusiones parciales.

Con el desarrollo del capítulo:

- Se realizó una revisión del panorama histórico, teórico y actual de la automatización de invernaderos, lo que permitió valorar las ventajas que presentan los mismos para ser aplicados en diferentes instalaciones, entre ellas las del sector agroindustrial de nuestro país.
- Se caracterizaron los cultivos pepino, tomate y lechuga en cuanto a variables climatológicas temperatura, humedad relativa, luminosidad, riego, fertilización y suelo.
- Se analizaron todas las ventajas que aporta utilizar la plataforma Arduino en la maqueta de Arduino a desarrollar.
- Se logró elaborar la propuesta de invernadero a implementar, además de un sistema de riego capaz de tomar una serie de decisiones teniendo en cuenta factores como la hora, el tipo de cultivo, etc.

Capítulo 2: Diseño e implementación del sistema para el monitoreo y control del invernadero.

Introducción

En el presente capítulo se dará una breve reseña de en qué consiste el proyecto de modernización de Casas de Cultivos Tapados y su impacto en todo el territorio nacional. También se describe todo el sistema implementado, desde la construcción de la maqueta hasta la instalación de los sensores seleccionados para utilizar en las distintas mediciones, los actuadores y los módulos auxiliares comunicación, etc.

2.1 Proyecto de modernización de casas de cultivo tapado en el país.

A partir de los Lineamientos del Partido y la orientación por parte del Ministerio MINDUS del reordenamiento de la industria, se orientó a la empresa de automatización CEDAI la tarea de rehabilitar los Sistemas Automáticos de las Casas de Cultivos Protegidos existentes en el país a un ritmo de 20 módulos anuales. Estas casas, producen fundamentalmente verduras como tomate, pepino, ají pimiento, lechuga, etc., y la producción es destinada fundamentalmente a las cadenas hoteleras, aunque no satisface toda la demanda. Los niveles de productividad no son los más adecuados al carecer de sistemas automáticos que garanticen un riego y fertilización eficiente.

Se hizo un levantamiento en más de 100 hectáreas de cultivos protegidos de todo el país donde solo un 11 % funciona de manera automática o semiautomática. Este levantamiento dividido por objeto de obra indicó que la ingeniería básica del sistema a proponer debía ir enfocada a realizar un control estricto del riego enfocado a través de recetas que varíen en función del tiempo de cultivo y las etapas de los mismos. Se debería diseñar una automática que eliminara los dispositivos propietarios y así la dependencia tecnológica con el exterior, única forma de sostener los sistemas en el tiempo.

El alcance de este proyecto, contempla el control de presión en línea mediante variador de frecuencia, lo cual proporciona un ahorro de energía eléctrica, así como minimiza las roturas hidráulicas por sobrepresión. Medición de presión diferencial en el sistema de filtro que permite conocer el momento que debe ser

limpiado. Sistema de control de la dosificación de fertilizantes y ácidos mediante bombas dosificadoras de alta precisión. El control de éstas se realiza mediante recetas y lazos de control cerrados a partir de la medición de conductividad eléctrica y pH. Medición de nivel en los tanques de dosificación, así como un sistema neumático de agitación en los tanques para evitar la sedimentación y mantener una mezcla homogénea. Control de los riegos a partir de la medición de humedad en el suelo. Este sistema, además de aumentar la productividad, produce un ahorro considerable de portadores energéticos como agua y electricidad, así como de fertilizantes.

Para la ejecución del proyecto se establecieron las prioridades por el grupo empresarial Frutícola y se dividió la rehabilitación en dos etapas, 2016 y 2017. Las provincias y emplazamientos específicos que contempla cada etapa se muestran en la Figura 2.1, la Figura 2.2 y en la Tabla 2.1.



Figura 2.1: Casas de cultivo planificadas para modernización en 2016.



Figura 2.2: Casas de cultivo planificadas para modernización en 2017.

Tabla. 2.1: Resumen de los planes de modernización en el país.

Provincia	Año 2016	Año 2017
La Habana	Las Guásimas Granja 14	-
Mayabeque	Nueva Paz	-
Matanzas	Marcos Jagüey	Condesa Ceiba Ecuador
Cienfuegos	-	Horquita
Villa Clara	Yabu	-
Santi Spíritus	La Quinta Santana Tuero	-
Ciego de Ávila	-	Cuba-Canadá Ceballo (1,2,3) Ciego de Ávila
Camagüey	-	Las Flores
Las Tunas	Siguaraya	-
Holguín	Cuavitas Mayabe II	Beola Margodo
Guantánamo	Loma Blanca	-
Granma	Veguitas	La Pupa El Sitio Pilón
Santiago de Cuba	Veguitas	Campo Antena Canasi (I, II)

En la provincia de Santiago de Cuba, la primera en recibir estos beneficios será la UEB de Cultivos Protegidos de Campo Antena perteneciente al MINAGRI ubicada en el reparto Santa María frente a la escuela vocacional. Ya ha comenzado la primera fase de este proyecto, pero todavía no sea concretado.

No obstante, aunque este proceso se va desarrollando paulatinamente, su precio es elevado pues cuenta con una instrumentación sofisticada a base de PLC (del inglés *Programmable Logic Controller*) e instrumentación compatible la cual tiene que ser importada, por lo que va encareciendo cada vez más el proyecto. Esta razón no permite que esta intención sea llevada hacia todos los productores agrícolas de la provincia. Por estos motivos, en este trabajo se ha diseñado un sistema que garantiza el cumplimiento de ciertas tareas como el control de temperatura, un sistema de riego inteligente que se adapta a las necesidades de cada cultivo, y lo más importante es que es desarrollado a base de hardware y software libres permitiendo que su precio sea banal en comparación con toda la

inversión que tiene que hacer el país con el proyecto de Casa de Cultivos Tapados. A manera de prueba piloto, aquí se diseña e implementa una maqueta del invernadero donde será probada a escala de laboratorio la factibilidad y el funcionamiento correcto del proyecto.

2.2 Diseño y construcción de la maqueta.

El sistema desarrollado consta de dos microcontroladores, el Master (Arduino Uno) y el Esclavo (Arduino Mega) ambos estarán comunicados vía inalámbrica mediante radio frecuencia. El esclavo es quien está ubicado en el campo, su función principal es la de realizar las mediciones de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, luminosidad, con los diferentes sensores conectados a él, este se mantiene realizando el control del regadío y la ventilación del invernadero y a la vez recibiendo órdenes del Master de que le envíe las lecturas cada cierto intervalo de tiempo o en el caso de que el usuario modifique el tipo de cultivo desde la HMI el Esclavo debe actualizar los valores de referencia de temperatura, histéresis, hora de riego, tiempo de riego y cantidad de veces que tiene que regar al día. Además este posee conectado un reloj de tiempo real cuya función principal es la de mantener la fecha y hora del sistema actualizada.

El Master estará ubicado en una pequeña sala de control lejos del campo. Estaría en teoría todo el tiempo conectado a una Computadora. Su función principal es la interacción con el HMI ya mencionado anteriormente, en este se mostrarán los valores de las lecturas recibidas desde el Esclavo y se podrá seleccionar el tipo de cultivo que se va a sembrar. Lo que le permitiría al usuario tener noción de lo que pasa en cada instante. También las lecturas recibidas se visualizarán en un Display LCD, previniendo el caso de que el Master no estuviera conectado a una Computadora en ese momento. El esquema en bloques del sistema desarrollado puede observarse en la (Figura 2.3).

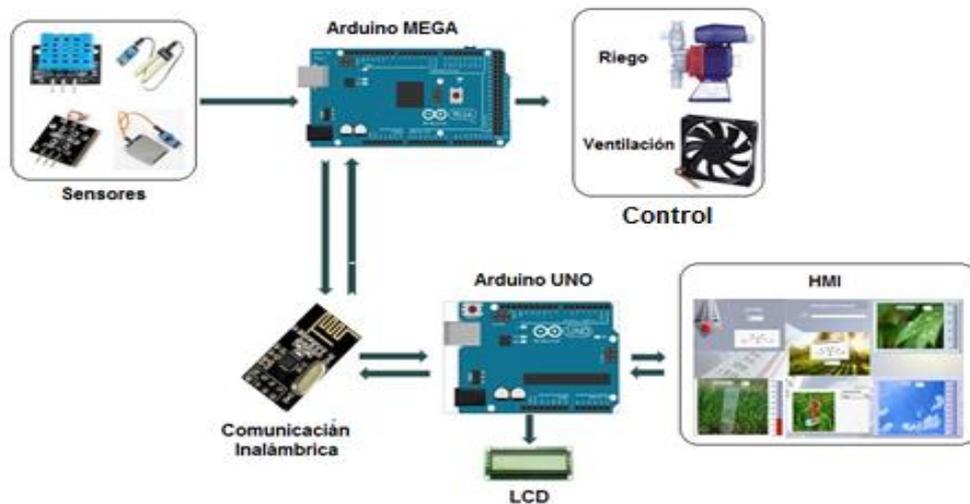


Figura 2.3: Esquema en bloques del sistema.

Dada la imposibilidad de disponer de un terreno físico y los medios adecuados para la implementación de un invernadero a escala real, se decide llevar a cabo la construcción de una maqueta de laboratorio donde de hecho resulta mucho más factible y cómodo probar la instrumentación, sistemas de control, métodos y estrategias empleadas a pequeña escala para luego ejecutar su implementación en el campo real. El conocimiento de la forma del invernadero es el que permite seleccionar de una manera más adecuada aquellos materiales que se utilizan para la construcción de la estructura, de las paredes laterales y frontales, de los techos, de acuerdo con sus características, comportamiento frente a factores externos e internos, ventajas y desventajas. En el invernadero se debe tener buena ventilación, para controlar los niveles de humedad y temperatura, también es necesario que los cultivos, a través del techo, reciban la mayor cantidad de iluminación y de energía del sol, para tener un óptimo crecimiento.

