

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Proyecto: Desarrollo de un Sistema de detección del nivel de radiación UV dentro de invernaderos agrícolas

Componente: Diseño, desarrollo y acondicionamiento de un sistema de sensado de radiación UV, para obtención de información a través de técnicas de espectroscopia UV

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

MARCO GABRIEL SALAZAR SAMANIEGO

marco.salazar01@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PAÚL MARCELO POZO PALMA, PH.D.

marcelo.pozo@epn.edu.ec

DMQ, 26 de Julio del 2024

CERTIFICACIONES

Yo, MARCO GABRIEL SALAZAR SAMANIEGO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

MARCO GABRIEL SALAZAR SAMANIEGO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por MARCO GABRIEL SALAZAR SAMANIEGO, bajo mi supervisión.

ING. Paúl Marcelo Pozo Palma, PhD
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

MARCO GABRIEL SALAZAR SAMANIEGO

ING. PAÚL MARCELO POZO PALMA, PH.D.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primer lugar a mis padres Dr. Marco Salazar Velasco y Dra. Miriam Samaniego Palacios quienes siempre han sido un pilar fundamental en mi crecimiento personal, siendo el principal apoyo en este largo proceso para llegar a conseguir este objetivo.

En especial a mi hermana la Dra. Cynthia Salazar, quien siempre ha estado presente en este camino, sabía que a pesar de cualquier dificultad a la que me enfrentaba, siempre estaría presente.

Dedico este trabajo también a mis amigos/as, pues sin su apoyo incondicional durante todo este proceso no hubiera podido cumplir con esta meta.

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar expresando mi agradecimiento a mi familia, quienes me apoyaron en todo este trayecto universitario, papá, mamá, hermana además de mis tíos, tías y primos/as y contribuyeron siempre en mi desarrollo académico y profesional.

Agradezco a todos los docentes que estuvieron presentes en mi paso por la universidad, por los conocimientos impartidos y los consejos en pro de convertirme en un gran profesional. En especial a mis tutores del TIC, Dr. Fausto Avalos, por su orientación, paciencia, compromiso y dedicación durante este proceso académico y al Dr. Marcelo Pozo, quien con su experiencia y dedicación me guio en esta ultima etapa de mi formación universitaria.

Agradezco a Johao Sánchez, sin él este proyecto de TIC no hubiera sido posible, gracias por el apoyo, el compromiso y la maravillosa experiencia que fue realizar este proyecto.

A mis compañeros de carrera Carla Y, Mauricio Q, Ian S, Gabriela C, Andrés V, Alejandro B, Alfonso F, Xavier E, Erick C, Sebastián A, María E, etc. Quienes siempre hicieron amenos los días compartidos, dentro y fuera del aula de clase.

A las directivas de FEPON 2019-2021 y 2023-2025, en especial a Paula L, Santiago F, Luis H, Betty Moreno, Pamela C, con quienes trabajamos duro para sacar adelante muchos proyectos con mucho amor hacia los estudiantes y la universidad. Steven M, Samir M, Genesis D y Mateo O. por acompañarme siempre en el CD y luchar por un proyecto en pro de los estudiantes.

A las mejores personas que me dio la vida y la universidad, a mis amigos los malcriaditos especialmente a quienes han estado siempre ahí y nunca me dejaron solo Daniel M, Karen B, Franklin A, Marco G, Paul E, Priscila B, Nancy J, pame J Juan A, Emily A, Luis G, Pame E, Viviana E, Esteban M, José N, Sofia J, Homero A, y los Rangers quienes me recordaron lo hermoso de Ambato, en especial a Liz A, Jenny A, Alejandra Q, Andrés A, Romario C, Natasha V, Elfer L, Dayana J, sin ustedes esto no hubiera sido posible.

Finalmente, agradecer a todas las personas que han aportado en el día a día en mi formación como profesional y como persona, amigos que conocí en este proceso, han sido tantas personas que me faltaría vida para decirles lo agradecido que estoy por haber estado ahí.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 Marco teórico	1
1.4.1 Detección de UV.....	2
1.4.2 Espectro Electromagnético	3
1.4.3 Áreas de aplicación	4
1.4.3.1 Aplicación en Agricultura.....	4
1.4.4 Plásticos Comerciales	5
1.4.4.1 POLIETILENO (PE).....	5
1.4.4.1.1 PEBD	5
1.4.4.1.2 PELBD	5
1.4.4.1.3 PEAD	5
1.4.4.1.4 COPOLÍMERO ETILENO VINILACETATO (EVA)	5
1.4.4.2 POLICLORURO DE VINILO (PVC)	5
1.4.4.3 POLICARBONATO (PC).....	5
1.4.5 Medición Calidad de Plástico Filtración UV	6
1.4.6 Procedimiento de la detección UV	7
1.4.6.1 Elementos.....	8
1.4.6.1.1 Espectrómetro	8
1.4.6.1.2 Lentes Colimadores.....	12
1.4.6.1.3 Fibra Óptica	13
1.4.6.1.4 Led UV	14
1.4.6.2 Módulo Bluetooth HC-05	14

2	METODOLOGÍA.....	15
2.1	Diseño e implementación del sistema electrónico, mecánico y óptico del prototipo.....	15
2.1.1	Fibras ópticas	16
2.1.1.1	Fibra óptica de tipo Splitter.....	16
2.1.1.2	Fibra óptica UV de amplia longitud	17
2.1.2	Colimación	18
2.1.2.1	Cono de colimación para el techo	19
2.1.2.2	Cono de colimación para el suelo	20
2.1.2.3	Colimación para de luz emitida por el led UV	21
2.1.3	Disparo del led.....	22
2.1.3.1	Tarjeta embebida (Arduino Pro Mini 5V/16MHz)	22
2.1.3.2	Señal de disparo.....	23
2.1.3.3	Circuito de disparo.....	25
2.1.3.4	Diseño para ubicación del led UV en el prototipo.....	26
2.1.4	Comando del Prototipo.....	27
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1	Validación con equipos comerciales	29
3.2	Resultados obtenidos.....	33
3.2.1	Resultados obtenidos en laboratorio	33
3.2.2	Resultados obtenidos en Campo	39
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
4.1	Conclusiones	45
4.2	Recomendaciones	45
5	REFERENCIAS Bibliográficas.....	46
6	ANEXOS	49
6.1	Plano del diseño implementado del colimador del techo de invernadero.	49
6.2	Plano del diseño implementado del techo del prototipo con la colimación de piso.	50
6.3	Plano del diseño implementado de la base intermedia donde se ubica el led UV.....	51
6.4	Plano del cuerpo del prototipo.....	52
6.5	Evidencia de toma de datos en el invernadero de Quito	53
6.6	Código de microcontrolador	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectrómetro UV-VIS-ES USB-4000 [16]	8
Figura 2. Componentes del espectrómetro UV-VIS-ES USB-4000 [16].....	9
Figura 3.....	9
Figura 4 Abertura de 10um conectada al USB4000 UV-VIS-ES [8]	10
Figura 5. Rejilla espectrómetro [8]	11
Figura 6. Detector Toshiba TCD1304AP Linear CCD array. [16]	11
Figura 7. Lente Colimador UV. [17].....	12
Figura 8. Fibra óptica UV-VIS [20]	13
Figura 9. Led UVMAX335-15 [21].....	14
Figura 10. Tarjeta Embebida (Arduino Pro Mini) [22].....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11 Pin Out de la placa de desarrollo Arduino Pro Mini [22].....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12 Esquema del sistema de captación de datos. [Autoría Propia]	16
Figura 13 QR400-ANGLE-UV	17
Figura 14 UV-Visible Optical Fiber.....	18
Figura 15. Diseño de cono para colimación en el techo. [Autoría Propia].....	20
Figura 16. Diseño de cono para colimación en el piso. [Autoría Propia]	21
Figura 17. Colimador “74-UC Collimating lens”	21
Figura 18. Señal de PWM generada para 0.1 de Ciclo de Trabajo	23
Figura 19. Señal de PWM generada para 0.5 de Ciclo de Trabajo	24
Figura 20. Señal de PWM generada para 0.9 de Ciclo de Trabajo	24
Figura 21 Circuito diseñado para el disparo del led	25
Figura 22 diseño del piso para ubicación del led y colimador.....	26
Figura 23 HMI diseñado	28
Figura 24. Resultados de las pruebas realizadas para obtención de tiempo de integración	40
Figura 25. Resultados de las pruebas realizadas para obtención de tiempo de integración	40
Figura 26. Resultados de las pruebas realizadas para obtención de tiempo de integración	41
Figura 27. Resultado de la prueba realizada (techo)	42
Figura 28. Resultado medición (techo con polvo)	42
Figura 29. Resultados medición (piso)	43

RESUMEN

El presente documento detalla el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de detección de radiación UV con técnicas de espectrometría óptica para uso en invernaderos agrícolas. El prototipo trabaja en 3 instancias, dos para campo y una para laboratorio, en campo se tiene la instancia de medición a nivel del techo y la de medición a nivel de las plantas o del suelo; mientras que en el laboratorio se maneja una medición a través de un led UV para tomar muestras con plásticos.

El equipo puede detectar la intensidad de luz en distintas longitudes de onda filtrada por muestras de plásticos de invernadero de manera que se puede evaluar la calidad de estos filtros antes de implementarlos en un invernadero real o tomando muestras de un invernadero real pudiendo evaluar momentos de cambio de los mismos; puede medir la intensidad de luz en distintas longitudes de onda en el techo de invernaderos reales y al nivel de la planta evaluando así la radiación que reciben las plantas en distintos escenarios.

Los diseños mecánicos del prototipo como de sus partes integrales se realizaron en el software Inventor diseñados en base a la captación de luz y longitudes focales para la colimación de los lentes utilizados e impresos en filamento PLA el cual es resistente y óptimo para el campo.

Se implementó un HMI en Matlab en el cual se puede controlar la toma de muestras y la configuración deseada del led UV variando así su intensidad.

Como resultados se establecieron distintos escenarios definidos a la altura del techo con y sin plástico de invernadero, a nivel del suelo con y sin filtro y un lente en laboratorio en el cual se probaron muestras de distintos plásticos. Todo esto demostrando la captación correcta de la intensidad UV.

PALABRAS CLAVE: Radiación UV, espectrometría, fibra óptica, colimación, invernadero.

ABSTRACT

This document details the design, development, and implementation of a UV radiation detection system using optical spectrometry techniques for use in agricultural greenhouses. The prototype operates in three instances: two for field use and one for laboratory use. In the field, measurements are taken at the roof level and at the plant or ground level, while in the laboratory, measurements are taken using a UV LED to sample plastics.

The system can detect light intensity at various wavelengths filtered by greenhouse plastic samples, allowing for the evaluation of the quality of these filters before implementation in a real greenhouse. It can also take samples from a real greenhouse to assess the timing for filter replacements. It measures light intensity at different wavelengths at the roof level of real greenhouses and at plant level, thus evaluating the radiation plants receive in different scenarios.

