



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**PROPUESTA DE CONTROL DE LUMINOSIDAD Y
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA PARA CULTIVO DE
JITOMATE EN INVERNADERO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A:

HIPÓLITO CANSECO OSORIO



**ASESOR DE TESIS:
Mtro. Juan Gastaldi Pérez
Ciudad Nezahualcóyotl, Edo.
de México, 2018**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

CONTENIDO.....	2
AGRADECIMIENTO.....	6
DEDICATORIA.....	7
INTRODUCCIÓN	8
MOTIVACIÓN.....	9
JUSTIFICACION	10
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
METODOLOGÍA DE TRABAJO	12
Organización del trabajo	13
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO.....	14
1.1 ¿Qué es un Invernadero?	14
1.2 Clasificación de los Invernaderos:.....	14
1.3 Materiales empleados	16
1.4 ORIENTACIÓN.	17
1.5 Formas de los invernaderos.....	18
1.5.1 Invernadero-túnel.....	18
1.5.2 Invernadero capilla (a dos aguas).....	19
1.5.3 Invernaderos en dientes de sierra.	20
1.5.4 Invernaderos tipo capilla modificada.....	21
1.5.5 Invernaderos con cubierta curva.....	22
1.5.6 Invernadero tipo parral (almeriense).....	23
1.5.7 Invernadero tipo Venlo (holandés).....	24
1.6 Condiciones a mantener en un invernadero.....	25
CAPÍTULO 2: LA LUZ EN EL INVERNADERO.....	28
2.1 LUMINOSIDAD	28
2.2 Cómo medir la calidad y la cantidad de luz	28
2.3 ¿Qué es la radiación solar?	29
2.4 ¿Qué es la luz visible?	30

2.5	Fotosíntesis.....	31
2.5.1	La Duración o El fotoperiodo:	31
2.5.2	Calidad de la luz	32
2.5.3	Intensidad de luz.....	35
2.6	Estrés por radiación	37
2.6.1	Efectos de la radiación UV-B sobre la fotosíntesis	37
2.6.2	Efectos directos sobre la fotosíntesis	38
2.7	Radiación en el invernadero.....	38
2.8	Pantallas térmicas.....	41
2.8.1	Tipos de pantallas térmicas:	42
2.8.2	Las ventajas del uso de instalaciones de pantalla térmica:	43
2.8.3	Pantallas de ahorro energético:.....	43
2.8.4	Pantallas de ahorro energético y reflexión solar:	43
2.8.5	Pantallas de sombreo:	43
2.8.5.1	Pantallas de sombreo interior:.....	43
2.8.5.2	Pantallas de sombreo exterior:.....	44
2.8.6	Control de pantallas.....	44
2.8.7	Instalaciones de pantalla	44
2.9	iluminación artificial	45
2.9.1	Beneficios de la luz suplementaria y fotoperiódica	46
CAPITULO 3: CULTIVO DE JITOMATE		48
3.1	Localización	48
3.2	Cultivo de jitomate.....	49
3.2.1	Características botánicas	50
3.2.2	Importancia de la Luz	52
3.2.3	Primeras semanas.....	53
3.2.4	Radiación solar	55
3.3	Cultivo del pepino.....	57
3.3.1	Taxonomía y morfología.....	57
3.3.2	Requerimientos edafoclimáticos (relativo al suelo y al clima)	59
CAPÍTULO 4: HARDWARE PROPUESTO		61

4.1	Arduino.....	61
4.1.1	Arduino Mega 2560	62
4.1.2	¿Qué hay en el tablero?	63
4.1.3	¿Qué hay en el IDE?	64
4.1.4	Resumen	65
4.2	ML8511	67
4.3	BH1750	68
4.4	Pantalla LCD (Liquid Crystal Display)	69
4.5	Teclado Matricial 4x4.	71
4.6	MCP23017	71
4.7	EL RELÉ	72
4.8	El bus I ² C	73
4.8.1	Descripción de las señales.....	74
4.9	La malla raschel	75
4.10	App Inventor.....	75
4.12	Módulo Bluetooth	76
CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....		78
5.1	Sobre el proyecto	78
5.2	Sobre el programa.....	79
5.3	Declaración de variables	81
5.4	Función de configuración (setup)	83
5.5	La función bucle (loop).....	85
5.6	Función Ret.....	88
5.7	Función Menu	89
5.8	Función LeerDatos	91
5.9	Función Informacion.....	92
5.10	Función senUV	95
5.11	Función senLuz.....	95
5.12	Función promedio	96
5.13	Función mapfloat	96
5.14	Función cambiar	97

5.15	Función fecha	100
5.16	Aplicación android.....	101
5.16.1	App Inventor Designer	102
5.16.2	App Inventor Blocks.....	105
CAPITULO 6: PRUEBAS Y RESULTADOS.....		109
6.1	MCP23017 y La Pantalla LCD	110
6.2	El puente H	110
6.3	Relés de estado sólido y electromecánicos	111
6.4	Problemática de los Relés de estado sólido.....	114
6.5	Motor monofásico de fase partida.	115
CONCLUSIONES.....		117
ANEXOS		118
BIBLIOGRAFIA		121

AGRADECIMIENTO

Dedico este trabajo a mis padres: Jacobo Canseco Santos y Julia Osorio Rojas, por siempre darme ánimos y motivación para seguir siempre adelante y a no detenerme ante nada, aunque todo parezca ir en contra.

A mis hermanas que siempre han estado conmigo apoyándome y aconsejándome para superarme día a día.

También quiero reconocer el tiempo, la ayuda y la paciencia de mis revisores de este trabajo, sin su tiempo y dedicación, esto no hubiera sido posible.

Merece una mención y un agradecimiento especial mi asesor de tesis: Dr. Ismael Díaz Rangel, por todo el apoyo, la atención, y la ayuda brindada en mi desarrollo académico, profesional y personal, sus observaciones, consejos y su inmensurable apoyo han hecho posible este momento, me siento muy afortunado por haberlo encontrado en mi camino.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de realizar los estudios en la carrera que más me gusta y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Aragón por darme todo lo necesario para mi formación, no solo académicamente sino también personalmente.

A mi asesor y revisores de Tesis, Mtro. Juan Gastaldi Pérez, Dr. Ismael Díaz Rangel, Dr. José Antonio Vega Ramírez, M. en I. Fidel Gutiérrez Flores y al Ing. Joel García Zárraga, por compartir sus conocimientos, su tiempo, observaciones, enseñanzas, correcciones, atinados consejos e innumerables sugerencias, paciencia, confianza y amistad recibida.

Al Grupo IDEA en donde aprendí a explotar más mis conocimientos, proporcionándome todo lo necesario para poner en práctica este proyecto, así como los demás surgidas en la carrera.

DEDICATORIA

Más que una dedicatoria es un reconocimiento muy especial y con agrado afecto a todos aquellos que hicieron posible este sueño, porque con su apoyo, confianza y motivación me dieron el valor para que día a día mis objetivos se hicieran realidad, gracias a todos los integrantes de mi familia, en especial a mis padres que se merecen todo el reconocimiento, ya que el logro que llego a tener, es también un reconocimiento a su labor hecha al instruirme.

INTRODUCCIÓN

Los invernaderos se han convertido en una necesidad, debido a una importante serie de factores que afectan la producción agrícola a campo abierto, como son las bajas temperaturas y la incidencia de plagas y enfermedades.

La utilización de invernaderos para la producción de hortalizas, combinado con los avances de la ciencia y la tecnología en las últimas décadas han permitido a los agricultores incrementar la producción por unidad de superficie y la calidad de los productos, a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios.

Respecto a nuestro país, hoy en día, en México existen alrededor de 20,000 hectáreas bajo agricultura protegida [Sagarpa 2013] de las cuales aproximadamente 12,000 son de invernadero y las otras 8,000 corresponden a malla sombra y macrotúnel entre otras estructuras. Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son Jitomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%) (SAGARPA, 2012).

Gracias al cultivo de Jitomate, México se encuentra en el décimo lugar de productores de todo el mundo con una producción anual de 3 millones de toneladas; por otro lado, el Jitomate es el tercer producto más exportado en el país y este cultivo convierte a México en el principal exportador mundial con una cifra de 1.5 millones de toneladas al año, es decir, el 50% de la producción total.

Así mismo algunas licenciaturas permiten a los alumnos familiarizarse con los problemas que aquejan al campo y analizarlos; como es el caso de Planificación para el Desarrollo Agropecuario, ofertada en la UNAM, y se imparte exclusivamente en la FES Aragón. Debido a esto dentro de esta facultad se encuentran 4 invernaderos, cuyos principales productos son el Jitomate y el pepino.

Estos invernaderos ayudan a los alumnos para realizar sus prácticas de campo; sin embargo, no poseen la tecnología para adecuar los parámetros climáticos que se necesitan para un mejor estudio de los cultivos, y también para obtener mejores productos.

MOTIVACIÓN

La finalidad de este proyecto es aprovechar los conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación académica, y poder con esto desarrollar un dispositivo que sea de mucha utilidad y económico para poder implementarlos en un área que es muy importante para toda persona ya sea directa o indirectamente y que forma parte de nuestra vida diaria como es el caso de la agricultura, y en específico el cultivo del jitomate.

Este proyecto me proporciona una oportunidad de tener un mayor aprendizaje de lo ya aprendido y obtener otros nuevos que son indispensables para entender la problemática mientras que una vez concluido me permite obtener mi título de grado.

JUSTIFICACION

Con la creación de un sistema capaz de controlar la cantidad y horas de luz, además de la cantidad de radiación UV recibida del sol, se puede ayudar a mejorar de manera significativa la producción dentro de los invernaderos de nuestro país.

Por otra parte, al desarrollarlo con componentes de fácil adquisición y a precios accesibles dan la posibilidad de que cualquier persona interesada en este sistema pueda implementarlo a un bajo costo de inversión; asegurando a su vez que el mantenimiento o la obtención de los accesorios necesarios para su funcionamiento se pueda obtener de una manera más rápida, además de contar con una interfaz fácil de manipular y entender.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema automatizado para el control óptimo de la radiación solar en un invernadero, haciendo uso de pantallas térmicas, así como de iluminación artificial; esto de acuerdo a las necesidades de cualquier cultivo: desde flores, verduras, frutas, hasta árboles o a las necesidades programadas por parte del encargado del invernadero. Ello es posible mediante una interfaz que permite configurar los diferentes parámetros de control del sistema. El costo del sistema es bajo comparado con otras propuestas, por lo que cualquier persona con un invernadero lo puede adquirir.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar y analizar información disponible sobre el cultivo en invernaderos de diversas fuentes, tanto impresas, como digitales, así como también información del uso de pantallas térmicas e iluminación en invernaderos.

Utilizar la información recopilada para hacer las pruebas del diseño del sistema lo que permitirá entender mejor el comportamiento de este, permitiendo controlar las variables importantes en un invernadero que son: la luminosidad y radiación UV.

- Diseñar el sistema de automatización utilizando el microcontrolador ATMEGA328P programado mediante el entorno de desarrollo Arduino.
- Construir el sistema de bajo costo accesible a cualquier persona.
- Mejorar la producción en el invernadero de la FES Aragón.
- Obtener un control óptimo de acuerdo a las mediciones realizadas.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

El diseño del sistema de control se desarrolla mediante la programación del microcontrolador avr de la empresa Atmel, en específico el ATmega328P, para la generación del código fuente se utilizará el entorno de programación Arduino, también se hará uso de los sensores BH1750 Y ML8511 para medir la intensidad de luz y radiación solar. Además, se realizará una aplicación para Android que servirá para comunicarse con el sistema vía bluetooth usando App Inventor 2.

En tres lugares colocaran los sensores para obtener un promedio de las condiciones del invernadero, obteniendo así una medida más confiable.

Para controlar la cantidad de luz necesaria se hará uso de una malla térmica (malla raschel) encima del invernadero, de manera que se pueda colocar cuando haya un exceso de iluminación, y quitar cuando esté en condiciones ideales por medio de la activación de un motor eléctrico, mientras que, para el caso contrario, cuando hay una iluminación inferior al óptimo, se utilizaran lámparas que se encargaran de elevarla y mantenerla.

ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Capítulo 1. En este capítulo se da la definición de lo que es invernadero, las formas en las que se puede encontrar, así como los distintos materiales con los que puede estar construido.

Capítulo 2. Este capítulo se encarga de definir el concepto de la luz y de la radiación ultravioleta (UV), las formas en las que se puede medir, la interacción y reacciones de estas con las plantas, finalizando con la descripción de las mallas térmicas e iluminación artificial, que son utilizados en el control de la cantidad de luz y radiación que se pueda tener en un invernadero.

Capítulo 3. En este capítulo se hace descripción de dos cultivos principales que se obtienen dentro de los invernaderos de la FES Aragón los cuales son el Jitomate y el pepino, mencionando todas sus características botánicas y sus requerimientos de luz.

Capítulo 4. Este capítulo se encarga de describir todo lo necesario para la construcción del sistema de control, abarcando tanto software y hardware, sin entrar a la programación utilizada.

Capítulo 5. En este capítulo se entra de lleno a la descripción del programa o sketch usado para que el sistema funcione de manera adecuada, dando a conocer un diagrama de flujo del funcionamiento y mostrando la parte del código asociado a la función específica, a su vez, describiendo conceptos que fueron necesarios utilizar.

Capítulo 6. Este es el último capítulo del proyecto y como tal se encarga de mostrar la problemática que se tuvo a la hora de desarrollarlo, las soluciones encontradas. Las simulaciones y las implementaciones realizadas.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 ¿QUÉ ES UN INVERNADERO?

Es una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior. Los invernaderos pueden contar con un cerramiento total de plástico en la parte superior y malla en los laterales.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS INVERNADEROS:

Clase A: Estructuras de Invernaderos unitarios o en batería (figura 1.1 y figura 1.2).



Fig. 1.1 Invernadero Unitario

Se trata de invernaderos que tienen una anchura y altura variable, encontrándose en el mercado modelos importados con las siguientes dimensiones:

Tabla 1.1 Medidas del invernadero unitario

Ancho (m)	Altura al cenit (m)	Altura a 0.50 m (m)
3.0 – 5.0	1.5	-
6.0	2.5	1.3
8.5	3.2	1.7

Cuando varios Invernaderos son agrupados forman baterías. La altura y longitud del invernadero son las mismas que en el caso de naves aisladas que en el de batería. En cambio, en el invernadero en batería, la anchura total puede ser el múltiplo de la anchura de una nave aislada.



Fig. 1.2 Invernaderos en batería.

Clase B: Estructuras tipo Casa-Sombra y Macro túneles (figura 1.3 y figura 1.4).



Fig. 1.3 Invernadero tipo Casa-Sombra.

El modelo Casa Sombra también denominado malla sombra, es una estructura de tubos galvanizados con entramado de alambre y cordón de acero. El cerramiento es en malla y está adaptado a todo tipo de cultivos. El aprovechamiento del espacio es máximo y posee una alta adaptabilidad al terreno. Se trata del invernadero más barato y sencillo, con gran adaptabilidad a la geometría del

terreno, presenta una gran uniformidad luminosa y de montaje rápido y sin soldaduras.

El uso de este tipo de invernadero está recomendado para climas templados, ya que por cuestiones de estanqueidad y aislamiento no se recomienda su empleo en climas fríos. Debido a su diseño, su baja altura les confiere resistencia a fuertes vientos, y no permiten un control del clima muy exhaustivo en su interior debido al pequeño volumen de aire que aloja. No es recomendable su uso en zonas lluviosas, debido a que acumula agua en la cubierta pudiendo formarse bolsas que comprometan la estructura y el film plástico.



Fig. 1.4 Invernadero tipo Macrotunel.

Los túneles altos o macrotúneles son estructuras generalmente construidas con tubos de hierro galvanizado, cubiertos con una capa de plástico de tipo invernadero, malla sombra. Su altura, generalmente entre 3.5 m aproximadamente, favorece el cultivo de variedades indeterminadas.

En ambos tipos el período mínimo de vida útil de la estructura es de 10 Años.

1.3 MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales de las estructuras deben ser económicos, ligeros, resistentes y esbeltos; deben formar estructuras poco voluminosas, a fin de evitar sombras de las mismas sobre las plantas, de fácil construcción, mantenimiento y conservación, modificables y adaptables al crecimiento y expansión futura de estructuras, sobre todo cuando se planean ensamblar en batería.

Los materiales más utilizados en la construcción de las estructuras de los invernaderos dependiendo de su uso son:

- **En pilares, apoyos y refuerzos:** madera, acero galvanizado, hierro y aluminio
- **En correas y vigas:** acero galvanizado, hierro y aluminio.
- **Arcos:** acero galvanizado o aluminio.
- **En soportes o basas de cimentación:** hormigón.
- **En sujeción de la cubierta:** alambre galvanizado o perfiles de acero galvanizado o aluminio, según el tipo de invernadero.
- **Canales:** en acero galvanizado o aluminio.
- **Emparrillado:** en acero galvanizado o aluminio y alambre galvanizado.

Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material ya que lo común es emplear distintos materiales. De igual manera ocurre con las cubiertas debido a que las propiedades más importantes que la definen son la transmisión de la radiación solar, la transparencia a la radiación infrarroja o térmica y la transmisión de calor de los materiales que la componen.

Generalmente se realizan de los siguientes materiales:

Films plásticos: de polietileno, copolímero etileno vinilacetato y cloruro de polivinilo y plásticos multicapa

Plásticos rígidos: de polimetacrilato de metilo, policarbonato y poliéster.

Vidrio: cristal de vidrio impreso.

1.4 ORIENTACIÓN.

La luz y el viento son los factores determinantes en la orientación del invernadero. La luminosidad es el factor más importante de tener en cuenta, ya que el viento puede ser controlado o disminuido con cortinas contra vientos.

Por tal motivo se recomienda que el invernadero se oriente de Norte a Sur para aprovechar con mayor eficiencia la luminosidad y la radiación solar que ayuda al desarrollo de las plantas por cultivar; también que la orientación se combine con la dirección de los vientos de tal manera que los invernaderos queden en el sentido de los vientos dominantes y laterales.

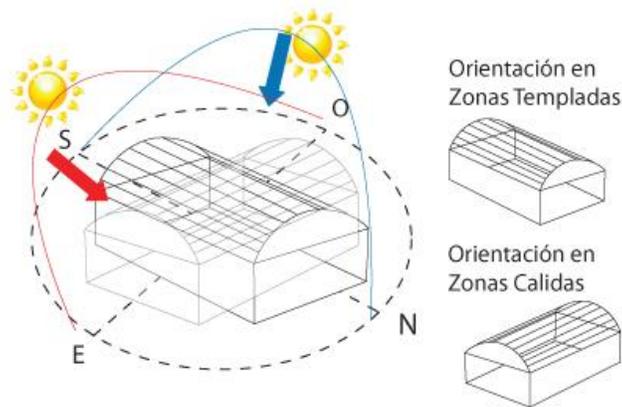


Fig. 1.5 Orientación de un invernadero.

1.5 FORMAS DE LOS INVERNADEROS.

Las características y formas del invernadero estarán dispuesta por las condiciones climáticas (temperatura, luz solar, lluvia y aire) y orografía, en base a esto puede intentar una clasificación según criterios (por ej. materiales para la construcción, tipo de material de cobertura, características de la cubierta, etc.). Partiendo de esto nos basaremos en los más utilizados tipos de invernaderos o comunes en el mundo se encuentran:

- Invernadero-túnel.
- Invernadero capilla (a dos aguas).
- Invernaderos en diente de sierra.
- Invernadero capilla modificado.
- Invernadero con cubierta curva.
- Invernadero tipo “parral” ó “almeriense”.
- Invernadero “holandés” (tipo Venlo).

1.5.1 Invernadero-túnel.

Es difícil establecer una línea divisoria entre lo que es un invernadero y un macro túnel, por no existir un parámetro definido, en México gracias a la norma mexicana que da definido como invernadero (figura1.6).

En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, podemos definir como invernadero aquella estructura que supera los 2,75-3,00 m³/m².

Se trata de invernaderos que tienen una anchura y altura variable, encontrándose en el mercado modelos importados con las siguientes dimensiones (tabla 1.2):

Tabla 1.2 Dimensiones de un invernadero tipo túnel

Ancho (m)	Altura del cenit (m)	Altura total (m)
3-5	1.5	-----
6	2.5	1.3
8	3.2	1.7
9	3.3	1.7

Ventajas:

- Alta resistencia a los vientos y de fácil instalación.
- Tiene un alto grado de paso de luz solar.
- Apto tanto para materiales de cobertura flexible como rígidos.

Desventajas:

- Relativamente pequeño volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica.
- Solamente recomendado para cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutillas, etc).

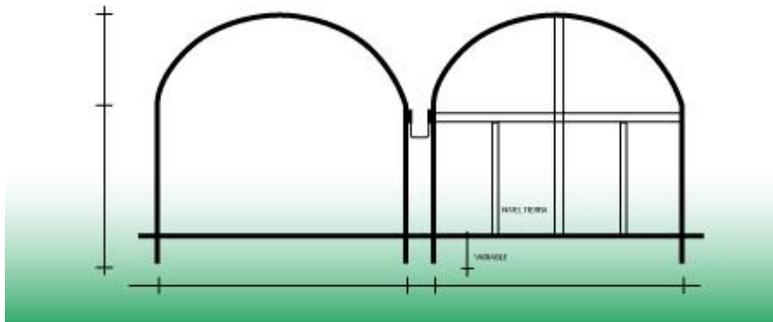


Figura 1.6 Túnel individual o apareado

1.5.2 Invernadero capilla (a dos aguas).

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado. La pendiente del techo (cambio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15° y 35°) (figura 1.7).

Las dimensiones del ancho, varían entre 6 y 12 m (incluso mayores), por largo variable.

Las alturas de los laterales varían entre 2,0-2,5 m y la de cumbrera 3,0-3,5 m (también se construyen más bajos que los señalados, pero no son recomendables).

La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas, no ofrece dificultades; solo se hace difícil cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías.

Ventajas:

- Construcción de media a baja complejidad.
- Utiliza materiales de bajo costo dependiendo de la zona (postes de madera pinos, eucaliptos, etc).
- Apto tanto para materiales de cobertura flexible como rígidos.

Desventajas:

- Problema de ventilación con invernaderos en batería.
- Misma altura cenital, tiene menor volumen encerrado que invernaderos curvos.
- Mayores números de elementos que disminuyen la transmisión de luz solar.
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos.



Figura 1.7 Invernadero tipo capilla

1.5.3 Invernaderos en dientes de sierra.

Una variación de los invernaderos tipo capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente.

Estos invernaderos, contaban con una cubierta única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol - norte para el hemisferio sur-).

El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos da origen a los conocidos “dientes de sierra”. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos.

Ventajas:

- Construcción de complejidad.
- Excelente ventilación.
- Empleo de materiales de bajo costo.

Desventajas:

- Sombreo resulta mayor que en capilla debido al número de elementos.



Fig. 1.8 Invernadero tipo diente de sierra.

1.5.4 Invernaderos tipo capilla modificada.

Se trata de una variante de los tipo capilla la modificación (respecto al capilla) consiste en el ensamble a diferentes altura de cada cabio, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital (lucarna). Las dimensiones más comunes de estos invernaderos son:

- Ancho de cada módulo: 6,0 m.
- Altura lateral: 2,4 m.
- Altura cenital: 3,6 m.
- Abertura cenital (lucarna): 0,3-0,5 m.

Los postes se plantan cada 2,0 m (tanto en el lateral como en la parte central), utilizándose postes sulfatados o bien, impregnados con brea al menos en los 0,40-0,60 m que van enterrados).

Ventajas:

- Construcción de media complejidad.
- Excelente ventilación apropiada por la conformación de baterías.
- Empleo de materiales de bajo costo.

Desventajas:

- Mayor capacidad de sombreado por el número de elementos estructurales y menor capacidad de sombreado comparado con el tipo sierra.
- Elementos de soporte que dificultan los desplazamientos y emplazamientos del cultivo.

1.5.5 Invernaderos con cubierta curva.

Este tipo de invernaderos, tienen su origen en los invernaderos-túneles. Por lo común, son de tipo metálicos (caños de 2" a 2,5" de diámetro ó bien perfiles triangulares con hierro redondo trefilado de 8-10 mm de diámetro) o bien con cubiertas metálicas y postes de madera.

Dentro de este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (circulares, semi elípticos o de medio punto, ojivales, etc.).

Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0-8,0 m de ancho por largo variable. En la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe, existe una alternativa de muy bajo costo (más próxima al tipo semielíptico) construida con postes de madera y cubierta de madera arqueada o caña. Se trata de estructura muy endeble y de baja altura, tornándose en una importante limitante para el clima de la zona.

Ventajas:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Desventajas:

- Elevado coste.

- No aprovecha el agua de lluvia.



Figura 1.9 Invernaderos con cubierta curva

1.5.6 Invernadero tipo parral (almeriense).

Son invernaderos originados en la provincia de Almería (España), de palos y alambres, denominados “parral” por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa

Actualmente existe una versión moderna a los originales, que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, permaneciendo el uso de postes para los laterales de tensión o aún, siendo reemplazados también éstos por muertos enterrados, para sujeción de los vientos constituidos por doble alambre del 8.

Estos invernaderos suelen tener una altura en la cumbre de 3,0 a 3,5 m, la anchura variable, pudiendo oscilar en 20 metros o más por largo variable. La pendiente es casi inexistente, o bien (en zonas con pluviometría de riesgo) suele darse 10°-15°, lo que representa altura de los laterales del orden de 2,0-2,3 m. Se ventila solamente a través de las aberturas laterales.

En la cubierta sólo se utiliza un doble entramado de alambre, por entre el cual se coloca la lámina de polietileno, sino otra sujeción.

Ventajas:

- Es económica su construcción.
- Gran adaptabilidad para la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Presenta uniformidad luminosa

Desventajas:

- Poca existencia de aire.
- Mala ventilación.
- La instalación de ventanas cenitales resulta difícil.
- Envejece rápido la estructura
- Difícil mecanización para las labores de cultivo.



Figura 1.10 Invernadero tipo parral

1.5.7 Invernadero tipo Venlo (holandés).

Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m.

Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que en Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a ventilación).

En vez, tiene ventanas cenitales, alternadas en su apertura (una hacia un lado y la siguiente hacia el otro) cuyas dimensiones son de 1,5 m de largo por 0,8 m de ancho.

Ventajas:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Desventajas:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.

- Su elevado coste.
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.