La maqueta de laboratorio construida (Figura 2.4) tiene unas dimensiones de:

Largo: 49 cm

Ancho: 25 cm

Altura máxima: 35.5cm

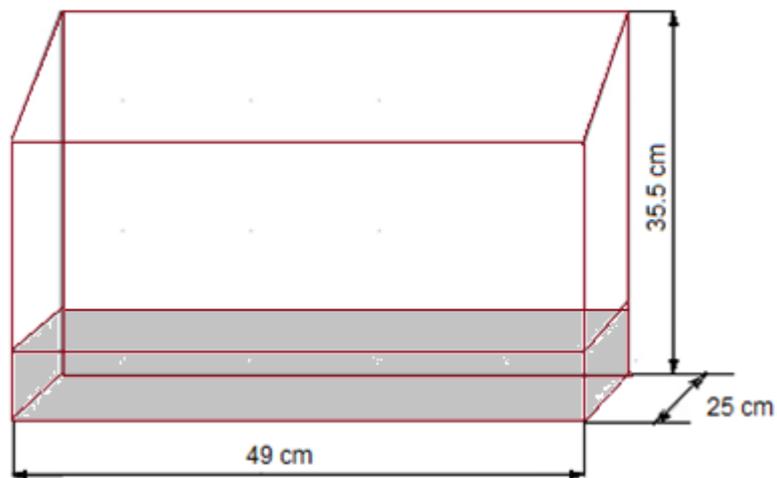


Figura 2.4: Dimensiones de la maqueta de invernadero

Materiales:

Para la construcción se emplearon principalmente los materiales madera y acrílico. Además, se utilizó material PVC (del inglés *Polyvinyl Chloride*) para sellar las uniones entre los materiales usados, también para la construcción de las bisagras de la tapa superior. Básicamente consta de una base de madera con unos laterales una puerta superior de acrílico. En su interior va relleno de tierra para el cultivo hasta el nivel de la madera.

2.3. Instrumentación para la medición de las variables atmosféricas.

En este epígrafe se abordarán las características de los sensores que se instalarán en la maqueta de invernadero. Además se describe cómo será su conexionado con el Arduino y se explica detalladamente su funcionamiento, ver anexo 1 y anexo 2 para analizar las conexiones eléctricas del MASTER y SLAVE respectivamente.

2.3.1. Sensor de Humedad/Temperatura DHT11.

El DHT11 es un sensor de humedad/temperatura de bajo costo y de media precisión, muy útil para los principiantes en el mundo de Arduino. Este sensor incluye un componente para la medición de humedad y un termistor NTC (del inglés *Negative Temperature Coefficient*) Coeficiente de Temperatura Negativo para la medición de temperatura.

Su voltaje de alimentación es de 3.5 – 5 V (consultar Tabla 2.5). El DHT11 es de muy bajo coste y proporciona una salida de datos digital. Esto supone una gran ventaja frente a los sensores del tipo análogo, como el LM35 por ejemplo, en los cuales las fluctuaciones en el voltaje alteran la lectura de datos.

Una gran ventaja de este módulo es el protocolo que usa para la transferencia de datos. Todas las lecturas del sensor son enviadas usando una sola línea reduciendo así los costos y extendiendo las distancias. Un proceso de comunicación dura cerca de 4 ms. El dato consiste en una parte decimal e integral. El sensor envía un bit alto primero y el dato completo es de 40 bits.

Formato del dato: 8 bit dato RH integral + 8 bit dato RH decimal + 8 bit dato T integral + 8 bit dato RH decimal + 8 bit de chequeo.

RH: *Relativity Humidity*

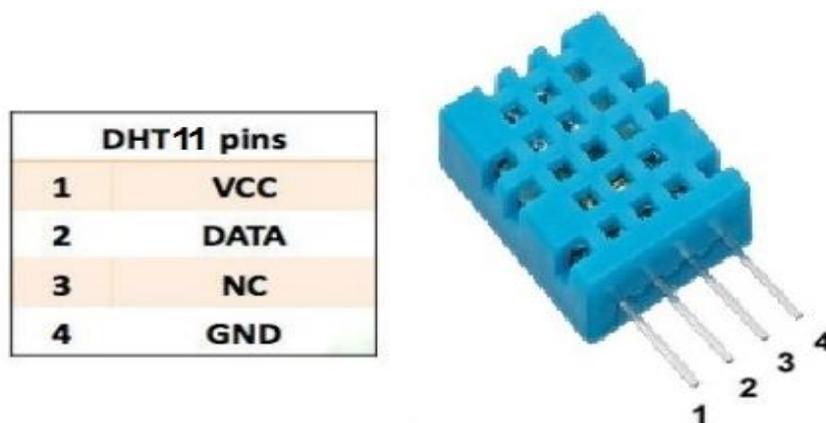


Figura 2.5: Sensor de Humedad/Temperatura DHT11

Entre las desventajas, el DHT11 solo lee enteros, no se pueden leer temperaturas con decimales por lo que no es ideal utilizar este sensor para trabajos en los que se requieran lecturas muy precisas de temperatura y humedad.

Tabla 2.2: Algunos parámetros técnicos del DHT11

Parámetro	DHT11
Alimentación	3VDC \leq VCC \leq 5VDC
Señal de Salida	Digital
Rango de medida de Temperatura	De 0 a 50 °C
Precisión Temperatura	± 2 °C
Resolución Temperatura	0.1 °C
Rango de medida de Humedad	De 20% a 90% RH
Precisión Humedad	4% RH
Resolución Humedad	1% RH
Tiempo de Sensado	1s
Tamaño	12 x 15.5 x 5.5 mm

Procedimiento para comunicación con el sensor y obtención de datos:

1. Se envía la señal de «start» al dispositivo. Mientras el bus de datos está libre, se encuentra a una tensión de VCC. Para comenzar, el microcontrolador debe llevar el nivel de tensión a tierra al menos durante 1 mS para asegurar que el sensor ha detectado la señal. A continuación, se procede a esperar la respuesta entre 20 y 40 μ S.
2. El DHT11 envía la respuesta al microcontrolador. Una vez que se ha detectado la orden de inicio, el sensor responde con una señal a bajo nivel de tensión durante 80 μ S y, seguidamente, a VCC con la misma duración.
3. Finalmente, el sensor devuelve los datos de la medida al MCU. Cada bit transmitido comienza con un nivel de tensión bajo durante 50 μ S y, a continuación, la duración del pulso de alto nivel determina el valor del bit correspondiente. Como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Codificación del bit en el DHT11.

Duración del pulso	Valor del Bit
26-18 μ S	'0'
70 μ S	'1'

Existe una librería disponible para Arduino con la cual, tomar el valor de la medición se traduce en una sola línea de código donde se haga dicha petición, de manera transparente al usuario se ejecutan todos esos algoritmos de comunicación y se devuelven los valores de dichas mediciones en formato decimal. Esta librería puede encontrar con el nombre "DHT.h" [15].

2.3.2 Higrómetro FC-28.

Un higrómetro de suelo (FC-28 en este caso) es un sensor que mide la humedad del suelo. Son ampliamente empleados en sistemas automáticos de riego para detectar cuando es necesario activar el sistema de bombeo. El FC-28 es un sensor sencillo que mide la humedad del suelo por la variación de su conductividad. No tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero tampoco es necesario para controlar un sistema de riego.

El mecanismo consta de dos placas separadas entre sí recubiertas de un material conductor y que al ponerlo en contacto con un medio húmedo y por lo tanto, capaz de conducir la corriente eléctrica, cierra el circuito con dichas placas.

El FC-28 (Figura 2.6) se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral. Los valores analógicos obtenidos van desde 0 sumergido en agua, a 1023 en el aire(o en un suelo muy seco). A grosso modo, un suelo ligeramente húmedo daría valores típicos de 600-700. Un suelo seco tendrá valores de 800-1023. La salida digital dispara cuando el valor de humedad supera un cierto umbral, que se puede ajustar mediante un potenciómetro que dispone para tal función. Por tanto, se obtiene una señal LOW cuando el suelo no está húmedo, y HIGH cuando la humedad supera el valor de umbral (Figura 2.7). El valor concreto dependerá del tipo de suelo y la presencia de elementos químicos, como fertilizantes [2].

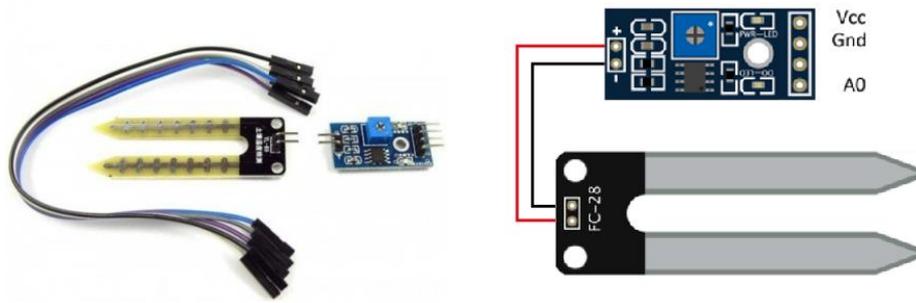


Figura 2.6: Higrómetro FC-28.

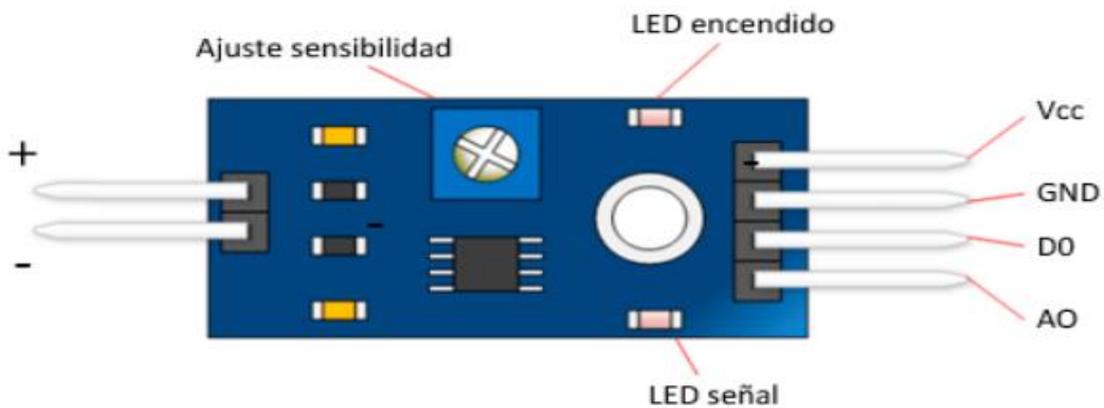


Figura 2.7: Diagrama de conexiones del Higrómetro FC-28.