The mechanical designs of the prototype and its integral parts were created using Inventor software, based on light capture and focal lengths for collimation of the lenses used. These parts were printed with PLA filament, which is durable and optimal for field use.

An HMI was implemented in Matlab to control sample acquisition and configure the UV LED, allowing variation in its intensity.

The results established various scenarios: at roof height with and without greenhouse plastic, at ground level with and without filters, and in the laboratory with different plastic samples. All scenarios demonstrated the accurate capture of UV intensity.

KEYWORDS: UV radiation, spectrometry, fiber optics, collimation, greenhouse.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Diseño, desarrollo y acondicionamiento de un sistema de sensado de radiación UV, para obtención de información a través de técnicas de espectroscopia UV

1.1 Objetivo general

Diseñar, desarrollar e implementar un sistema de detección de radiación UV con técnicas de espectroscopia óptica para uso en invernaderos agrícolas.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una búsqueda bibliográfica de sistemas utilizados para el monitoreo de radiación UV, en especial, en aplicaciones en invernaderos agrícolas.
2. Realizar un estudio y análisis de sensores UV para desarrollar sistemas de medidas de radiación utilizando espectroscopia UV
3. Diseñar, desarrollar y acondicionar un sistema de sensado de radiación UV, para obtención de información a través de técnicas de espectroscopia UV.
4. Diseñar e implementar un sistema electrónico, óptico y mecánico del prototipo.
5. Realizar una validación de los resultados obtenidos comparando con datos obtenidos en equipos comerciales

1.3 Alcance

- Revisión bibliográfica sobre el monitoreo de radiación UV en especial invernaderos agrícolas.
- Diseño e implementación del sistema electrónico y óptico del prototipo.
- Diseño e implementación del sistema mecánico del prototipo.
- Desarrollo del sistema de control para el comando del prototipo.
- Pruebas y validación de los resultados obtenidos comparando con datos obtenidos en equipos comerciales.

1.4 Marco teórico

En este capítulo del documento, se detallan los fundamentos teóricos referentes a las técnicas de detección del nivel de radiación UV dentro de invernaderos agrícolas, los componentes claves de las mismas y técnicas referentes a la detección del nivel de radiación. El trabajo en el presente capítulo se orienta en la comprensión de los fundamentos teóricos para el logro de una medición precisa y eficiente de la radiación.

1.4.1 Detección de UV

La detección UV se basa en la capacidad de la luz ultravioleta (UV) de interactuar con diferentes materiales y sustancias. Esta interacción puede generar diversos efectos, como la fluorescencia, la absorción o la reflexión, que permiten identificar y analizar elementos que son invisibles al ojo humano [1].

La espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS) involucra la irradiación de una muestra con rayos electromagnéticos de una amplia gama de longitudes de onda y es un método de espectroscopia de absorción. Dependiendo de la naturaleza de la sustancia, la muestra absorbe parcialmente los rayos de luz ultravioleta o visible. La luz restante, es decir, la luz transmitida, se detecta en función de la longitud de onda mediante un detector adecuado. Este detector genera el espectro UV-VIS característico de la muestra, también conocido como "espectro de absorción" [1].

El colimador dirige un haz de luz de manera lineal hacia el receptor, que, ya sea mediante un prisma o difracción, produce varias longitudes de onda o un espectro de luz. El selector de longitud de onda (hendidura) filtra la señal de luz, permitiendo únicamente una banda estrecha de longitudes de onda seleccionadas. La señal resultante (I_0) incide en un material contenido en un recipiente ópticamente transparente [1].

Una vez que la longitud de onda deseada atraviesa el material de muestra, la luz transmitida (I_t) se detecta mediante un fotodetector, que registra el número de fotones emergentes. [2].

Existen dos tipos de espectrofotómetros, diferenciados por el rango de longitud de onda del monocromador:

1. El espectrofotómetro visible-ultravioleta (UV), con un rango dividido en dos: de 185 a 400 nanómetros (nm) y el rango visible de 400 a 700 nm.

2. El espectrofotómetro infrarrojo (IR), con un rango de longitud de onda de 700 a 15000 nm [2].

Para la aplicación de este proyecto se utilizarán dos tipos de sistemas de detección con la ayuda de un espectrómetro, teniendo así dos sistemas que deberán detectar radiación UV.

Uno recibirá la radiación desde el ambiente filtrados por un plástico y uno que detecte el espectro generado por una fuente de laboratorio modulada de manera que podamos obtener información clara y poder comparar la Intensidad de la Radiación con la longitud de onda.

1.4.2 Espectro Electromagnético

Se define la propagación de ondas como un mecanismo de transporte de energía en el espacio y en el tiempo. Una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad en un medio determinado [3].

Una onda electromagnética es la propagación simultánea de los campos eléctrico y magnético producidos por una carga eléctrica en movimiento. Las principales características de las ondas electromagnéticas son las siguientes [3]:

- No necesitan un medio para propagarse: pueden propagarse en el vacío o en cualquier otro medio [3].
- Son tridimensionales: se propagan en las tres direcciones del espacio [3].
- Son transversales: la perturbación se produce perpendicularmente a la dirección de propagación [3].

Cada parte del espectro electromagnético muestra distintos comportamientos al propagarse dependiendo del medio de transmisión. La clasificación del espectro electromagnético y la asignación de diferentes frecuencias para propósitos específicos involucran consideraciones diversas. Algunos de los factores para tener en cuenta incluyen [3]:

- Atenuación con la frecuencia: En términos generales, a frecuencias más bajas corresponde una menor atenuación de la señal, lo que se traduce en un mayor alcance o cobertura.
- Influencia de la climatología: Factores como la lluvia, nieve, niebla, calor, entre otros, afectan de manera desigual a las diversas frecuencias del espectro.

- Comportamiento frente a obstáculos: Este aspecto es crucial para la cobertura a larga distancia y la ubicación de repetidores. La capacidad disminuye a medida que aumenta la frecuencia.
- Capacidad de penetración: Es esencial para la cobertura en interiores y varía en función de la frecuencia.
- Costo de los equipos: En términos generales, a frecuencias más altas, los equipos de emisión, recepción y procesamiento de la señal tienden a ser más costosos. [3]

1.4.3 Áreas de aplicación

Dentro de la espectrometría cuando se usa radiación UV se tiene un sin número de aplicaciones para la ciencia entre las cuales se encuentran [1]:

-Para determinar si combustibles como el queroseno, gasolina, diésel, etc., están contaminados o degradados por un mal almacenamiento [1].

-En las industrias de agua, química, petrolera y del plástico; se utiliza como una métrica para la comprobación de pureza de los productos [1].

-Control de calidad en industrias de perfumería, bebidas y alimentación [1].

-Medir la intensidad y turbidez del color de la Cerveza, maltas, el caramelo, entre otros [1].

-En la industria cosmética se usa para comprobar productos químicos y líquidos tensoactivos [1].

1.4.3.1 Aplicación en Agricultura

Un invernadero es una estructura cubierta, generalmente de plástico o vidrio, que se utiliza para cultivar plantas en un ambiente controlado. Su objetivo principal es protegerlas de las condiciones climáticas adversas, como el frío, el viento, la lluvia y el granizo, permitiendo así su producción durante todo el año.

La detección UV juega un papel fundamental en la agricultura bajo invernadero. La luz ultravioleta (UV) del sol, puede ser perjudicial para las plantas. De modo que se pueden formar problemas como quemaduras en las hojas, reducción del crecimiento de la planta, debilitamiento de esta, entre otros.

Los plásticos utilizados en los invernaderos son de diversos tipos, cada uno con sus propias características y ventajas; la elección del plástico adecuado para un invernadero depende

de diversos factores, como el tipo de cultivo, las condiciones climáticas de la zona y el presupuesto disponible [4].

1.4.4 Plásticos Comerciales

Principales Tipos de Plásticos Utilizados en Invernaderos:

1.4.4.1 POLIETILENO (PE)

Uno de los plásticos más prevalentes debido a su asequibilidad y la simplicidad de su fabricación [5].

Se obtienen diferentes tipos según las condiciones de polimerización (temperatura, presión, catalizador):

1.4.4.1.1 PEBD

Polietileno de baja densidad, comúnmente empleado en las cubiertas de invernaderos [5].

1.4.4.1.2 PELBD

Polietileno lineal de baja densidad, utilizado en acolchados y túneles pequeños [5].

1.4.4.1.3 PEAD

Polietileno de alta densidad, empleado en contenedores y en sistemas de riego y drenaje [5].

1.4.4.1.4 COPOLÍMERO ETILENO VINILACETATO (EVA)

Los filmes de EVA se emplean con frecuencia en cubiertas, cubiertas dobles (como pantallas térmicas) y para proteger túneles bajos [5].

Presenta una resistencia mecánica superior al PVC, dependiendo de la concentración de acetato de vinilo [5].

1.4.4.2 POLICLORURO DE VINILO (PVC)

Plástico rígido al que se le añaden plastificantes para flexibilizarlo en su uso como filme plástico para las cubiertas de invernaderos [5].

Sensible al frío, propenso a acumular polvo y puede cambiar de color con el tiempo.

1.4.4.3 POLICARBONATO (PC)

Ampliamente utilizado en cerramientos laterales o frontales en invernaderos.

Puede usarse exclusivamente o en partes específicas del cerramiento, como el área frontal que determina la forma del arco [5].

1.4.5 Medición Calidad de Plástico Filtración UV

La eficiencia de producción en los cultivos de invernadero se ve fuertemente afectada por la cantidad de radiación electromagnética recibida. Este factor no solo depende de la estructura específica del invernadero, sino también de la presencia de radiación ultravioleta, radiación fotosintéticamente activa (PAR) e infrarroja (IR) que atraviesan el material de cobertura. En la producción de cultivos en invernaderos, se han empleado diversos materiales de cobertura [6] [7] [8]. La variedad de nuevos materiales aptos para cubiertas de invernaderos ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, gracias a los avances en el diseño de plásticos y la incorporación de nuevos aditivos que modifican las características físicas y espectrales de dichos materiales, proporcionando una mayor estabilización UV [9] [10].

Manipular la transmisión espectral de las cubiertas de invernadero para reducir la radiación IR y UV ha despertado interés tanto entre los investigadores como entre los cultivadores como un enfoque no químico atractivo para regular la elongación de los tallos [11].

En 2002, se estableció un nuevo proyecto en el Laboratorio de Sistemas Agrícolas Sostenibles del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Uno de los objetivos de este proyecto era determinar la viabilidad de utilizar túneles altos para la extensión de la temporada como una herramienta para el manejo integrado de plagas (MIP), mediante la modificación de la transmisión espectral de los plásticos en la región de UV. El objetivo del presente estudio fue determinar la transmitancia espectral de una variedad de materiales plásticos que podrían ser adecuados para cubrir dos túneles altos que se erigieron en el Centro de Investigación Agrícola de Beltsville en Beltsville, Maryland, en 2004 [12] [13].