Figura 1.11 Invernadero tipo Venlo

1.6 CONDICIONES A MANTENER EN UN INVERNADERO.

Una característica esencial de un invernadero va en función del clima de la zona para generar el diseño, sin olvidar la orientación de este, buscando que sea maleable, económico y que sostenga al cultivo con el equipo necesario para satisfacer las necesidades fisiológicas como:

- **Agua:** Elemento cuya función es controlar la temperatura de la planta y movilizar los nutrientes que implica
- Nutrición.
- **Humedad relativa:** factor esencial para el control de temperaturas.
- **Temperatura:** Factor que incide en el desarrollo eficiente del planta en cada uno de sus.
- **Ventilación:** Es la renovación del aire dentro del invernadero con la finalidad de aportar CO₂ necesario para el desarrollo de los cultivos y disminuir la temperatura interna

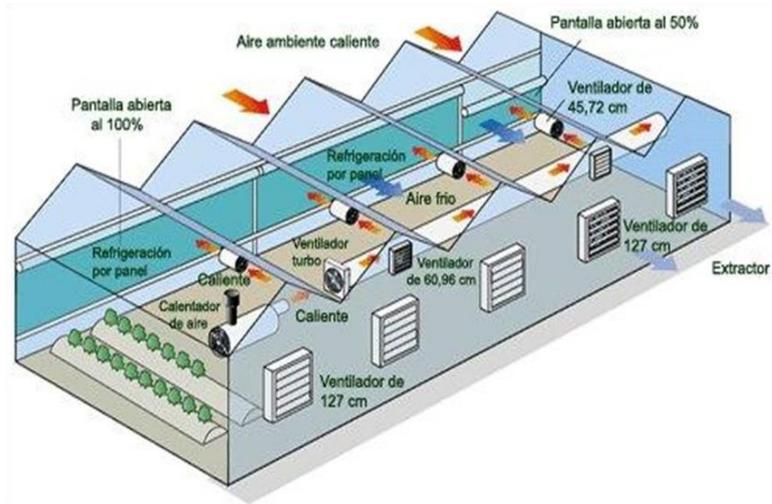


Figura 1.12 Partes de un invernadero

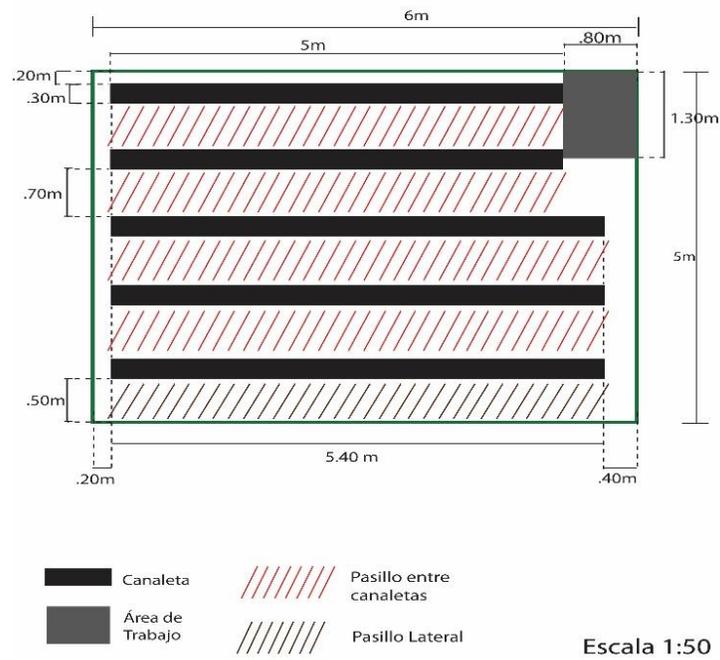
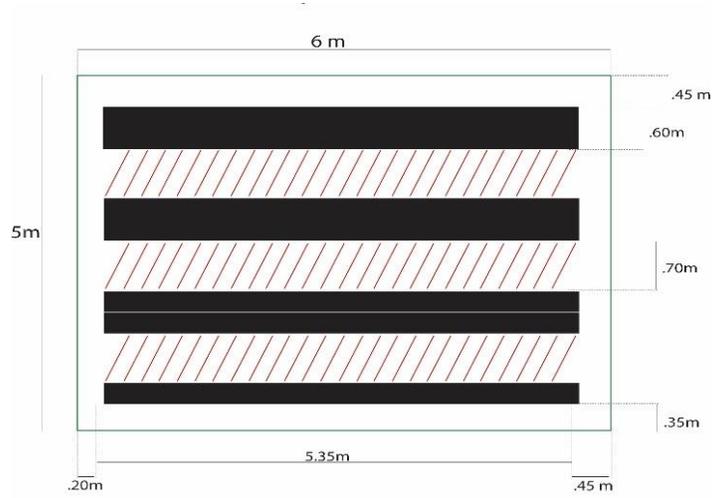


Figura 1.13 Distribución en Invernadero de 5m x 6m



Canaleta
 Área de trabajo
 Pasillo

Escala 1:50

Figura 1.14 Distribución para Alta Producción.

CAPÍTULO 2: LA LUZ EN EL INVERNADERO

2.1 LUMINOSIDAD

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas y el principal insumo de la bioproduktividad vegetal. Sin embargo, durante los meses de invierno, la luz constituye generalmente el principal factor limitante de la producción. Por el contrario, en verano supone un incremento de la temperatura en el interior del invernadero y del propio cultivo. Es por ello por lo que resulta importante tener constancia de la evolución de la radiación solar, midiéndose por diferentes sensores de medida:

- Luxómetro (Klux): mide la intensidad luminosa que se encuentra entre las longitudes de onda de la radiación visible pero sin diferenciarlas.
- Watímetro (W/m^2): mide la intensidad visible a la que la planta es más sensible, principalmente el rojo. (Medidor de PAR)
- Kipp-solary: (W/m^2) mide la radiación global (300-3.000 nm) y después puede dividirla en radiación visible y PAR

Valores reducidos de luminosidad 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 periodo vegetativo, resulta crucial la interrelación existente entre la temperatura diurna y nocturna y la luminosidad.

2.2 CÓMO MEDIR LA CALIDAD Y LA CANTIDAD DE LUZ

La luz es importante, ya que las plantas usan parte de la energía radiante que emite el sol para la fotosíntesis. Generalmente, la luz se confunde con energía. La calidad de la luz es la longitud de onda (en nanómetros, nm) dentro del espectro electromagnético; es decir, la luz azul es de 450 nm y la luz roja es de 650 nm; mientras más corta la longitud de onda, mayor es la energía y mientras más larga la longitud de onda, menor es la energía. Los niveles de luz afectan directamente a la transpiración, la absorción de agua, el florecimiento, la germinación, el crecimiento intermodal, etc. dentro de la planta.

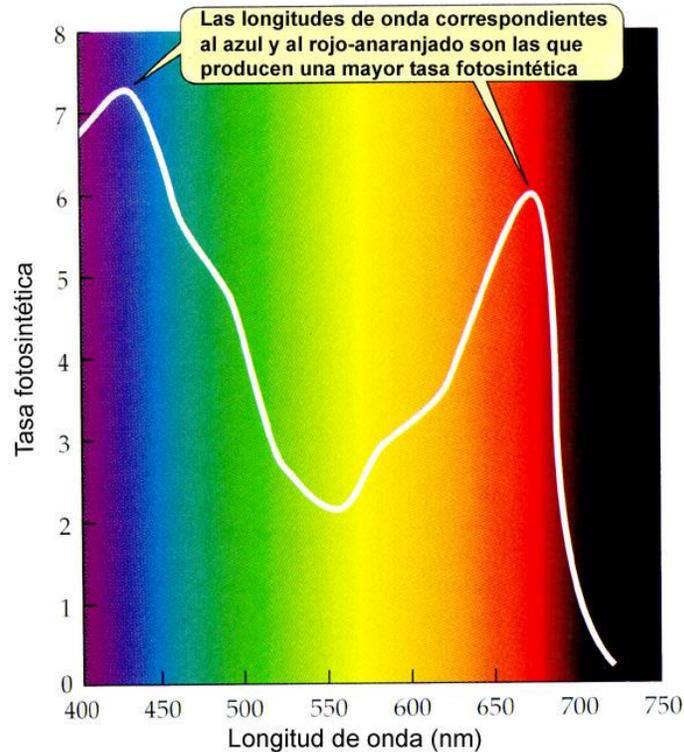


Figura 2.1 Longitudes de onda adecuados para la fotosíntesis

2.3 ¿QUÉ ES LA RADIACIÓN SOLAR?

Es la energía radiante emitida por el sol con longitudes de onda entre 280 y 2.800 nm. Se puede subdividir en ultravioleta (100 a 380 nm), luz visible (380 a 780 nm) e infrarroja (700 a 3000 nm). La radiación ultravioleta (especialmente la UV-B y UV-C) pueden ser dañinas para las plantas, ya que puede producir daño fotoquímico al ADN celular y disminuir la tasa fotosintética. La radiación infrarroja cercana (700 a 1500 nm) provoca que la temperatura de las hojas se eleve. La mayor parte de la banda de luz visible se usa para fotosíntesis. En la agricultura de invernaderos, la radiación solar se puede usar para programar el riego, ya que esta energía provoca la transpiración de la planta. Las plantas usan hasta un 5 % de la radiación solar para fotosíntesis, el resto se usa para la evaporación. Las estaciones, la latitud, la elevación, las condiciones ambientales y la hora del día afectan la radiación solar.

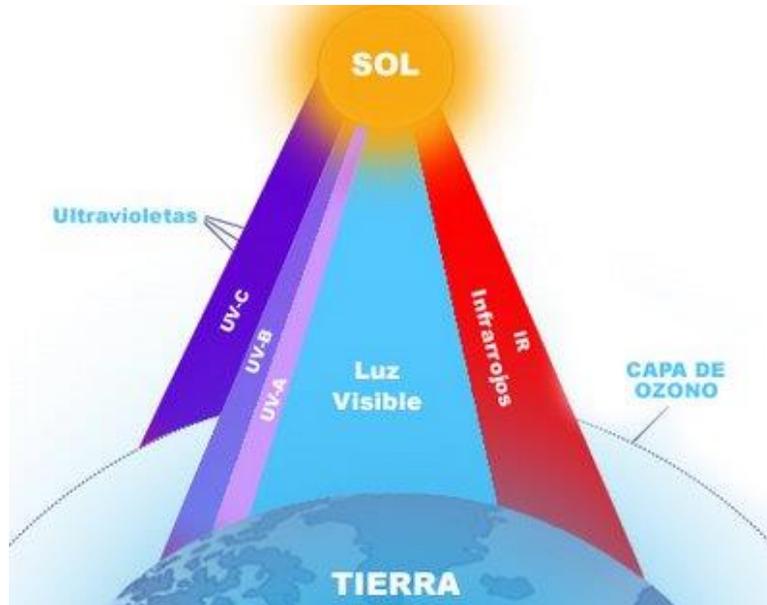


Figura 2.2 Radiación Solar.

2.4 ¿QUÉ ES LA LUZ VISIBLE?

La luz visible consta de longitudes de onda entre 380 y 770 nm y se divide en: Violeta (380 a 430 nm), azul (430 a 500 nm), verde (500 a 570 nm), amarillo (570 a 590 nm), naranja (590 a 630 nm) y rojo (630 a 770). Los seres humanos pueden percibir esta luz a simple vista como colores. Se mide con un sensor fotométrico y se expresa en pie bujía o lux. La industria hortícola ornamental usa este parámetro para determinar la luz que necesitan las plantas para el crecimiento y el desarrollo. Los problemas con este tipo de medidas es que son mediciones instantáneas y las plantas no usan la banda de frecuencia verde.

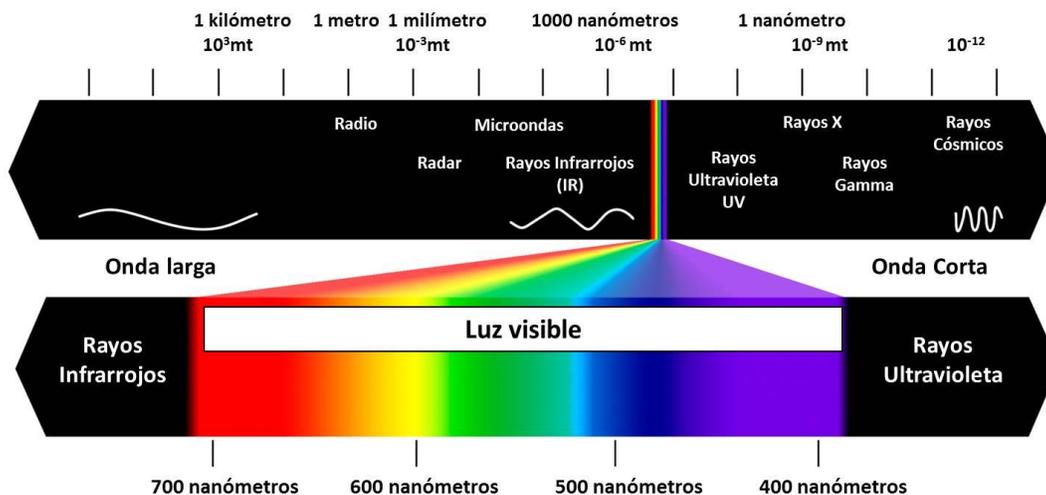


Figura 2.3 Longitudes de onda de la luz visible.

2.5 FOTOSÍNTESIS

La luz, que influye sobre los organismos, proviene directa o indirectamente casi exclusivamente del Sol. La luz provee de la energía necesaria a las plantas para la fotosíntesis, con la cual se produce la materia orgánica para su crecimiento y desarrollo.

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas combinan el dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera con el agua y producen materia vegetal, emitiendo al ambiente oxígeno (O_2). Este proceso de las plantas depende de la intensidad y de la calidad de la luz. A mayor intensidad aumenta la fotosíntesis hasta un cierto nivel.

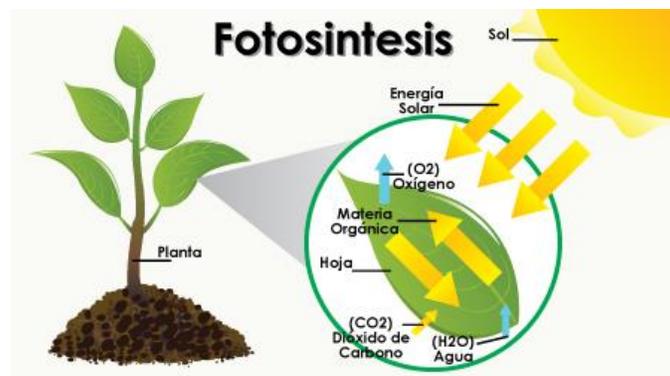


Figura 2.4 Proceso de fotosíntesis.

2.5.1 La Duración o El fotoperiodo:

Es el tiempo en el que las plantas reciben la luz, y puede determinar cambios en sus funciones biológicas como su reproducción, germinación y desarrollo.



Figura 2.5 Trayectoria del sol en el cielo

El desarrollo de las plantas puede ser activado o no dependiendo del número de horas de luz recibidas. Por ejemplo Algunos árboles necesitan un número determinado de horas de luz al día para crecer y poder reproducirse generando flores, pero cuando llega el otoño los días son más cortos, y al no recibir las horas de luz que necesitan, su crecimiento se detiene y entran en una fase de reposo.



Figura 2.6 Foto-período

Varias actividades de las plantas, como la producción de flores, están determinadas por la duración del día; por esta razón las plantas se pueden clasificar a partir de sus respuestas al fotoperíodo. Las plantas de días cortos florecen solo en días cortos o la producción de flores es acelerada en días cortos (con menos de 12 horas de luz: maíz, algodón, crisantemos, dalias, etc.).

Las plantas de días largos florecen solo en días largos y la producción de flores es acelerada en días largos (con más de 12 horas de luz: trigo, espinaca, lechuga, arvejas, etc.). También existen plantas que no responden al fotoperíodo, estas plantas son llamadas plantas neutrales al día y florecen por otros mecanismos (como el girasol).

2.5.2 Calidad de la luz

Depende de la longitud de onda (se mide en metros (m), que es la distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos en una onda de luz. y es un factor que tenemos que tomar en cuenta en caso de que queramos iluminar artificialmente una planta.

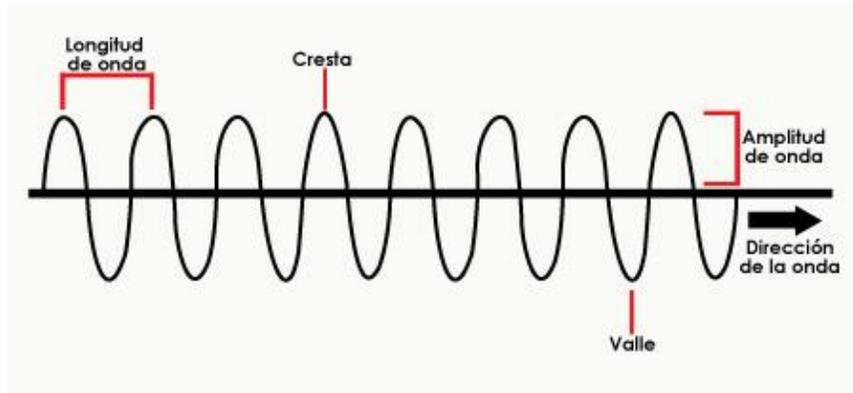


Figura 2.7 Ondas de Luz

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía, la intensidad en la que llega a las plantas es muy importante para su reproducción y desarrollo. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa. Dependiendo de la longitud de onda es como se clasifica la luz y la podemos dividir en tres categorías: Luz ultravioleta (UV), luz visible y luz infrarroja.

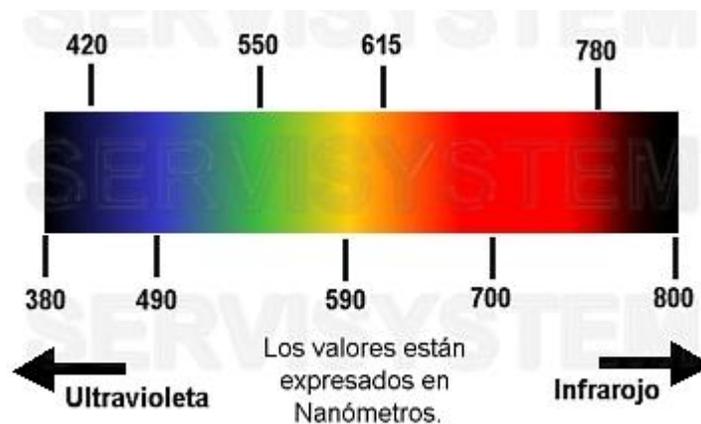


Figura 2.8 Longitudes de onda del espectro visible

La planta reconoce las ondas de luz en el fotoperiodo (duración del día), por medio de receptores que envían señales a la planta para que comience la producción de las flores.

Tabla 2.1 Receptores luz en el fotoperiodo

Tipo de planta	Receptores	Onda de luz que reconoce
De días largos	Fitocromos	Luz roja
De días cortos	Fotorreceptores	Luz azul

Sin embargo ambos tipos de luz son importantes en el desarrollo de la planta, por lo que la elección de un buen equipo de iluminación artificial es esencial. Se puede utilizar focos de 200W hasta 400W procurando que estén a una distancia no mayor a 40 centímetros alejado de tus plantas, algunas veces cuando se comparan dos fuentes de luz blanca, se nota que no son exactamente iguales.

Esta diferencia se explica en que cada fuente de luz tiene una combinación diferente de tonos de color. Algunas luces blancas son más amarillentas o azuladas que otras y esto se debe a que en la combinación de colores predomina más uno de ellos.

Como hemos visto la luz es esencial para el desarrollo de las plantas, mientras que la falta de luz suficiente da como resultado un mal crecimiento de la planta, el exceso de luz puede también ser nocivo.

Tabla 2.2 Signos de una mala iluminación en tu cultivo

Exceso de luz	Falta de luz
Las hojas se arrugan y los bordes se tornan marrones o surgen manchas pardas por quemadura.	Las hojas se ponen amarillas y caen.
Hojas pequeñas, pierden el color verde para hacerse demasiado blanquecinas.	Las plantas apenas florecen y cuando lo hacen, las flores suelen tener un desarrollo incompleto o son demasiado pequeñas y suelen caer antes de florecer.
La planta se ponen “tristes” (pierde vigor) en las horas más calurosas del día.	Las plantas desarrollan tallos casi sin color, demasiado largos y delgados con poca vitalidad y con una gran distancia entre los entrenudos.
Orientar las hojas hacia el sentido contrario de la luz.	Su crecimiento es más despacio y dedil.

2.5.3 Intensidad de luz

La intensidad de la luz se mide en luxes (lx.). El lux es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Un lux equivale a un lumen (lm) por metro cuadrado y un pie bujía (ft) equivale a un lumen por pie cuadrado.

Es importante medir la intensidad de luz en un invernadero o en el lugar donde ubiquemos nuestro cultivo, ya que de esta dependerá un mejor desarrollo del mismo.

Tabla 2.3 Intensidades de luz

Ejemplos	Luxes
Luna llena	1 lx
Iluminación Urbana	10 lx
Ilum. Puesto de trabajo	1000 lx
Ilum. Quirófano	10000 lx
Luz solar	100000 lx

No todas las plantas responden igual a la intensidad de luz, el hecho de que una planta sea de días largos no quiere decir que deba estar en un lugar donde la intensidad de luz es de 100,000 lx (luz del sol en un día despejado), algunas plantas de días largos como el Jitomate y la lechuga se desarrollan mejor entre 10,000 y 40,000 lx, por lo que colocar una protección, como un plástico lechoso o una malla sombra en un invernadero, para disminuir la intensidad de luz es muy importante.



Figura 2.9 Malla sombra.

Para saber si contamos con una buena iluminación en nuestro cultivo debemos utilizar el luxómetro, el cual nos dará de forma precisa la cantidad de iluminación expresada en luxes (lx).

Las plantas difieren en gran manera en sus requisitos de intensidad de luz. A continuación te mostramos algunas especies.

Tabla 2.4 Niveles óptimos de luz para algunos cultivos

Especie	Int. luz (lux)	Duración
Jitomate	10,000-40,000	Día intermedio
Lechuga	12,000-30,000	Día largo
Clavel	15,000-45,000	Día intermedio
Rosa	10,000	Día intermedio
Crisantemo	75,000-95,000	Día corto

De la misma manera cuando nuestro cultivo, por la ubicación o el lugar donde vivimos, no recibe la intensidad de luz adecuada, es necesario ubicarlo en un lugar con mayor iluminación o si es necesario colocar focos de entre 200 y 400 w, dependiendo de la especie, para satisfacer las necesidades de iluminación en tu cultivo.



Figura 2.10 Iluminación artificial en un invernadero.

2.6 ESTRÉS POR RADIACIÓN

Las plantas son las encargadas de la realización de procesos metabólicos esenciales. Ellas tienen la posibilidad de generar oxígeno y compuestos alimenticios a través de la fotosíntesis a partir del agua, el dióxido de carbono y la energía solar. Por lo tanto, son esenciales para el mantenimiento de la vida en el planeta.

El lugar donde se desarrollan, se convierte en la fuente de información que determinará la cantidad y calidad de la cosecha. La luz es heterogénea y cambiante de ahí que las plantas se hallan expuestas a radiaciones adversas para la realización de sus procesos metabólicos. Es así, como han desarrollado una serie de adaptaciones estructurales y fisiológicas que les permiten soportar y aprovechar la radiación disponible.

La energía solar ultravioleta es inhibidora, y puede ocasionar algunos desbalances biosintéticos, que a su vez, mediante las rutas del metabolismo secundario, podrían generar propiedades especiales imprimiendo tipicidad en frutos producidos en climas fríos tropicales, con características regionales o de denominación de origen. La biosíntesis secundaria, suele hallarse restringida a fases específicas del desarrollo de la planta y a situaciones de estrés; condiciones que inducen a la expresión de genes que codifican varias enzimas de la ruta biosintética de compuestos fenilpropanoides.

2.6.1 Efectos de la radiación UV-B sobre la fotosíntesis

Aun cuando todos los mecanismos protectores existan y sean muy efectivos, la penetración de radiación UV-B a través de la epidermis puede producir disminución de fotosíntesis. Se demostró que mientras la epidermis es muy eficiente apantallando la radiación UV-B, lo es mucho menos en otras especies. Por tanto es bastante posible que la radiación UV-B, junto con otros factores ambientales, limite la fotosíntesis en algunas especies. De hecho varios estudios han mostrado que el incremento esperado en asimilación de CO₂ debido al enriquecimiento atmosférico de CO₂ se minimiza o se pierde por completo cuando se incluye también adición de UV-B en el tratamiento. La comprensión de cómo los rayos UV-B pueden regular la fotosíntesis y la capacidad para predecir si incrementos o disminuciones en UV-B alterarán la fotosíntesis depende de nuestro conocimiento de los mecanismos de respuesta del sistema fotosintético a la radiación UV-B.

En general los efectos de la radiación UV-B pueden estar medidos indirectamente por la fotodegradación de los pigmentos fotosintéticos, por alteraciones en el desarrollo o la función de los estomas, o por alteraciones en el régimen de

iluminación visible dentro de la hoja debidas a cambios anatómicos (como el grosor foliar) o morfológicos (como la arquitectura del dosel). Otros estudios han demostrado que la radiación UV-B puede reducir la fotosíntesis mediante efectos directos sobre la maquinaria fotosintética.

2.6.2 Efectos directos sobre la fotosíntesis

Está claro que la absorción de fotones en el rango UV-B puede desestabilizar el proceso fotosintético de varias formas. Pueden observarse efectos directos de la radiación UV-B sobre el sistema fotosintético que afectan tanto a ambos fotosistemas como al ciclo de reducción fotosintética del carbono. Los efectos de la radiación UV-B sobre el aparato de captura lumínica incluyen daños estructurales al cloroplasto, cambios en la transferencia de excitación entre los pigmentos antena y cambios en los pigmentos fotosintéticos, especialmente en la clorofila. El resultado final es la reducción de la respuesta fotosintética a la luz con amplias diferencias en la sensibilidad a la radiación UV-B entre especies.

2.7 RADIACIÓN EN EL INVERNADERO

En un cultivo bajo invernadero algunos factores pueden ser controlados, principalmente la luz y la temperatura, de tal manera que el microclima bajo invernadero debe ser el más próximo a las condiciones biológicas óptimas para la variedad cultivada. El manejo del invernadero se presenta como el factor determinante del éxito de la producción.

La luz es el factor principal para el crecimiento de la planta porque impulsa la fotosíntesis. La radiación es un elemento muy importante para el control climático de invernadero porque afecta de manera significativa la temperatura. Separar ambos conceptos es algo difícil, porque radiación y luz son ambas parte del sol, pero en realidad son cosas diferentes. La radiación es un término amplio que incluye toda clase de rayos y ondas, como la luz, el calor, los rayos ultravioleta (UV), los infrarrojos (IR) o rayos X.

Las plantas absorben radiación de 400–700 nm en sus células y la usan para la fotosíntesis, transformando gas de bióxido de carbono (CO₂) en azúcares. Por eso la radiación entre 400 a 700 nm es llamada radiación fotosintéticamente activa (PAR: Photosynthetic Active Radiation).

La humedad del aire es importante también, su impacto es más perceptible cuando la radiación solar es baja o cuando la humedad es o muy baja o muy alta. En condiciones “normales” para un cultivo adulto, durante las horas del día y con humedad del aire moderada, la radiación solar tiene un efecto abrumador en la cantidad de transpiración.

La radiación solar es la principal fuente de entrada energética al invernadero, la mayor parte es absorbida por la propia planta; un porcentaje menor lo absorbe el suelo y algo la estructura del invernadero.

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la Humedad Relativa y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores.

Los parámetros a tener en cuenta a la hora de elegir un material de cubierta de invernadero, son sus propiedades fotométricas (comportamiento ante las radiaciones), y sus propiedades térmicas (capacidad de aislamiento). En relación con las radiaciones, son tres los factores de importancia, la transmisión, la reflexión y la absorción que definen cómo responde cada material a las radiaciones que recibe.

Las radiaciones que inciden sobre una cubierta de un invernadero son de varios tipos: ultravioleta, visible, fotosintética, infrarroja corta, infrarroja larga o calorífica. Los cuatro primeros tipos forman parte de la radiación solar, y el último es la radiación térmica que emite un cuerpo caliente, como por ejemplo el suelo del invernadero después de absorber calor durante el día, la propia estructura metálica y las plantas.

Respecto a las propiedades térmicas hay dos factores interesantes que suelen asociarse a los materiales, por un lado el coeficiente global de pérdidas de calor, representado por K, y que expresa las pérdidas debidas a radiación IR larga y también las de conducción y convección. Cuanto menor sea este coeficiente, mayor será el poder de acumulación de calor del material. Según sean estas propiedades los materiales se acercarán más o menos a las características óptimas para su empleo en horticultura.

El objetivo normal del uso de un material de sombreado no es reducir la luz, sino el exceso de temperatura, puesto que tal falta es más perjudicial al crecimiento del cultivo cuando la temperatura es elevada.

Es muy importante el máximo aprovechamiento de los recursos naturales de la zona, sobre todo a la hora de orientar nuestro invernadero, de cara a una ventilación más eficiente y por supuesto una mayor radiación, por ejemplo, la orientación E-O nos permite obtener una mayor transmisión lumínica al interior de nuestro invernadero debido a la mayor superficie de contacto con los rayos del sol, lo cual significa sin duda, una mayor productividad.

La intensidad de la luz solar puede reducirse mediante mallas y pantallas de sombreado. En la actualidad existen sofisticados sistemas automatizados para

maximizar el requerimiento de luz del cultivo durante el día y diferentes condiciones de nubosidad.