2.3.3 Sensor detector de lluvia MH-RD.

En este proyecto se optó por hacer uso de un sensor detector de precipitaciones (MH-RD) con el fin de utilizar estos datos en el sistema de control, evitando así el riego innecesario en esas circunstancias.

Características

El sensor MH-RD (Figura 2.8) usa materiales de alta calidad de doble cara de dimensiones 5x4 cm y una superficie de Nickel plateado, efectivo contra la oxidación, alta conductividad, alto tiempo de vida, fácil instalación y buen desempeño. La señal de salida del comparador presenta una forma de onda limpia, conducción de 15 mA, pequeño tamaño del PCB, usa un comparador LM393 y luz de indicación LED. Si no detecta la caída de agua, la salida DO está a nivel alto; Si se detecta goteo, DO va a nivel bajo. La salida analógica AO puede ser usada para detectar la cantidad de agua que le cae encima en una escala de

0 – 1023 donde 0 es ambiente totalmente seco y 1023 es completamente inundado.

Especificaciones:

Voltaje de alimentación: 3.3 - 5 V

Peso: 25 g

Dimensiones del Comparador: 3.2 x 1.4 x 1 cm

DO: Salida Digital

AO: Salida analógica



Figura 2.8: Sensor de lluvia MH-RD.

Funcionamiento: Se trata de un sensor con un funcionamiento muy simple que entrega un valor de tensión analógica dependiendo de la cantidad de agua que haya caído sobre éste. El sensor consta de dos pistas conductoras paralelas y aisladas entre sí sobre una placa de circuito impreso, de modo que cuando se deposita una gota de agua sobre éste, se provoca un contacto eléctrico entre dichas pistas. Dicho de otro modo, a mayor número de contactos, disminuye la resistencia eléctrica vista desde los terminales de conexión del sensor, por lo que simplemente, introduciéndolo en un circuito divisor de tensión, se obtiene un valor de voltaje proporcional a la cantidad de agua acumulada. Desde el punto de vista práctico, conseguir estos valores analógicos no tienen gran utilidad, y por ello, se ha empleado un circuito comparador (LM393) para mediante la definición de un umbral de disparo, obtener un valor de salida digital (todo – nada) [19].

2.3.4. Sensor de Luminosidad (Fotorresistencia KL-018).

Para determinar la cantidad de luz solar incidente dentro del invernadero se utilizó una adaptación simple de una fotorresistencia que tiene como número de componente KL-018 (Figura 2. 9), este elemento es de tipo analógico. El módulo de sensor óptico incluye una fotorresistencia que es un dispositivo semiconductor fotosensible, que posee una alta sensibilidad y una respuesta rápida a los cambios de intensidad de la luz y posee unas buenas características frente a altas temperaturas y a la humedad en ambientes hostiles. También puede mantener un alto grado de estabilidad y fiabilidad por ello es ampliamente usado en aplicaciones de control de iluminación, encendido de luces, etc. Tiene una sensibilidad que varía con la longitud de onda de la luz aplicada y son dispositivos no lineales. Este módulo es especialmente diseñado para Arduino [16].

Características Técnicas:

Voltaje de funcionamiento: 3.3 ~ 5V

Resistencia Variable: 1 M aprox. ~ 50 aprox.

Material: PCB

Dimensiones: 2.5x1.6x0.7 cm

Peso: 2 g

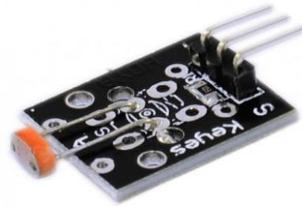


Figura 2. 9: Módulo LDR KL-018.

2.4. Reloj de Tiempo Real.

El reloj de Tiempo Real (RTC del inglés *Real Time Clock*) es un dispositivo que cuenta con una batería propia y su función es brindar en todo momento la fecha y hora actual aun después de una afectación del fluido eléctrico. Es uno de los componentes vitales del sistema pues se usa en el registro de los datos de los sensores, que se guardan en una tarjeta de memoria junto con la fecha y la hora.

Además, se usan sus alarmas para generar interrupciones periódicas en las que el microcontrolador Maestro solicita los datos a los Esclavos y se activan diariamente los sistemas de riego en base a las diferentes horas del día a las que fueron programados.

Estas funciones no podrían realizarse con el temporizador de Arduino, puesto que éste se reinicia por desbordamiento «*overflow*» de la variable que lo almacena cada 50 días aproximadamente y además, cuando hay una afectación del fluido eléctrico, se inicia con la fecha con la cual fue programado inicialmente. Aparte de esto, contar con un dispositivo de este tipo tiene otras ventajas como un bajo consumo de energía (respecto a otros métodos de medida del tiempo), libera de trabajo al microcontrolador principal y suele ser más preciso que éste.

El reloj utilizado es el modelo DS3231 (Figura 2.10) del fabricante MaximIntegrated. Se trata de un dispositivo extremadamente preciso, con comunicación mediante el protocolo I2C, un oscilador de cuarzo integrado de 32 kHz con compensación de temperatura (TCXO) y un cristal, con lo que se consigue una precisión de ± 2 minutos por año.



Figura 2.10: Reloj DS3231.

Incorpora una entrada para una batería externa, de modo que se puede mantener una precisa medida del tiempo incluso cuando la alimentación es interrumpida. Este reloj es capaz de ofrecer información sobre los segundos, minutos, horas, día, mes y año, válido hasta el 2100. La fecha se ajusta automáticamente dependiendo del mes e incluye correcciones para los años bisiestos. También funciona en el formato de 12 y 24 horas, dispone de dos alarmas programables y salida de onda cuadrada de frecuencia ajustable. En la tabla siguiente se pueden

observar sus características principales. El diagrama en bloques del RTC DS3231 se muestra en la (Figura 2.11) [10].

Tabla 2.4: Parámetros del RTC DS3231.

Parámetro	Min	Typ	Max	Unidades
Tensión de alimentación	2,3	3,3	5,5	V
Corriente de alimentación			200	μ A
Corriente en reposo			110	μ A
Precisión en la frecuencia			$\pm 2,0$	Ppm
Precisión en la temperatura	-3,0		+3,0	$^{\circ}$ C

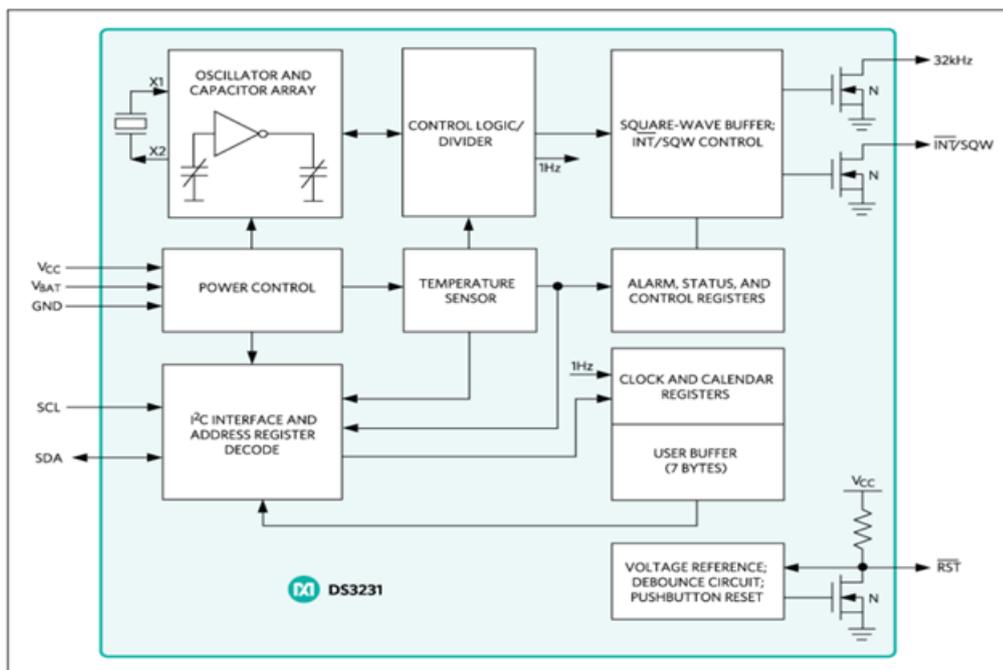


Figura 2.11: Diagrama en bloques del RTC DS3231.

2.5. Ventilación.

La ventilación del recinto es un aspecto fundamental. Realizar una renovación del aire en el interior, para conseguir unos valores adecuados de O_2 y CO_2 además de mantener los valores consignas de temperatura. El ventilador permite eliminar del invernadero sustancias nocivas en el ambiente, que puedan dañar el correcto crecimiento de la plantación. En invernaderos reales, el mecanismo de ventilación consiste en uno o varios ventiladores ubicados a manera de extractor (extraen el aire caliente del interior y lo expulsan al exterior). Para simular esto en este caso,

para la maqueta a pequeña escala fue utilizado un pequeño ventilador (*fan*) de computadora con las siguientes características:

Tensión alimentación: 5 VDC

Consumo de corriente: 0.06A

Diámetro: 40mm

Núm. de paletas: 7

Teniendo en cuenta que la salida del Arduino no tiene la corriente suficiente para la alimentación directa del *fan*, se implementa un pequeño circuito para ganancia de corriente basado en un transistor bipolar NPN 2N2222 (Figura 2.12). Los microprocesadores Arduino no tienen como tal salidas analógicas, sino que esta función se simula utilizando salidas digitales con Modulación de Ancho de Pulso (PWM del inglés *Pulse Wide Modulation*). De esta manera, puede regularse la inyección de corriente en la base del transistor, lo que permite regular el flujo de electrones entre colector y emisor.