El objetivo era identificar productos comercialmente disponibles que ya sea transmitieran o bloquearan longitudes de onda ultravioleta (UV) y, al mismo tiempo, tuvieran las características de transmitir niveles elevados de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y fueran estables bajo la radiación solar UV ambiental durante hasta 4 años. El estudio se centró en evaluar películas plásticas que bloquearan o transmitieran longitudes de onda UV por debajo de los 380 nm y que pudieran ser utilizadas en estudios de túneles altos sobre los efectos de la radiación UV en el crecimiento comparativo, rendimiento y calidad de mercado, y como una herramienta para el manejo integrado de plagas (IPM) [14] [15].

Para la investigación de [11] se utilizaron las mediciones de la transmisión espectral de filtros UV seleccionados se determinaron con un espectrómetro de exploración UV-VIS de Perkin Elmer (modelo Lambda 10). Las muestras se colocaron en una cubeta de cuarzo y se sostuvieron en un soporte diseñado especialmente para orientar las películas verticalmente en el centro de la cubeta, de manera perpendicular a la fuente de luz. Se realizaron exploraciones espectrales de cada muestra desde 200 hasta 800 nm, asegurándose de orientar las películas de modo que el haz de luz del espectrómetro ingresara a través de la superficie externa y saliera a través de la superficie interna [11].

Los resultados nos dicen que el uso de películas de polietileno que absorben la luz ultravioleta (UV) y azul para el control de enfermedades, la perspectiva de emplear materiales de cobertura que bloquean la radiación UV como enfoque de Manejo Integrado de Plagas (MIP) para controlar enfermedades fúngicas y enfermedades transmitidas por insectos debería volverse cada vez más popular a medida que los consumidores demandan frutas y verduras cultivadas de manera orgánica [11].

Hasta la fecha, la mayoría de los estudios sobre el uso de barreras que bloquean la radiación UV para impedir insectos y reducir la prevalencia de enfermedades fúngicas se han llevado a cabo en invernaderos de plástico y otras estructuras completamente cerradas. Aún queda por determinar si se puede obtener una protección similar en casas de túneles altos de extensión de temporada, en las cuales las cortinas laterales se abren y cierran casi a diario.

En estudios de exclusión de UV, se han utilizado principalmente tres materiales de filtro para transmitir radiación solar UV-A y UV-B, Estos son Aclar, Teflón FEP y CA; también se han empleado filtros de acrílico transparente a la UV-B, como Plexiglás y otros filtros acrílicos. Los filtros de exclusión de UV ofrecen a los investigadores una forma atractiva de evaluar los efectos biológicos de la radiación solar UV ambiente. Para realizar experimentos significativos de exclusión de UV, se debe tener cuidado al seleccionar filtros apropiados. Estos deben tener el límite espectral adecuado, ser relativamente estables bajo la radiación UV ambiente y estar libres de artefactos [11].

1.4.6 Procedimiento de la detección UV

La detección UV como se ha mencionado incluye varios pasos donde se tendrá iluminación, interacción con los materiales o filtros, detección y finalmente un análisis para poder cumplir con estos pasos se tiene que trabajar con lo siguiente

1.4.6.1 Elementos

1.4.6.1.1 Espectrómetro

El espectrómetro UV-VIS-ES USB4000 de Ocean Optics se caracteriza por integrar un sistema óptico y electrónica de manera única. Destaca por su elevada sensibilidad, incorporando un detector de 3648 elementos con obturador. Su rango de trabajo abarca desde 200 hasta 850 nm. Para la conexión con un ordenador, utiliza un puerto USB 2.0 o 1.1, obteniendo la alimentación necesaria directamente desde dicho puerto USB [16].

El sensor utilizado en el espectrómetro UV-VIS-ES USB-4000 es un dispositivo de transferencia de carga CCD (Dispositivo de Acoplamiento de Carga), compuesto por una serie lineal de fotodetectores. Este tipo de sensor, común en cámaras fotográficas debido a su sensibilidad a la luz, desempeña un papel crucial en el equipo prototipo [16].



Figura 1. Espectrómetro UV-VIS-ES USB-4000 [16].

En el caso del detector empleado en este sistema, la transferencia de carga, el reinicio y el inicio de la lectura inician con el reloj en el estado lógico 1 (uno lógico) durante el tiempo de integración. La función de reinicio renueva los fotodetectores, permitiendo la integración continua de la energía luminosa durante este período, mientras que los datos se leen mediante registros de desplazamiento en serie [16].

Al concluir el tiempo de integración, el proceso se repite. Cabe destacar que el CCD es un dispositivo de agotamiento, y la señal eléctrica de salida es inversamente proporcional a la cantidad de fotones de entrada [16].

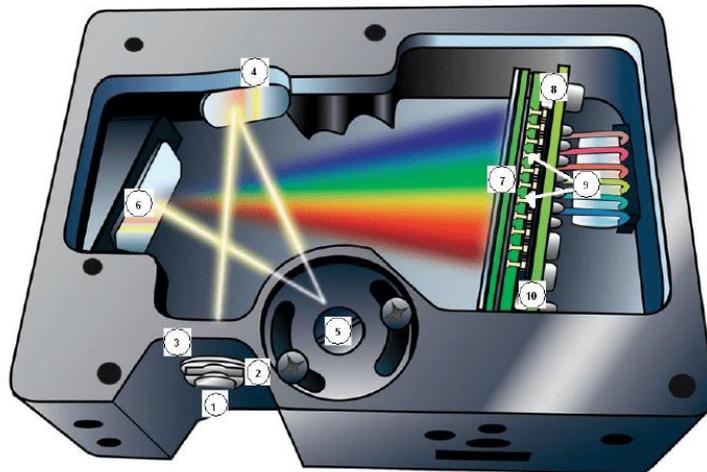


Figura 2. Componentes del espectrómetro UV-VIS-ES USB-4000 [16].

El espectrómetro consta de nueve partes que lo conforman, las cuales son: (1) Conector SMA 905, (2) Slit, (3) Filtro, (4) Espejo colimador, (5) Grating o rejilla, (6) Espejo de Enfoque, (7) Lente Colectora, (8) Detector (9) Filtros.

(1) Conector SMA 905

Este conector asegura la sujeción de la fibra óptica que se introduce en el espectrómetro. La luz proveniente de la fibra ingresa al banco óptico a través de este conector [16].

Posee una tuerca de acoplamiento con rosca y eje recto de acero inoxidable de 3.17mm



Figura 3 Conector SMA 905.

(2) Abertura (Slit)

La abertura, es una pieza metálica con una ranura rectangular, se coloca directamente detrás del conector SMA 905. El tamaño de la ranura (1000 μm x 25 μm) regula la cantidad de luz que entra al banco óptico y controla la resolución espectral. En una configuración

sin ranura, el diámetro de la fibra conectada al USB4000 UV-VIS-ES determina el tamaño de la ranura de entrada [16].



Figura 4 Abertura de 10um conectada al USB4000 UV-VIS-ES [8].

(3) Filtro de entrada

Este filtro restringe la radiación de entrada, permitiendo solo la longitud de onda establecida por el detector USB 4000 UV-VIS-ES. Compuesto por un filtro de paso de banda y un filtro de paso largo, estos componentes limitan la radiación a regiones específicas de longitud de onda. La relación entre señal-ruido es de 300:1 de manera que no habrá gran introducción de interferencias [16].

(4) Espejo Colimador

El espejo colimador enfoca la luz hacia el retículo del espectrómetro con una distancia focal de 42mm. Utilizando el estándar SAG+, la luz entra al espectrómetro a través del conector SMA, la ranura y el filtro, se refleja en el espejo colimador y se dirige hacia la rejilla [16].

(5) Rejilla

La rejilla dispersa la luz del espejo colimador y guía la luz difractada hacia el espejo de enfoque. Permite especificar la cobertura de longitud de onda y la resolución en el espectrómetro. El espectrómetro USB 4000 UV-VIS-ES trabaja con una rejilla de 600 líneas/mm configurada entre 200 y 850 nm [16].

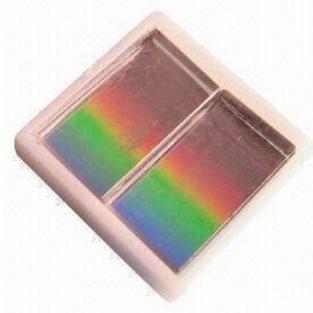


Figura 5. Rejilla espectrómetro [8]

(6) Espejo de enfoque

Recibe la luz reflejada desde la rejilla y concentra los espectros de primer orden en el plano del detector [16].

(7) Lente Colector para el detector

Este componente está conectado al detector y amplía la captación de luz para mejorar la eficiencia. Se enfoca en los elementos del detector más cortos y se utiliza en aplicaciones con bajos niveles de luz o con ranuras de gran diámetro [16].

(8) Detector UV-VIS (CCD)

El detector recoge la luz del espejo de enfoque y convierte la señal óptica en una señal digital. Cada píxel en el detector responde a la longitud de onda incidente, transformándola en una respuesta digital. El espectrómetro transmite esta señal digital a la aplicación de software [16]. El USB4000 UV-VIS-ES maneja un detector “Toshiba TCD1304AP Linear CCD array” que maneja un arreglo de 3648 pixeles sensibles de luz generando una salida analógica de sencilla detección para microcontroladores [16].

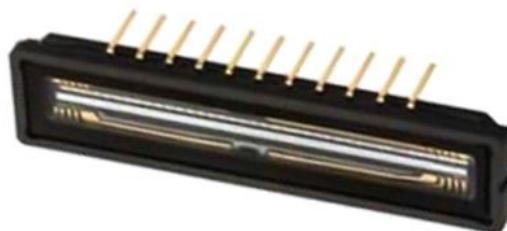


Figura 6. Detector Toshiba TCD1304AP Linear CCD array [16].

(9) OFLV Filtros. –

Estos filtros OFLV bloquean la luz de segundo y tercer orden y son opcionales. El detector convierte las respuestas de la interacción de la luz en datos numéricos, utilizados para graficar los espectros a través del software de visualización. El USB4000 UV-VIS-ES maneja un OFLV-200-850 el cual está configurado para 200 a 850nm y elimina los efectos de segundo orden los cuales son desplazamientos o imperfecciones geométricas y mejora la eficiencia de transmisión [16].

1.4.6.1.2 Lentes Colimadores

La función de la lente del colimador se centra en fuentes de luz específicas, como los puntos lumínicos que encontramos comúnmente, como cerillas, antiguas bombillas de linterna y láseres emitidos desde fibras de energía. Nos sirve para homogeneizar las trayectorias de la fuente lumínica generando un solo haz paralelo con las mismas propiedades. En el ámbito de la industria láser industrial, la lente del colimador se relaciona principalmente con el láser que se emite desde la fibra de transmisión de energía [17].