Debido a que la luz solar es convertida en calor cuando alcanza al cultivo, la sombra artificial además es utilizada como la primera fase de enfriamiento. Estos sistemas son utilizados con la finalidad de excluir la luz solar durante varias horas durante el día.

Para conseguir esta reducción de la luminosidad se emplean sistemas de sombreo automatizados, su utilización será función del desarrollo del cultivo, de la radiación y de las temperaturas. Hay que saber que la planta sombreada se ahíla y se producen abortos de flores en determinadas especies sensibles a la luz (especialmente Jitomate, pimiento y berenjena), por lo que el manejo del riego y de la solución nutritiva tiene que ir unida al efecto que produce el sombreo.

Con el empleo de sistemas de pantallas térmicas y de sombreo automatizadas es posible variar el balance radiactivo tanto desde el punto de vista fotosintético como calorífico. El uso de estas pantallas consigue incrementos productivos de hasta un 30%, gracias a la capacidad de gestionar el calor recogido durante el día y esparcirlo y mantenerlo durante la noche, periodo en el que las temperaturas bajan en los invernaderos.

Además al existir pantallas en las que se tejen directamente láminas de material reflectante entre sí, permiten obtener el nivel deseado de reflexión de los rayos solares. Abarcando éste desde un 20% hasta un 100%, según el tipo de pantalla que dispongamos.

Estos sistemas son muy interesantes en el caso de trabajar con calefacción nocturna, ya que suponen un notable ahorro energético, al evitar gran parte de las pérdidas caloríficas producidas por las radiaciones infrarrojas de onda larga, que emite el suelo.

También son empleados sistemas de iluminación artificial, existiendo dos tipos, fotosintética y fotoperiódica. La iluminación fotosintética es utilizada para complementar la intensidad de luz solar durante el invierno. La iluminación fotoperiódica modifica las horas luz para prevenir que las plantas lleguen a entrar en dormancia (período durmiente o letargo invernal), lo cual se realiza mediante la reducción de la duración del periodo oscuro. Este es el tipo de iluminación artificial más comúnmente utilizado. La iluminación fotoperiódica involucra tanto la duración (tiempo que la luz se deja encendida) como la oportunidad (cuando son activadas las luces). La duración puede ser tanto continua como intermitente y la iluminación fotoperiódica es encendida después de que oscurece o antes de que amanezca para extender el número de horas luz o en pequeños intervalos durante la noche. La mejor lámpara depende del objetivo buscado. Las lámparas incandescentes, fluorescentes y las de descarga de alta intensidad, varían significativamente en cuanto a intensidad de luz y calidad, además de que cada una requiere de su propio tipo de fijación y controles.

Las principales propiedades de estos sistemas de pantalla (térmica, sombreo y fotoperiodo) son:

- Ahorro de calefacción hasta un 70%
- Eliminación de bajadas térmicas extremas
- Reducción del goteo de techos
- Reducción del consumo de agua en plantas por menor transpiración
- Reducción de la luz en tiempos concretos
- Posibilidad de ser plegadas y desplegadas con los automatismos de movimiento cuando las condiciones ambientales así lo requieran, existiendo un perfecto control de temperatura, luz y humedad en el invernadero.
- Suavización de contrastes entre temperaturas nocturnas y diurnas
- Posibilidad de regular la ventilación a conveniencia
- Posibilidad de adaptar la planta al exterior

Mediante el uso de sistemas automatizados, nos permite disminuir la temperatura en el interior del invernadero, sin tener que perder por ello parte de la radiación (PAR), que las plantas necesitan para su proceso vital, aprovechando la máxima intensidad de luz a primeras y últimas horas del día, y como resultado incrementando la producción, precocidad y calidad de las cosechas.

2.8 PANTALLAS TÉRMICAS

Las pantallas térmicas son tejidos prefabricados mediante filamentos de aluminio, acrílicos y polímeros plásticos. El empleo de las pantallas térmicas permite el control de las temperaturas en el interior del invernadero tanto cuando las temperaturas en el exterior son elevadas como bajas, lo cual se traduce en un importante ahorro en otros sistemas artificiales, como aire acondicionado o “fog-system”. Dependiendo de la cantidad de luz y el ahorro energético que se quiera obtener puede elegir entre pantallas de interior, pantallas de exterior y pantallas enrollables.



Figura 2.11 Pantalla térmica.

Las pantallas permiten un correcto control de la luz, la temperatura y la humedad. Esto se traduce en una mejora sustancial del control del clima del invernadero. Las pantallas son un elemento móvil, lo que nos permite abrirlas y cerrarlas voluntariamente según las condiciones meteorológicas externas y las necesidades del cultivo. Se pueden instalar en cualquier tipo de invernadero y clima.

El sistema aprovecha la energía solar para retener calor en las estaciones más frías. Esto supone un importante ahorro **energético**.

En cuanto a las pantallas de fotoperiodo, son utilizadas para aumentar la duración de la “noche” en cultivos de flor con el objeto de su forzado. La pantalla ha de cubrir por completo el invernadero. Su regulación se realiza según programa horario.

2.8.1 Tipos de pantallas térmicas:

- **Pantallas de interior:** para invernaderos, aunque también se pueden aplicar en granjas, recintos públicos (ferias, restaurantes, terrazas, etc.). Abiertas, cerradas o enrollables.
- **Pantallas de exterior:** para cultivos que necesitan aireación y que deben protegerse de las circunstancias climáticas adversas. También sirven para recintos deportivos, piscinas, etc. Abiertas, cerradas o enrollables.
- **Pantallas de fotoperiodo:** para techos y laterales.
- **Pantallas de techo abierto a 90 %:** permiten alternar el invernadero y el aire libre a voluntad.



Figura 2.12 Tipos de pantallas térmicas

2.8.2 Las ventajas del uso de instalaciones de pantalla térmica:

- Nos permiten realizar un control de la luminosidad, de la temperatura y de la humedad en el interior del invernadero.
- Ayudan a reducir la temperatura del invernadero, y por lo tanto del cultivo.
- Reducen la condensación de agua en la cubierta del invernadero.
- Disminuye el goteo sobre el cultivo, por su efecto paraguas.
- Evita las pérdidas de calor del invernadero durante la noche.
- Disminuye el gasto del combustible usado en la calefacción de invernaderos.
- Su efecto de sombreado es inalterable ante inclemencias meteorológicas como la lluvia, gran enemigo del encalado.

2.8.3 Pantallas de ahorro energético:

Son pantallas transparente diseñadas para retener la máxima cantidad de calor con una pérdida mínima de iluminación. Son ideales para la producción de cultivos vegetales en climas más fríos.

2.8.4 Pantallas de ahorro energético y reflexión solar:

Son pantallas que ofrecen un determinado nivel de sombra en función del modelo, ya que refleja hacia el exterior la energía solar no deseada por el cultivo. Cuando se cierra por la noche las pantallas mantienen el calor.

Cuanto mayor es el contenido del aluminio mayor es la sombra creada y mayor es el ahorro de energía.

2.8.5 Pantallas de sombreado:

Son pantallas para proteger los cultivos de las altas temperaturas, vientos, granizo y fuertes lluvias. Los sistemas de sombreado se pueden instalar fijos y retráctiles. Las pantallas están reforzadas por sistemas de sujeción contruidos en alambres acerados o metálicos galvanizados.

2.8.5.1 Pantallas de sombreado interior:

Son pantallas que constan de tira de película de poliéster, tiras de aluminio y filamentos para la sujeción de la estructura. Las tiras de aluminio reflejan más del 90% de la radiación solar. El número de tiras de aluminio determina la eficacia del sombreado y la capacidad de ventilación de la pantalla ya que el aire caliente fluye a través de las bandas de aluminio. Con las pantallas de sombreado se consigue reducir la radiación y las altas temperaturas durante el día. Durante la noche, refleja la radiación de onda larga de las plantas hacia el interior.

2.8.5.2 Pantallas de sombreado exterior:

Son pantallas para proteger los cultivos contra la aparición directa de elementos tales como la alta radiación solar, el viento y el granizo. Los sistemas de sombreado exteriores se pueden instalar fijos o retráctiles. Los retráctiles proporcionan una sombra móvil. Estas **pantallas** están reforzadas por un fuerte alambre plástico que le fija al sistema y se puede instalar mediante los siguientes sistemas:

- Tubo cremallera
- Sistema cable

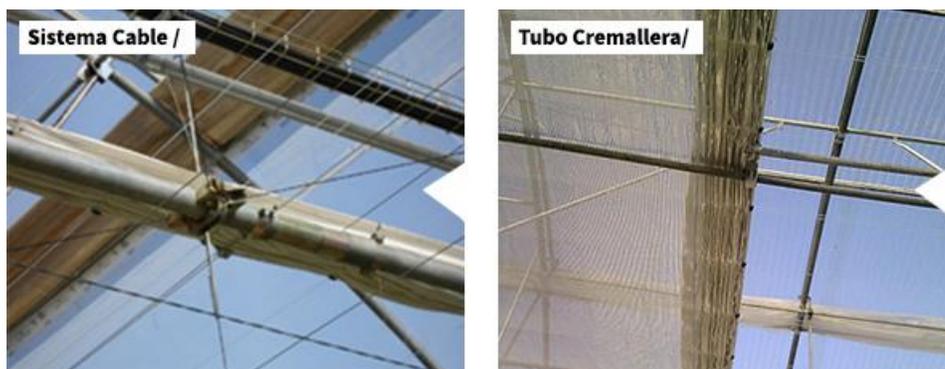


Figura 2.13 Pantallas de sombreado exterior

2.8.6 Control de pantallas

El control se lleva a cabo según prioridad del sistema de pantalla empleado:

- *Pantalla de fotoperíodo*: su control es establecido según período horario, y puede ser influenciado por la radiación solar concurrente o influenciado según el inicio o el final de la puesta del sol o el amanecer.
- *Pantalla de ahorro energético*: es controlada según condiciones de radiación, temperatura exterior, diferencia entre la temperatura de calefacción calculada y la temperatura exterior.
- *Pantalla de sombreado*: es controlada según radiación solar instantánea o temperatura ambiente excesiva (se establecen retardos y diferenciales).
- *Pantalla de humedad*: es controlada según la humedad ambiente del compartimento con objeto de mantener el valor deseado durante el día.

2.8.7 Instalaciones de pantalla

Existen distintos tipos de pantalla susceptibles de ser instalados en invernadero: de sombreado, de ahorro energético, de fotoperíodo y de humedad.

Fotoperíodo

Se establece el horario del período «nocturno», y las influencias de la radiación solar (por exceso, se mantiene cerrada, o por defecto, se abre), temperatura y humedad relativa del compartimento umbrales (paréntesis horarios).

Temporizaciones y retardos.

De ahorro energético

Se operan según horario (astronómico), según temperatura exterior, según diferencia entre la temperatura de calefacción calculada y la temperatura exterior concurrente, según velocidad del viento (tasa de renovación) y según radiación solar. Temporizaciones y retardos.

De sombreo

Se operan según umbral de temperatura ambiente del compartimento y/o según radiación solar. Temporizaciones y retardos.

De humedad

Con objeto de reducir el volumen del invernadero, este tipo de pantalla es operado según la humedad relativa concurrente en el compartimento climático.

2.9 ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

El funcionamiento de los sistemas de iluminación artificial consiste en medir la cantidad de luz natural recibida por la planta, aportando así la cantidad de luz artificial necesaria para fotoperíodo y las horas suplementarias a las proporcionadas por la radiación solar.

Las instalaciones de iluminación pueden clasificarse en dos tipos según su aplicación. Así, para instalaciones de iluminación para la asimilación fotosintética, se emplean instalaciones a base de lámparas de sodio de alta presión. En caso de destinarse la instalación al manejo del fotoperíodo, se utilizan lámparas incandescentes. En la iluminación para asimilación, para prolongar la vida de las lámparas de sodio, se establecen periodos de iluminación de apoyo con encendidos y apagados.

En ciertas ocasiones es preciso aplicar iluminación artificial o simplemente regular la iluminación natural en el interior del invernadero. Esto puede hacerse con el fin de:

- Aumentar la asimilación neta, forzando una mayor tasa de fotosíntesis, durante los meses invernales. La iluminación otoño-invernal supletoria ayuda a incrementar los rendimientos productivos en la mayor parte de las especies hortícolas y en numerosas ornamentales (claveles, Anthurium, gerbera, orquídeas, etc.).
- Aumentar la duración del día, en plantas de día largo que no florecerían de otra manera, durante el otoño-invierno. Destaca su empleo en plantas ornamentales como Anthirrinum, Dahlia, Calceolaria, Gegonia tuberosa, etc.

- Romper la continuidad del periodo oscuro en plantas ornamentales de día corto (crisantemo, Poinsetia, Kalanchoe, etc.) con la finalidad de favorecer el crecimiento vegetativo en una época en que se vería favorecida la floración sin que las plantas tuvieran el adecuado tamaño, o bien para provocar la floración en plantas de día largo en épocas de poca iluminación.
- Disminuir la intensidad luminosa en siembras estivales de hortalizas como el apio, la cebolla, cubriendo los semilleros con mallas, cañizos, etc.
- Disminuir la duración del período iluminado, con el fin de que plantas de días corto puedan florecer en épocas en que la duración del día es demasiado elevada.

Dentro de la luz artificial, existen dos tipos de iluminación:

- Luz suplementaria: Utilizada cuando el objetivo es aumentar el tiempo de radiación incidente en el cultivo.
- Luz fotoperiódica: Utilizada cuando el objetivo es incrementar la cantidad de luz en el cultivo.

2.9.1 Beneficios de la luz suplementaria y fotoperiódica

La utilización de la luz suplementaria hace que los pequeños cambios que provoca en la longitud del día o de la noche afecten beneficiosamente a la respuesta fisiológica de numerosas especies. Y los beneficios que la luz fotoperiódica aporta es la posibilidad de mantener las plantas vegetando o direccionarlas a su floración.

Tabla 2.5 Tipo de luces

TIPOS DE LUCES	VENTAJAS	INCONVENIENTES
HPS o Alta Presión de Sodio	Ideales para la floración y aptas para el crecimiento.	A partir de la tercera cosecha, pierden intensidad y baja la producción.
MH o Halogenuros Metálicos	Ideales para el crecimiento vegetativo y apto para la germinación y clonación.	La duración de estas bombillas es inferior a las de HPS, entre dos ó tres cosechas. Además, se funden fácilmente, incluso si una vez encendida se apaga y se vuelve a encender sin que se haya enfriado, puede explotar.
Fluorescentes	Ideales para la clonación y el mantenimiento de plantas madre.	No todos los fluorescentes son válidos para cultivar, existen gamas específicas para las plantas como Sylvania GroLux y Trifósforo. Además, trabajan a baja temperatura.
CFL	Ideales para el crecimiento y floración, desarrollando su mejor potencial en crecimiento.	Apenas generan calor. La luz disminuye a medida que se aleja de la fuente de luz.
LEDS	Se utilizan para todos los ciclos de vida de la planta.	

CAPITULO 3: CULTIVO DE JITOMATE

3.1 LOCALIZACIÓN

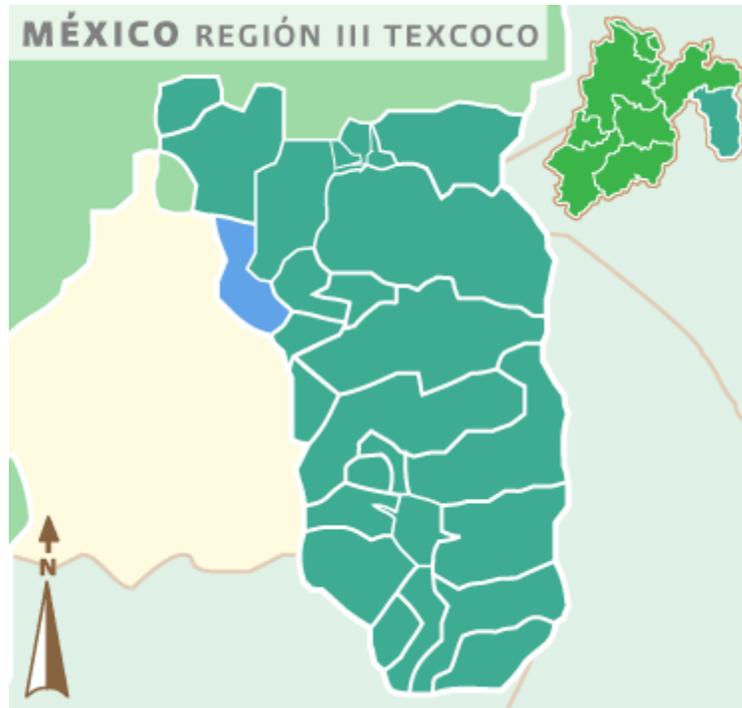


Figura 3.1 México Región III Texcoco

Para esta propuesta se escogió el Jitomate como principal cultivo, debido a que es el principal de los productos obtenidos dentro de los invernaderos de la FES Aragón y el segundo producto es el pepino al cual también haremos referencia en este capítulo.

La Facultad de Estudios Superiores Aragón (FES Aragón) es una entidad académica multidisciplinaria de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubicada en la zona norte del municipio de Nezahualcáyotl, Estado de México. Este municipio se asienta en la porción oriental del valle de México, en lo que fuera el lago de Texcoco.

La ubicación geográfica del territorio municipal tiene las siguientes coordenadas extremas: Latitud norte del paralelo $19^{\circ}21'36''$ y $19^{\circ}30'04''$ al paralelo; Longitud oeste del meridiano $98^{\circ}57'57''$ y $99^{\circ}04'17''$ al meridiano.

Nezahualcáyotl está situada a una altura de 2,220 msnm (metros sobre el nivel del mar) y pertenece a la región III Texcoco, subregión II y forma parte de la zona conurbada de la ciudad de México.

Limita al noroeste con el municipio de Ecatepec de Morelos y la zona federal del lago de Texcoco; al oeste con las delegaciones Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza del Distrito Federal; al este con los municipios de La Paz, Chimalhuacán y Atenco; al sur con las delegaciones Iztapalapa e Iztacalco del Distrito Federal.

El clima predominante es templado, semi seco, con lluvias abundantes en verano y escasas en primavera; en invierno el clima es frío. La temperatura promedio anual es de 15.8°C, con una máxima de 34°C y una mínima de -5°C. La precipitación pluvial media anual es de 518.8 milímetros.

La humedad aumenta durante las lluvias de verano sobre todo por las tardes y noches. Se registran heladas en los meses de noviembre a marzo.

Los vientos dominantes se presentan principalmente entre los meses de febrero y abril y predominan los de sur a norte.

3.2 CULTIVO DE JITOMATE



Figura 3.2 Fruto de Jitomate

El Jitomate (*Solanum lycopersicon* L.), es la especie hortícola más cultivado tanto a cielo abierto como en la agricultura protegida, así mismo es el cultivo más rentable, pues cumple con los dos requisitos indispensables para que un producto tenga esa características, por un lado tiene un alto potencial de rendimiento desde 4 kg/m² hasta 25 kg m² dependiendo de la experiencia del productor y nivel tecnológico y por el otro lado tiene un alto consumo e incremento constante, ya que el consumo per cápita de los mexicanos en 1925 era de 1.0 kg y para el 2010 es de 25.0 kg pero si se tratara de alcanzar a los italianos que su consumo per cápita es de 130.0 kg nos hacen falta 105.0 kg debido a que los mexicanos solo lo consumimos como condimento, solo algunos estratos de la sociedad lo consumen en ensaladas y salsas, pero deberíamos de consumirlo como alimento, pues el Jitomate contiene vitamina C potasio y licopeno este último es el que le da el color

rojo a los Jitomates y que al consumirlo limpia al organismo de toxinas y radicales libres causantes de infinidad de enfermedades degenerativas como el cáncer y la vejez prematura entre otras, por lo que es importante que los consumidores se enteren de estas cualidades para que el consumo se incremente.

3.2.1 Características botánicas

El Jitomate es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas, denominada científicamente *Lycopersicon esculentum* Mill, o *Lycopersicon Lycopersicum* L. Farwell. Potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según su variedad.



Figura 3.3 Planta de Jitomate

El sistema radicular de la planta presenta una raíz principal que crece unos 3 cm al día hasta que alcanza los 60 cm de profundidad

El tallo es erguido durante los primeros estadios de desarrollo, pero pronto se tuerce a consecuencia del peso. Puede llegar hasta los 2.5 m. de longitud. Su superficie es angulosa, provista de pelos agudos y glándulas que desprenden un líquido de aroma muy característico. Las hojas, compuestas, se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna.



Figura 3.4 Hojas de Jitomate.

Las flores se presentan formando inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima multivípara; pudiendo llegar a tener hasta 50 flores por inflorescencia. Normalmente, el tipo simple se encuentra en la parte baja de la planta, predominando el tipo compuesto en la parte superior.



Figura 3.5 Flor de Jitomate

Se precisan de 56 a 76 días desde el nacimiento de la planta hasta que se inician los botones florales.

3.2.2 Importancia de la Luz

La luz es un parámetro climático fundamental que influye en el crecimiento del Jitomate. Aunque no puede aislarse de otros parámetros. Los factores ambientales influyen en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas por afectar su fisiología. En el marco de un sistema productivo, el ambiente que interesa al productor incluye principalmente al clima, al suelo y a las condiciones sanitarias.

La radiación solar cuando llega a los cultivos ya ha sufrido una serie de reducciones por diversos factores atmosféricos y por la nubosidad. Si este cultivo crece dentro de un invernadero el aporte de la radiación será aún menor pues la cubierta impone otra barrera. El Jitomate es una hortaliza exigente en luz. Lo es durante todo su desarrollo, pero muy especialmente en las etapas vegetativas y de floración.

La luz interactúa fuertemente con la temperatura, y es así que para niveles bajos de luz las temperaturas óptimas que favorecen al cultivo son distintas a las necesarias para niveles altos de luz. A su vez, cada combinación luz-temperatura necesita un rango determinado de CO₂ para llevar adelante la fotosíntesis de la manera más eficiente; y cada combinación luz-temperatura- CO₂ requiere de un rango apropiado de agua, y así sucesivamente se asocian todos los factores involucrados en la producción.

La importancia de la radiación solar en un invernadero puede juzgarse desde dos puntos de vista: por un lado, ésta constituye la principal fuente de energía para la formación del efecto invernadero y, por otro, es la principal fuente de energía para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La fracción de la radiación solar que es útil para el proceso de la fotosíntesis es designada como Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR), ésta corresponde a lo que es llamado luz: aquel fenómeno que es perceptible por el ojo humano y que comprende el espectro electromagnético de longitud de onda entre 400 nm y 700 nm.

Las consideraciones de la radiación solar en los sistemas de agricultura protegida son importantes para la productividad de un cultivo, por lo tanto, es necesario analizar los factores que pueden modificar la calidad y la cantidad de la radiación que llega a las plantas. El objetivo de la cubierta transparente de los invernaderos es proporcionar una transmisión de energía solar tan grande como sea posible hacia el interior. Los valores determinados bajo condiciones ideales de laboratorio proporcionan un indicador potencial de transmisión de radiación, pero ya en campo presentan valores diferentes, debido a muchos factores incontrolables que se presentan, así como a los procedimientos de medición que se involucran y al uso de sensores electrónicos. Cuando lo anterior no es posible, el desempeño de la cubierta se intuye comparando la respuesta de la planta, a veces con

apreciaciones a simple vista, representando cada uno cierto nivel de costo así como de precisión.

3.2.3 Primeras semanas

Diversos estudios han demostrado que cuando falta luz en las primeras semanas de desarrollo del Jitomate se resienten los rendimientos de forma irreversible, ya sea por menor producción de hojas (que son la fuente de asimilados para los frutos), por menor número de flores diferenciadas por racimo, por menor peso y tamaño de frutos formados o por mayor tiempo requerido para la maduración (lo que significa mayor tiempo de exposición del fruto a plagas, enfermedades, fisiopatías, etc.).

Estos parámetros no se ven. Al recorrer un cultivo notamos enseguida el ataque de plagas y enfermedades o los síntomas de deficiencia de distintos elementos, pero no percibimos cuántas hojas, flores o frutos faltan por no haberse formado.

En la figura 3.6 se muestra la relación entre la luz recibida durante el estado vegetativo de un cultivo de Jitomate en invernadero y el tiempo necesario para lograr el primer fruto maduro. Como vemos, cuanto menor es la cantidad de luz recibida, mayor es el tiempo requerido.

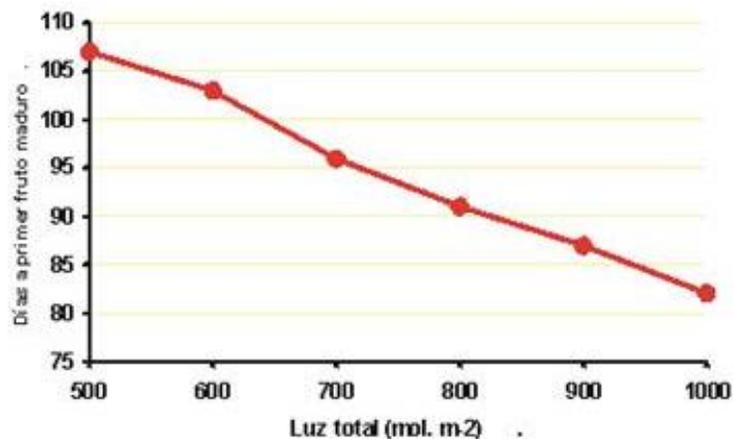


Figura 3.6 Relación entre la luz total recibida durante el estado vegetativo y la maduración del primer fruto.

En la figura 3.7 se puede observar la relación entre la luz recibida por un racimo (desde su formación hasta la cosecha) y el rendimiento. En este caso, cuanto menor sea la cantidad de luz recibida, menor es el rendimiento esperable.

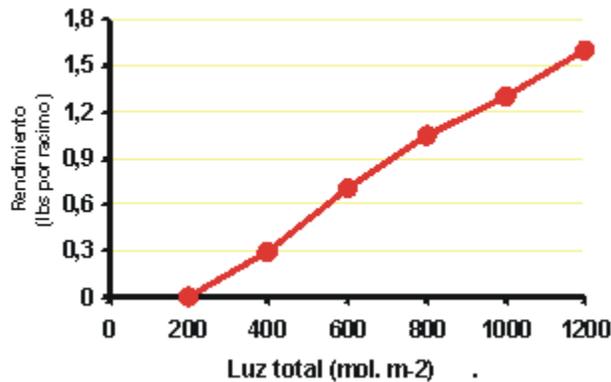


Figura 3.7 Relación entre la luz recibida durante el ciclo de 60 días de producción de un racimo y el rendimiento.

Para ubicar una situación particular en estos gráficos y tener una idea aproximada de cuánto se está perdiendo, hay que conocer los valores de luz que recibe el cultivo.

En experiencias desarrolladas en la EEA INTA (Estación Experimental Agropecuaria Balcarce del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) San Pedro a través de varios años y ensayando distintas fechas de trasplante de Jitomate en invernadero, se ha registrado la radiación incidente en la zona. A modo de ejemplo podemos mencionar que, para un trasplante "temprano" de principios de julio, la cantidad de luz recibida por el cultivo durante el estado vegetativo es de aproximadamente 720 moles/m² (38.88 Kilolux) valor que, en el Gráfico 1 nos ubica en un tiempo de 95 días de espera hasta maduración del primer fruto. Considerando que para ese cultivo, la aparición del primer racimo puede preverse para principios de septiembre (si todas las otras condiciones no son críticas), la cantidad de luz recibida por el mismo, durante la floración y maduración del fruto, puede rondar los 900 moles/m² (48.6 Kilolux), valor que, en el Gráfico 2 nos indica que el rendimiento esperable para ese racimo se encontraría en el 70% de su potencial.

Si el trasplante es más tardío, los valores de luz recibidos por el cultivo son mayores y por lo tanto esperaremos menos tiempo para la cosecha y mayores rendimientos (siempre si los otros parámetros climáticos, sanitarios, de suelo, etc. se encuentran en rangos apropiados).