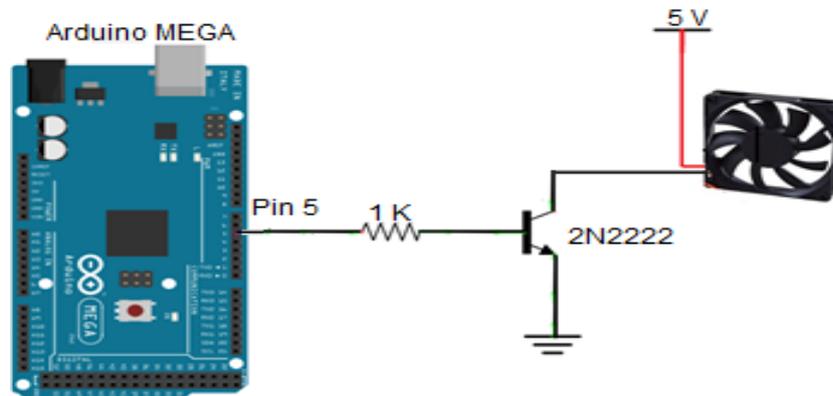


Figura 2.12: Interconexión para control del *fan* desde Arduino.

2.6. Transceptores (Comunicación inalámbrica).

Como se dijo anteriormente, existen dos controladores, uno en el campo tomando las mediciones de los sensores y ejecutando los algoritmos de control y otro controlador en una pequeña sala de control a cierta distancia recibiendo, almacenando las mediciones y garantizando la comunicación con el operador a través de un HMI (del inglés *Human Machine Interface*). La comunicación entre ambos controladores se realiza de manera inalámbrica a través del transceptor (transmisor y receptor) nRF24L01+ (Figura 2.13) del fabricante Nordic

Semiconductor, el cual está diseñado para comunicaciones inalámbricas que trabajen a baja potencia. Integra un transmisor y receptor de radiofrecuencia de 2,4 GHz, un sintetizador de Radio-Frecuencia (RF) y toda la lógica de banda base necesaria, que incluye el acelerador de protocolo hardware propio (*Enhanced Shock Burst™*), que permite liberar al microcontrolador de las funciones de protocolo críticas. (Figura 2.14)



Figura 2.13: Transceptor nRF2401+.

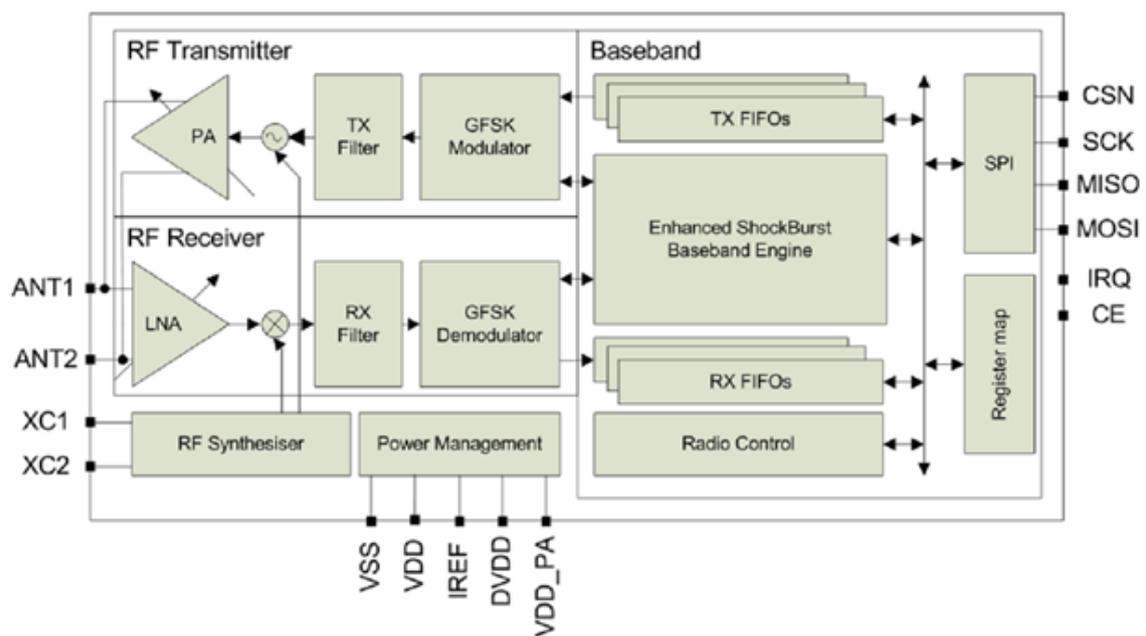


Figura 2.14: Diagrama en bloques del nRF2401+.

A continuación, se detallan las principales características de este dispositivo:

- ✓ 126 canales disponibles.
- ✓ Velocidades de transmisión configurables de 250 kbps, 1 y 2 Mbps.
- ✓ Tensión de alimentación de 1,9 a 3,6 V.
- ✓ Consumo de 11,3 mA en modo de transmisión (TX) y 13,3 mA en modo de recepción (RX).
- ✓ Disponibilidad de seis canales de datos MultiCeiver™.

- ✓ Modos de ultra-baja potencia:
 - 26 μ A en el modo «Standby-I».
 - 900 nA en modo apagado.

Este transceptor hace uso de la banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), en concreto en el rango de 2,400 a 2,4835 GHz y además utiliza la modulación GFSK (*Gaussian Frequency-Shift Keying*) que es un tipo de modulación digital en la que primero se filtran los impulsos para evitar que las altas frecuencias pasen al modulador, y luego emplean dos frecuencias distintas para codificar los datos.

Para configurar el transceptor tienen que modificarse los bits de su mapa de registros, a los cuales se accede mediante una interfaz SPI (*Serial Peripheral Interface*) (Figura 2.15).

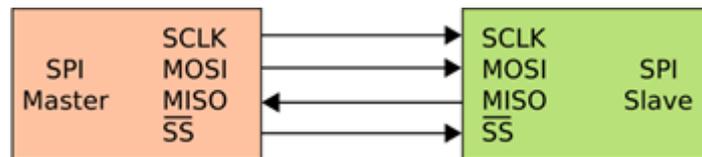


Figura 2.15: Interfaz SPI.

El bus SPI establece una comunicación síncrona mediante la señal de reloj (SCLK), los datos se transmiten a través de las líneas MOSI/MISO (*Master Output/Input Slave Input/Output*), la línea \overline{SS} (*Slave Select*) sirve para seleccionar el dispositivo con el que se quiere comunicar en caso de que se encuentren varios en el bus. El protocolo gestiona automáticamente el envío y recepción de paquetes. Tiene un funcionamiento *half-duplex*, de manera que no puede estar enviando y recibiendo datos a la vez.

Primero un transceptor se pone en estado transmisor y envía un paquete, al terminar se pone en modo receptor. El otro transceptor que se encuentra en modo receptor está constantemente buscando una dirección válida en las señales que recibe, una vez llega la dirección correcta comprueba que el paquete no tenga fallos mediante el código detector de errores CRC (*Cyclic Redundancy Check*), si todo está bien desecha las cabeceras del paquete y almacena los datos en una memoria FIFO (*First In First Out*).

Una vez que recibe el paquete, el receptor pasa durante un breve periodo de tiempo a modo transmisor para enviar un paquete ACK (*Acknowledgment*) al transmisor y que este sepa que el receptor recibió el paquete. Si el transmisor no recibe el paquete ACK en un tiempo determinado vuelve a reenviarlo y se repite el proceso.

Vale decir que, en este trabajo, es el Arduino UNO (el que está en la sala de control) el *MASTER* y el Arduino MEGA (el que está en el campo) el *SLAVE*. Esto es así porque el *SLAVE* esta todo el tiempo ejecutando el algoritmo de control hasta el momento en que recibe del *MASTER* la orden de enviar las mediciones o de cambiar los parámetros para otro tipo de cultivo. Es decir, el *MASTER* ordena cada 10 segundos al *SLAVE* que envíe las mediciones actuales y en caso de ser solicitado por el operador, le envía la orden al *SLAVE* de cambiar tipo de cultivo. La lógica de la programación del *MASTER* y *SLAVE* se puede analizar en el anexo 3 y anexo 4 respectivamente.

Para realizar el control del nRF24L01+ se usa la librería RF24, la librería proporciona ejemplos de código lo que permitió entender su funcionamiento con mayor facilidad a la hora de implementar la comunicación dúplex [9,20].

Tabla 2.5: Conexión del módulo nRF24L01+ con Arduino según librería RF24.

PIN	NRF2401	ARDUINO UNO	ARDUINO MEGA
GND	1	GND	GND
VCC	2	3.3	3.3
CE	3	9	9
CSN	4	10	53
SCK	5	13	52
MOSI	6	11	51
MISO	7	12	50
IRQ	8	–	–

2.7. Display LCD.

Como se dijo anteriormente, los parámetros del invernadero se pueden visualizar y controlar desde una interfaz gráfica en una computadora en la sala de control,

pero en caso de existir un fallo en la misma se dispone de la facilidad de contar con una pantalla de tipo LCD (*LiquidCrystal Display*) (Figura 2.16) monocromo que permite visualizar caracteres simples en una disposición de 2 filas por 16 columnas. Esto permitiría observar los valores de las mediciones en el caso de que no se tuviese conectada en ese momento la interfaz HMI.