Se debe considerar que, si la distancia focal del lente es más corta, la profundidad de enfoque va a ser menor de manera que se debe tener una mayor precisión para obtener un enfoque óptimo para los sistemas [17].

De igual manera el sistema de colimación nos servirá para poder enfocar de manera adecuada y obtener valores reales de la radiación en nuestra fibra óptica en la que midamos UV directamente del sol y no generados en laboratorio [18].



Figura 7. Lente Colimador UV [17].

1.4.6.1.3 Fibra Óptica

La fibra óptica es un filamento delgado y flexible fabricado con un material transparente que facilita la transmisión de señales lumínicas. Esta estructura consta de dos regiones concéntricas. En la región más interna se ubica el núcleo, compuesto por uno o varios filamentos transparentes cuyo diámetro y forma varían según el tipo de fibra óptica. La zona externa comprende un manto que envuelve el núcleo, junto con un revestimiento que protege tanto al núcleo como al manto de tensiones mecánicas [19].

Por lo general, estos componentes comparten espacio con blindajes protectores, como hilos de kevlar. En última instancia, la fibra óptica incluye un forro protector, comúnmente de plástico, que recubre todos los elementos mencionados. Este forro tiene la función de resguardar la fibra contra la humedad, roedores y otros riesgos ambientales [19].

En este caso lo óptimo es el uso de fibras ópticas que trabajen en el espectro UV.

En el prototipo de equipo, la función principal de la punta de recolección de muestras es crear una cápsula cerrada para prevenir la interferencia del ruido ambiental en la recopilación de datos. Para este equipo, el ruido se refiere a la luz ambiente, por lo tanto, la punta de recolección de muestras cuenta con dos caras que se unen de manera paralela. Al insertar la hoja entre las paredes de la punta de recolección de muestras, estas se cierran herméticamente, impidiendo así que el ruido ambiental afecte el proceso de toma de datos [18].



Figura 8. Fibra óptica UV-VIS [20].

1.4.6.1.4 Led UV

El led UV utilizado en el proyecto es el UVLUX320-5, está formado por matrices de LED de banda ancha en el espectro ultravioleta (UV), basadas en Ferroníquel (Fe Ni) con un lente de Oxido de Silicio (SiO₂) y que utilizan hasta 4 cadenas paralelas (con cátodo común), cada una con hasta 9 chips conectados en paralelo. UVLUX320-5 presenta una potencia óptica total de 3-5 mW a una corriente nominal de 180 mA y una longitud de onda de emisión típica de 330 nm. Está disponible en un paquete sellado herméticamente de metal TO39 con lente hemisférica. UVLUX320-5 se utiliza ampliamente en aplicaciones como el curado UV, medición de gas en la sangre y mediciones de nitrógeno en urea [21].



Figura 9. Led UVLUX320-5 [21].

Para el encendido del Led UV se trabaja con una señal de tipo PWM mediante la cual se regula la intensidad lumínica del mismo. La señal de encendido se recibe por parte del usuario a través de comunicación bluetooth y es generada por medio de un microprocesador.

1.4.6.2 Módulo Bluetooth HC-05

El módulo Bluetooth HC-05 permite conectar un microprocesador con un dispositivo con conexión inalámbrica bluetooth,

La transmisión del módulo se realiza conectando de manera directa a los pines seriales del microcontrolador como se puede observar en la Figura 10 teniendo así la comunicación serial TTL.

Se debe considerar que el rango de voltaje de operación es de 3.6V a 6 V a 50 mA debiendo así asegurarse de poder brindar esta característica para el módulo.

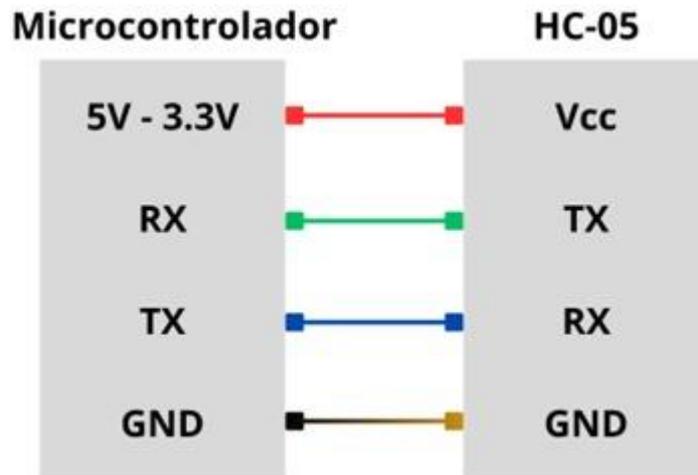


Figura 10 Esquema de conexión modulo HC-05 [Autoría Propia]

Para poder realizar la comunicación de manera adecuada y la generación de PWM necesitamos una tarjeta embebida que maneje comunicación TTL y un puerto disponible para la generación de la señal, seleccionando así la tarjeta Arduino Pro Mini 5V/16MHz

2 METODOLOGÍA

En este capítulo del documento, se detallan los criterios en base a los cuales se seleccionaron componentes claves y técnicas referentes a la detección del nivel de radiación UV dentro de invernaderos agrícolas que se usarán para el diseño del hardware del sistema de captación de datos. El trabajo en el presente capítulo se orienta en el logro de una medición precisa y eficiente de la radiación.

2.1 Diseño e implementación del sistema electrónico, mecánico y óptico del prototipo

Para el diseño e implementación del hardware se implementará el esquema mostrado en la Figura 11, el mismo que consistirá en 3 locaciones de captación de luz y dos esquemas de captación.

Se realizará la medición a nivel suelo y a nivel techo de invernadero con un esquema de medición y de igual manera se realizará la medición por medio de un led UV con las distintas muestras de plásticos para verificar su eficacia de filtración.

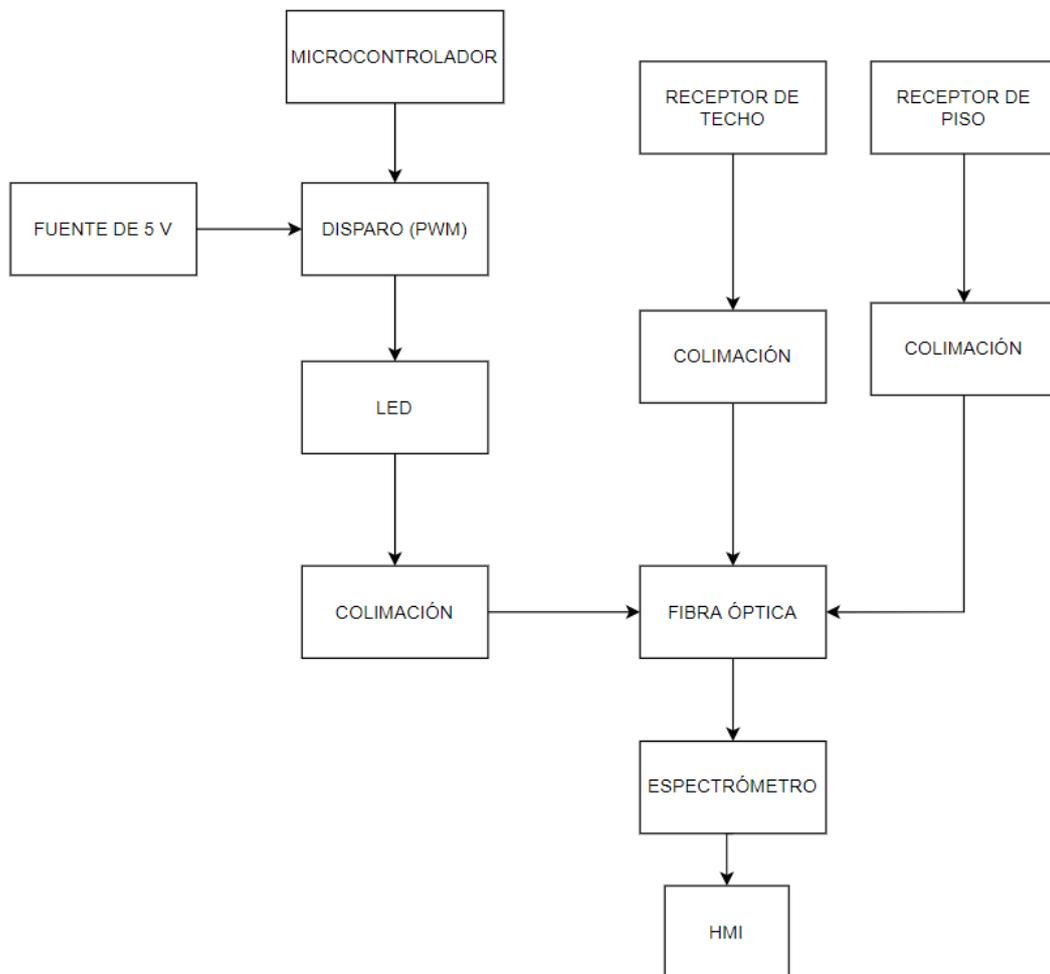


Figura 11 Esquema del sistema de captación de datos. [Autoría Propia]

2.1.1 Fibras ópticas

Para las fibras ópticas se seleccionarán unas que nos permitan receptor de manera adecuada la luz UV y a su vez nos permitan realizar la conexión simultanea y alcanzar los 3 lugares donde se realizarán las mediciones según el esquema mostrado en la Figura 12, tal que se utiliza una fibra óptica de larga longitud para el techo y una splitter para las conexiones simultáneas.

2.1.1.1 Fibra óptica de tipo Splitter

Este tipo de fibra presenta una composición tal que tiene 6 hilos los cuales en su división intermedia se reparten 1 hilo central a una salida y 5 hilos laterales a la segunda salida

teniendo así una manera en la cual unir dos salidas en una entrada del espectrómetro, de manera que la fibra óptica elegida es la QR400-Angle-UV

Que presenta las siguientes características [23]:

- Diseño de sonda: diseño de haz de fibras de 6 alrededor de 1 en el extremo de la sonda
- Ventana en ángulo: la ventana de separación a 30° permite el contacto directo con polvos y soluciones.
- Tipo de fibra: la sonda comprende fibras UV-visibles (180-1100 nm)
- Diámetros del núcleo: 200 μm



Figura 12 QR400-ANGLE-UV

2.1.1.2 Fibra óptica UV de amplia longitud

Esta fibra presenta un solo núcleo y una amplia longitud de manera que nos permita alcanzar techos altos de invernaderos escogiendo así la fibra UV-Visible Optical Fiber que presenta las siguientes características [20]:

- Transmisión UV-Visible: transmite de 180 a 1100 nm.

- Revestimiento: Mono bobina de acero recubierto de silicona con trenza Nomex.
- Diámetro del núcleo: 200 um.
- Robusto: ideal para uso industrial, de campo y de laboratorio.