Estas consideraciones tienen que llamarnos a la reflexión. Por una parte debemos pensar que el invernadero es un sistema de producción que favorece la calidad y modifica el microclima que rodea a los cultivos, pero no podemos aspirar a producir en cualquier época del año una especie que tiene determinadas y precisas exigencias, si no le brindamos TODAS las condiciones que necesita. Por

otra parte, podemos asegurar que no basta con calefaccionar un invernadero para cosechar Jitomate en invierno, ni alcanza con adelantar las fechas de trasplante para entrar primero en producción. Tampoco, en épocas de calor, el sombreado de un cultivo exigente en luz va a brindarnos la clave del éxito, ya que, aplicado en un periodo crítico (como es la diferenciación floral) puede hacer disminuir el rendimiento potencial de una manera difícil de ponderar pues no vemos lo que perdemos.

Considerando la gran importancia que tiene la luz sobre el desarrollo de los cultivos, podemos actuar sobre el invernadero para mejorar su entrada y distribución. Algunas de las formas posibles son: orientación y diseño adecuados, elección del material de cubierta con mayor transmisividad y difusión de la luz, aplicación de mallas de sombreado de densidad apropiada y en el momento preciso, etc. Estas intervenciones del hombre sobre el invernadero sólo se mencionan, ya que su discusión merece otra nota

3.2.4 Radiación solar

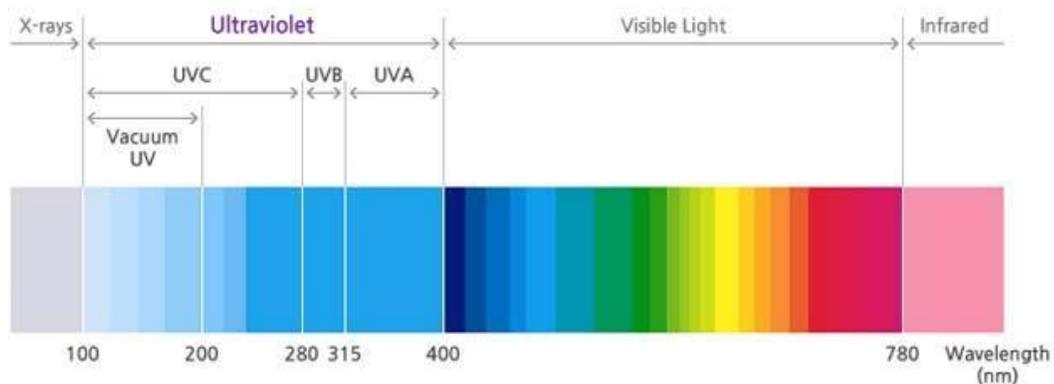


Figura 3.8 Radiación ultravioleta

La radiación es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas que se producen directamente desde la fuente hacia todas las direcciones. El Sol es la principal fuente de energía para todos los procesos que ocurren en la Tierra, más del 99,9 % de la energía de la tierra proviene del Sol. Parte de la radiación solar es la luz, llamada también luz visible o luz blanca y se define como aquella parte del espectro de radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano.

La radiación solar con longitud de onda entre 360 y 730 nm es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis mediante el cual producen materia orgánica para crecer y desarrollarse. Parte de esta materia

vegetal es el producto aprovechable del cultivo (sea fruto, hoja, tallo o raíz). Así pues, existe una relación directa entre la cantidad de radiación solar que un cultivo ha recibido y la cosecha que se puede obtener de él si se cultiva correctamente ya que más del 80 % del peso seco de una planta se origina del carbono fijado por la fotosíntesis.

La cantidad de radiación global determina la cantidad de azúcares producida en las hojas durante la fotosíntesis. Mientras más alta es la cantidad producida de azúcares, la planta puede soportar más frutas, por lo tanto el rendimiento de tomate puede ser más alto.

El tomate es sensible a las condiciones de baja luminosidad, ya que el cultivo requiere un mínimo de 6 horas diarias de luz directa del sol para florecer. Sin embargo, ya que el largo del día no es un factor crítico en la producción de tomates, los invernaderos se encuentran en un amplio rango de latitudes en el mundo.

Si la intensidad de la radiación solar es demasiado alta, se pueden producir partiduras de fruta, golpes de sol, y coloración irregular a la madurez. Un follaje abundante ayudará prevenir la quemadura del sol. Los niveles adecuados de potasio y calcio mantendrán la turgencia y la fortaleza de la célula y así hará que la célula de la planta sea más resistente a la pérdida de agua y consecuentemente también a la quemadura del sol.

Se ha comprobado que, en condiciones de clima favorable, el rendimiento de Jitomates depende del total de horas de insolación y se ha demostrado que la luz solar de baja intensidad y escasa duración que llega a los invernaderos es el factor que más intensamente limita el crecimiento de las plantas de Jitomate.

El Jitomate es exigente en radiación solar; requiere de días soleados (entre 8 a 16 horas de luz) para un buen desarrollo de la planta y poder lograr una coloración uniforme del fruto. La baja irradiación afecta los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta, y reduce la absorción de agua y nutrientes. Esencialmente toda la luz visible es capaz de promover la fotosíntesis, pero las regiones de 400 a 700 nm son las más eficaces.

Los componentes de la estructura intervienen de distinta manera en la distribución de la luz dentro del invernadero. La radiación solar transmitida al interior del invernadero está relacionada tanto a la orientación como a la pendiente de la cubierta los cuales definen el ángulo de incidencia de la radiación sobre la cubierta.

3.3 CULTIVO DEL PEPINO



Figura 3.9 Pepinos.

El pepino pertenece a la familia Cucurbitaceae, cuyo nombre botánico es *Cucumis sativus*.

El pepino es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, siendo cultivado en la India desde hace más de 3.000 años.

De la India se extiende a Grecia y de ahí a Roma y posteriormente se introdujo en China. El cultivo de pepino fue introducido por los romanos en otras partes de Europa; aparecen registros de este cultivo en Francia en el siglo IX, en Inglaterra en el siglo XIV y en Norteamérica a mediados del siglo XVI, ya que Cristóbal Colón llevó semillas a América.

3.3.1 Taxonomía y morfología

- **Familia:** Cucurbitaceae.
- **Especie:** *Cucumis sativus* L.
- **Planta:** herbácea anual.
- **Sistema radicular:** Es muy potente, dada la gran productividad de esta planta y consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de color blanco.
- **Tallo principal:** anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador. De cada nudo parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

Hoja: de largo pecíolo (tronco que lo une al tallo), gran limbo (porción verde, aplanada, delgada, con dos caras) acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino.



Figura 3.10 Hoja del pepino

Flor: de corto pedúnculo y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales, aunque los primeros cultivares conocidos eran monoicos y solamente presentaban flores masculinas y femeninas y en la actualidad todas las variedades comerciales que se cultivan son plantas ginoicas, es decir, sólo poseen flores femeninas que se distinguen claramente de las masculinas porque son portadoras de un ovario ífero.



Figura 3.11 Flor del pepino

Fruto: pepónide áspero o liso, dependiendo de la variedad, que vira desde un color verde claro, pasando por un verde oscuro hasta alcanzar un color amarillento cuando está totalmente maduro, aunque su recolección se realiza antes de su madurez fisiológica. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto. Dichas semillas se presentan en cantidad variable y son ovales, algo aplastadas y de color blanco-amarillento.



Figura 3.12 Fruto del pepino.

3.3.2 Requerimientos edafoclimáticos (relativo al suelo y al clima)

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.

Temperatura: 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.

Tabla 3.1 Temperaturas en el desarrollo del pepino

Etapa de desarrollo	Temperatura (°C)	
	Diurna	Nocturna
Germinación	27	27
Formación de planta	21	19
Desarrollo del fruto	19	16

Humedad: 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 humedades superiores 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

Fertilización carbónica: La aportación de CO₂ 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.

El cultivo del pepino es muy importante, ya que tiene un elevado índice de consumo, pues sirve de alimento tanto en fresco como industrializado. El cultivo de esta hortaliza es estable en cuanto a superficie cultivada (entre los 7000-8000 ha), pero la producción y exportación aumentan.

El pepino requiere altas temperaturas para su cultivo y una humedad no muy elevada, pues de lo contrario su desarrollo es anormal, no madurando bien los frutos y perdiendo calidad en aquellas zonas húmedas y con poca insolación.

CAPÍTULO 4: HARDWARE PROPUESTO

Para el diseño del sistema de control en un invernadero debemos tener en cuenta parámetros tan importantes como la temperatura, la humedad, la radiación y la concentración de CO₂. La ventajas de un sistema para automatizar un invernadero son la mayor productividad por m², la garantía de tener una producción de calidad, el control eficiente de plagas y enfermedades del cultivo, un mayor control de los factores ambientales, para poder producir fuera de época teniendo las condiciones ambientales más cercanas a los ideales y de esta manera obtener mejores oportunidades de comercializar cultivos de alta calidad en un mercado competitivo.

Sin embargo la implementación de estos sistemas en cualquier invernadero muchas veces no es posible debido a los altos costos que implica

Para la construcción del control de adquisición de sensado y automatización de radiación solar se utilizara un microcontrolador AVR fabricado por ATMEL, el ATmega32 que será programado mediante el entorno de programación ARDUINO, este microcontrolador controlador se encargara de procesar las mediciones del invernadero y actuara en conjunto con los sensores y actuadores.

4.1 ARDUINO



Figura 4.1 Arduino.

Es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. 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 un ordenador, si bien tienen la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing,MaxMSP).

4.1.1 Arduino Mega 2560

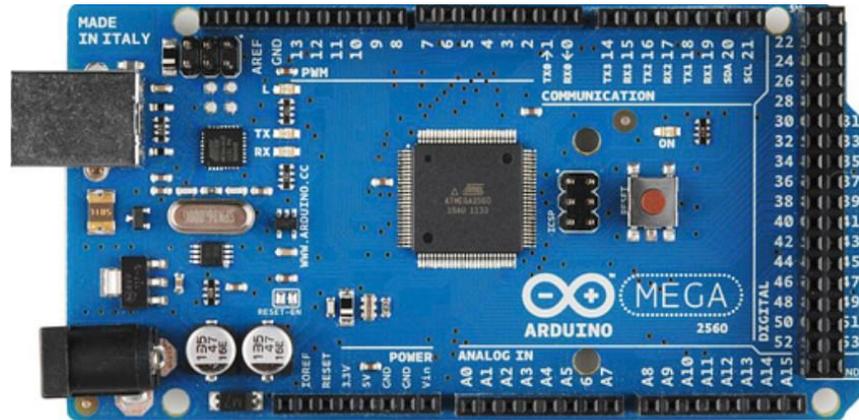


Figura 4.2 Placa Arduino MEGA 2560.

El Arduino Mega 2560 es una placa electrónica basada en el microcontrolador Atmega2560. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar.

4.1.2 ¿Qué hay en el tablero?

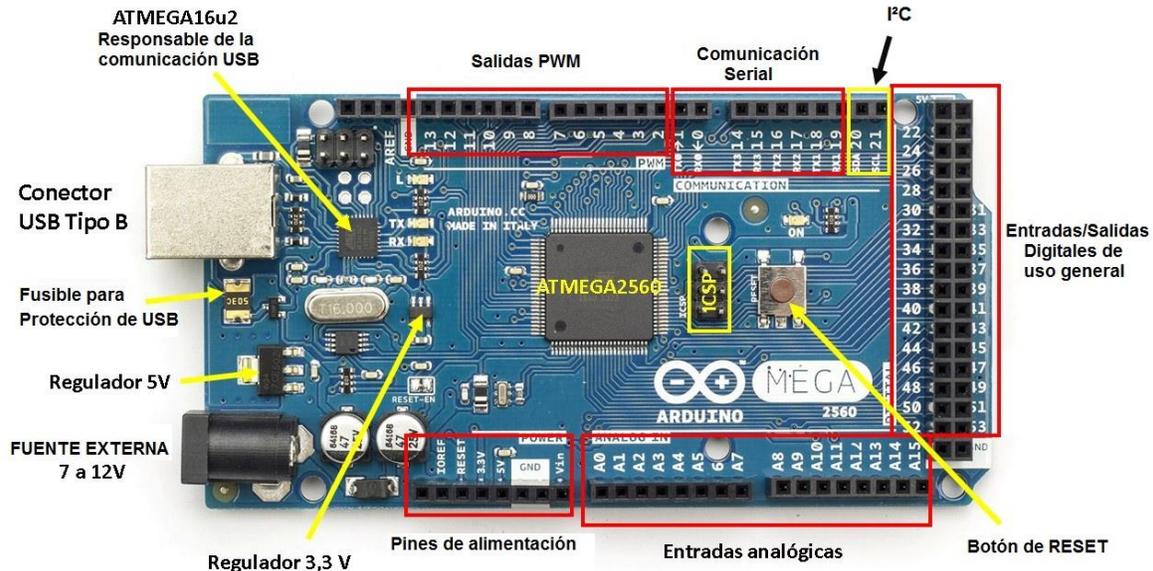


Figura 4.3 Organización de la placa Arduino UNO.

- **Conexión USB:** Sirve para conectar la placa a una fuente de alimentación que puede venir de un ordenador o una fuente de alimentación de la pared. La conexión USB también se utiliza para cargar un código a la placa Arduino.
- **Conexión de una fuente de alimentación externa:** La tensión recomendada para la mayoría de los modelos de Arduino es entre 6 y 12 voltios.
- **GND:** Abreviatura de "tierra". Hay varios pines GND en el Arduino, cualquiera de los cuales pueden ser utilizados para conectar a tierra el circuito.
- **5V:** Suministra 5 volts para la conexión de un circuito.
- **3.3V:** Suministra 3.3 volts para la conexión de un circuito.
- **Entradas Analógicas:** Estos pines pueden leer la señal de un sensor analógico y convertirlo en un valor digital que podemos leer.
- **Pines Digitales:** Estos pines pueden ser utilizados tanto para la entrada como para la salida digital.
- **PWM:** Estos pines actúan como pines digitales normales, pero también se pueden usar para algo que se llama modulación por ancho de pulsos (PWM). Pueden simular la salida analógica.
- **Comunicación Serial:** se utiliza para la comunicación entre la placa Arduino y un ordenador u otros dispositivos.
- **AREF:** Soportes de referencia analógica. La mayoría de las veces se puede dejar este pin solo. A veces se utiliza para establecer una tensión de

referencia externa (entre 0 y 5 voltios) como el límite superior de los pines de entrada analógicos.

- **Botón de reinicio:** Al presionar se conectará temporalmente el pin de reset a tierra y reiniciara cualquier código que se haya cargado en el Arduino. Esto puede ser muy útil si el código no se repite, pero se requiere probarlo varias veces.
- **Indicador LED de alimentación:** Este LED debe encenderse cada vez que conecte el Arduino en una fuente de energía. Si esta luz no se enciende, hay una buena probabilidad de que algo anda mal.
- **LEDs RX TX:** TX es la abreviatura de transmisión, RX es la abreviatura de recibir. Estos LEDs nos darán algunas buenas indicaciones visuales cada vez que la tarjeta Arduino está recibiendo o transmitiendo datos.
- **IC principal (ATmega2560):** microcontrolador de la línea de ATmega donde se carga el código del programa y a su vez se conecta a los pines de la tarjeta.
- **Regulador de voltaje:** Controla la cantidad de tensión que se deja en la placa Arduino. Convierte el voltaje de la fuente externa a % voltios par que la placa trabaje de manera eficiente.

4.1.3 ¿Qué hay en el IDE?

Un entorno de desarrollo integrado o entorno de desarrollo interactivo, en inglés, Integrated Development Environment (IDE), es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software. Normalmente, un IDE consiste de un editor de código fuente, herramientas de construcción automáticas y un depurador. La mayoría tienen auto-completado inteligente de código (IntelliSense) además contienen un compilador, un intérprete, o ambos.

La plataforma Arduino se ha vuelto muy popular entre la gente que se inicia en la electrónica, y por buenas razones. A diferencia de la mayoría de las tarjetas de circuitos programables anteriores, el Arduino no necesita una pieza separada del hardware (llamado un programador) para cargar nuevo código sobre el tablero - sólo tiene que utilizar un cable USB. Además, el Arduino IDE utiliza una versión simplificada de C ++, por lo que es más fácil aprender a programar. Por último, Arduino proporciona un factor de forma estándar que desata las funciones del microcontrolador en un paquete más accesible.

En el caso de Arduino el IDE es muy amigable con el usuario, permitiéndole mediante el uso de colores y palabras reservadas, una fácil comprensión del programa que se desee desarrollar. A continuación se describen sus componentes:

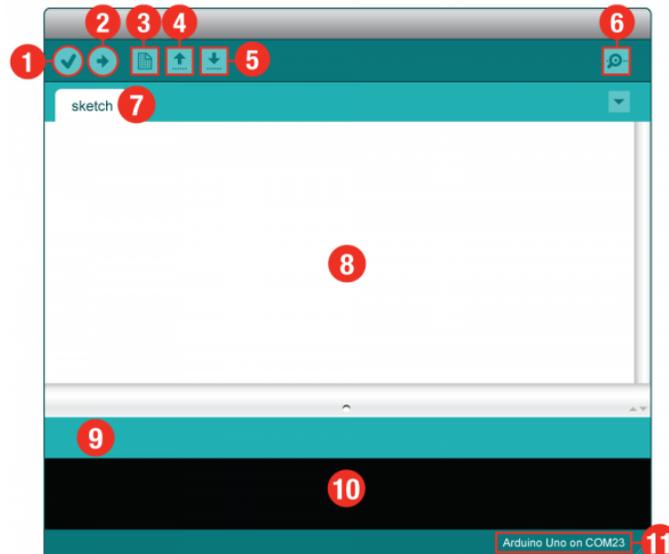


Figura 4.4 IDE de Arduino.

1. **Verificar:** Compila y aprueba el código. Sirve para detectar errores en la sintaxis (como falta puntos y comas o paréntesis).
2. **Subir:** Compila y envía el código a la tarjeta. Al momento de que se carga se debería ver las luces de la tarjeta parpadear rápidamente.
3. **Nuevo:** Este botón abre una nueva pestaña de la ventana de código
4. **Abrir:** Este botón le permitirá abrir un boceto existente.
5. **Salvar:** Esto guarda el boceto activo.
6. **Monitor Serie:** Abrirá una ventana que muestra toda la información de serie que la tarjeta esté transmitiendo. Es muy útil para la depuración.
7. **Nombre del Sketch:** Muestra el nombre del boceto que está trabajando actualmente
8. **Área de Código:** Esta es la zona en la que se redacta el código del boceto.
9. **Área de mensajes:** Aquí es donde el IDE informa si hubo errores en el código.
10. **Consola de Texto:** La consola de texto muestra mensajes de error completos. Al depurar, la consola de texto es muy útil.
11. **Tarjeta y Puerto Serial:** Muestra que tarjeta y que Puerto serial están seleccionados.

4.1.4 Resumen

El hardware y el software de Arduino fueron diseñados para artistas, diseñadores, aficionados, hackers novatos, y cualquier persona interesada en la creación de objetos o entornos interactivos. Arduino puede interactuar con los botones, LEDs, motores, altavoces, unidades GPS, cámaras, internet, e incluso su teléfono inteligente o su televisor. Esta flexibilidad combinada con el hecho de que el

software de Arduino es libre, las placas de hardware son bastante barato, y tanto el software y el hardware son fáciles de aprender ha llevado a una gran comunidad de usuarios que han contribuido con código y liberado instrucciones para una gran variedad de proyectos basados en Arduino.

Tabla 4.1 Especificaciones técnicas

microcontrolador	Atmega2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
E / S digitales prendedores	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	dieciséis
Corriente continua para Pin I / O	20 mA
Corriente CC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria flash	256 KB, 8 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	101.52 mm
Anchura	53,3 mm
Peso	37 g

4.2 ML8511

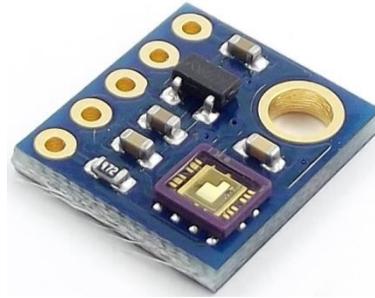


Figura 4.5 Sensor ML8511

El ML8511 es un sensor UV (ultravioleta) fácil de utilizar, que es adecuado para la adquisición de la intensidad UV en interiores o exteriores.

Este sensor detecta 280-390nm de luz con mayor eficacia. Esto se clasifica como parte de la UVB (rayos quemantes entre 280 y 320 nm) y la mayor parte de la UVA (rayos de bronceado entre los 320 y 400 nm).

Se da salida a un voltaje analógico que está linealmente relacionada con la intensidad UV

Este sensor trabaja por medio de una salida de señal analógica en relación con la cantidad de luz ultravioleta que se detectó con este módulo medido en mW/cm^2 , puede ser muy útil en la creación de dispositivos que advierten al usuario de quemadura solar o detectar el índice UV en lo que respecta a las condiciones climáticas.

BLOCK DIAGRAM

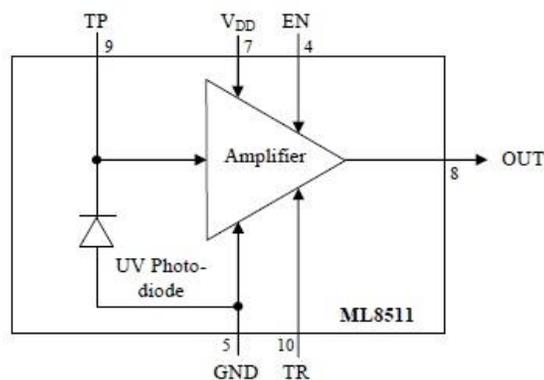


Figura 4.6 Diagrama de bloques del sensor ML8511

El ML8511 está equipado con un amplificador interno, que convierte la fotocorriente a voltaje dependiendo de la intensidad UV. Esta característica única

ofrece una interfaz fácil de circuitos externos como ADC. En el modo de apagado, la corriente típica de espera es 0.1 μ A, lo que permite una mayor duración de batería.

CARACTERÍSTICAS

- fotodiodo sensible a la radiación UV-A y UV-B
- amplificador operacional integrado
- salida de tensión analógica
- Baja corriente de alimentación (típico 300 μ A.) Y baja corriente de espera (típico 0.1 μ A.)
- Pequeña y delgada superficie de montaje del paquete (4.0mm x 3.7mm x 0.73mm, 12-pin QFN cerámica)

APLICACIONES

- teléfono inteligente, reloj, Estación meteorológica, la navegación de bicicletas, accesorios, juegos

4.3 BH1750

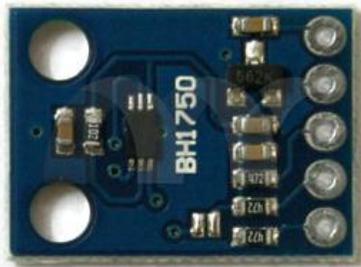


Figura 4.7 Sensor BH1750

BH1750FVI es un sensor de luz ambiente de interfaz de bus I²C digital. Este circuito integrado es el más adecuado para obtener los datos de luz ambiental para ajustar LCD y luz de fondo del teclado del teléfono móvil de la energía. Es posible detectar amplia gama de alta resolución. Resultados (1 - 65535 lux).

Este sensor tiene algunas ventajas tales como:

- Interfaz digital a través de bus I²C con capacidad de seleccionar entre 2 direcciones
- Respuesta espectral similar a la del ojo humano
- Realiza mediciones de luz y convierte el resultado a una palabra digital
- Amplio rango de medición 1-65535 lux
- Modo de bajo consumo de energía

- Rechazo de ruido a 50/60 Hz
- Baja dependencia de la medición contra la fuente de luz: halógeno, led, incandescente, luz de día, etc.
- Es posible seleccionar dos direcciones de esclavo (I²C).
- La influencia del espectro infrarrojo es baja.
- Voltaje 3.3v-5v

En el caso del Arduino MEGA los pines para la conexión de este sensor son SCL en el pin 21 y SDA en el pin 20, mientras que el pin ADDR puede quedarse sin conectar o en su caso a GND.

Iluminancia: es una medida de la cantidad de flujo luminoso que se extiende sobre un área determinada. Uno puede pensar en flujo luminoso (medida en lúmenes) como una medida del total "cantidad" de la luz visible presente, y la iluminancia como una medida de la intensidad de la iluminación en una superficie

Lumen: La unidad para la cantidad de luz que fluye de una fuente en cualquier un segundo (la potencia luminosa o flujo luminoso) se denomina lumen.

En nuestro sensor vamos a tomar una lectura de ella en Lux que es igual a un lumen por metro cuadrado:

$Lux = 1 \text{ Lm/m}^2$.

4.4 PANTALLA LCD (LIQUID CRYSTAL DISPLAY)

Es un módulo de visualización electrónica y se puede encontrar en una amplia gama de aplicaciones. Un módulo de pantalla LCD de 16x2 es muy básico y es muy utilizado en diversos dispositivos y circuitos. Estos módulos se prefieren más de siete segmentos y otro segmento de múltiples LEDs. Las razones son: las pantallas LCD son económicas; fácilmente programables; no tienen limitación de visualizaciones especiales y aun caracteres personalizados (a diferencia de en siete segmentos), animaciones y demás.

Un LCD 16x2 significa que puede mostrar 16 caracteres por línea y hay 2 tales líneas. En este LCD cada carácter se muestra en la matriz de píxeles 5x7. Este LCD tiene dos registros: Comando y Datos.

El registro de comando almacena las instrucciones dadas a la pantalla LCD para hacer una tarea predefinida como inicializarlo, despejando su pantalla, ajustar la posición del cursor, el control de pantalla, etc. Las tiendas de registro de datos los datos que se muestran en la pantalla LCD. Los datos son el valor ASCII del carácter que se mostrará en la pantalla LCD.

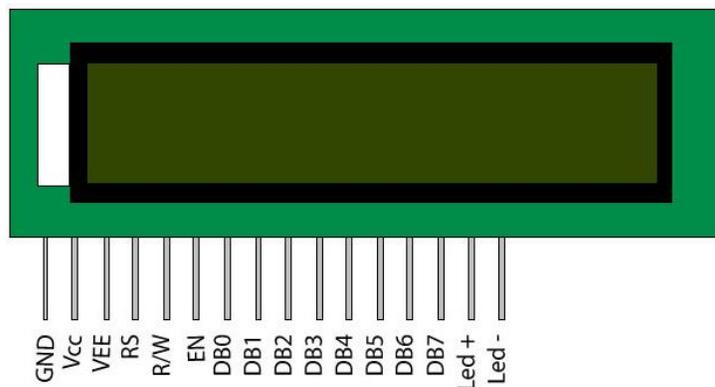


Figura 4.8 Pines en un Display LCD.

Tabla 4.2 Descripción de pines de un Display LCD.

Pin No	Función	Nombre
1	Tierra (0 V)	GND
2	Tensión de alimentación: 5 V (4.7 V – 5.3 V)	Vcc
3	Ajuste de contraste: a través de una resistencia variable	VEE
4	(Low) selecciona registro de comandos; (High) Selecciona registro de datos.	Selector de registro
5	(Low) escribir en el registro; (High) leer desde el registro.	Read/write
6	Envía datos a los pines de datos cuando se le da un impulso de high a low.	Enable
7	Pin de datos de 8 bits.	DB0
8	Pin de datos de 8 bits.	DB1
9	Pin de datos de 8 bits.	DB2
10	Pin de datos de 8 bits.	DB3
11	Pin de datos de 8 bits.	DB4
12	Pin de datos de 8 bits.	DB5
13	Pin de datos de 8 bits.	DB6
14	Pin de datos de 8 bits.	DB7
15	Luz de fondo Vcc (5 V)	Led +
16	Luz de fondo de tierra (0 V)	Led -

4.5 TECLADO MATRICIAL 4X4.

El teclado matricial 4x4 está constituido por una matriz de pulsadores dispuestos en filas (A, B, C, D) y columnas (1, 2, 3, 4), con la intención de reducir el número de pines necesarios para su conexión. Las 16 teclas necesitan sólo 8 pines del microcontrolador, en lugar de los 16 pines que se requerirían para la conexión de 16 teclas independientes.