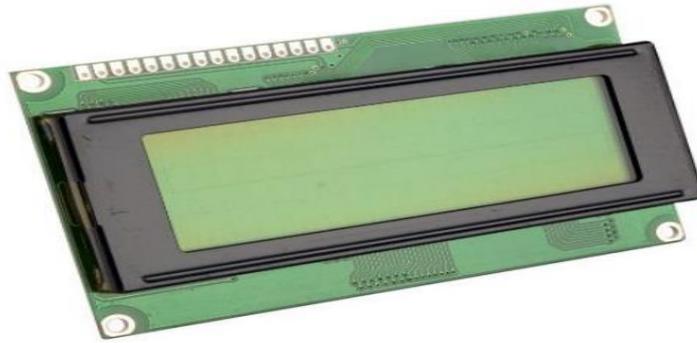


Figura 2.16: Display LCD 16x2

2.8. Bomba de Riego

Para las pruebas que se realizaron era necesario una bomba de riego que se pudiera adaptar a la dimensiones de la maqueta por lo que se seleccionó la IWAKI METERING PUMP EHN-B11VC3R ver (Figura 2.17) dado que las bombas dosificadoras de IWAKI combinan la más avanzada tecnología en bombas con la última tecnología eléctrica. Gracias a su amplia gama es prácticamente posible seleccionar la bomba más adecuada para cualquier dosificación en procesos químicos y en tratamientos de aguas.



Figura 2.17: Bomba de riego IWAKI METERING PUMP EHN-B11VC3R.

Características:

- Capacidad: 38 ml/min.
- Máxima Presión: 1.0 MPa.

- Voltaje de Alimentación: 110V ~ 240V.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Potencia: 20W.
- Exacta operación a altas velocidades.

Hasta 360 impulsos por minuto, ofrecen una dosificación de gran exactitud eliminando los efectos de una alimentación deficiente. La exactitud es de un + 2%, la longitud es de un + 3% y la estabilidad de los impulsos es de un + 1%.

2.9. Relay para la conexión-desconexión de la bomba.

Como no se puede alimentar la bomba directamente con la salida del Arduino, se usa para tal fin el módulo de Relays con numeración SRD-05VCD-SL-C como el mostrado en la (Figura 2.18). El Relay es un interruptor operado magnéticamente, se activa o desactiva dependiendo de la conexión cuando el electroimán que forma parte del Relay es energizado. Es usado normalmente en circuitos electrónicos para controlar otros circuitos que operan a tensiones superiores a las del circuito.

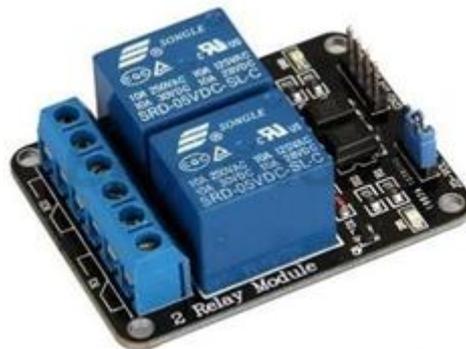


Figura. 2.18: Modulo Relay de 2 canales.

Este módulo cuenta con dos Relays con las siguientes características:

- Voltaje de Operación: 5V DC.
- Señal de Control: TTL.
- N° de Relays: 2.
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC.
- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC).
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms.

- LEDs de actividad ON/OFF para cada Relay.

2.10. Algoritmo de Control.

El control del invernadero que se propone implementar tiene en cuenta que cada planta tiene condiciones climáticas para su desarrollo que difieren levemente. Estos parámetros ya están almacenados en tablas en la programación del microcontrolador y se actualizan solo en caso de recibir la orden del *MASTER* de cambiar el tipo de cultivo. Los parámetros se muestran a continuación:

Lechuga:

Temperatura: 15°C– 18°C.

Humedad Relativa del suelo: 60– 80%.

Riego: No es necesario regar abundantemente, para evitar hongos.

Pepino:

Temperatura: 22 – 26°C.

Humedad Relativa del suelo: 80%.

Riego: Riego abundante.

Tomate:

Temperatura: 20 - 30°C.

Humedad Relativa del suelo: 60– 75%

Riego: Gran cantidad de riego, no muy frecuente.

Como los actuadores son digitales, para la temperatura se implementa un control ON-OFF con histéresis (Figura 2.19). Si la temperatura que indica sensor digital DHT11 para el momento del día, está por encima del valor de referencia más la histéresis, se envía la señal de activación del *fan* para la ventilación, y se mantiene activado hasta que se alcance una temperatura menor que la referencia menos la histéresis, momento en el cual se apaga la ventilación. El concepto del control con la histéresis se mantiene igual independientemente del tipo de cultivo, solo se actualizan los valores de referencia e histéresis cuando se cambia el mismo, ver anexo 5.

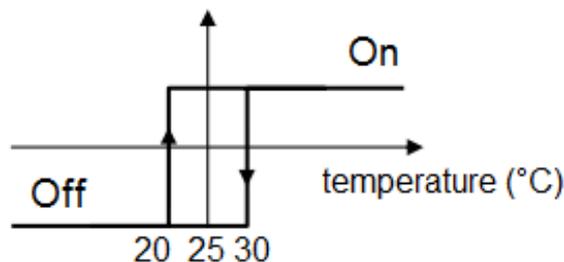


Figura 2.19: Ejemplo del control ON-OFF con histéresis para el tomate.

Por otra parte, está el control del sistema de riego que se rige por determinados factores entre ellos la hora del día adecuada, cantidad de tiempo necesaria para cada planta, la humedad del suelo y la verificación de si está lloviendo o no en ese momento. Se va muestreando la hora del Reloj de Tiempo Real y cuando se llegue a la predefinida para regar, se verifica la medición del detector de lluvia MH-RD. Si está lloviendo, no se riega al menos en ese momento. De no ser el caso, se procede al encendido de la Bomba de Riego que lleva el agua al campo a través de unos aspersores durante el tiempo que se le haya prefijado para ese cultivo. Una vez transcurrido ese tiempo, se toma la medición del sensor de humedad del suelo FC-28, si ya se ha alcanzado la deseada para ese cultivo, se apaga la bomba y si todavía no se ha alcanzado se continúa regando y sigue muestreando esta medición cada 1 min hasta el momento en que se alcanza el valor deseado donde se procede a la desconexión de la bomba, ver anexo 6 [6,8].

La hora del día para regado y la cantidad del mismo se definió de la siguiente manera:

Pepino: Como este cultivo necesita un riego abundante para tener un buen desarrollo debe regarse diariamente dos veces.

Horas de riego: 8:00 AM y 3:00PM.

Tiempo de riego: 1h.

Tomate: Como este cultivo necesita una gran cantidad de riego, pero no muy frecuente se debe regar diariamente, aunque solo una vez.

Hora de riego: 11:00 AM.

Tiempo de riego: 2h 30 min.

Lechuga: Al no necesitar regar diariamente se definió que se regará cada dos días. Hora de riego: 8:00 AM.

Tiempo de riego: 1h.

2.11 Interfaz en LabWindow.

Una de las fortalezas de este trabajo es la posibilidad de contar con una interfaz gráfica para la interacción del operador en una sala de control (ver anexo 7). El software seleccionado para su confección fue Labwindows CVI 9.0 debido a una gran cantidad de ventajas y facilidades que brinda para comunicación Arduino-PC. Básicamente, consiste en una pantalla principal en la que se muestran los valores de las variables climáticas obtenidos por los sensores, además, brinda la posibilidad de ejecutar algunas acciones de control sobre el invernadero como son: elección del tipo de cultivo para que se cambien las recetas, conmutación entre modo manual y automático y manipulación de actuadores en caso de estar en modo manual. La comunicación Arduino-PC se realiza mediante conexión por puerto serie, en este caso el COM 4 puerto que asigna por defecto la PC al microcontrolador. Para la conexión por puerto serie se definió la velocidad 115200 baudios. Otra de las funciones disponibles es la de alarmas visuales a base de indicadores LEDs en el caso de que las variables medidas se salgan de los rangos establecidos para cada cultivo, alertando al operador para que sepa que se deberían tomar medidas pertinentes para revertir la situación. Es necesario destacar que todos los datos registrados por los sensores son además almacenados constantemente con un periodo de muestreo de 10 segundos (más que suficiente para este tipo de proceso de lento desarrollo) en unos ficheros con extensión "txt". Esto es de vital importancia para darle cumplimiento a uno de los objetivos fundamentales de este trabajo que es disponer de registros históricos en todo el año de las variables climáticas en esa zona específica para hacer análisis posteriores de cómo éstas afectan los cultivos y que se podría hacer para mejorar la productividad a partir de estos datos.

2.12 Pruebas Experimentales.

Luego de terminar el proceso de construcción de la maqueta se pasó a la instalación de la instrumentación descrita anteriormente. El montaje físico de todo el sistema se muestra en la (Figura 2.20).



Figura 2.20: Aspecto físico de la maqueta de invernadero.

Una vez montada la instrumentación, hechas las conexiones eléctricas, suministrada la alimentación, adicionada la tierra y sembradas algunas semillas de tomate, se comenzó la fase de realización de las pruebas experimentales requeridas para comprobar el correcto funcionamiento del invernadero.

Primeramente, se comprobó que la comunicación inalámbrica entre los Arduinos funcionara correctamente; los resultados obtenidos fueron satisfactorios ya que la comunicación es buena, rápida y no sufre de interferencia hasta una distancia máxima de 30 m la cual es aceptable para ya que una instalación a escala real no estaría a una mayor distancia que ésta, siendo acertada la elección de los módulos transceptores nRF24L01+.

El siguiente paso fue la comprobación de la lectura de los sensores. En el caso del sensor MH-RD, se simuló la lluvia con el empleo de una manguera de regadío con un aspersor; se pudo comprobar que, mientras estaba lloviendo, el sensor se mantiene en nivel alto y en caso contrario un nivel bajo. Para la comprobación del sistema de control de temperatura se introdujo un elemento calefactor; apoyados en la medición de otro termómetro digital para validación, se verificó el correcto funcionamiento del control ON-OFF, el *fan* se conectaba cuando se alcanzaba una temperatura superior a referencia + histéresis y se desconectaba al disminuir hasta un valor referencia- histéresis.