Figura 13 UV-Visible Optical Fiber

2.1.2 Colimación

Para el diseño de colimación del receptor del techo y del piso se consideró el uso de lentes planoconvexas UV de sílice fundida de un diámetro de Ø1/2" y Ø1". La sílice fusionada ofrece una alta transmisión en la UV y exhibe ninguna fluorescencia, siendo este ideal para la aplicación UV [24].

Las lentes planoconvexas son útiles para enfocar el haz de luz de nuestra aplicación en una fuente puntual, la cual será la fibra óptica [24].

La distancia focal del lente se puede calcular utilizando una ecuación simplificada la cual es:

$$f = R/(n-1) [24],$$

Donde

- N, índice de refracción
- r, radio de curvatura de la superficie de la lente

De manera que se tiene para la colimación del techo donde se utilizará un lente de Ø1/2" teniendo así una distancia focal f1:

$$f1 = \frac{9.2}{1.45 - 1} = 20.1mm$$

y para la colimación de tierra donde se utilizará un lente de Ø1" una distancia focal f2 tal que:

$$f2 = \frac{16.1}{1.45 - 1} = 35.1mm$$

Las distancias focales calculadas serán dispuestas en la Tabla 1:

Tabla 1 Valores de distancia focal calculados

Propiedad	Diámetro del lente	Distancia Focal
Colimación de techo	½"	20.1 mm
Colimación de suelo	1"	35.1 mm

En base a los cálculos realizados de la distancia focal se realiza el diseño de dos conos colimadores que nos servirán para receptor la luz, colimar y emitir el rayo de luz focalizado a las fibras ópticas.

2.1.2.1 Cono de colimación para el techo

Para la colimación del techo se diseñó un cono de 55.60 mm de diámetro y de 50 mm de alto y que por medio de su geometría al ubicar el lente de media pulgada se obtiene la distancia focal deseada obtenida en la Tabla 1. Adicionalmente se implementaron cuatro

aspas de 45 mm de longitud para tener un agarre con el techo del invernadero, en estas aspás se tiene una circunferencia de 14 mm con agujeros 7.5 mm de diámetro donde se ubicaron ventosas las cuales se fijan al techo del invernadero en la posición deseada.

De igual manera, para el acople con la fibra óptica requerida se realizó el diseño de una rosca de 7,5 mm de altura con 6.72mm de radio externo y 4.5 mm de radio interno de manera que la fibra se fija al colimador.



Figura 14. Diseño de cono para colimación en el techo. [Autoría Propia]

Los planos del diseño se pueden encontrar en el Anexo I.

2.1.2.2 Cono de colimación para el suelo

En esta etapa se diseñó un cono de colimación a la altura del suelo o de la vegetación, el cual está ubicado en la tapa del prototipo, cono que tiene unas dimensiones de 56 mm de diámetro superior y 46.81 mm de altura teniendo así que al ubicar el lente de una pulgada se obtiene la distancia focal calculada expuesta en Tabla 1. Adicionalmente al estar ubicado en el techo del prototipo se realiza el diseño de este, siendo este un cuadrado de 37mm de altura y 169 mm por lado con un espesor de 7mm esto con el afán de tener un prototipo robusto, se implementó un agujero de 8.58 mm x 10.12 mm en la parte superior donde se puede colocar la fibra cuando no se la está utilizando.

De la misma manera se implementó una rosca de 7,5 mm de altura con 6.72mm de radio externo y 4.5 mm de radio interno de manera que la fibra se fija al colimador.

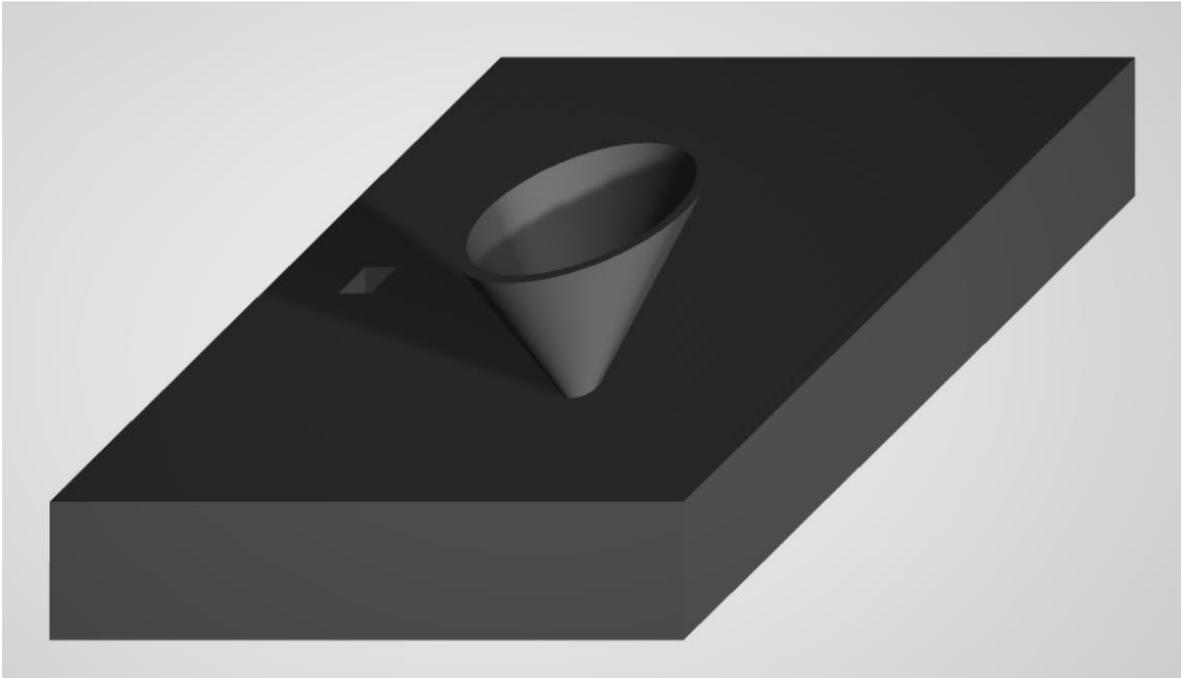


Figura 15. Diseño de cono para colimación en el piso [Autoría Propia].

Los planos del diseño se pueden encontrar en el Anexo II.

2.1.2.3 Colimación para de luz emitida por el led UV

Para la colimación del led debido a que la emisión UV está en 380nm, se utiliza el 74-UC Collimating lens, el cual trabaja entre 200 y 2000nm siendo ideal para la aplicación.



Figura 16. Colimador “74-UC Collimating lens”.

2.1.3 Disparo del led

El led UV utilizado maneja una longitud de onda de 330 nm en su pico máximo, sin embargo, su intensidad puede variar dependiendo de la relación de trabajo de la PWM que recibe siendo esto útil en caso de querer ver que tanta intensidad lumínica puede filtrar los plásticos del invernadero.

Para el encendido del led se utiliza una fuente externa de 5 V la cual es aislada por medio de un optoacoplador, de igual manera se genera una PWM a través del microprocesador el cual recibe la relación de trabajo de la PWM para la variación de la intensidad del led por medio del módulo Bluetooth. De esta manera se encenderá un circuito de potencia que activará al led de manera aislada.

2.1.3.1 Tarjeta embebida (Arduino Pro Mini 5V/16MHz)

La placa de desarrollo Arduino Pro Mini que utiliza el chip Atmega328 de Atmel, diseñada para proyectos con un espacio reducido ya que cuenta con lo mínimo para que funcione el microcontrolador teniendo así un regulador de voltaje, un circuito de reset y un oscilador [22].

La descarga del programa se la realiza por medio de un cable USB- UART TTL siendo este el FT232RL

Esta placa cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida, de los cuales 6 pueden usarse como salidas PWM, y 8 entradas analógicas, lo que la hace ideal para proyectos complejos de robótica, automatización, y prototipos industriales donde el espacio sea un factor importante [22].

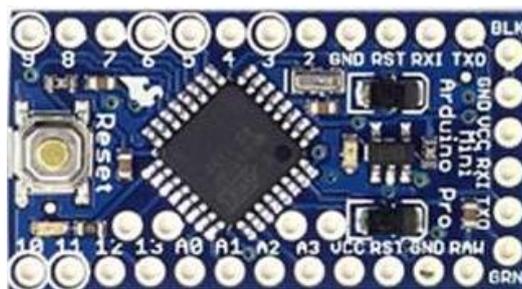


Figura 17. Tarjeta Embebida (Arduino Pro Mini) [22].

El microcontrolador Atmega328 es el mismo microcontrolador con el que operan el Arduino Uno y Nano y opera a 16 MHz y ofrece 32 KB de memoria flash, 2 KB de SRAM y 1 KB de EEPROM, siendo esto suficiente para manejar el programa que se utilizará. La placa se alimenta con un voltaje de entrada recomendado de 5V [22].

Compatible con el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, el Arduino Pro Mini soporta una amplia biblioteca de funciones y cuenta con una comunidad activa que facilita el acceso a recursos y soporte. Sus dimensiones son de 17.78 mm por 33.02 mm [22].

2.1.3.2 Señal de disparo

A través del módulo HC-05, el cual está conectado el microcontrolador Arduino Pro Mini, en su pines de comunicación rx y tx, recibimos la relación de trabajo de la PWM en base a la cual se genera la misma se trabaja con el PIN 9 del microcontrolador, la cual maneja una frecuencia de 245 Hz para el encendido del led elegido y tendrá valores variables del ciclo de trabajo para poder regular la intensidad de luz según se requieran para las practicas correspondientes.