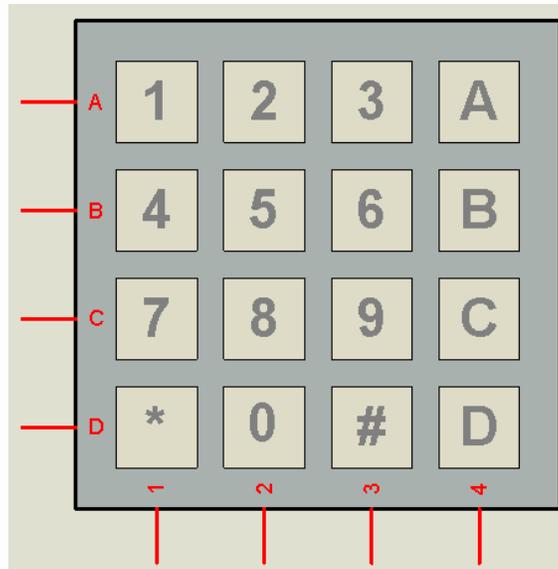


Figura 4.9 Teclado matricial.

Su funcionamiento es muy sencillo, cuando se presiona una tecla, se conectan internamente la fila y columna correspondientes; por ejemplo, al presionar la tecla "7" se conectan la fila C y la columna 1. Si no hay ninguna tecla presionada, las filas están desconectadas de las columnas.

4.6 MCP23017



Figura 4.10 MCP23017

El MCP23017 utiliza dos pines I²C (estos pueden ser compartidos con otros dispositivos I²C), a cambio le da 16 pines de propósito general. Se puede configurar cada uno de 16 pines para ser de entrada, salida o de entrada con un pull-up. Incluso hay la posibilidad de obtener una interrupción a través de un pin externo cuando cualquiera de las entradas cambiar por lo que no tiene que mantener el chip de votación.

Este chip se puede alimentar con 3,3V o 5V, y se puede disponer de una corriente de hasta 20 mA en cualquiera de los pines de E / S y funciona con MOSFET de alta potencia.

Puede establecer la dirección I²C mediante la vinculación de los pines ADDR0-2 a vcc o gnd, para un máximo de 8 direcciones únicas. Eso significa 8 chips pueden compartir un único bus I²C - eso es 128 pines E / S.

4.7 EL RELÉ

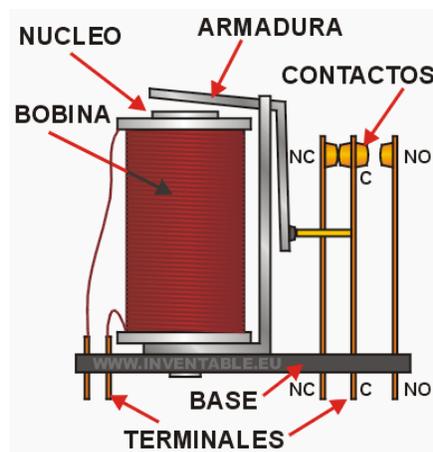


Figura 4.11 Partes de un relevador

Un relé es un interruptor accionado por un electroimán. El cual está formado por una barra de hierro, llamada núcleo, rodeada por una bobina de hilo de cobre.

Al pasar una corriente eléctrica por la bobina el núcleo de hierro se magnetiza por efecto del campo magnético producido por la bobina, convirtiéndose en un imán tanto más potente cuanto mayor sea la intensidad de la corriente y el número de vueltas de la bobina. Al abrir de nuevo el interruptor y dejar de pasar corriente por la bobina, desaparece el campo magnético y el núcleo deja de ser un imán.

Un relé es un dispositivo electromecánico que nos permite la conmutación de una línea eléctrica de media o alta potencia a través de un circuito electrónico de baja potencia. La principal ventaja y el motivo por el que se usa bastante en electrónica es que la línea eléctrica está completamente aislada de la parte electrónica que

controla el relé. Es decir, podemos construir un circuito electrónico (un temporizador, una fotocélula, etc.) y, a través de un relé, controlar cualquier tipo de aparato conectado a la red eléctrica.

4.8 EL BUS I²C

Se denomina bus, en informática, al conjunto de conexiones físicas (cables, placa de circuito impreso, etc.) que pueden compartirse con múltiples componentes de hardware para que se comuniquen entre sí.

El propósito de los buses es reducir el número de rutas necesarias para la comunicación entre los distintos componentes, al realizar las comunicaciones a través de un solo canal de datos. Ésta es la razón por la que, a veces, se utiliza la metáfora "autopista de datos".

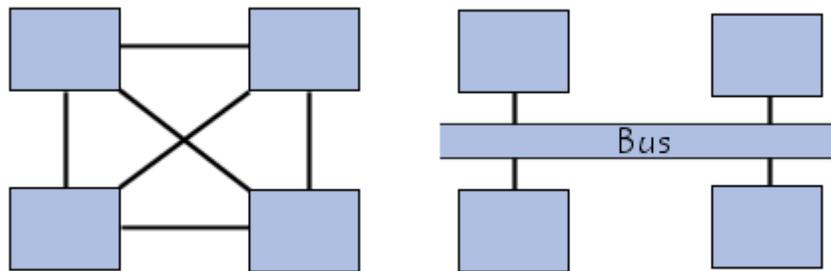


Figura 4.12 Bus de datos.

En el caso en que sólo dos componentes de hardware se comuniquen a través de la línea, podemos hablar de puerto hardware (puerto serial o puerto paralelo).

I²C viene de abreviar Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados), es un bus de comunicaciones con múltiples maestros, lo que significa que se pueden conectar varios chips al mismo bus y que todos ellos pueden actuar como maestro, sólo con iniciar la transferencia de datos.

El bus I²C, es un estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa. Fue diseñado a este efecto por Philips Semiconductors a principios de los 80's y permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad aceptable, de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz. Este bus se utiliza en muchos dispositivos, en especial en equipos de vídeo como monitores de computadora, televisores y videocaseteras.

La metodología de comunicación de datos del bus I²C es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo (pulsos de reloj) y la otra se utiliza para intercambiar datos.

4.8.1 Descripción de las señales

- SCL (System Clock) es la línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.
- SDA (System Data) es la línea por la que se mueven los datos entre los dispositivos.
- GND (Masa) común de la interconexión entre todos los dispositivos "enganchados" al bus.

Las líneas SDA y SCL son del tipo drenaje abierto, es decir, un estado similar al de colector abierto, pero asociadas a un transistor de efecto de campo (o FET). Se deben polarizar en estado alto (conectando a la alimentación por medio de resistores "pull-up") lo que define una estructura de bus que permite conectar en paralelo múltiples entradas y salidas.

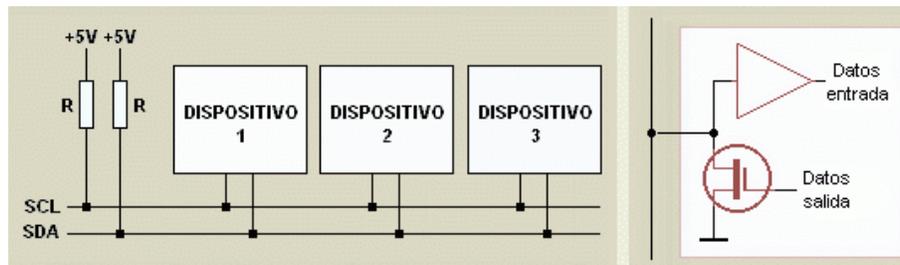


Figura 4.13 Bus I²C.

En el diagrama se muestra que las dos líneas del bus están en un nivel lógico alto cuando están inactivas. En principio, el número de dispositivos que se puede conectar al bus no tiene límites, aunque hay que observar que la capacidad máxima sumada de todos los dispositivos no supere los 400 pF. El valor de los resistores de polarización no es muy crítico, y puede ir desde 18K Ω a 47K. Un valor menor de resistencia incrementa el consumo de los integrados pero disminuye la sensibilidad al ruido y mejora el tiempo de los flancos de subida y bajada de las señales. Los valores más comunes en uso son entre 1K8 y 10K.

4.9 LA MALLA RASCHEL

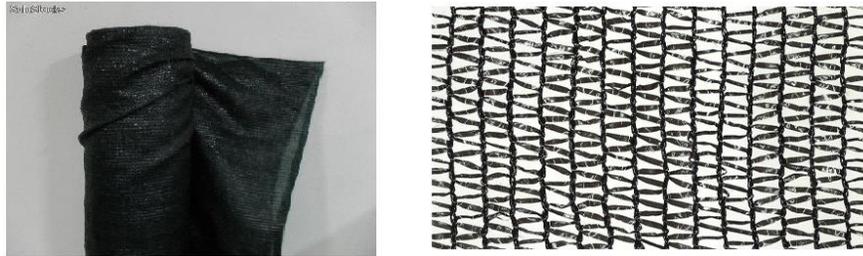


Figura 4.14 Malla Raschell

Una malla es una especie de tela formada al anudar o entretrejer alambres y fibras metálicas. El diseño de las mallas puede variar dependiendo de la forma en que los alambres o fibras se anuden. De esta manera se tienen mallas con tejidos en forma de rombo, hexagonales y de otras formas.

El entretrejado de sus alambres y el material de los mismos determinan el nivel de resistencia de las mallas. Las mallas tienen múltiples aplicaciones, entre las que se encuentran:

- Separación de superficies
- Medida de seguridad
- Construcción de jaulas
- Filtrado
- Colado
- Almacenamiento

Sin embargo, existen mallas fabricadas con plásticos y polímeros que se utilizan con otros fines. Una de las mallas que se fabrican a base de polímeros es la llamada malla raschel.

La malla raschel es un tipo de malla fabricada mediante cintas de polietileno de alta densidad (HDPE). Las fibras de HDPE utilizadas en la fabricación de las mallas raschel se tejen en diferentes densidades y reciben un tratamiento especial para resistir el contacto con los rayos ultravioleta.

4.10 APP INVENTOR



Figura 4.15 Logo App Inventor

Google App Inventor es una plataforma de Google Labs para crear aplicaciones de software para el sistema operativo Android. De forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, el usuario puede ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web. Las aplicaciones fruto de App Inventor están limitadas por su simplicidad, aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

Con Google App Inventor, se espera un incremento importante en el número de aplicaciones para Android debido a dos grandes factores: la simplicidad de uso, que facilitará la aparición de un gran número de nuevas aplicaciones; y Google Play, el centro de distribución de aplicaciones para Android donde cualquier usuario puede distribuir sus creaciones libremente.

4.12 MÓDULO BLUETOOTH



Figura 4.16 Módulo Hc-05

El módulo HC-05 es un módulo Bluetooth SPP (Serial Port Protocol) fácil de usar, diseñado para la configuración de la conexión serie inalámbrica transparente.

El módulo de serie Bluetooth se utiliza para la conversión de puerto serie a Bluetooth. Estos módulos tienen dos modos: el maestro y el esclavo del dispositivo. El dispositivo lleva el nombre de número par se define como maestro o esclavo cuando está fuera de la fábrica y no se puede cambiar al otro modo. Pero para el dispositivo lleva el nombre de número impar, los usuarios pueden configurar el modo de trabajo (master o esclavos) del dispositivo mediante comandos AT.

Características del hardware

- Sensibilidad -80 dBm típica
- Hasta + 4dBm RF potencia de transmisión
- Bajo Operación 1.8V de alimentación, de 1,8 a 3.6VI / S
- PIO control

- interfaz UART con velocidad de transmisión programable
- Con antena integrada
- Con el conector de borde

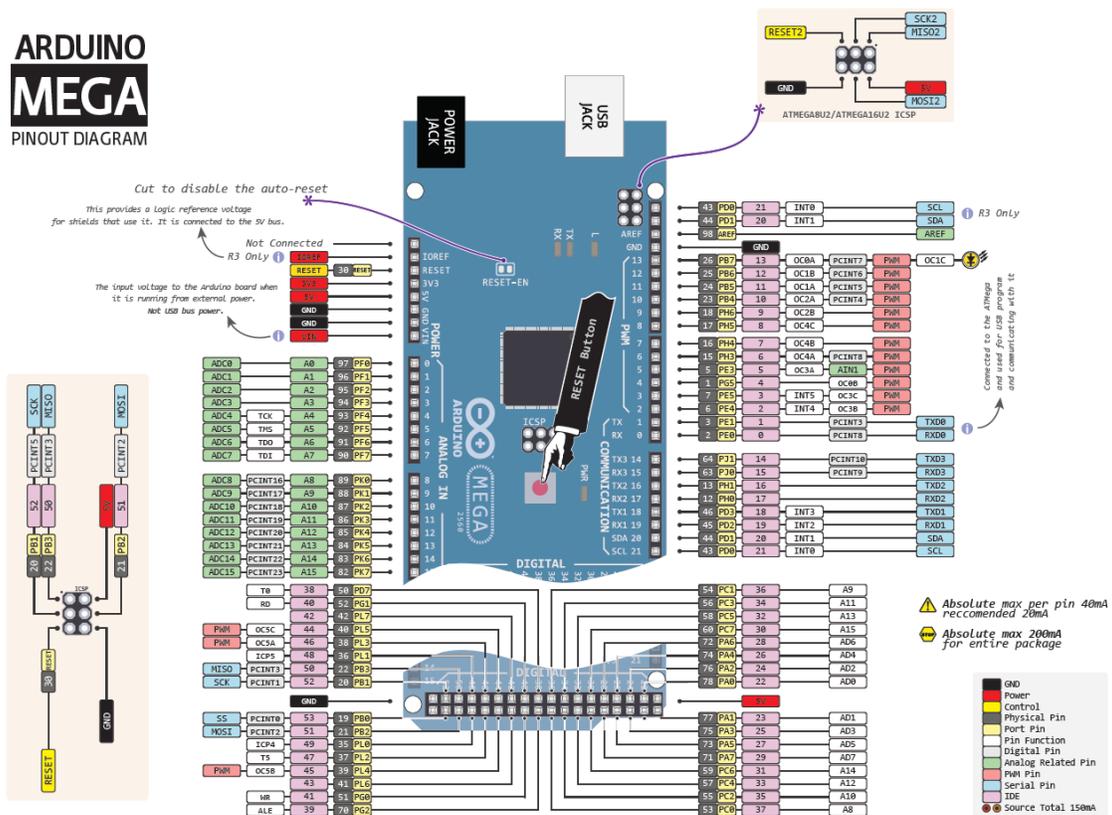
Características del software

- Velocidad de transmisión por defecto: 38400, Bits de datos: 8, bit de parada: 1, Paridad: Sin paridad, control de datos: tiene.
- velocidad soportada: 9600,19200,38400,57600,115200,230400,460800.

CAPÍTULO 5: DESARROLLO DE LA PROPUESTA

5.1 SOBRE EL PROYECTO

El proyecto en un inicio fue pensado para desarrollarse en la tarjeta Arduino UNO, sin embargo debido a la cantidad de pines utilizados por los distintos componentes implicados, se vio en la necesidad de hacer uso de otra tarjeta en este caso usar el Arduino MEGA, a su vez que permite la modificación o ampliación al programa, cuando se quiera hacer uso de más actuadores o sensores o el simple hecho de hacer uso de un display LCD que no use la comunicación serial I²C, lo cual implica hacer uso de más pines que para esta tarjeta no hay ningún inconveniente. En la figura 5.1 podemos visualizar claramente la distribución de los pines de la tarjeta Arduino MEGA.



tomar las mediciones, la entrada manual para la configuración por parte del usuario y la entrada a través de un dispositivo móvil que de igual manera es bidireccional; la unidad central del sistema de control, que viene siendo la propia tarjeta Arduino Mega, a la cual una vez que le llega la información, lo procesa y lo envía a las distintas salidas; y por ultimo las salidas, que se conectan a los actuadores los cuales se encargaran de encender o apagar las luces necesarias, así como también controlar la apertura o cierre de la malla mostrando también toda la información de las variables usadas mediante un display LCD.



Fig. 5.2 Diagrama a bloques del sistema de control.

5.2 SOBRE EL PROGRAMA

Un programa de Arduino se denomina sketch o proyecto y tiene la extensión .ino. Es la unidad de código que se carga y se ejecuta en una placa Arduino.

La estructura básica de un sketch de Arduino (figura 5.3) es bastante simple y se compone de al menos dos partes. Estas dos partes son obligatorias y encierran bloques que contienen declaraciones, estamentos o instrucciones.

- setup()
- loop()

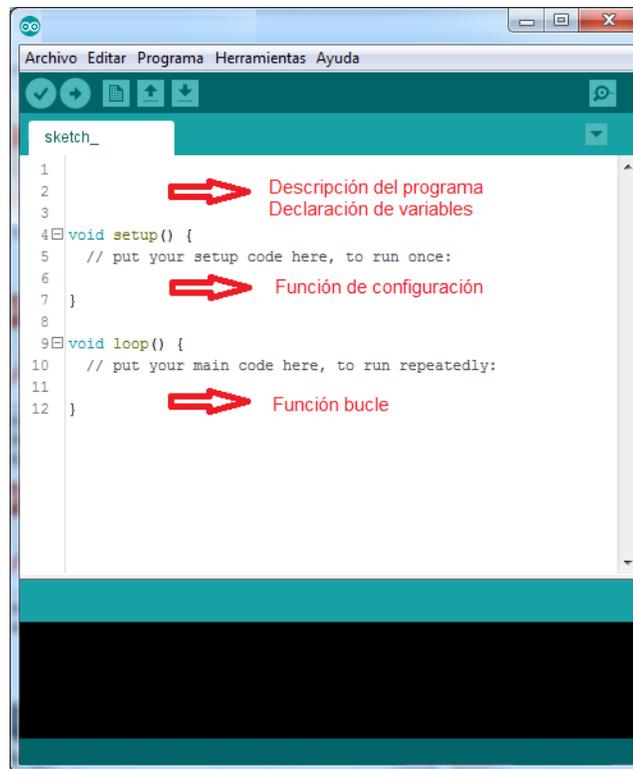


Fig. 5.3 Estructura básica de un sketch de Arduino

En donde `setup()` es la parte encargada de recoger la configuración y `loop()` es la que contiene el programa que se ejecutará cíclicamente (de ahí el término loop – bucle-). Ambas funciones son necesarias para que el programa trabaje.

La función de configuración (`setup`) debe contener la inicialización de los elementos y esta función sólo se ejecuta una vez justo después de hacer el reset y no se vuelve a ejecutar hasta que no haya otro reset. Es la primera función a ejecutar en el programa y se utiliza para configurar, inicializar variables, comenzar a usar librerías, etc...

La función bucle (`loop`) siguiente contiene el código que se ejecutará continuamente (lectura de entradas, activación de salidas, etc). Esta función es el núcleo de todos los programas de Arduino y se usa para el control activo de la placa.

La función `loop` se ejecuta justo después de `setup`.

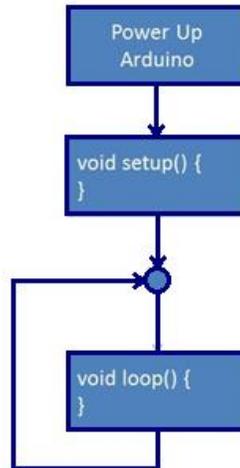


Fig. 5.4 Diagrama de flujo de un sketch de Arduino

5.3 DECLARACIÓN DE VARIABLES

En esta parte iniciamos el desarrollo del programa, donde declaramos todas las librerías de los distintos componentes que utilizaremos, esto mediante la instrucción `#include`, que se usa para incluir bibliotecas externas en el boceto. Esto le da al programador acceso a un gran grupo de bibliotecas C estándar (grupos de funciones prefabricadas), y también bibliotecas escritas especialmente para Arduino, que en este caso involucran a los sensores de luminosidad, el teclado matricial, el display LCD, el reloj de tiempo real, además de otras configuraciones como la conexión I²C.

En el caso de el display LCD, el sensor de luz y el Reloj de Tiempo real, es necesario hacer otras configuraciones para su correcto funcionamiento, estas configuraciones son la dirección para la comunicación con el display y especificar el tipo de integrado que se están manejando en el proyecto, para este en particular se especifica el DS1307 como Reloj de Tiempo Real y el Bh1750 como sensor de luz.

Para el Teclado matricial se le declaran la cantidad de filas y columnas que posee, así como se da un bosquejo de cómo están ubicados los teclados, ya que si lo configuramos de otra manera, podemos obtener resultados o funcionamiento no esperados, y posteriormente se hace un mapeo para posterior mente detectar la tecla presionada.

Para la asignación de pines de entrada y salida de la placa se usan variables de tipo entero (int) al cual se le asignara un valor numérico correspondiente al pin que se desee utilizar, en esta parte también se hace la declaración de variables globales las cuales dependiendo de su uso, se le asigna el tipo de datos que utilizaran, ya sean enteros (int), decimales (float) carácter (char) o si se requiere de manejar un número mayor al que puede usarse de manera ordinaria en cualquier boceto, para este último caso se usa el uint16_t, lo que nos permite almacenar un número en 16 bits.

```
#include <Wire.h>           // Conexión vía I2C
#include <LiquidTWI2.h>    // Controla el LCD
#include <EEPROM.h>        // Biblioteca EEPROM
#include <BH1750.h>        // Controla Sensor de Luz
#include <RTClib.h>        // Controla el Reloj de Tiempo Real
#include <Keypad.h>        // Controla el teclado

LiquidTWI2 lcd (0);       // Conectar vía I2C, dirección por defecto (0)
RTC_DS1307 RTC;           // Configuración del Reloj de Tiempo Real
BH1750 sensorLuz;        // Configuración del Sensor de Luz

// Configuración del teclado
const byte filas = 4;     // Número de filas
const byte columnas = 4;  // Número de columnas
byte pinsFilas[filas] = {22, 23, 24, 25}; // Pines filas
byte pinsColumnas[columnas] = {26, 27, 28, 29}; // Pines columnas
char teclas[filas][columnas] = // Configuración de las teclas
{
  {'1', '2', '3', 'A'},
  {'4', '5', '6', 'B'},
  {'7', '8', '9', 'C'},
  {'*', '0', '#', 'D'},
};
Keypad teclado = Keypad(makeKeymap(teclas), pinsFilas, pinsColumnas, filas, columnas);

int sensorUV1 = A0;       //Salida del sensor
int sensorUV2 = A2;       //Salida del sensor
int sensorUV3 = A3;       //Salida del sensor
int pinRef = A1;          //3.3V energía de la placa Arduino
int malla1 = 9;           //Variable para activar la malla
int malla2 = 8;           //Variable para activar la malla
int luces = 7;            //variable para ctivar las luces
int luzUV = 10;           //Interrupor de contacto
int S0 = 5;               //Interrupor de contacto
int S1 = 4;               //Interrupor de contacto

int d = 2000;             //delay
char buffer[6];           //variable para envío de datos

char valor[2];            //variable para cambiar valores
int i;                    //auxiliar
int c;                    //auxiliar

float horas = 0;          //variable para el conteo de horas
int Hmin;                 //hora predeterminada 7:00 am
int Hmax;                 //hora predeterminada 8:00 pm
uint16_t Lmax;            //valr maximo luz
uint16_t Lmin;           //valor minimo luz
int UVmax;                //valor maximo uv
int UVmin;                //EEPROM.write(5, 40); //valor minimo uv

float indiceUV;
float t = 0;              //auxiliar tiempo
int T1;                   //tiempo horas de luz
uint16_t sLuz = 0;
```

Fig. 5.5 Declaración de librerías y variables del programa

Como se puede observar se han declarado tres sensores para la medición de la intensidad de radiación ultravioleta, esto con la finalidad de tener una mejor lectura, más adelante se mostrara como usar estas tres lecturas para obtener un promedio. También se hace uso de dos interruptores de contacto (S0 y S1), esto con la finalidad de saber en qué estado se encuentra la malla (abierta o cerrada) y así asegurarse que el motor no se active, cuando no sea necesario y también que se detenga en el momento indicado.

5.4 FUNCIÓN DE CONFIGURACIÓN (SETUP)

Dentro de esta función se inicializan algunas funciones específicas para comunicar la placa Arduino con los componentes usados en este proyecto, esto se realiza con la instrucción `.begin`, garantizando un funcionamiento más óptimo de estos. Así como también se configuran los pines declarados, mediante la instrucción `pinMode`, ya sea como entradas (INPUT) o salidas (OUTPUT) y se les asigna un estado inicial a los actuadores, en este caso configuramos luces apagadas (LOW) y la malla abierta (LOW).

Por otro una vez hechas las primeras configuraciones, se procede a cargar unos valores preestablecidos a la memoria EEPROM que serán usados como primeros parámetros de funcionamiento en el proyecto, tomando como referencia los valores para el cultivo de jitomate, estos parámetros son:

Tabla 5.1 Valores a cargar en la EEPROM

Parámetro	Valor
Hora de inicio	7:00 h
Hora de termino	20:00 h
Valor mínimo de Luz	10 Klux
Valor máximo de Luz	40 Klux
Valor mínimo UV	Índice UV = 0
Valor máximo UV	Índice UV = 6

Por ultimo mostramos un mensaje de bienvenida, el cual tendrá una demora de dos segundos entre cada parte del mensaje mostrado en el display LCD, debido a que, por el número de caracteres, no se puede mostrar de forma completa y a la vez es un tiempo adecuado para su lectura. En la parte final llamamos a las

primeras funciones: menú() que se encargara de mostrarnos las distintas opciones a las que se tiene acceso mediante el uso del teclado, LeerDatos() carga las variables globales con los valores guardados en la EEPROM e información() muestra todos los valores con los que se han cargado las variables principales con las que trabaja el sistema en un Display.

```

void setup() {
  lcd.setMCPTType (LTI_TYPE_MCP23017);           //Debe ser llamada antes de lcd.begin()
  lcd.begin(16, 2);                             //Inicia la comunicación con el lcd
  sensorLuz.begin();                            //Inicia la comunicación con el sensor bh1750
  Serial.begin(9600);                           //Inicia la comunicación serial
  Wire.begin();                                 //configura el bus I2C estableciendo arduino como MASTER
  RTC.begin();                                  //Inicia la comunicación con el RTC

  pinMode(sensorUV1, INPUT);                   //Declaracion de la variable SensorUV1 como entrada
  pinMode(sensorUV2, INPUT);                   //Declaracion de la variable SensorUV2 como entrada
  pinMode(sensorUV3, INPUT);                   //Declaracion de la variable SensorUV3 como entrada
  pinMode(pinRef, INPUT);                      //Declaracion de la variable Pin_ref como entrada
  pinMode(malla1, OUTPUT);                     //Declaracion de la variable Malla como salida
  pinMode(malla2, OUTPUT);                     //Declaracion de la variable Malla como salida
  pinMode(luces, OUTPUT);                      //Declaracion de la variable luces como salida
  pinMode(luzUV, OUTPUT);                      //Declaracion de la variable luzUV como salida
  pinMode(S0, INPUT);                          //Declaracion de la variable S0 como entrada
  pinMode(S1, INPUT);                          //Declaracion de la variable S1 como entrada

  digitalWrite(luces, LOW);                    //Luces apagadas
  digitalWrite(malla1, LOW);                  //Malla abierta

  if (EEPROM.read(6) != 'A')
  {
    EEPROM.write(0, 7);                        //hora de inicio
    EEPROM.write(1, 20);                       //hora de fin
    EEPROM.write(2, 10);                       //valor minimo luz
    EEPROM.write(3, 40);                       //valr maximo luz
    EEPROM.write(4, 0);                        //valor minimo uv
    EEPROM.write(5, 6);                        //valor maximo uv
    EEPROM.write(6, 'A');
  }

  lcd.setCursor(3, 0);                         //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("FES ARAGON");                     //Muestra Texto en LCD
  lcd.setCursor(3, 1);                         //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("BIENVENIDO");                     //Muestra Texto en LCD
  delay(d);                                    //retardo
  lcd.clear ();                                //Limpia el LCD
  lcd.setCursor(0, 0);                         //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("SISTEMA PARA EL");                //Muestra Texto en LCD
  lcd.setCursor(3, 1);                         //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("CONTROL DE");                    //Muestra Texto en LCD
  delay(d);                                    //retardo
  lcd.clear ();                                //Limpia el LCD
  lcd.setCursor(1, 0);                         //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("LUMINOSIDAD Y");                 //Muestra Texto en LCD
  lcd.setCursor(2, 1);                         //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("RADIACION UV");                  //Muestra Texto en LCD
  delay(d);                                    //retardo

  Menu();
  LeerDatos();
  Informacion();
}

```

Fig. 5.6 Función de configuración del proyecto

Es importante mencionar que existe otra configuración del Reloj de Tiempo Real, que se escribe una única ocasión dentro la función de configuración, esta función actualiza la fecha y la hora acorde al equipo encargado de cargar el código a la

tarjeta, una vez cargado el código con este comando, se procede a cargar nuevamente con la diferencia de que ahora se comenta u omite dicha línea que a continuación se muestra.

```
RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); //Establece la fecha y hora (Comentar una vez establecida la hora)
```

Es importante hacer el paso anterior, ya que si no se comenta o elimina dicha línea, el Reloj de tiempo Real funcionará de manera errónea.