Para probar el sistema de regadío se dejó el sistema funcionando por varios días. Para comprobar que se regara a la hora correcta y que la duración del tiempo de riego fuera la indicada para cada cultivo, fue seleccionado en primer lugar el tomate. En los tres días que duró la prueba para ese cultivo, a las 11:00 AM se

activó el sistema de riego y se desactivó al concluir el tiempo de riego, a las 1:30 PM. Luego se repitió el procedimiento para lechuga y pepino y en ambos casos el sistema de regadío se activó a la hora y durante el tiempo prefijado por software. Vale destacar que también le fue retirada la alimentación al sistema en varias ocasiones y el RTC (gracias a su batería interna independiente) continuaba entregando valores fiables de fecha y hora garantizando la continuidad de la operación sin inconvenientes. Se demuestra así la validez de la lectura de datos del RTC y de manera general, que es factible controlar un invernadero utilizando la plataforma Arduino e instrumentación compatible.

Valoración económica.

Con el objetivo de mostrar un estimado del costo del proyecto se muestra la siguiente Tabla 2.6, en la cual se puede apreciar el listado de precios de todos los componentes del sistema montados en la maqueta.

Tabla 2.6. Precio de los componentes del sistema.

Componente	Cantidad	Precio (USD)
Maqueta (Mano de obra)	1	12
Arduino MEGA	1	20.50
Arduino UNO	1	15
Sensor DHT11	1	4
Sensor FC-28	1	3
Sensor MH-RD	1	3
Sensor KL-018	1	4.80
Bomba IWAKI Modelo EHN-B11VC3R	1	40
Módulos nRF24I01+	2	3.5
Módulo de Relays de 2 canales	1	5
RTC DS3231	1	2.5
LCD 16X2	1	3
Fuente de Alimentación 12V	2	2
Total		118.3

Como es lógico, llevar este sistema de la maqueta propuesta a una implementación a escala real necesitaría de una inversión mayor a la planteada

en la tabla anterior. Debido a que se necesitaría una mayor cantidad de instrumentación dependiendo de las dimensiones reales del invernadero, su instalación necesitaría de mano de obra capacitada e inversiones en electrónica de potencia para manipular los actuadores del sistema; bombas de mayor potencia para incrementar el volumen de riego, instalaciones hidráulicas más complejas, un sistema de ventilación con prestaciones mayores capaces de mantener las condiciones necesarias de temperatura y humedad y otras cuestiones prácticas de montaje.

No obstante, a pesar de estas consideraciones sigue siendo considerablemente más barato que el montaje llevado a cabo por el proyecto de modernización de Casas de Cultivos Tapados ejecutado por la empresa CEDAI con tecnología extranjera basado en PLC e instrumentación compatible.

Conclusiones Parciales:

En este capítulo:

- Se eligieron adecuadamente los sensores y actuadores capaces de ejecutar las acciones de medición y control.
- Se logró una detallada caracterización de los componentes que integran el sistema de automatización.
- Se mostraron las conexiones eléctricas y esquemas generales del sistema finalizado.
- Se realizaron pruebas prácticas con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los bloques.

CONCLUSIONES:

- ✓ Es factible implementarlo en nuestro país obteniendo beneficios, además de ganancias a mediano o largo plazo.
- ✓ La programación de Arduino se realiza con lenguajes a alto nivel donde esto se traduce en una mayor facilidad para su programación y adaptación en sistemas de automatización.
- ✓ Grandes mejorías en el aprovechamiento de los recursos de energía, agua y productos químicos en beneficio de la calidad y cantidad de la producción.

RECOMENDACIONES

- ✓ Desarrollar un sistema de fertilización para el invernadero e incorporar la medición de pH.
- ✓ Establecer un estudio exhaustivo acerca de los parámetros de desarrollo y siembra de una mayor cantidad de cultivos.
- ✓ Incrementar las prestaciones del HMI para la introducción manual de los parámetros ideales de los diferentes cultivos y la incorporación de otros nuevos.
- ✓ Desarrollar una aplicación Android en la que se pueda realizar el monitoreo y control del invernadero. Mediante conexión WiFi o Bluetooth.
- ✓ Implementar comunicación por Bluetooth o WiFi entre el maestro y el esclavo. De este modo el tamaño de la instalación a controlar puede llegar a aumentar considerablemente.

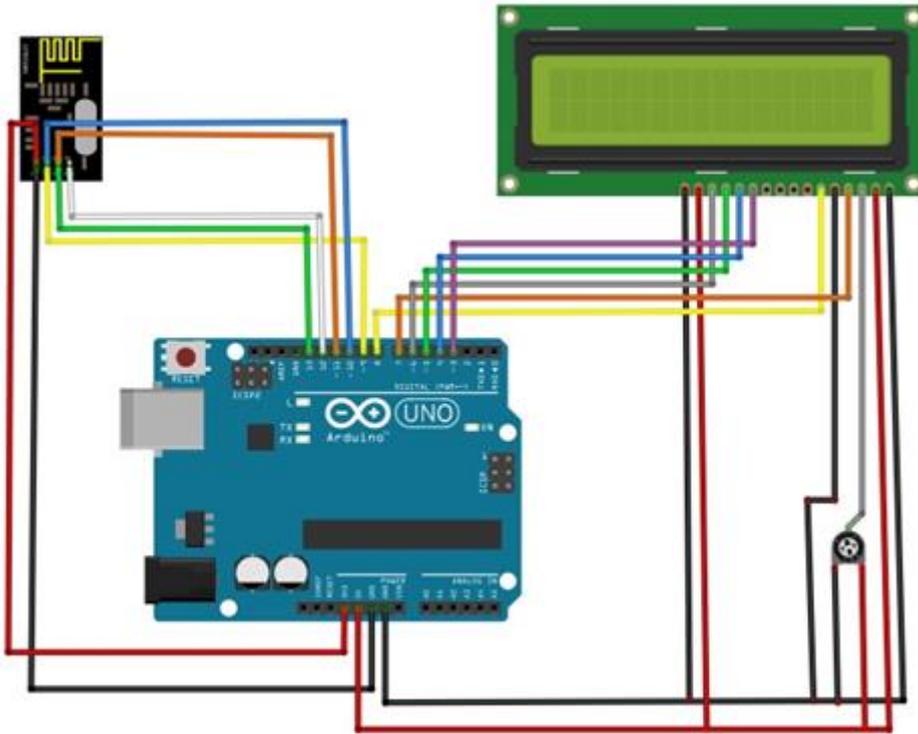
BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, A. (2015). Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros. Universidad Tecnológica de Panamá.
2. Acosta, E. et al. (2015) Prototipo de control para un cultivo de tomate cherry en un invernadero. Universidad Católica de Colombia.
3. Babu, S. (2013) A software model for precision agriculture for small and marginal farmers. Trivandrum, India: IEEE.
4. Baquero, D. et al. (2014) An image retrieval system for tomato disease assessment. Bogotá, Colombia. IEEE.
5. Barroso, A. (2015) Control y monitorización de un invernadero a través de una aplicación móvil. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial.
6. Buendía, R. Et al. (2016) Sistema de control de riego gestionados telemáticamente. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología. Universidad de la Laguna.
7. Castilla, N. (2007) Invernaderos de plástico, tecnología y manejo, 2ª edición. Madrid, España: Mundi-Prensa.
8. Daraviña, G et al. (2014). Diseño de sistema de control de optimización ambiental para cultivo hidropónico. Universidad Tecnológica de Pereira.
9. Guillén, J. et al. (2015). Telecontrol de invernadero. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
10. Lugo, O et al. (2014). Paquete tecnológico para el monitoreo ambiental en invernaderos con el uso de hardware y software libre. Technological Package for Monitoring Greenhouse Environment Using Open Hardware and Software.
11. Margolis, M. (2011) Arduino Cookbook.
12. Méndez, N. (2011) Invernaderos automatizados para el desarrollo en la agricultura familiar en el Marco de la Seguridad Alimentaria. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Revista Tecnológica. Volumen 6, N°6.

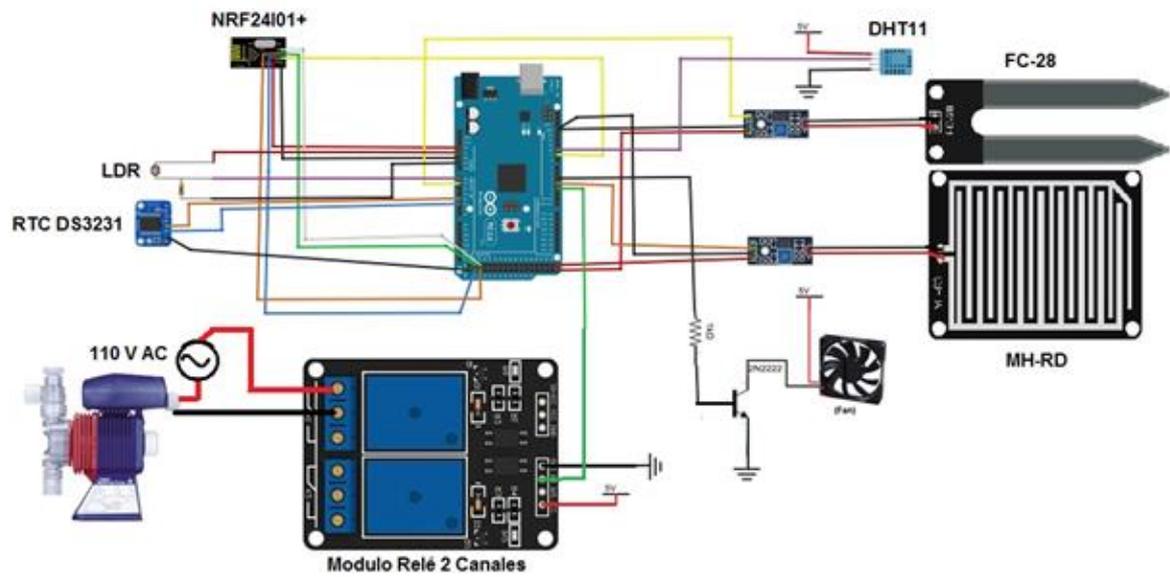
13. Moga, D. et al. (2011) A Low Cost Architecture for Remote Control and Monitoring of Greenhouse Fields. Cluj-Napoca, Romania : Technical University of Cluj-Napoca.
14. Ogata, K. "Ingeniería de Control Moderna". Editorial del Castillo SA, Madrid, 1980.
15. Puerta, J. (2014). Control de temperatura y humedad de una maqueta de invernadero mediante tecnología Open Source.
16. Revista Luminica, Iluminación horticultural y floral: la importancia de la luz en los invernaderos, <http://www.revistaluminica.es/WP/iluminacion-horticultural-y-floral-la-importancia-de-la-luz-en-los-invernaderos/>, fecha de consulta enero 2015.
17. Sábada, S. (2007). Lechuga en cultivo hidropónico. Acercamiento a nuevas formas de producción.
18. Serrano, Z. (2005) Construcción de invernaderos, 3ª edición. Madrid, España: Mundi-Prensa.
19. Shaker, M. et al and A. Imran (2013), "Greenhouse Micro Climate Monitoring Based on WSN with Smart Irrigation Technique," Int. J. Electr. Comput. Electron. Commun. Eng., vol. 7, no. 12.
20. Singh, H. et al. (2015) "Remote Sensing in Greenhouse Monitoring System," Int. J. Electron. Commun. Eng., Apr.
21. Watanabe, K. et al. (2011) A Gadget-Based Information Management System for Environmental Measurement and Control in Greenhouses. Tokyo, Japan: Waseda University.