Se puede observar cómo una vez generada la señal por medio del Arduino se obtienen las siguientes señales físicas:

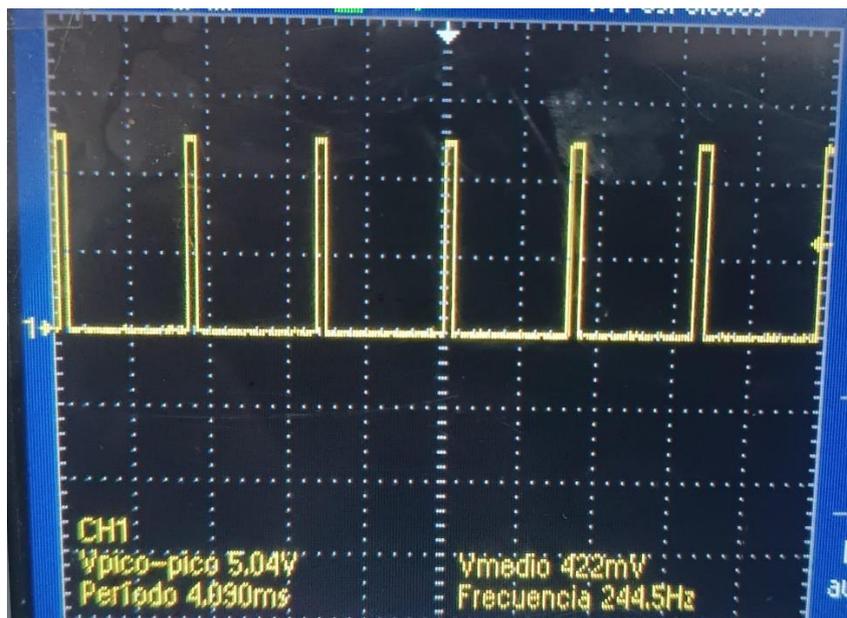


Figura 18. Señal de PWM generada para 0.1 de Ciclo de Trabajo

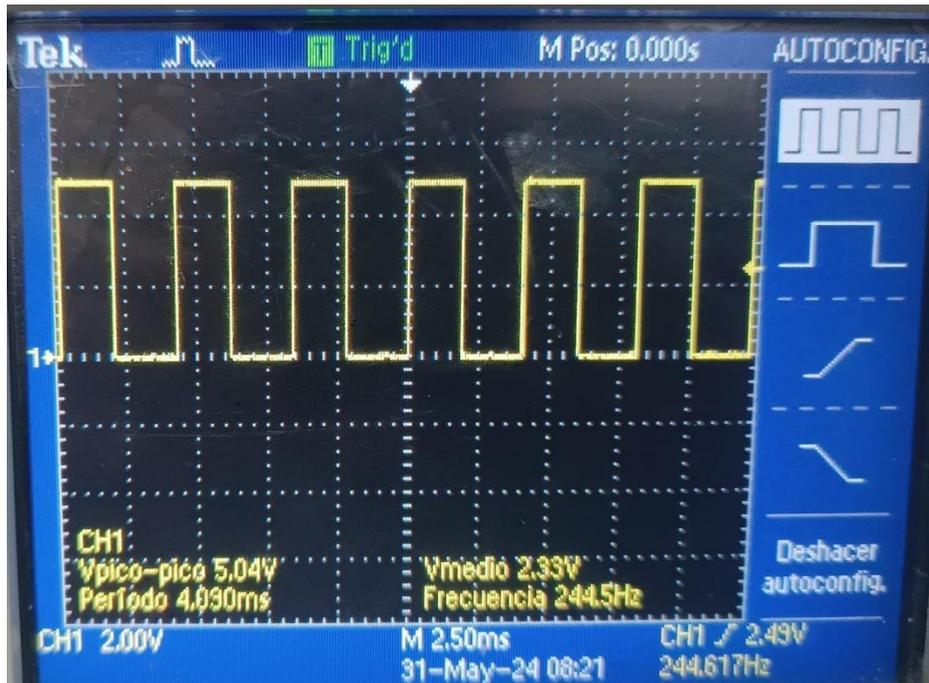


Figura 19. Señal de PWM generada para 0.5 de Ciclo de Trabajo

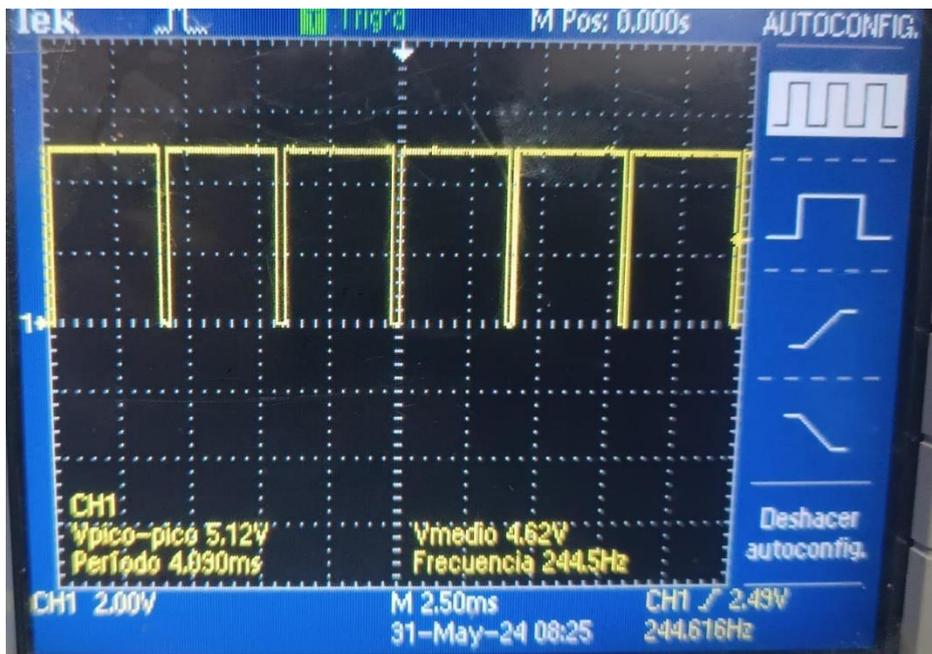


Figura 20. Señal de PWM generada para 0.9 de Ciclo de Trabajo

Se puede observar en la Figura 18, Figura 19 y Figura 20, las señales obtenidas en el osciloscopio donde en los distintas etapas del ciclo de trabajo el valor pico recibido es de

aproximadamente 5V al igual que la frecuencia obtenida es de aproximadamente 245Hz como es deseado por esto se establece el uso de un transistor de tipo BJT con código TIP122 el cual soporta hasta 1KHz en conmutación lo cual basta para manejar los disparos del circuito.

2.1.3.3 Circuito de disparo

En base a los voltajes y frecuencia obtenidos en las señales de disparo se escoge adicionalmente el optoacoplador 4n25 para aislar el circuito de control del de potencia.

Se considera la corriente que puede soportar el optoacoplador 4n25 a utilizar al igual que del transistor TIP122 obteniendo así el cálculo para las resistencias.

Cálculo de resistencia R1:

$$R = \frac{V}{I_{max}}$$

$$R = \frac{5V}{60mA}$$

$$R = 83.33 \Omega$$

De manera que se selecciona una resistencia comercial mayor siendo esta de 130 Ω .

Este valor de resistencia nos servirá de igual manera para el encendido del led UV que tendrá el mismo valor de corriente máxima y para que el TBJ dispere de manera correcta.

Obteniendo finalmente el circuito mostrado a continuación.

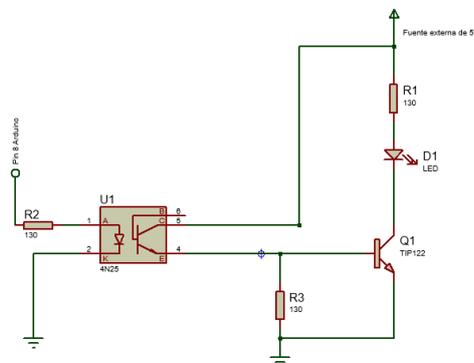


Figura 21 Circuito diseñado para el disparo del led

2.1.3.4 Diseño para ubicación del led UV en el prototipo

Una vez obtenidos los requerimientos faltantes para el diseño mecánico del prototipo, se realiza el diseño de la base para la colimación del led UV.

Esta base debe tener una forma cuadrada de 155 mm por lado y 7mm de espesor de manera que se pueda ubicar en la parte interna del prototipo y sea robusta, la base consta de una extrusión rectangular de 40 mm de altura, 33.03 mm de ancho y 9.87 mm de espesor con un círculo interno hueco de 12mm en el cual se fijará el colimador para el led UV el cual deberá estar fijo apuntando en dirección del colimador.

De igual manera se diseñó un porta muestras o porta plásticos en el cual se pueden ingresar filtros de hasta 3 mm de espesor y 43.26 mm de ancho. De igual manera la base cuenta con un agujero mediante el cual se pueden realizar las conexiones internas del led UV.

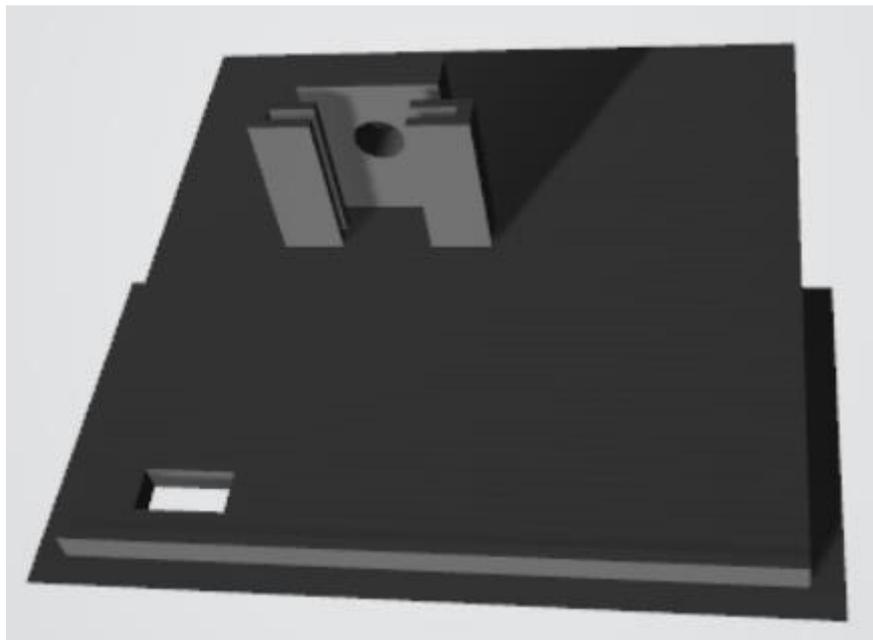


Figura 22 diseño del piso para ubicación del led y colimador

Los planos del diseño se pueden encontrar en el Anexo III.

Una vez diseñados los colimadores, el techo y la base del led, se debe realizar el diseño del cuerpo del prototipo.

Este tiene una forma cuadrada en su base con 169 mm por lado, una altura de 137mm y un espesor de 7 mm para mantener la robustez del prototipo. Cuenta con tres bases circulares de 11.75 mm de diámetro y 50mm de alto para poder ubicar

la base del led manteniendo una altura apropiada para la colocación del espectrómetro además de los circuitos utilizados en el prototipo.

Adicionalmente cuenta con un orificio lateral cuadrado de 10 mm por 20 mm, el cual permitirá realizar la conexión del espectrómetro con la computadora y mantener la antena del módulo bluetooth HC-05 libre para una correcta conexión.

Además, cuenta con dos orificios para el ingreso de la fibra óptica los cuales son de 8 mm de diámetro, estos estarán ubicados de manera que se puedan conectar tanto al espectrómetro como a los respectivos colimadores del prototipo.