5.5 LA FUNCIÓN BUCLE (LOOP)

Esta es la función principal de todo el proyecto, debido a que en esta parte se conjuntan todas las demás funciones, y se procesan los datos obtenidos para ejecutar las respectivas respuestas. Para este proyecto se manejan de manera muy similar los diagramas del control de la cantidad de luz (figura 5.7) y del control de la cantidad de radiación UV (figura 5.8) ya que tienen un comportamiento muy similar. Además para que sea eficiente el trabajo se usa el reloj como referencia de funcionamiento, así una vez cumplido el ciclo de trabajo preestablecido, el propio sistema se pone en modo de suspensión.

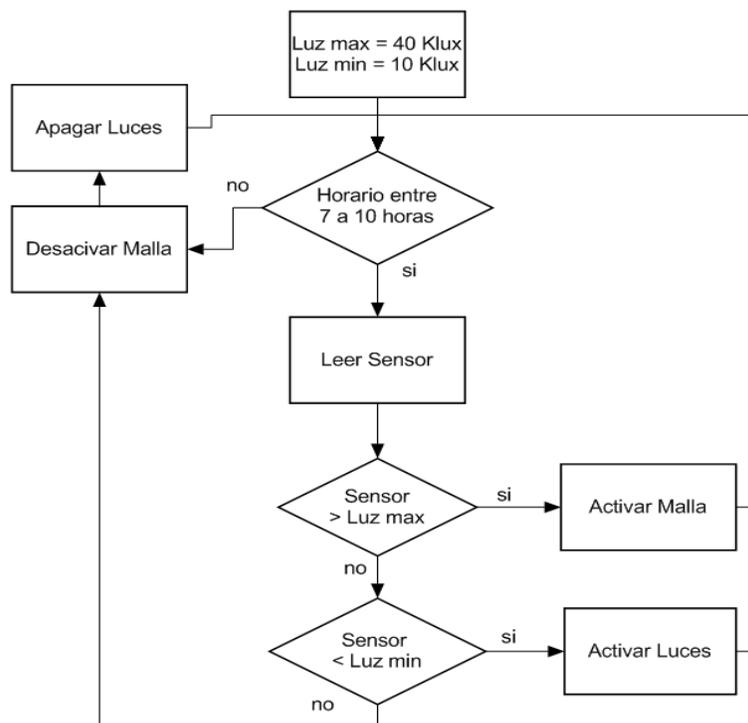


Fig. 5.7 Diagrama de flujo del proyecto referente a la luz

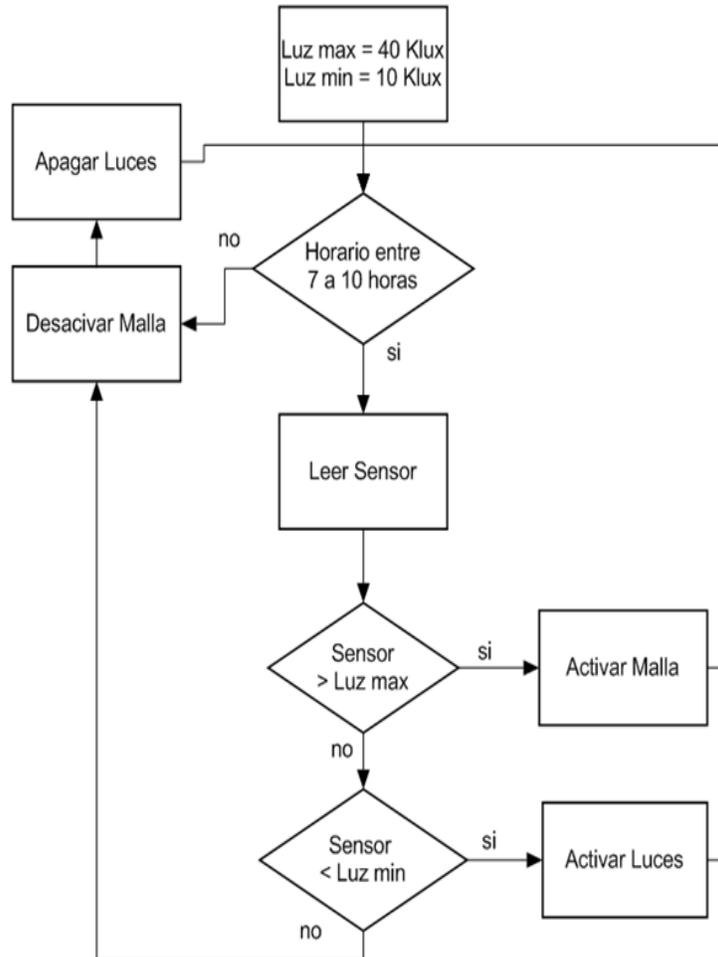


Fig. 5.8 Diagrama de flujo del proyecto referente a la radiación UV

Los valores obtenidos de las funciones específicas de cada sensor se comparan también con las referencias guardadas en la EEPROM para obtener una mejor decisión, y evitar funciones innecesarias, condicionando las posibles respuestas del sistema. Como por ejemplo el uso de interruptores de contacto los cuales nos sirven para indicar el estado de la malla o para detener un proceso de la misma, ya sea de cerrar o abrir. En la figura 5.9 se puede observar claramente la distribución de esta función así como sus respectivas condicionales las cuales se encargan de reducir al mínimo los posibles errores.

```

void loop() {

    if (Serial.available() > 0) {           //Si detecta datos de la aplicaci3n
        int r1 = Serial.parseInt();        //inicia la recepci3n de datos
        int r2 = Serial.parseInt();        //y lo almacena en 6 variables
        int r3 = Serial.parseInt();
        int r4 = Serial.parseInt();
        int r5 = Serial.parseInt();
        int r6 = Serial.parseInt();

        if (Serial.read() == '\n') {       //finaliza recepci3n de datos
            EEPROM.write(0, r1);           //hora de inicio
            EEPROM.write(1, r2);           //hora de fin
            EEPROM.write(2, r3);           //valor minimo luz
            EEPROM.write(3, r4);           //valor maximo luz
            EEPROM.write(4, r5);           //valor maximo uv
            EEPROM.write(5, r6);           //valor minimo uv
        }
    }

    fecha();                               //obtiene la hora actual
    if (horas > Hmin && horas < Hmax ) {    //compara con las horas programadas
        senUV();                           //llama a la funci3n del sensor UV
        senLuz();                          //llama a la funci3n del sensor de Luz

        //Si hay un error en el estado de la maya
        if ((S0 == LOW && S1 == LOW ) || (S0 == HIGH && S1 == HIGH )) {
            digitalWrite(malla1, LOW);     //Apaga la malla
            digitalWrite(malla2, LOW);
        }

        if ((sLuz > Lmax) || (indiceUV > UVmax)) { //si las lecturas son mayores
            digitalWrite(luces, LOW);      //Apaga Luces
            digitalWrite(luzUV, LOW);      //Apaga Luces UV
            do {
                digitalWrite(malla1, HIGH); //Pone la malla
                digitalWrite(malla2, LOW);
            }
            //realizar esto
            while (S1 == LOW);             //Mientras la malla esta cerrada
            digitalWrite(malla1, LOW);     //Apaga la malla
            digitalWrite(malla2, LOW);
        }

        else if (sLuz < Lmin) {            //Si la Luz es menor
            digitalWrite(luces, HIGH);     //Enciende Luces
            digitalWrite(luzUV, LOW);      //Apaga Luces UV
            do {
                digitalWrite(malla1, LOW); //Quita la malla
                digitalWrite(malla2, HIGH);
            }
            while (S0 == LOW)
            digitalWrite(malla1, LOW);     //Apaga la malla
            digitalWrite(malla2, LOW);
        }

        else if ( indiceUV < UVmin) {      //Si el indice UV es mayor
            digitalWrite(luces, LOW);      //Apaga Luces
            digitalWrite(luzUV, HIGH);     //Enciende Luces UV
            do {
                digitalWrite(malla1, LOW); //Quita la malla
                digitalWrite(malla2, HIGH);
            }
            while (S0 == LOW)
            digitalWrite(malla1, LOW);     //Apaga la malla
            digitalWrite(malla2, LOW);
        }
    }
    else {                                  //si no se cumplen
        do                                  //las condiciones anteriores
        {
            digitalWrite(malla1, LOW);     //Quita la malla
            digitalWrite(malla2, HIGH);
            digitalWrite(luces, LOW);      //Apaga Luces
            digitalWrite(luzUV, LOW);      //Apaga Luces UV
        }
        while (S0 == LOW);
        digitalWrite(luces, LOW);         //Apaga Luces
        digitalWrite(luzUV, LOW);        //Apaga Luces UV
        digitalWrite(malla1, LOW);       //Quita la malla
        digitalWrite(malla2, LOW);
    }

    sprintf(buffer, "%d,%d,%d", horas, sLuz, indiceUV); //envio de datos
    Serial.println(buffer);                 //hacia la aplicaci3n
}
}

```

Fig. 5.9. Funci3n loop()

5.6 FUNCIÓN RET

Debido a la monitorización continua que se debe de realizar tanto de los sensores como del propio teclado matricial, se vio en la necesidad de crear una función especial de retardo ya que la función `delay()` que tiene por defecto el IDE de Arduino pausa como tal todo el programa hasta que termine el tiempo de retardo programado, impidiendo de esta manera hacer otro proceso al mismo tiempo.

Esta función permite mostrar un texto en el display LCD durante un tiempo determinado, en este caso dos segundos, mientras que al mismo tiempo verifica si alguna de las teclas fue presionada, esto con la finalidad de poder tener acceso en cualquier momento a una función específica durante la ejecución del programa. Para poder medir el tiempo que dura este retardo se usó la función `millis()` la cual devuelve la cantidad de milisegundos desde que la placa Arduino comenzó a ejecutar el programa actual, y se reiniciará (volverá a cero), después de aproximadamente 50 días. Aprovechando esto dentro de la función creamos dos variables locales, que son `actual` y `anterior`, los cuales nos sirven para comparar el tiempo desde que inicia la función hasta llegar al tiempo que se establezca como retardo para que salga de esta función y siga con el resto del programa.

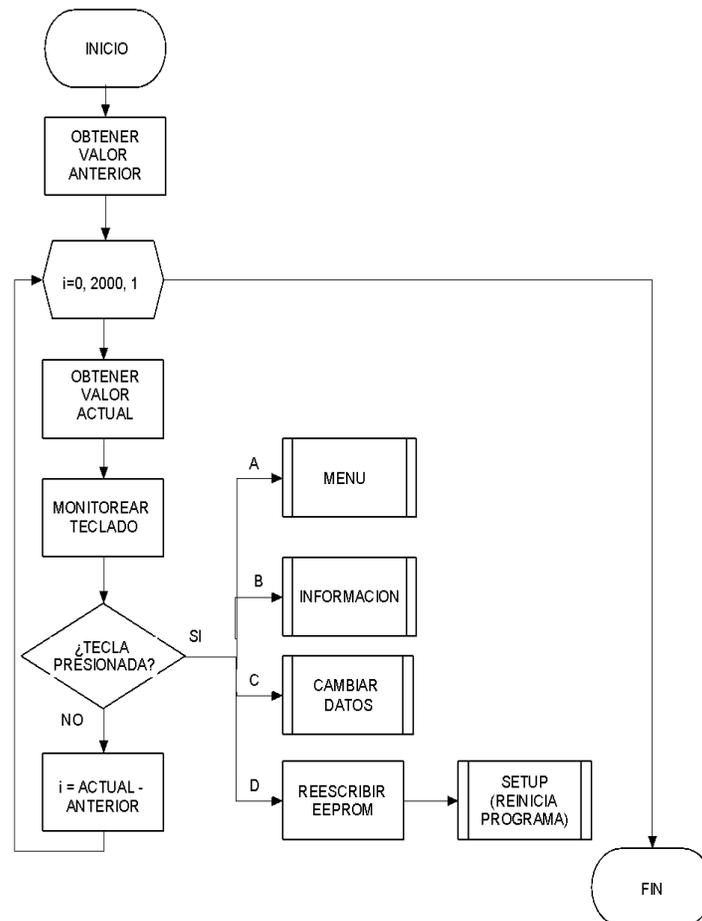


Fig. 5.10 Diagrama de flujo de la función Ret()

```

void Ret() {
  unsigned long anterior = millis();
  for (long i = 0; i <= 2000; i++) {
    unsigned long actual = millis();
    char ingreso = teclado.getKey();
    if (ingreso != NO_KEY)
      switch (ingreso) {
        case 'A': // Muestra la informacion del menu
          lcd.clear();
          Menu();
          lcd.clear();
          break;

        case 'B': // Muestra la informacion del menu
          lcd.clear();
          Informacion();
          lcd.clear();
          break;

        case 'C': // Cambia Datos
          lcd.clear();
          c = 0;
          cambiar();
          lcd.clear();
          break;

        case 'D': // Reiniciar sistema
          EEPROM.write(0, 7); //hora de inicio
          EEPROM.write(1, 20); //hora de fin
          EEPROM.write(2, 10); //valor minimo luz
          EEPROM.write(3, 40); //valr maximo luz
          EEPROM.write(4, 0); //valor maximo uv
          EEPROM.write(5, 6); //valor minimo uv
          EEPROM.write(6, 'A');
          lcd.clear();
          setup();
          lcd.clear();
          break;
      }
    i = actual - anterior;
  }
}

```

Fig. 5.11 función Ret()

5.7 FUNCIÓN MENU

Esta función es la encargada de mostrarnos las diferentes opciones a las que se tiene acceso en el sistema de control dentro del programa, indicándonos en el display LCD la manera de ingresar a cada una de estas opciones y haciendo uso de la función Ret() podemos tener acceso de manera inmediata a cualquiera de estas opciones en cualquier momento de la ejecución del programa.

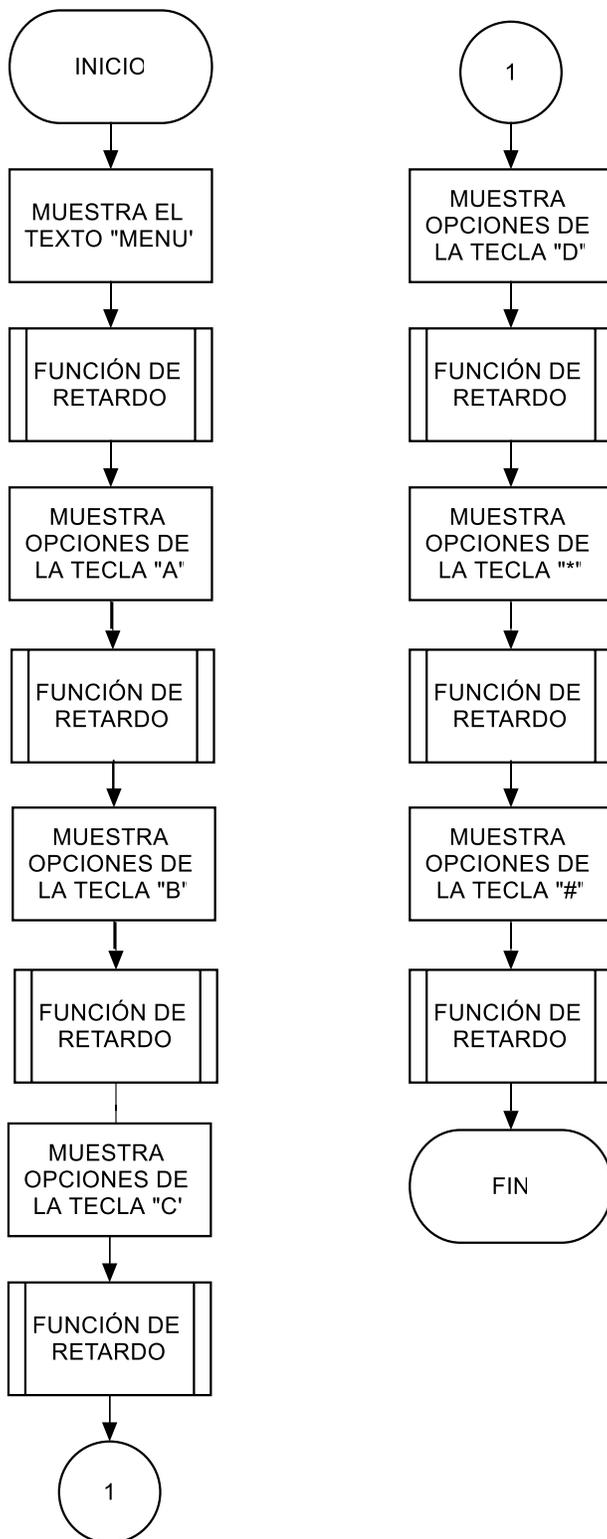


Fig. 5.12 Diagrama de flujo de la función Menu()

```

void Menu() {
    lcd.clear (); // Limpia el LCD
    lcd.setCursor(6, 0); // Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("MENU:"); // Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(0, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print(" 'A' Muestra "); //Muestra Texto en LCD
    lcd.setCursor(6, 1); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("Menu"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(0, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print(" 'B' Muestra "); //Muestra Texto en LCD
    lcd.setCursor(0, 1); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print(" Informacion"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(0, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("'C' Cambia Datos"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(2, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("'D' Reiniciar"); //Muestra Texto en LCD
    lcd.setCursor(6, 1); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("Sistema"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(3, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("'*' Aceptar"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(2, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("'#' Cancelar"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
}

```

Fig. 5.13 función Menu()

5.8 FUNCIÓN LEERDATOS

En esta función se cargan las variables del programa, con los que funciona el sistema de control, con los valores guardados previamente en la memoria EEPROM.

Las asignaciones de los valores son de manera directa a excepción de los valores relacionados con la cantidad de luz, esto debido a que los valores necesarios para esta variable son por mucho mayores a los que se pueden almacenar en las localidades de la memoria, por eso y como solución sencilla únicamente se procedió a leer las localidades y multiplicarlos por 1000 y después se les asignó a las variables. Otro dato que viene siendo meramente informativo es saber la cantidad de horas de luz que se tiene en funcionamiento el sistema.

```

void LeerDatos() {
  Hmin = EEPROM.read (0);           //hora predeterminada 7:00 am
  Hmax = EEPROM.read (1);           //hora predeterminada 8:00 pm
  Lmin = 1000 * (EEPROM.read (2));  //valor minimo luz
  Lmax = 1000 * (EEPROM.read (3));  //valr maximo luz
  UVmin = EEPROM.read (4);          //valor minimo uv
  UVmax = EEPROM.read (5);          //valor maximo uv
  Tl = Hmax - Hmin;
}

```

Fig. 5.14 función LeerDatos()

5.9 FUNCIÓN INFORMACION

Es una función con una configuración muy similar a Menu(), su objetivo principal es mostrar al usuario, a través del display LCD, la información referente a los parámetros con lo que está funcionando el sistema, como son: el horario de inicio de funcionamiento del sistema, el horario de apagado del sistema, las cantidades mínimas y máximas de luz que se configuraron como referencia y el total de horas de luz, o de funcionamiento.

Estos datos que se muestran son los mismos que se guardaron en la memoria EEPROM y fueron asignados a las variables globales en la función anterior LeerDatos(), dichos valores de los datos son los que se muestran en la Tabla 5.1, agregando únicamente la impresión de caracteres extras, para que algunos datos aparezcan en formatos de horas (horas: minutos).

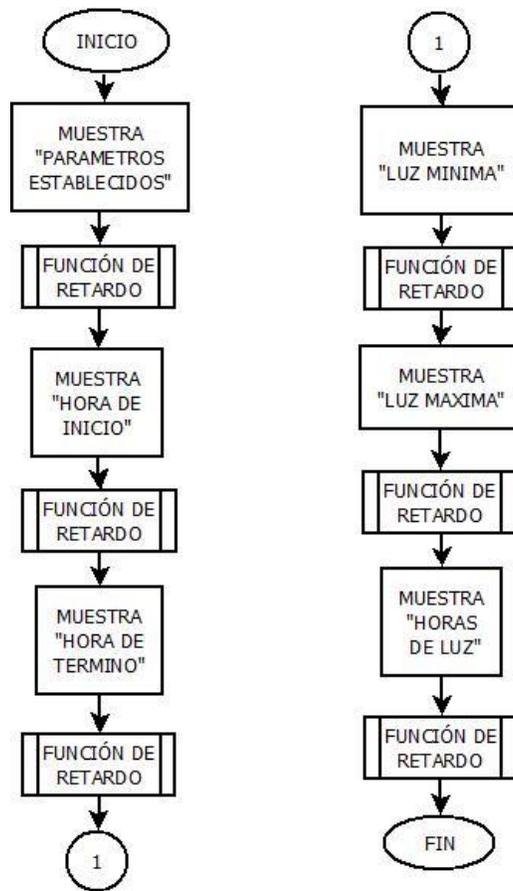


Fig. 5.15 Diagrama de flujo de la función Información()

```

void Informacion() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("PARAMETROS");
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print("ESTABLECIDOS");
    Ret();

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("HORA INICIO");
    lcd.setCursor(3, 1);
    if (Hmin < 10)
        lcd.print("0");
    lcd.print(Hmin);
    lcd.setCursor(5, 1);
    lcd.print(":00 hrs");
    Ret();

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("HORA FIN");
    lcd.setCursor(3, 1);
    if (Hmax < 10)
        lcd.print("0");
    lcd.print(Hmax);
    lcd.setCursor(5, 1);
    lcd.print(":00 hrs");
    Ret();

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("LUZ MINIMA");
    lcd.setCursor(3, 1);
    lcd.print(Lmin);
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("Lux");
    Ret();

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("LUZ MAXIMA");
    lcd.setCursor(3, 1);
    lcd.print(Lmax);
    lcd.setCursor(9, 1);
    lcd.print("Lux");
    Ret();

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("HORAS DE LUZ");
    lcd.setCursor(7, 1);
    lcd.print(T1);
    Ret();
}

```

```

// Muestra opciones del teclado
// Limpia el LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
//retardo
//Limpia el LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// si el mes es menor a 10
// Muestra Texto en LCD}
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD

//Limpia el LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
//retardo
//Limpia el LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
// Posicion del LCD (columna, fila)
// Muestra Texto en LCD
//retardo

```

Fig. 5.16 función Información()

5.10 FUNCIÓN SENUV

Las mediciones tomadas del Sensor Radiación Ultravioleta, se realizan por medio de salida analógica relacionada con la cantidad de luz detectada. Sensible a rayos UV-A y UV-B.

Sabiendo que el ADC en Arduino dará salida a 1023 como valor máximo cuando lea VCC. Si leemos 669 de la conexión a 3.3V podemos obtener el voltaje de alimentación de la siguiente manera:

$$VCC / 1023 = 3.3V / 669$$

Resolviendo con una regla de tres para VCC, obtenemos 5.05V.

De la misma forma se hace uso del ADC para obtener una lectura mas precisa del sensor UV:

$$\text{voltageSalida} / \text{nivel_UV} = 3.3 / \text{referencia}$$

nivel_UV es lo que leemos del pin de salida del sensor, referencia es lo que leemos en el pin 3.3V de la tarjeta Arduino.

Resolviendo podemos obtener una lectura de voltageSalida, y al ingresar esta lectura a la función mapfloat() junto con los parámetros con los que se quiere interpolar, se obtiene de manera confiable el resultado buscado del nivel de radiación UV mostrándolo a su vez al usuario.

```
void senUV() {
  int referencia = promedio(pinRef);           //Lee el voltaje de referencia
  int nivelUV1 = promedio(sensorUV1);         //Lee el sensor UV1
  int nivelUV2 = promedio(sensorUV2);         //Lee el sensor UV2
  int nivelUV3 = promedio(sensorUV3);         //Lee el sensor UV3
  float nivel_UV = (nivelUV1 + nivelUV2 + nivelUV3) / 3; //saca un promedio de los tres sensores
  float voltageSalida = (3.3 / referencia) * nivel_UV; //obtener un valor de salida del sensor
  indiceUV = mapfloat(voltageSalida, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0); // Convertir el voltaje a un nivel de intensidad UV

  lcd.clear();                               //Limpia el LCD
  lcd.setCursor(0, 0);                       //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("Indice UV:");                   //Muestra Texto en LCD
  lcd.setCursor(10, 0);                      //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print(indiceUV);                       //Muestra Texto en LCD
  Ret();                                     //retardo para el texto en el LCD
}
```

Fig. 5.17 Función senUV ()

5.11 FUNCIÓN SENLUZ

```

float senLuz() {
    sLuz = sensorLuz.readLightLevel();//sensorLuz.readLightLevel();

    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(0, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("Light: "); //Muestra Texto en LCD
    lcd.setCursor(7, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print(sLuz); //Muestra intensidad de luz
    lcd.setCursor(13, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)
    lcd.print("lux"); //Muestra Texto en LCD
    Ret(); //retardo
}

```

Fig. 5.18 Función senLuz ()

5.12 FUNCIÓN PROMEDIO

Esta función fue creada con la finalidad de disminuir al mínimo los errores a la hora de utilizar el sensor ML8511, esto se logra realizando varias mediciones, en este caso 8, para obtener un promedio de estas y así obtener un único dato sin tantas variaciones. Su funcionamiento solo se encarga de almacenar la sumatoria de las lecturas tomadas, y dividirlo entre el total de lecturas, para retornar este valor a donde fue solicitado.

```

int promedio(int pinLeido) { //Toma un promedio de las lecturas en un pin determinado
    byte numeroDeLecturas = 8; //lecturas a realizar
    unsigned int valorActual = 0; //variable principal
    for (int x = 0 ; x < numeroDeLecturas ; x++) //inician las lecturas
        valorActual += analogRead(pinLeido); //sumatoria de los valores obtenidos
    valorActual /= numeroDeLecturas; //divide total de la suma entre las lecturas realizadas
    return (valorActual); //Devuelve la media
}

```

Fig. 5.19 Función promedio ()

5.13 FUNCIÓN MAPFLOAT

Para conocer el valor de la radiación UV medida por el sensor es necesario poder realizar una medición confiable, esto se logra haciendo uso de la fórmula de la interpolación lineal, el cual es un procedimiento muy utilizado que permite estimar el valor que toma una función conociendo solo sus valores en los extremos (x_0, y_0) y (x_1, y_1) .

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0)$$

Interpolación lineal	
x_0	y_0
x	$y=?$
x_1	y_1

Fig. 5.20 Formula de la interpolación lineal

indiceUV = mapfloat(voltageSalida, 0.99, 2.8, 0.0, 15.0);

Los valores de referencia para obtener la lectura usando la formula anterior son, en este caso, el rango de voltajes que puede enviar el sensor (0.99, 2.8) tomadas como entradas mínimas y máximas (in_min, in_max) y la escala de intensidad UV que se puede relacionar a dichos voltajes (0.0, 15.0) relacionadas con la salida mínima y máxima (out_min, out_max), quedando nuevamente la fórmula escrita como sigue:

$$indiceUV = out_min + \frac{out_max - out_min}{in_max - in_min} (voltageSalida - in_min)$$

Tabla 5.2 Valores para obtener el índice de Radiación UV

Interpolación lineal	
in_min = 0.99	out_min = 0.0
voltageSalida = sensor = x	indiceUV = ?
In_max = 2.8	out_max = 15.0

Expresado dentro de una función para que el microcontrolador pueda realizar los cálculos correspondiente queda de la siguiente manera.

```
float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max) {
  return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
}
```

Arduino tiene una función incorporada map (), pero esta función no funciona para los flotantes.