ANEXOS

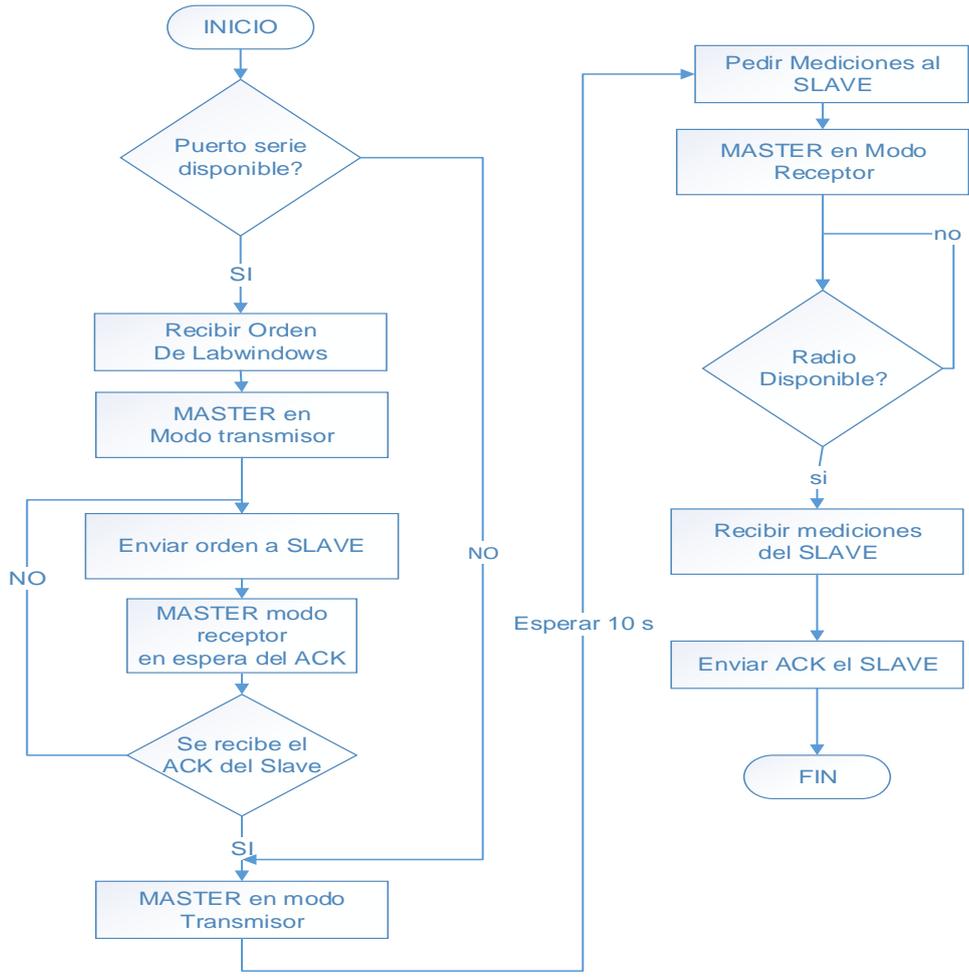
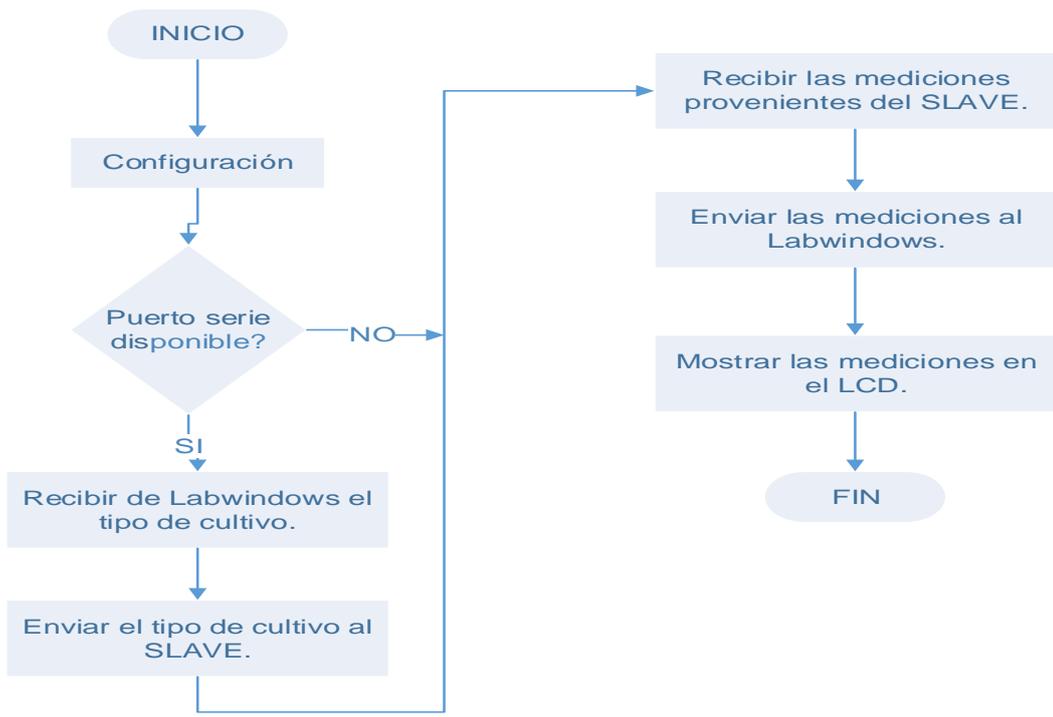
Anexo 1: Esquema Eléctrico de la conexión del Arduino UNO (MASTER).



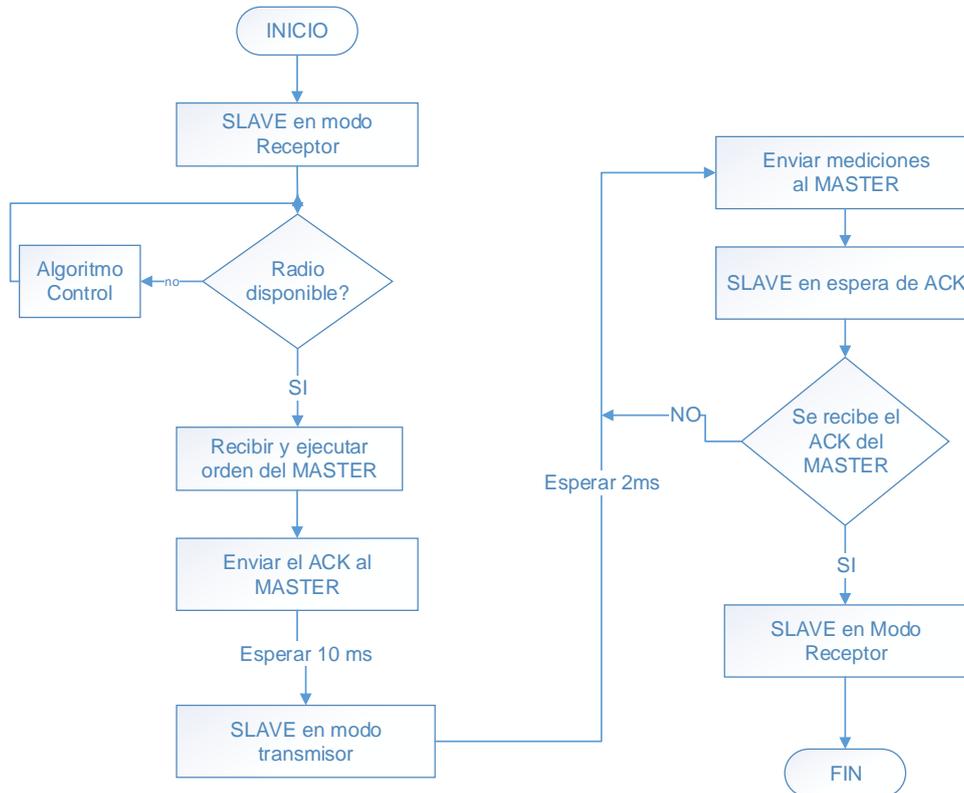
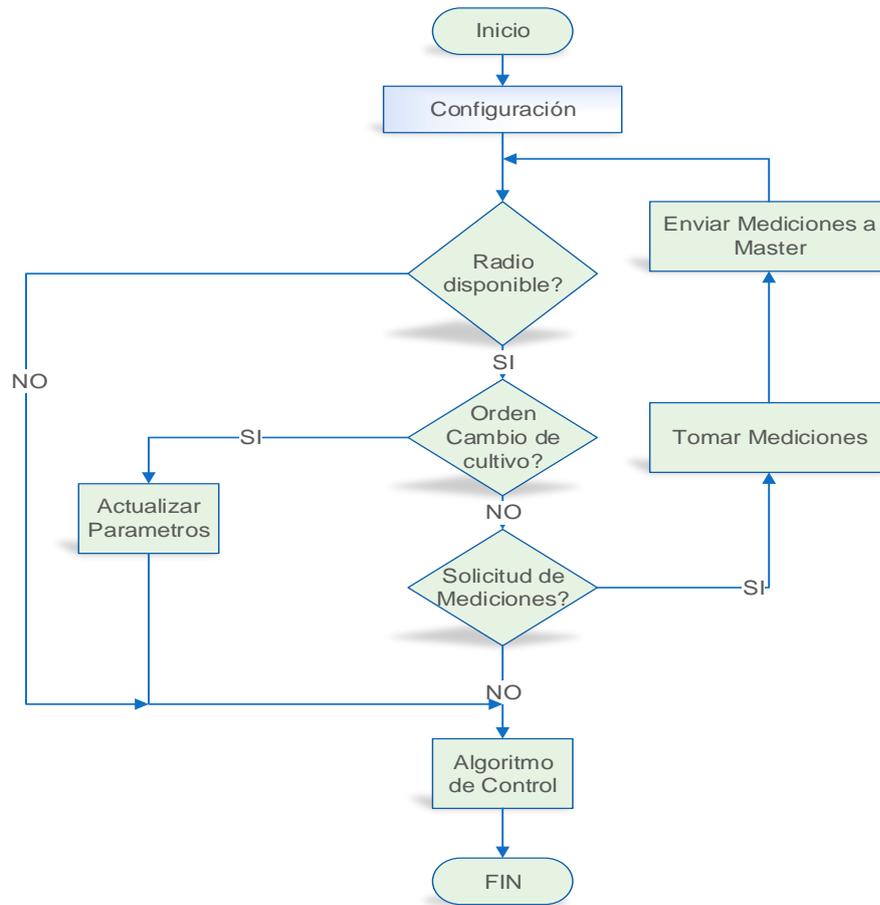
Anexo 2: Esquema Eléctrico de la conexión del Arduino MEGA (SLAVE).