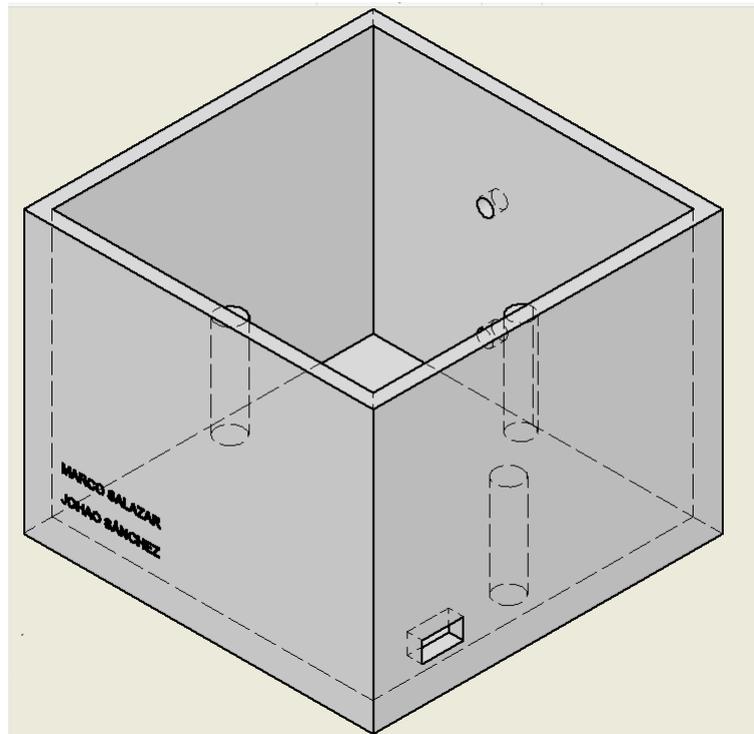


Figura 23 Diseño del cuerpo del prototipo

Los planos del diseño se pueden encontrar en el Anexo IV.

2.1.4 Comando del Prototipo

El prototipo debe ser comandado por un interfaz humano máquina (HMI) mediante el cual se puede realizar el control de la planta para la respectiva tomas de distintas muestras, estableciendo el tiempo de integración del sistema, el encendido y el ciclo de trabajo de la PWM para el encendido del LED UV, y finalmente observar las formas de onda leídas por

el espectrómetro en las distintas locaciones. Este HMI es parte del proyecto global, sin embargo, solo la parte de control tiene que ver con este componente.

Como se puede observar en la Figura 24 se cuenta con una perilla virtual mediante la cual se puede definir el porcentaje de ciclo de trabajo de la PWM para el trabajo con el LED y el encendido de este al igual que la conexión con el módulo Bluetooth HC-5.

De igual manera se puede observar los botones de “Adquirir Techo” “Adquirir Medio” y “Adquirir LED” mediante los cuales el prototipo tomara muestras en cada una de las instancias según la conexión se ubique y a discreción del usuario, pudiendo observar por ese medio el funcionamiento de las distintas instancias de captación y colimación del prototipo.

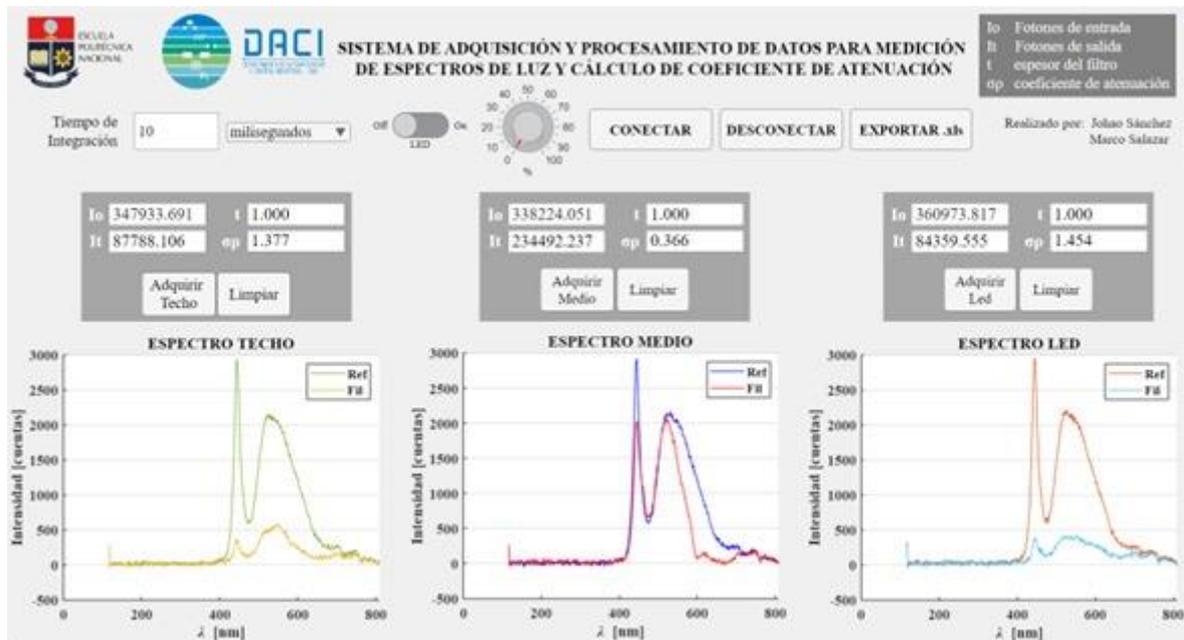


Figura 24 HMI diseñado

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Validación con equipos comerciales

En esta sección en primera instancia se realiza la validación de los resultados para la cual se realizó la toma de datos de una misma instancia con otro modelo de espectrómetro para poder observar su respuesta

El modelo utilizado es el “Flame Miniature Spectrometer” el cual maneja un rango de longitud de onda de 200-1025 nm lo cual es ideal debido a que contiene a todo el espectro de onda requerido. [25]



Figura 25 Espectrómetro “Flame Miniature” disponible en el laboratorio de UAVS del DACI EPN

Para realizar la validación tomaremos la muestra de datos a con la base de una luz conocida y a través de 3 filtros con sus longitudes de filtro conocidos teniendo así

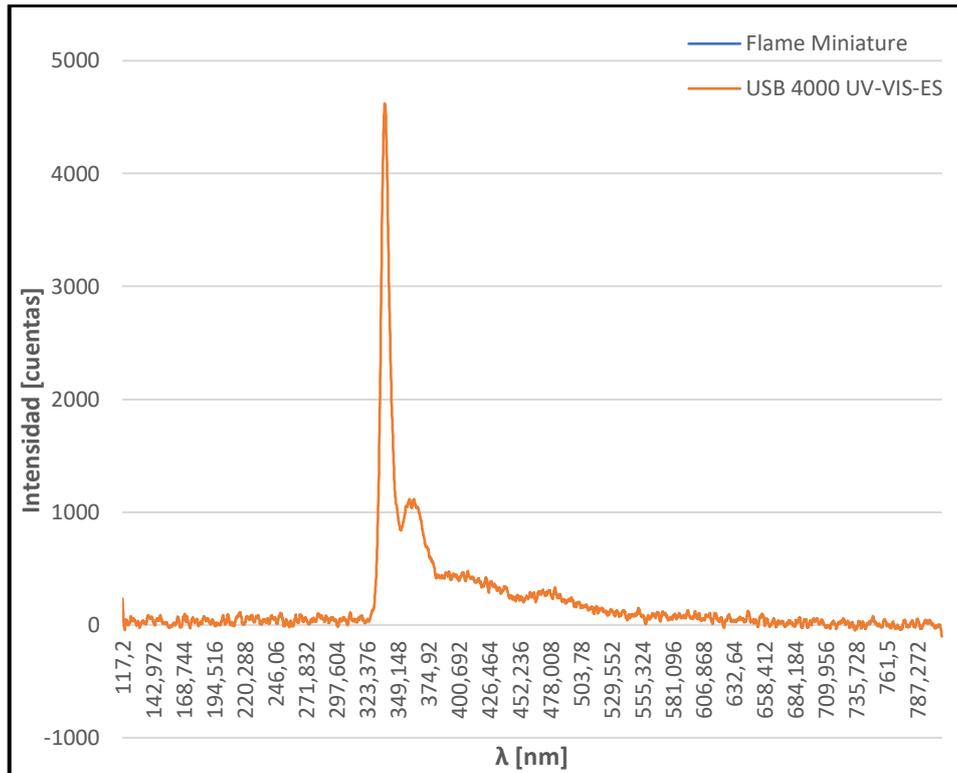


Figura 26 Muestra de referencia de luz tomada por los espectrómetros

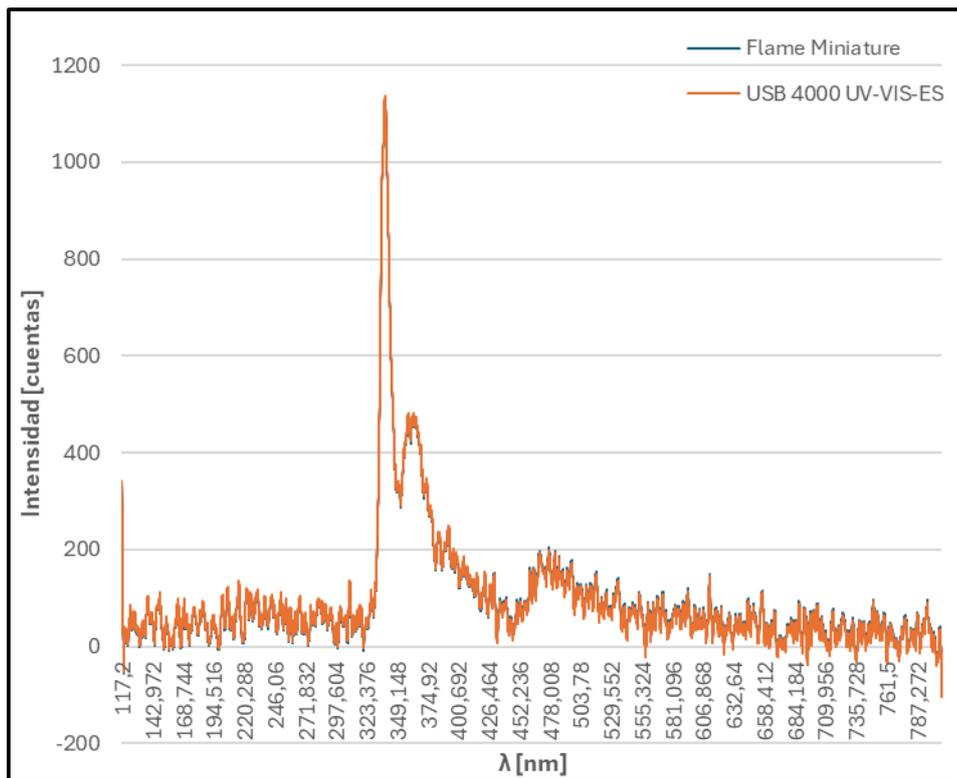


Figura 27 Muestra 2 de luz filtrada tomada por los espectrómetros.