5.14 FUNCIÓN CAMBIAR

Esta función es la encargada de cambiar los valores guardados en la memoria EEPROM para que el programa haga uso de estos y poder funcionar de acuerdo a las necesidades del cultivo programados por el usuario.

Una vez que es llamada esta función, se solicita al usuario ingresar un nuevo valor y se entra a un bucle, en el cual se mantiene mientras no se cumpla la condición de salida haciendo uso de la función do-while. Dentro de este bucle solo se está monitoreando el teclado matricial, y dependiendo de que tecla se presione hará una u otra acción, en la figura 5.21 se muestra el diagrama de flujo de esta función.

En el caso de que sea presionado algún número (0-9) se muestra en el display LCD el dígito, con la particularidad que solo se muestra un grupo de dos dígitos, esto con la finalidad de poder guardarlos después en la memoria EEPROM utilizando una sola localidad de memoria. Si por alguna cuestión se llegara a presionar un tercer dígito numérico, este sustituiría nuevamente al primer dígito.

El asterisco (*) hace la función de aceptar, si se digita un valor con aceptar se guarda en una localidad de memoria, y pide un nuevo valor, siguiendo esta secuencia hasta completar seis valores, después de los cuales mostrara un mensaje de valores cambiado y procederá a cargar las variables globales con estos valores antes de salir de la función. Mientras que la tecla número (#) solo es un cancelar n esta función. Al presionarla, solo mostrara un mensaje de cancelad en el display y se saldrá de a función.

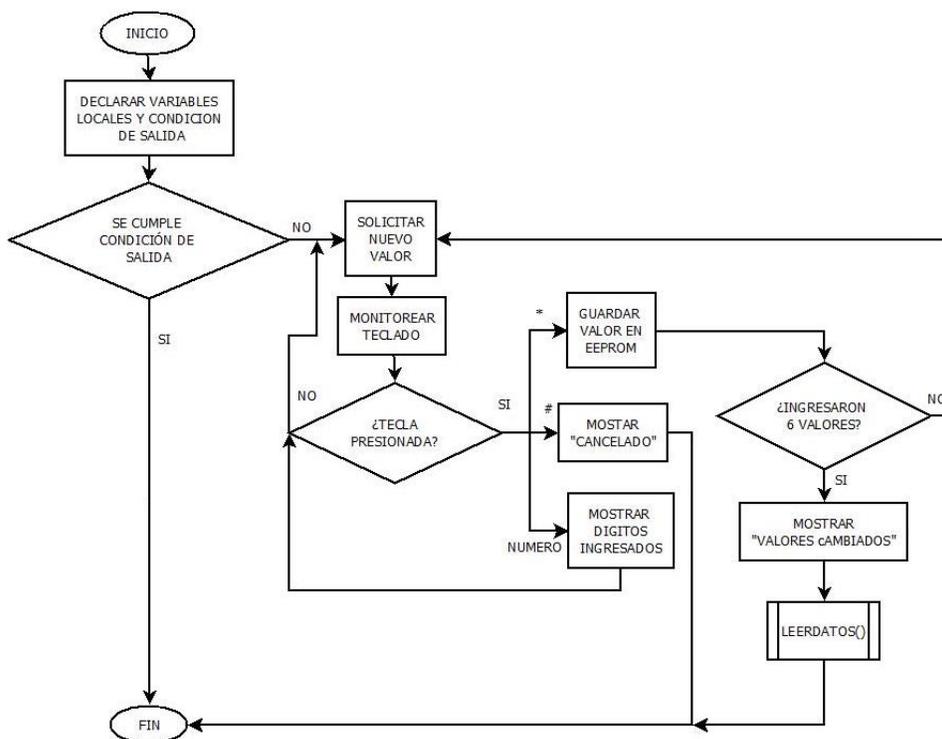


Fig. 5.21 Diagrama de flujo de la función cambiar()

```

int cambiar() {
    int j = 0;
    int salir = 0;
do {
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print("NUEVO VALOR");
    char ingre = teclado.getKey();
    if (ingre != NO_KEY)
        switch (ingre) {
            case '*':
                EEPROM.write(j, c);
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(8, 0);
                lcd.print(j + 1);
                lcd.setCursor(5, 1);
                lcd.print("VALOR");
                Ret();
            case 'j' >= 5) {
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(5, 0);
                lcd.print("VALORES");
                lcd.setCursor(4, 1);
                lcd.print("CAMBIADOS");
                LeerDatos();
                j = 0;
                salir = 1;
            }
            j = j + 1;
            break;
        }
        case '#':
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(4, 0);
            lcd.print("CANCELADO");
            Ret();
            salir = 1;
            break;
        case '0' ... '9':
            valor[i] = ingre;
            int a = (int(valor[0])) - 48;
            int b = (int(valor[1])) - 48;
            c = (a * 10) + b;
            lcd.clear();
            lcd.setCursor(6, 0);
            lcd.print(c);
            i++;
            if (i > 1) {
                i = 0;
                break;
            }
        }
    }
}

//auxiliar
//auxiliar para salir de la función
//ciclo
//(columna, fila)
//Muestra Texto en LCD
//lee el teclado matricial
//si se preciono alguna tecla
//Evaluar tecla presionada
//Aceptar
//Escribe el valor ingresado en la EEPROM
//limpia el LCD
//Posicion del LCD
//Muestra cantidad de valores ingresados
//Posicion del LCD
//Muestra Texto en LCD
//retardo

//si se ingresan los seis valores
//limpia el LCD
//Posicion del LCD
//Muestra Texto en LCD
//Posicion del LCD
//Muestra Texto en LCD
//retardo
//cambia variables a nuevos valores
//prepara variable para futura lectura
//cumple condicion para salir de la función
//si se han ingresado menos de seis valores
//cambia la localidad de memoria
//sale de la evaluación de la tecla

// Cancelar
//limpia el LCD
//Posicion del LCD(columna, fila)
//Muestra Texto en LCD
//retardo
//cumple condicion para salir de la función
//sale de la evaluación de la tecla

//Si es un numero debe imprimirlo en el LCD
//alamacena los números presionados
//resta 48 para obtener el número
//a partir del código ascii
//numero de dos dígitos
//limpia el LCD
//Posicion del LCD(columna, fila)
//Muestra Valor Ingresado
//prepara para nuevo ingreso
//si se ingresan mas de dos dígitos
//lo toma como nuevo valor
//sale de la evaluación de la tecla

//condicion para salir
//devuelve el valor ingresado
}
return c;
}

```

Fig. 5.22 Función cambiar()

5.15 FUNCIÓN FECHA

El reloj de RTC (Real Time Clock, o reloj de tiempo real) Es un módulo que se puede conseguir o construir muy fácilmente debido a su bajo costo y su simplicidad de montaje, debido a los pocos componentes que se necesita (Anexo). Este módulo es capaz de llevar la cuenta de segundos minutos y horas además de día mes y año automáticamente, válido hasta el año 2100. Además que su memoria RAM es respaldada por una batería exterior, que mantiene la fecha y hora cuando no hay corriente detectando automáticamente el corte de corriente y cambiando a modo batería.

Debido a su muy bajo consumo de energía, el tiempo de vida útil de su batería oscila entre 5 y 10 años, así como también cuenta con la comunicación serial I²C integrado en el mismo chip.



Fig. 5.23 Diagrama de Flujo de la función fecha ()

```

float fecha() { //tipoRetorno Funcion (parametros)
    DateTime now = RTC.now(); //lee la fecha del reloj de tiempo real

    float hora = now.hour(); //obtencion independiente de la hora
    float minuto = now.minute(); //obtencion independiente de los minutos
    horas = hora + minuto / 100.0; //hora en formato decimal

    lcd.clear(); //Limpia el LCD
    lcd.setCursor(3, 0); //Posicion del LCD (columna, fila)

    if (now.day() < 10) //si el dia es menor a 10
        lcd.print("0"); //ponle un 0 antes
    lcd.print(now.day(), DEC); //muestra el dia
    lcd.print("/"); //muestra diagonal

    if (now.month() < 10) //si el mes es menor a 10
        lcd.print("0"); //ponle un 0 antes
    lcd.print(now.month(), DEC); //muestra el mes
    lcd.print("/"); //muestra diagonal

    lcd.print(now.year(), DEC); //muestra el año

    lcd.setCursor(5, 1);
    if (now.hour() < 10) //si la hora es menor a 10
        lcd.print("0"); //ponle un 0 antes
    lcd.print(now.hour(), DEC); //muestra la hora
    lcd.print(":"); //muestra los dos puntos

    if (now.minute() < 10) //si minutos es menor a 10
        lcd.print("0"); //ponle un 0 antes
    lcd.print(now.minute(), DEC); //muestra los minutos

    Ret();

    return horas;
}

```

Fig. 5.24 Función fecha()

5.16 APLICACIÓN ANDROID

Para la comunicación con el sistema de control desde un dispositivo móvil, se eligió el entorno de App Inventor 2 el cual, es un entorno de desarrollo de software creado por Google Labs para la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android.

Para poder tener acceso a este entorno, basta con ingresar a la dirección electrónica <http://ai2.appinventor.mit.edu/> e ingresar con una cuenta de google, esto es el mismo usuario y contraseña del correo Gmail.

Se trata de una herramienta de desarrollo visual muy fácil de usar, con la que incluso los no programadores pueden desarrollar sus propias aplicaciones. Al construir las aplicaciones para Android se trabaja con dos herramientas: App Inventor Designer y App Inventor Blocks Editor. En Designer se construye el Interfaz de Usuario, eligiendo y situando los elementos con los que interactuará el usuario y los componentes que utilizará la aplicación. En el Blocks Editor se define el comportamiento de los componentes de la aplicación.

5.16.1 APP INVENTOR DESIGNER

En esta parte se diseña la apariencia que tendrá la aplicación (figura 5.25), eligiendo los componentes con los cuales contara y que se programarán en el Bloks. Para esta aplicación solo se utilizó una pantalla o screen, agregando como primer paso, cuatro arreglos tabulares (TableArrangement) desde la pestaña layout de la paleta de componentes esto con la finalidad de distribuir bien cada parte de la aplicación y a la vez separando la parte encargada de mostrar la lectura proveniente del sistema, la parte de configuración y los botones de control.

Para llenar los espacios de cada arreglo tabular se usaron únicamente tres componentes de la pestaña user inteface de la paleta de componentes, que fueron:

- **Label:** que solo lo usamos en el diseño para poner nombres a los distintos campos y poder identificarlos y en la parte de lecturas, nos sirven para ver los datos provenientes del sistema de control, los cuales los describimos como T-horas, T_lux y T_UV.
- **TextBox:** Son usados en la parte de configuración para permitirnos ingresar texto que después será enviado al sistema de control para cambiar valores preestablecidos.
- **Button:** son los que controlan el funcionamiento de la aplicación.

Para la conexión con el sistema es necesario buscar dentro de la pestaña Connectivity de la paleta la herramienta BluetoothClient con la finalidad de enviar y recibir datos. Dentro de la pestaña Sensors se utiliza la herramienta Clock, y dentro de la pestaña User Interface la herramienta Notifier. Estos dos últimos nos proporcionan la sincronía correcta con la información enviada y recibida, además que nos permite enviarle alertas al usuario.

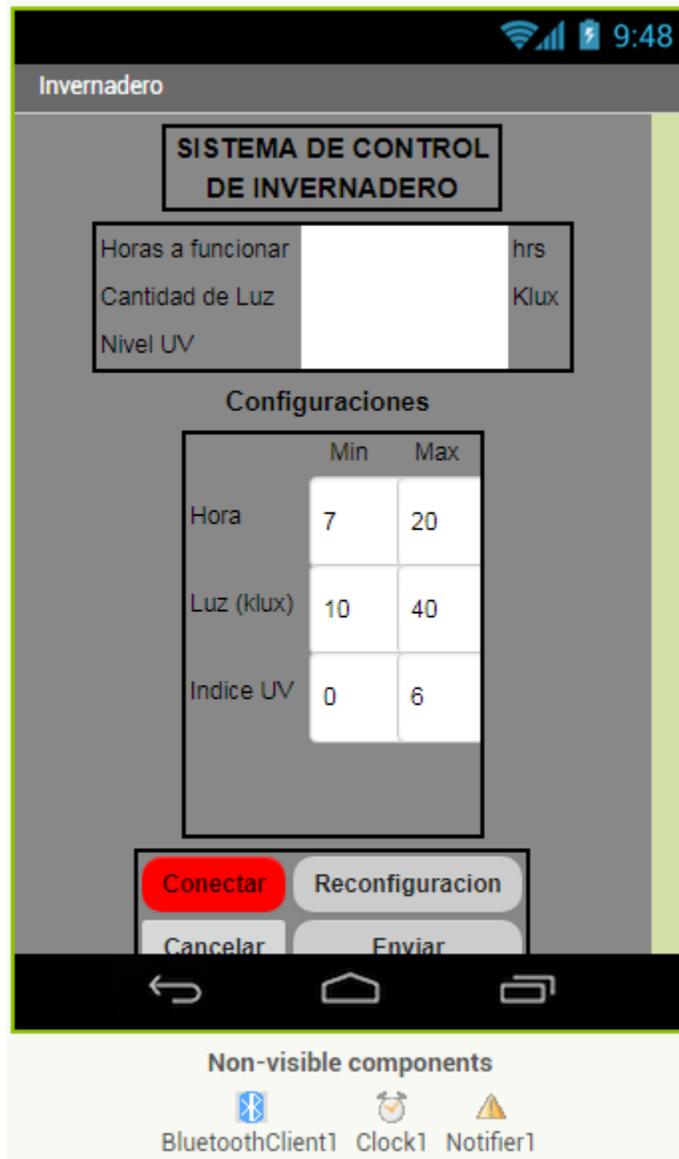


Fig. 5.25 configuración de la aplicación

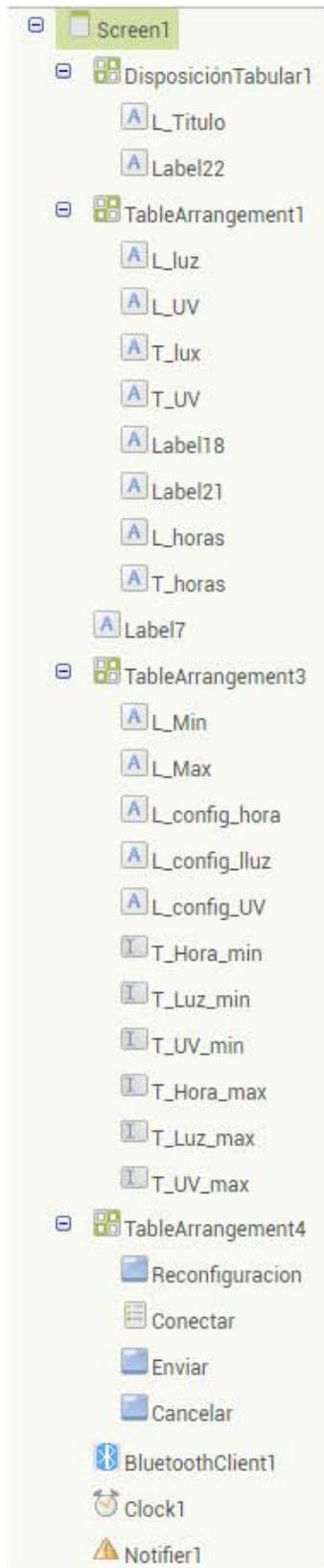


Fig. 5.26 organización de los elementos de la pantalla

5.16.2 APP INVENTOR BLOCKS

En esta parte del App Inventor se procede a programar todos los componentes agregados en el Designer, para obtener como resultado final la aplicación con el funcionamiento deseado. Como su nombre lo indica, la programación se realiza mediante la conexión de bloques, lo cual facilita mucho su entendimiento.

El primer conjunto de bloques que se programó fue para esta establecer una conexión con el módulo Bluetooth; al presionar el botón conectar verifica si hay algún dispositivo con el cual conectarse, si hay alguno procede a mostrar una lista al usuario para que este elija el dispositivo al que desee conectarse.

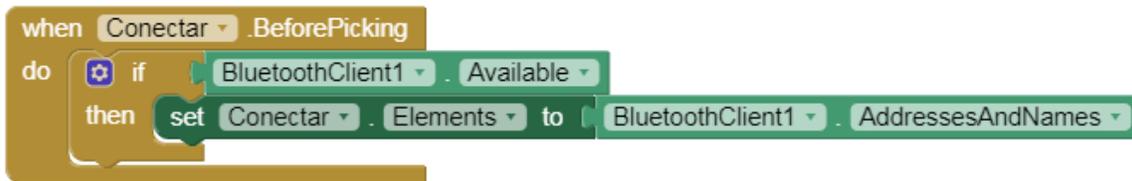


Fig. 5.27 bloques antes de conectar dispositivo Bluetooth

En el siguiente grupo, una vez realizada la conexión se procede informarle al usuario que se ha conectado, esto mediante el cambio de color del botón conectar a verde, por otro lado prepara la aplicación para recibir y enviar datos esto mediante la activación del timer.

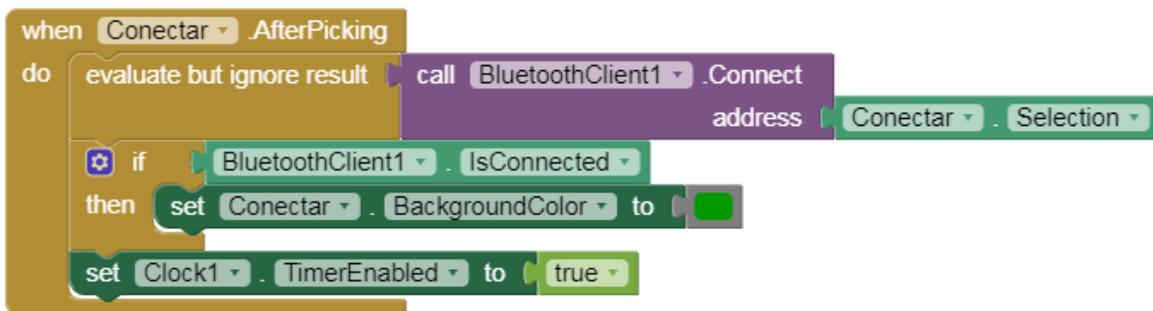


Fig. 5.28 bloques despues de conectar dispositivo Bluetooth

Se declaran variables globales a utilizarse en la aplicación



Fig. 5.29 Variables globales

La aplicación una vez conectada a un dispositivo Bluetooth y tenga datos para recibir, procede a almacenar los toda la cadena de datos recibidos en la variable global “global DATOS” y a su vez ya almacenados los separa cada que encuentra una coma y almacena cada dato de manera independiente en la variable “global LISTA” y procede a mostrarlo en cada uno de los Label que informa las mediciones del sistema, como lo son: Horas que trabaja el sistema (T-horas), La cantidad de luxes que se están midiendo (T_lux) y el índice de radiación UV (T_UV).

```
when Clock1.Timer
do
  if BluetoothClient1.Available
  then
    if call BluetoothClient1.BytesAvailableToReceive > 0
    then
      set global DATOS to call BluetoothClient1.ReceiveText
      set global LISTA to split text get global DATOS at ","
      set T_horas.Text to select list item list get global LISTA index 1
      set T_lux.Text to select list item list get global LISTA index 2
      set T_UV.Text to select list item list get global LISTA index 3
```

Fig. 5.30 bloques para la lectura de datos

Cuando se presiona el botón reconfiguración, se ocultan los botones reconfigurar y conectar, activando a su vez los botones enviar y cancelar, del mismo modo se activan los TextBox que nos permitirá ingresar los nuevos valores deseados.

```
when Reconfiguracion.Click
do
  set Reconfiguracion.Visible to false
  set Conectar.Visible to false
  set Enviar.Visible to true
  set Cancelar.Visible to true
  set T_Hora_min.Enabled to true
  set T_Hora_min.Text to 0
  set T_Hora_max.Enabled to true
  set T_Hora_max.Text to 0
  set T_Luz_min.Enabled to true
  set T_Luz_min.Text to 0
  set T_Luz_max.Enabled to true
  set T_Luz_max.Text to 0
  set T_UV_min.Enabled to true
  set T_UV_min.Text to 0
  set T_UV_max.Enabled to true
  set T_UV_max.Text to 0
```

Fig. 5.31 Bloques para reconfigurar valores

Cuando se quiera deshacer la llamada a configuración, basta con pulsar el botón cancelar con lo cual se hacen visibles los botones reconfigurar y conectar, y se ocultan los botones enviar y cancelar, de igual manera se procede a mostrar en los TextBox el valor con el cual se preconfiguró todo el sistema, en relación al cultivo de jitomate.



```
when Canceled .Click
do
  set Reconfiguracion .Visible to true
  set Conectar .Visible to true
  set Enviar .Visible to false
  set Cancelar .Visible to false
  set T_Hora_min .Enabled to false
  set T_Hora_min .Text to "7"
  set T_Hora_max .Enabled to false
  set T_Hora_max .Text to "20"
  set T_Luz_min .Enabled to false
  set T_Luz_min .Text to "10"
  set T_Luz_max .Enabled to false
  set T_Luz_max .Text to "40"
  set T_UV_min .Enabled to false
  set T_UV_min .Text to "0"
  set T_UV_max .Enabled to false
  set T_UV_max .Text to "6"
```

Fig. 5.32 bloques para cancelar acción

Una vez que se hayan ingresados los datos deseados y se le de click al botón enviar, la aplicación se encarga de verificar que el dato de los TextBox tenga un valor dentro de un rango deseado y por cada verificación correcta lleva un conteo en una variable local.

Una vez asegurándose de que todos los campos tengan los datos adecuados, procede al envío de los datos al dispositivo Bluetooth, anexándole una coma a cada valor y un salto de renglón al último para que el sistema identifique como final de la cadena. Posteriormente desactivas todos los campos donde se pueda ingresar datos, volviendo a la pantalla que se ve por primera ocasión, en esta parte hace lo mismo que el botón cancelar.

En caso contrario que esté mal algún dato, envía de manera inmediata una notificación al usuario para que este lo revise e ingrese de nuevo los valores.

```

when Enviar . Click
do
  if BluetoothClient1 . IsConnected
  then
    set global x to 0
    if 0 ≤ T_Hora_min . Text and T_Hora_min . Text ≤ 11
    then
      set global x to get global x + 1
    if 12 ≤ T_Hora_max . Text and T_Hora_max . Text ≤ 23
    then
      set global x to get global x + 1
    if 0 ≤ T_Luz_min . Text and T_Luz_min . Text ≤ 50
    then
      set global x to get global x + 1
    if 30 ≤ T_Luz_max . Text and T_Luz_max . Text ≤ 100
    then
      set global x to get global x + 1
    if 0 ≤ T_UV_min . Text and T_UV_min . Text ≤ 5
    then
      set global x to get global x + 1
    if 6 ≥ T_UV_max . Text and T_UV_max . Text ≤ 15
    then
      set global x to get global x + 1
    if get global x = 6
    then
      call BluetoothClient1 . SendText
      text join T_Hora_min . Text
      call BluetoothClient1 . SendText
      text join T_Hora_max . Text
      call BluetoothClient1 . SendText
      text join T_Luz_min . Text
      call BluetoothClient1 . SendText
      text join T_Luz_max . Text
      call BluetoothClient1 . SendText
      text join T_UV_min . Text
      call BluetoothClient1 . SendText
      text join T_UV_max . Text
      set Enviar . Visible to false
      set Cancelar . Visible to false
      set T_Hora_min . Enabled to false
      set T_Hora_max . Enabled to false
      set T_Luz_min . Enabled to false
      set T_Luz_max . Enabled to false
      set T_UV_min . Enabled to false
      set T_UV_max . Enabled to false
      set Reconfiguracion . Visible to true
      set Conectar . Visible to true
    else
      call Notifier1 . ShowMessageDialog
      message "valores invalidos"
      title "aviso"
      buttonText "ok"
    else
      call Notifier1 . ShowMessageDialog
      message "sin bluetooth"
      title "aviso"
      buttonText "ok"
  end if
end do

```

Fig. 5.33 bloques para el envío de datos

CAPITULO 6: PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez entendido como funciona cada parte del programa se procede a armar todo en conjunto, colocando en un principio un diodo LED en cada salida a un actuador, esto con la finalidad de poder observar el funcionamiento adecuado con una mayor comodidad. Todo fue montado en una protoboard para sus pruebas empezando cada sensor por separado y luego agregando poco a poco los demás hasta obtener un conjunto funcional.

Para obtener un promedio de lecturas desde varios sensores que poseen la misma dirección I²C se optó por el uso de un multiplexor analógico facilitando el uso de más sensores y obtener una lectura más confiable. En la figura 6.1 se muestra los cambios realizados al sketch para su funcionamiento.