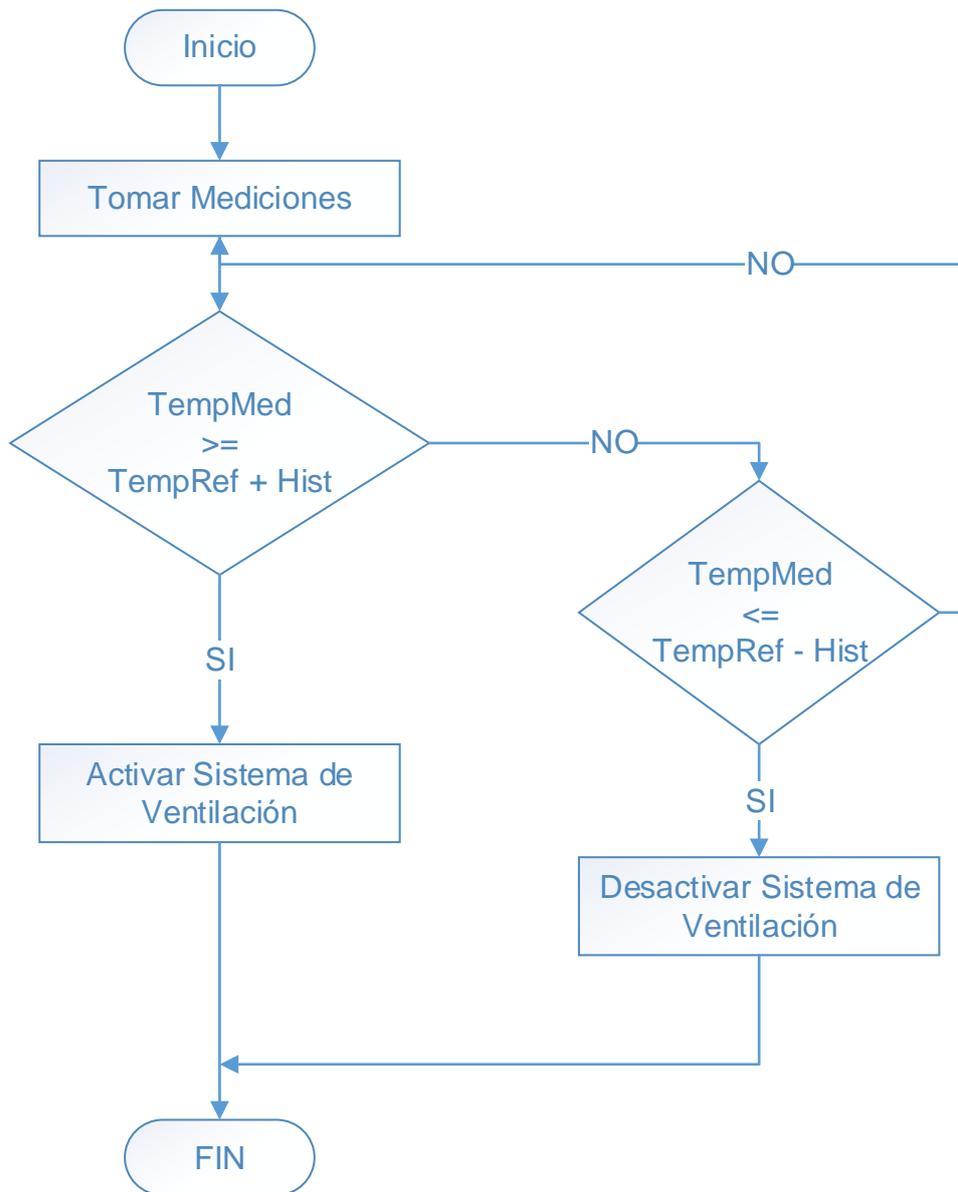
Anexo 3: Diagramas de flujo del Arduino UNO (MASTER).



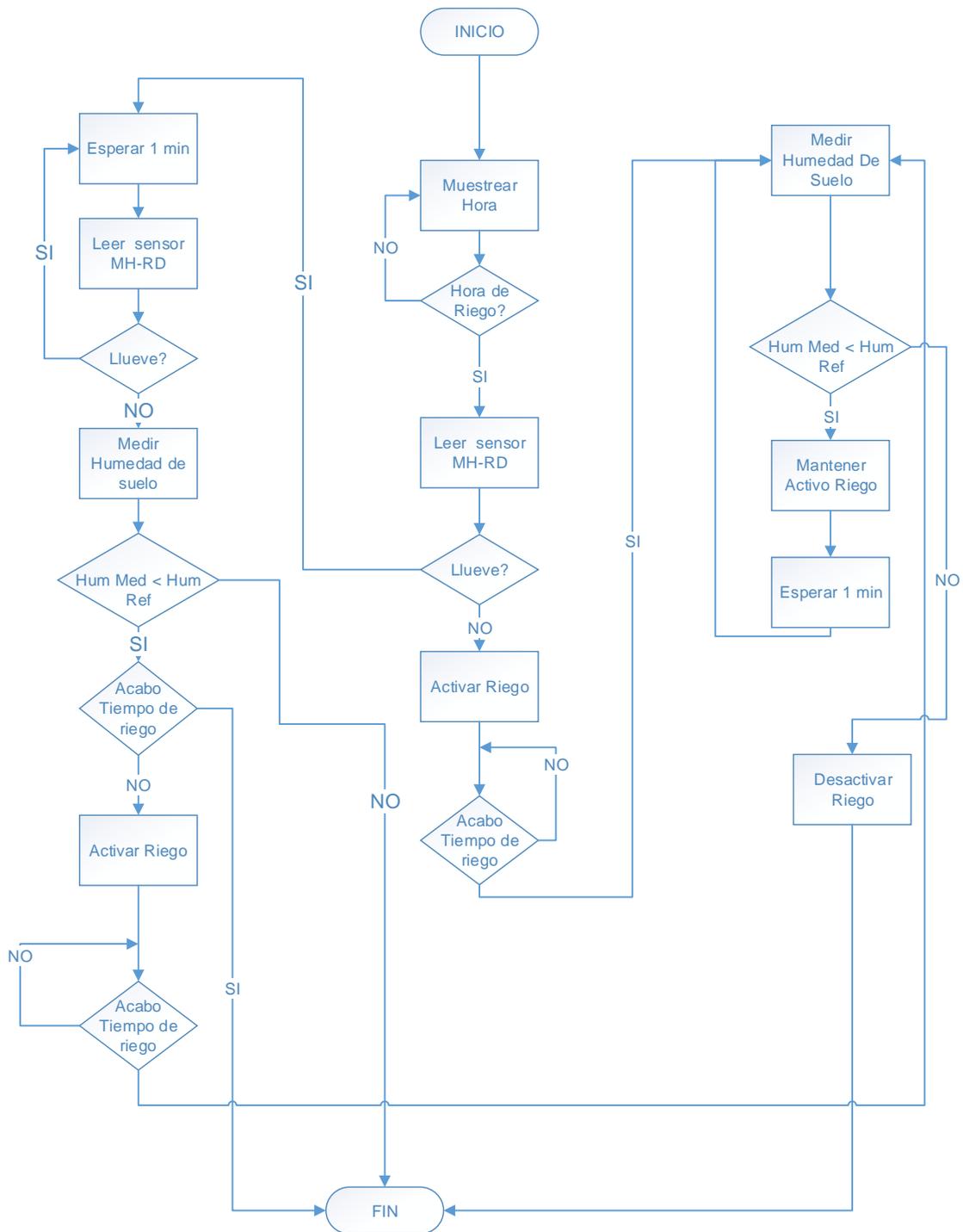
Anexo 4: Diagramas de flujo del Arduino MEGA (SLAVE).



Anexo 5: Algoritmo de control de temperatura



Anexo 6: Algoritmo de control de riego



Anexo 7: Interfaz Gráfica desarrollada en Labwindows (HMI).