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 sensorLuz;

int sel1 = 21;      //lineas de seleccion del mux
int sel2 = 20;      //lineas de seleccion del mux

void setup(){
  sensorLuz.begin();           //Inicia la comunicación con el sensor bh1750
  pinMode(sel1, OUTPUT);      //Declaracion de la variable sel1 como salida
  pinMode(sel2, OUTPUT);      //Declaracion de la variable sel2 como salida
}

void loop(){
  senLuz();
}

float senLuz() {
  digitalWrite(sel1, LOW );           //01 para seleccionar sensor
  digitalWrite(sel2, HIGH );         //con el mux analogico
  uint16_t lux1 = sensorLuz.readLightLevel(); //sensorLuz.readLightLevel();
  digitalWrite(sel1, HIGH );         //10 para seleccionar sensor
  digitalWrite(sel2, LOW );          //con el mux analogico
  uint16_t lux2 = sensorLuz.readLightLevel(); //sensorLuz.readLightLevel();
  uint16_t b = (lux1 + lux2) / 2;     //saca un promedio de los tres sensores

  lcd.clear();                       //Limpia el LCD
  lcd.setCursor(0, 0);                //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("Light: ");               //Muestra Texto en LCD
  lcd.setCursor(7, 0);                //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print(b);                       //Muestra intensidad de luz
  lcd.setCursor(13, 0);               //Posicion del LCD (columna, fila)
  lcd.print("lux");                   //Muestra Texto en LCD
  Ret();                               //retardo
  return b;                           // se retorna el valor de la luz medida para usarla en
  //otra parte del programa
}
```

FIGURA 6. 1. Utilización de un multiplexor analógico

6.1 MCP23017 Y LA PANTALLA LCD

Para disminuir el número de pines utilizados por el display LCD se procedió a utilizar el integrado MCP23017, el cual nos permite conectar nuestro display mediante el uso del bus I²C usando únicamente dos de los pines de la tarjeta, lo único que se tiene que hacer aparte de la implementación del circuito es descargar la biblioteca correspondiente. Dicha biblioteca se encarga de configurar el lcd, mientras que el usuario lo utiliza de la misma forma que lo haría con un LCD normal usando todos sus pines, La conexión es la que se muestra a continuación:

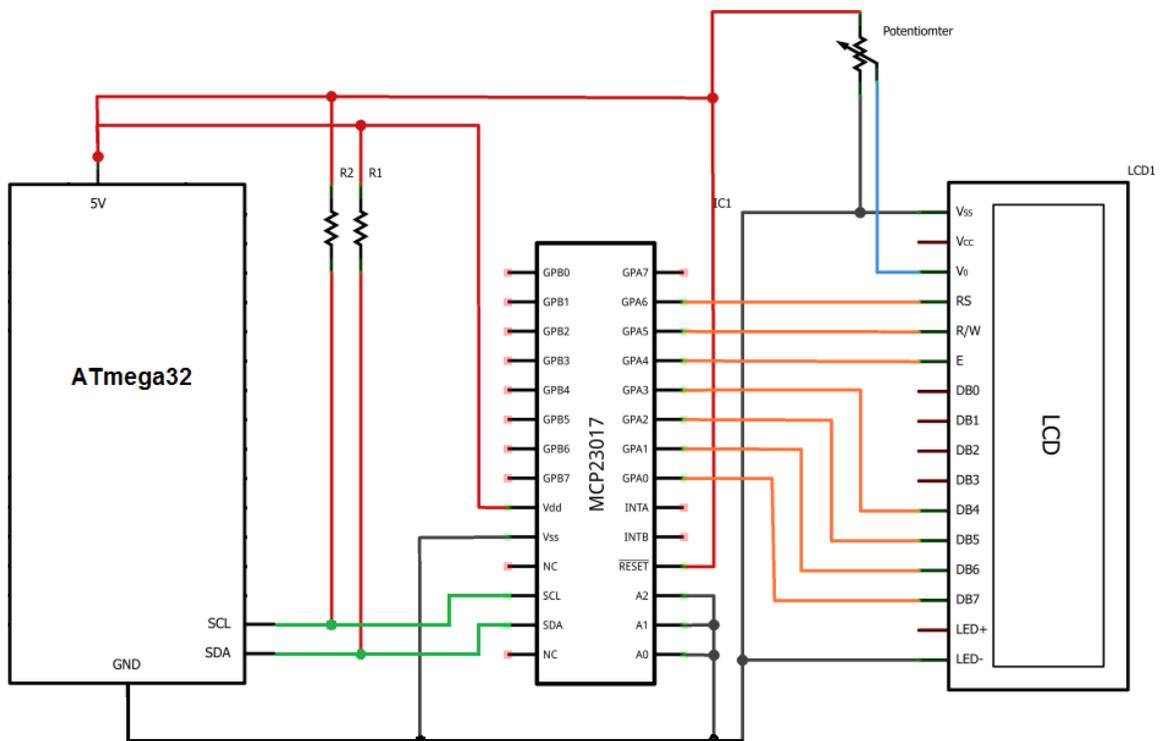


Figura 6.2 Conexión del MCP23017

6.2 EL PUENTE H

Para poder simular e implementar a pequeña escala el motor que se encargará de mover la malla se utilizó un motor de corriente directa a 12 V, Por la potencia que ofrece y la corriente que consume se procedió a utilizar un puente H, que también

permite el cambio de giro del motor. También tiene una ventaja el utilizar este circuito en el proyecto

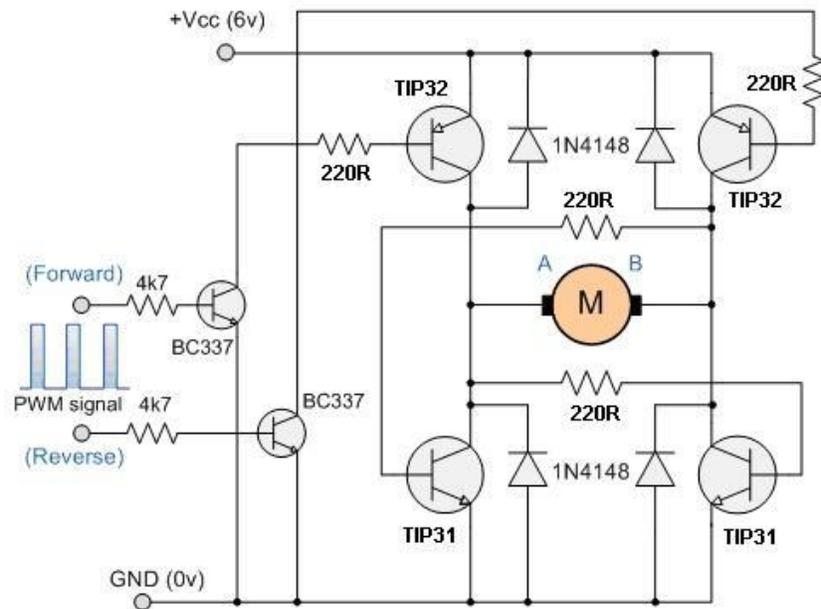


Figura 6.3 diagrama del puente H

6.3 RELÉS DE ESTADO SÓLIDO Y ELECTRÓMECÁNICOS

Los Tiristores (triacs y sus primos unidireccionales, SCR) son dispositivos de estado sólido, mientras que los relés son dispositivos electromecánicos. Los Triacs pueden cambiar tanto de CA y CC.

Los relés son dispositivos muy simples de usar; basta con alimentar la bobina y los contactos se cerraran permitiendo el paso de la energía eléctrica. Si se desenergiza la bobina, los contactos se abren. Un simple transistor puede conducirlos, pero es necesario un diodo de polarización inversa a través de la bobina del relé para evitar que el transistor se dañe debido al retroceso inductivo, como se muestra en la figura 6.4. Su señal de control y la señal de control están completamente aislados uno del otro.

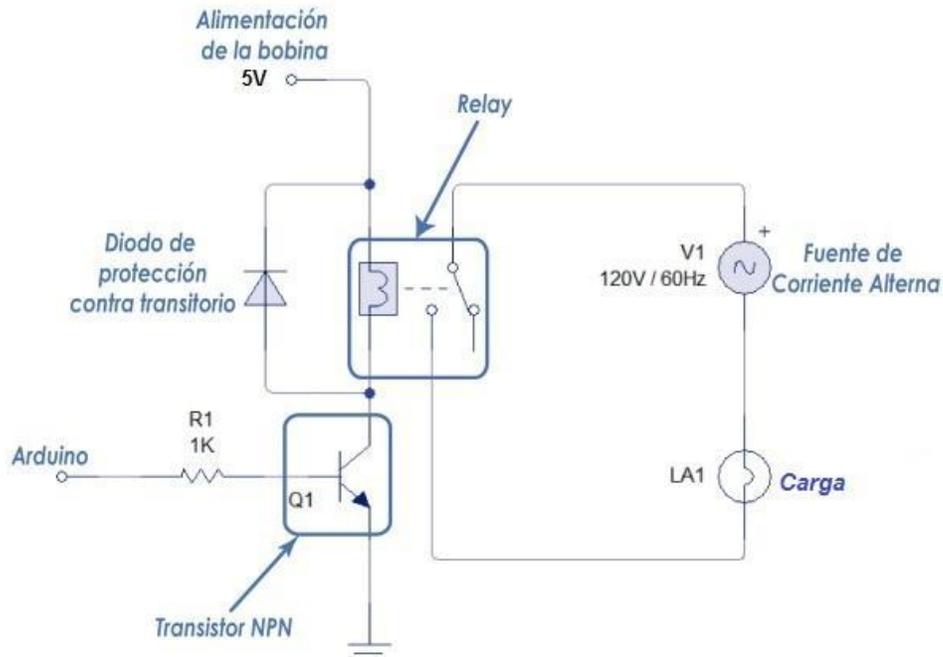


Figura 6.4 Diagrama de conexión de un relevador

Los contactos de relé no son invencibles; si usted abre los contactos bajo carga puede que estos no se abran. Además, si se utiliza un relé de puntuación por el poder y tratar de cambiar las señales pequeñas, los contactos pueden ensuciarse y no obtendrá una buena conexión entre los contactos.

Los Triacs, siendo de estado sólido, son en su mayoría en silencio. Los tiristores pueden ser utilizados para eliminar gradualmente el control de la carga, lo que significa que puede atenuar las luces, o (más o menos) el control de la velocidad de un motor de corriente alterna. Esto es prácticamente imposible con relés. También puede hacer trucos aseados como permitir solamente 'x' ciclos completos a través de hacer menos "ruidosa" de control de fase. SCR también son buenos para volcar toda la energía en un condensador en una carga (aplicaciones flash o de tipo cañón de riel). Algunas fuentes de alimentación utilizan SCR como dispositivos Crowbar así; que se encienden y se corta la alimentación (quemar el fusible en el proceso), la protección de la carga de una sobretensión.

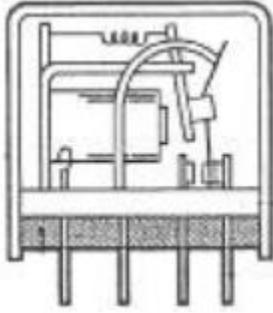
Los Tiristores realmente no disfrutan de tensión aguda o picos de corriente cuando están apagados; estos pueden hacer que se enciendan por accidente o pueden destruir los dispositivos. Snubbing simple ayuda a controlar estos modos de falla.

Tiristores también no aíslan completamente la carga de la fuente; si se mide el voltaje en una carga con el tiristor fuera, podrás medir voltaje completo. Ellos

tiristor está apagado, pero fuera no significa "abrir" que significa "alta resistencia". Esto puede causar problemas con algunas aplicaciones.

Tabla 6.1 Comparativa entre Relés de estado sólido y mecánicos

	Ventajas	Inconvenientes
<p>Relés de estado sólido</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conexión con o sin función de paso por cero ▪ Desconexión a $i=0$ ▪ Gran Resistencia a choques y vibraciones ▪ No ocasionan arcos ni rebotes al no existir partes móviles ▪ Vida de trabajo óptima ▪ Frecuencia de conmutación elevada ▪ Facilidad de mantenimiento ▪ Funcionamiento silencioso ▪ Control a baja tensión, compatible TTL/CMOS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Circuito de entrada muy sensible a perturbaciones ▪ Necesidad de elementos de protección externos - Disipadores de calor - Redes de protección ▪ Muy sensibles a la temperatura y a las sobretensiones ▪ Tecnologías y conceptualmente más complejos y abstractos
<p>Relés electromagnéticos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Económicos en consumo ▪ Reducción de dimensiones en aplicaciones de conmutación a baja potencia ▪ Gran diversidad de encapsulados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ruido ▪ Dimensiones considerables en aplicaciones de control de potencia ▪ Presencia de chispas, arco y rebotes ▪ Más lento en



- Gran número de contactos
 - Control indistinto CA/CC
 - Tecnología y conceptualmente muy evidentes
 - Defectos conocidos, así como sus soluciones
- maniobra
 - Vida útil menor
-

6.4 PROBLEMÁTICA DE LOS RELÉS DE ESTADO SÓLIDO

Lámparas incandescentes

La relación entre el pico de corriente en la conmutación y la corriente nominal es de 10 a 15 veces. Se debe seleccionar un SSR cuya resistencia a picos de corriente sea el doble que el valor máximo del pico de corriente en el transitorio.

Utilizar un fusible en serie con la lámpara para proteger al relé en el encendido de la lámpara y en el caso de producirse un cortocircuito como consecuencia de la rotura del filamento.

Al ser una carga inductiva aparece un desfase entre la tensión y la corriente y se utiliza un filtro RC para mejorar el funcionamiento.

Motor

Cuando un motor arranca la corriente es de 5 a 10 veces mayor que la corriente nominal. Se debe seleccionar un SSR cuya resistencia a picos de corriente sea el doble que el máximo valor de la corriente en el arranque.

Al ser una carga inductiva aparece un desfase entre la tensión y la corriente y se utiliza un filtro RC para mejorar el funcionamiento.

Red RC – “Snubber”

Utilizando una red RC en paralelo con la salida del relé se limita las variaciones bruscas de tensión, ya sean generadas por la misma red o por la apertura en el cero de corriente sobre una carga inductiva.

Al colocar una red RC en la salida se limita el gradiente de V respecto a t y se limita la amplitud de este impulso parásito por filtración.

El mayor inconveniente de este tipo de filtro, es el importante aumento de la corriente de fuga del relé (puede doblar el valor de la corriente de fuga).

En casi todos los casos los SSR disponen en general de filtros tipo RC El valor típico de un filtro RC es:

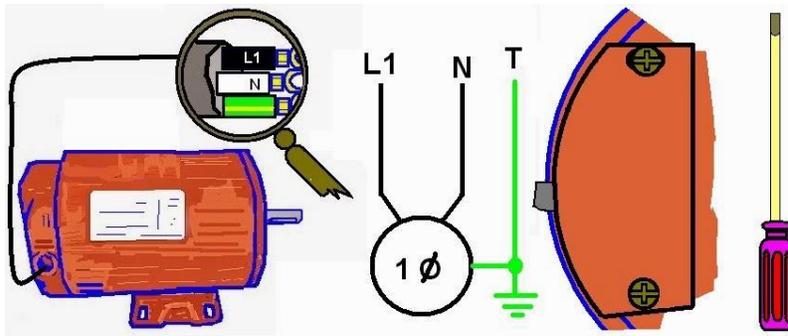
Resistencia: $33 \text{ Ohmios} < R < 100 \text{ Ohmios}$

Capacidad: $0,1 \text{ microF} < C < 0,47 \text{ microF}$

6.5 MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA.

Los motores monofásicos de fase partida pueden girar porque en el arranque se conectan como motores bifásicos.

El cambio de giro se obtiene modificando la secuencia del bobinado de arranque con respecto al bobinado de trabajo.

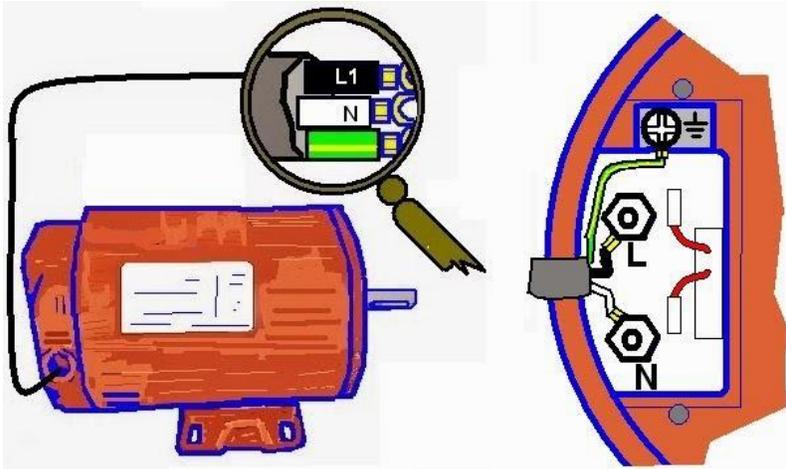


Tapa de conexiones de motor monofásico de fase partida

1.- En algunos casos los motores tienen indicaciones en la placa de datos en las que nos piden quitar la tapa de conexiones.

2.- E intercalar los cables “rojos”

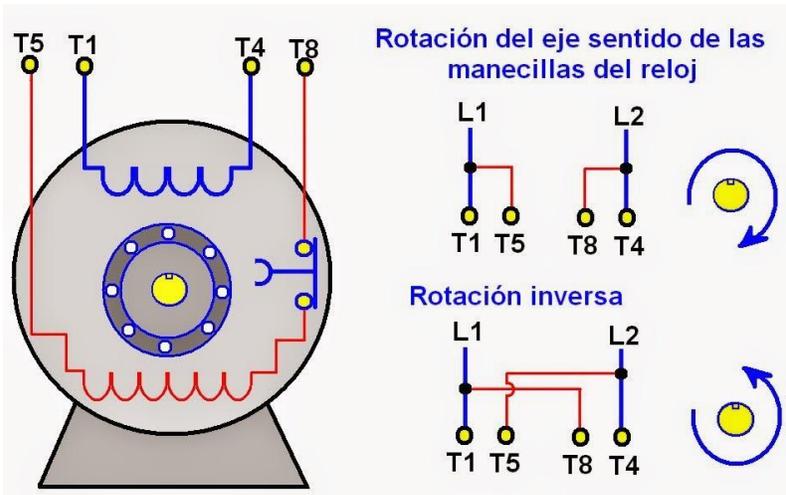
“Recordemos la seguridad siempre debemos asegurarnos que no debe poder ser alimentados circuitos mientras trabajamos con ellos, por lo que debemos bloquear y etiquetar interruptores”



Caja de conexiones de motor monofásico de fase partida.

Esto suele hacerse rápido por los electricistas expertos, los fabricantes ponen conexiones tipo terminal faston hembra bandera que facilitan la conexión y desconexión,

Estos cables son las terminales T5 y T8 pertenecientes al bobinado de arranque.



Conexiones para cambio de giro de motor monofásico de fase partida

De no estar el cambio visible, es necesario quitar la tapa del motor y realizar las conexiones, es probable que se tenga que emplear cautín y soldadura.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto permitió conocer de una manera específica la relación existente entre la cantidad de luz, la radiación UV y el crecimiento de las plantas, en especial el jitomate, dando como resultado un sistema que bien puede no solo implementarse en un invernadero, sino más bien en cualquier lugar como podría ser un pequeño jardín en alguna ventana, e incluso no solo para el uso de este en plantas, también se puede utilizar para controlar la cantidad de luz en una habitación, en el patio de una escuela , por citar algunos ejemplos.

En general fue un verdadero reto, el hacer algo funcional, con la menor cantidad de complejidad y componentes posible, en un lenguaje que se entiende de manera muy clara, permitiendo que cualquiera que tenga intenciones o curiosidad de realizar este mismo proyecto lo puede realizar.

Con la finalización de este proyecto se da cuenta cuan valioso es, aunque sea la mínima alteración en un parámetro del cultivo para que estos no puedan obtener un estado esperado. Y como se puede ayudarnos todo el conocimiento adquirido como estudiantes en la resolución de problemas cotidianos.





MCP23017/MCP23S17

16-Bit I/O Expander with Serial Interface

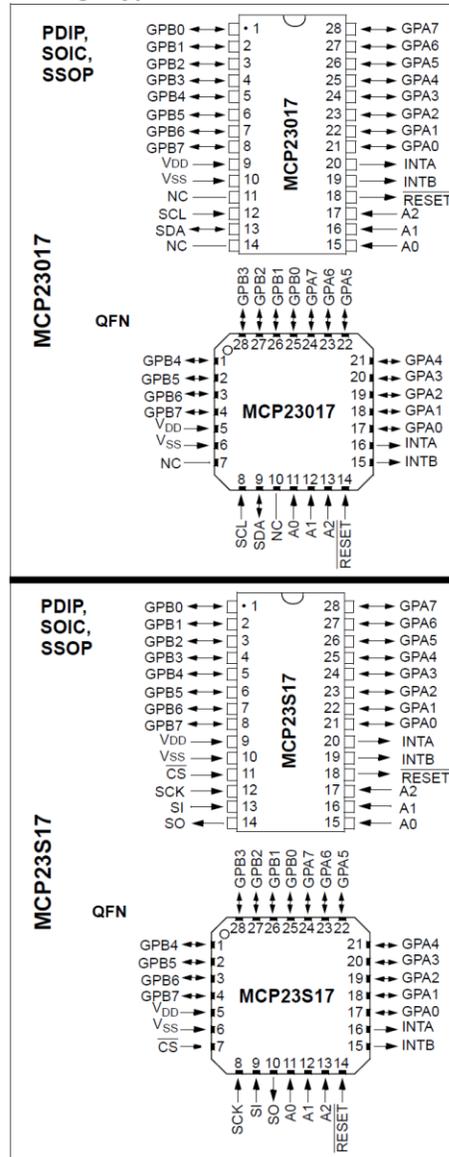
Features

- 16-bit remote bidirectional I/O port
 - I/O pins default to input
- High-speed I²C™ interface (**MCP23017**)
 - 100 kHz
 - 400 kHz
 - 1.7 MHz
- High-speed SPI interface (**MCP23S17**)
 - 10 MHz (max.)
- Three hardware address pins to allow up to eight devices on the bus
- Configurable interrupt output pins
 - Configurable as active-high, active-low or open-drain
- INTA and INTB can be configured to operate independently or together
- Configurable interrupt source
 - Interrupt-on-change from configured register defaults or pin changes
- Polarity Inversion register to configure the polarity of the input port data
- External Reset input
- Low standby current: 1 μA (max.)
- Operating voltage:
 - 1.8V to 5.5V @ -40°C to +85°C
 - 2.7V to 5.5V @ -40°C to +85°C
 - 4.5V to 5.5V @ -40°C to +125°C

Packages

- 28-pin PDIP (300 mil)
- 28-pin SOIC (300 mil)
- 28-pin SSOP
- 28-pin QFN

Package Types



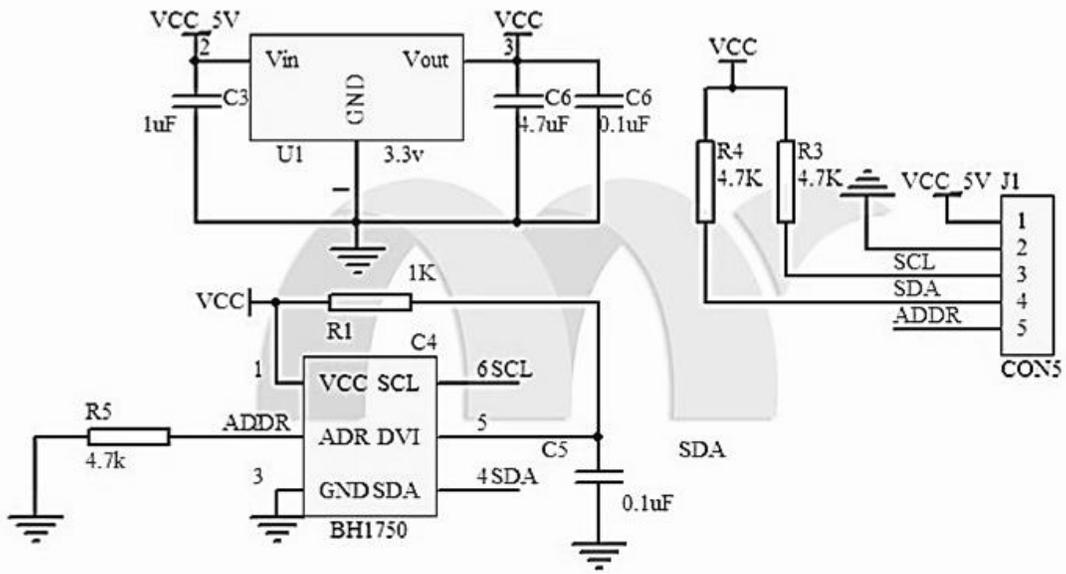


DIAGRAMA DEL MÓDULO MH1750

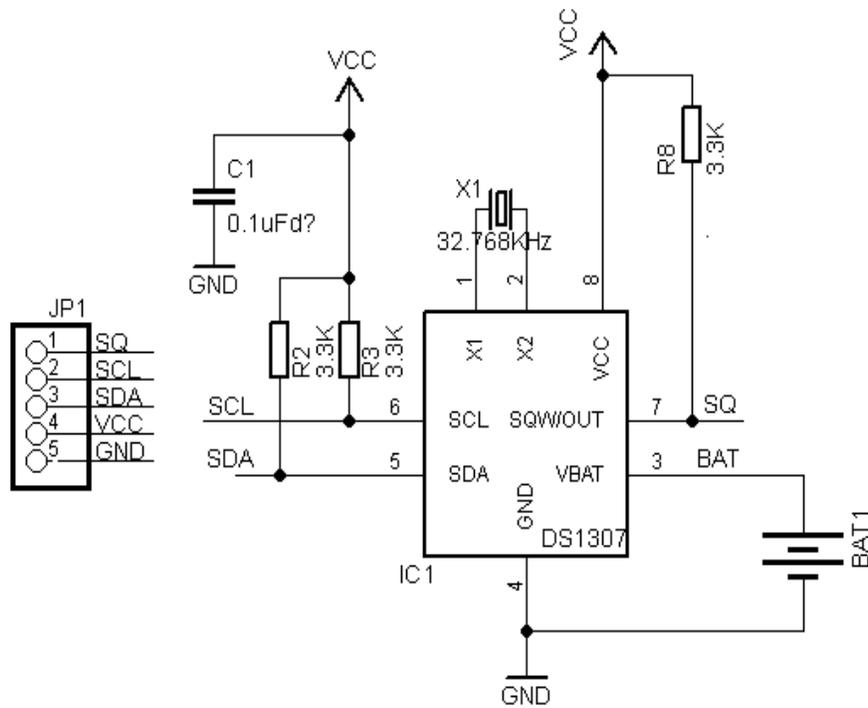


DIAGRAMA DEL RELOJ DE TIEMPO REAL (RTC)

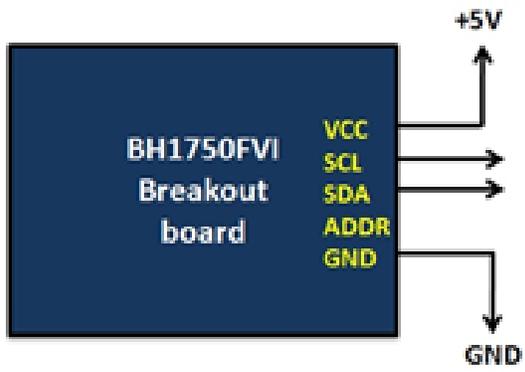


Fig. 5.7 Conexión del sensor BH1750

BIBLIOGRAFIA

- Escalona C., V., Alvarado V, P., Monardes M., H., Urbina Z, C., & Martin B. , A. (2009). *www.cepoc.uchile.cl*. Recuperado el 18 de 9 de 2015, de http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf
- Agrícolas, N. (s.f.). *APR_invernaderos*. Recuperado el 5 de 1 de 2016, de http://www.novedades-agricolas.com/images/Documents/APR_invernaderos.pdf
- agrobot*. (s.f.). Recuperado el 23 de 12 de 2015, de http://www.agrobot.com/Info_tecnica/alternativos/horticultura/al_000010ho.htm
- Bouzo, C. A., & Gariglio, N. F. (10 de 2009). *ecofisiohort*. Recuperado el 5 de 1 de 2016, de <http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2009/10/Tipos-de-Invernaderos.pdf>
- Buechel, T. (26 de 01 de 2016). *PRO-MIX*. Recuperado el 05 de 02 de 2016, de <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-medir-la-calidad-y-la-cantidad-de-luz/>
- Buechel, T. (6 de 1 de 2016). *www.pthorticulture.com*. Recuperado el 12 de 1 de 2016, de <http://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/como-medir-la-calidad-y-la-cantidad-de-luz/>
- Carletti, E. (s.f.). *Robots Argentina*. Recuperado el 25 de 01 de 2016, de Comunicación Bus I²C: http://robots-argentina.com.ar/Comunicacion_busI2C.htm
- fertri. (s.f.). *CATALOGO-PANTALLA-TERMICA*. Recuperado el 5 de 1 de 2016, de <http://www.fertri.com/wp-content/uploads/2014/06/CATALOGO-PANTALLA-TERMICA.pdf>
- Flores Ortega, A., Martínez Soto, G., Quiroz Ramírez, J., Díaz Serrano, F. R., & Romero Valdez, M. E. (s.f.). *www.actauniversitaria.ugto.mx*. Recuperado el 10 de 1 de 2016, de <http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/viewFile/298/275>
- Francescangeli, N. (8 de 11 de 2002). *www.reddehuertas.com.ar*. Recuperado el 3 de 1 de 2016, de <http://www.reddehuertas.com.ar/textos01al10/00403tomates.htm>
- Gassó Busquets, F., & Solomando Valderrabano, S. (12 de 01 de 2011). *UPCommons*. Recuperado el 15 de 04 de 2015, de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/11369/Mem%C3%B2ria.pdf>

- Hydro Enviroment.* (s.f.). Recuperado el 25 de 01 de 2016, de http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=44
- López Molina, Y. (26 de 08 de 2005). *interempresa.* Recuperado el 17 de 09 de 2015, de <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/77307-Control-climatico-en-invernaderos.html>
- Marín Gómez, M. C. (s.f.). *marinponzasociados.com.* Recuperado el 25 de 10 de 2015, de <http://marinponzasociados.com/PDFINDUSTRIA/CONTROLINVERNADEROS.pdf>
- Novedades Agrícolas.* (s.f.). Recuperado el 09 de 02 de 2016, de <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/invernaderos-pantallas>
- Novedades Agrícolas.* (s.f.). Recuperado el 5 de 1 de 2016, de <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/invernaderos-pantallas>
- Ortega Martínez, L. D. (2014). <http://colposdigital.colpos.mx/>. Recuperado el 12 de 1 de 2016, de http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/2538/Ortega_Martinez_LD_DC_EDAR_2014.pdf;jsessionid=10A8C359E4D63B7A0C01827F12506474?sequence=1
- Pujante García, F. (10 de 2011). <http://www.dipalme.org/>. Recuperado el 25 de 10 de 2015, de [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-SAA-c13/\\$File/SAA-c13.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-SAA-c13/$File/SAA-c13.pdf)
- Pujante García, F. (30 de 09 de 2011). *interempresas.* Recuperado el 22 de 12 de 2015, de <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/56217-EI-control-climatico-en-invernaderos.html>
- Sparkfun.* (08 de 03 de 2013). Recuperado el 20 de 1 de 2016, de https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf
- www.horticom.com.* (s.f.). Recuperado el 23 de 12 de 2015, de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/72/058/72058.pdf>