Figura 28 Filtro 1517 utilizado para la muestra 1

Como se puede observar en la Figura 26 tenemos una luz de “referencia” captada por los dos modelos de espectrómetros disponibles donde no se puede observar mayor diferencia entre la información de ambos espectrómetros considerando que la escala es grande en intensidad de luz, sin embargo en la Figura 27 puede observar la señal de “filtro” que representa a la luz filtrada es la misma que pasa a través del filtro observado en la Figura 28, en la cual se puede observar los porcentajes de luz que se deben filtrar, teniendo así nuevamente una gráfica similar para ambos espectrómetros, con ligeras diferencias que son mínimas.

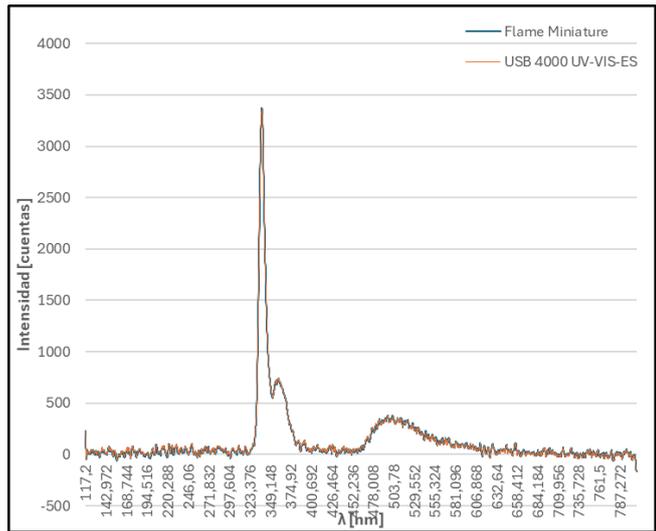


Figura 29 Muestra 2 de luz filtrada tomada por los espectrómetros.



Figura 30 Filtro 480 utilizado para la muestra 2

Para la figura 29 podemos observar nuevamente pequeñas diferencias en la medida entre los espectrómetros sin embargo estas son mínimas, podemos de igual manera observar cómo actúa el filtro frente a la luz de nuestra referencia de la Figura 26.

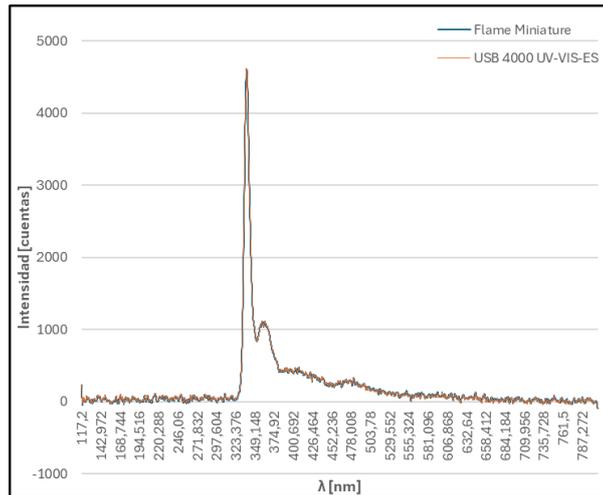


Figura 31 Muestra 3 de luz filtrada tomada por los espectrómetros.

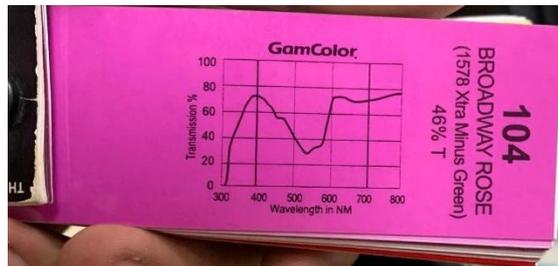


Figura 32 Filtro 104 utilizado para la muestra 3

De igual manera en la Figura 31 se puede observar la medición tomada por ambos espectrómetros, a través del filtro Figura 32, donde se puede observar nuevamente como no hay una diferencia significativa entre ambos espectrómetros teniendo así valores adecuados para el correcto funcionamiento.

De esta manera se puede verificar el correcto funcionamiento del espectrómetro en torno a otro equipo comercial.

3.2 Resultados obtenidos

Para las pruebas y resultados del presente trabajo se realizaron una serie de pruebas tanto en laboratorio como en campo, donde se verifico el correcto funcionamiento del sistema teniendo así

3.2.1 Resultados obtenidos en laboratorio

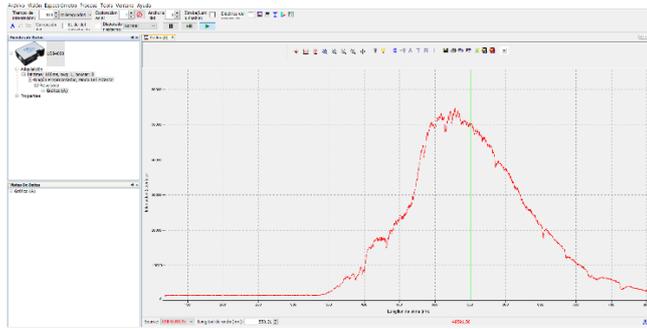


Figura 33 Muestra tomada sin colimador en la instancia de techo.



Figura 34 Muestra tomada con colimador en la instancia de techo.

Se puede observar en la Figura 33 como la muestra alcanza valores pico de 55000 de intensidad mientras que en la Figura 34 para los mismos tiempos de integración o de muestreo llegamos a tener la misma forma, pero amplificada llegando a saturarse de manera que llegamos al límite máximo, verificando así que el colimador del techo está cumpliendo su función de amplificar la señal de la luz.

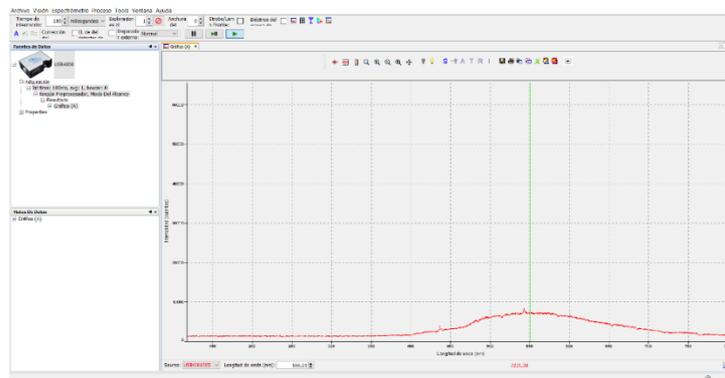


Figura 35 Muestra tomada sin colimador en la instancia de piso.

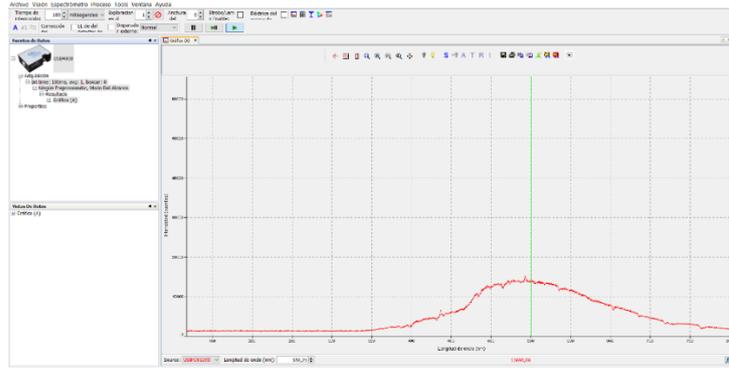


Figura 36 Muestra tomada con colimador en la instancia de piso.

se puede observar en la Figura 35 como la muestra alcanza valores pico que no alcanzan los 10000 cuentas de intensidad mientras que en la Figura 36 para los mismos tiempos de integración o de muestreo llegamos a tener la misma forma pero amplificada llegando a obtener en el pico más de 15000 cuentas de intensidad, verificando así que el colimador del techo está cumpliendo su función de amplificar la señal de la luz.

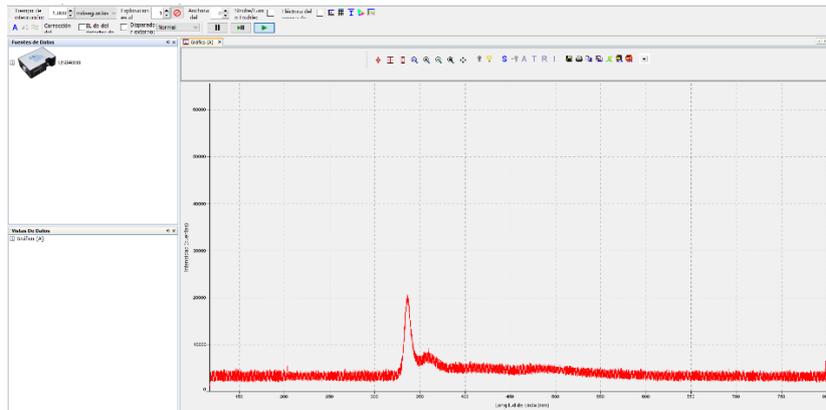


Figura 37 Muestra tomada sin colimador emitido por el led UV.

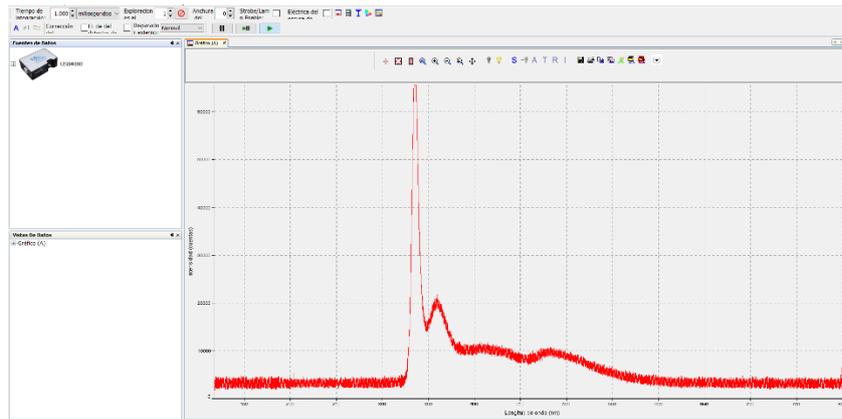


Figura 38 Muestra tomada con colimador emitido por el led UV.

Podemos Se puede observar en la Figura 37 como la muestra alcanza valores pico de 20000 de intensidad mientras que en la Figura 34 para los mismos tiempos de integración o de muestreo llegamos a tener la misma forma pero amplificada llegando a saturarse de manera que llegamos al límite máximo, verificando así que el colimador del led UV está cumpliendo su función de amplificar la señal de la luz, se puede observar que la señal que se muestra en las figuras mencionadas contiene un mayor ruido esto se debe a que las pruebas tomadas por la luz emitida por el led tienen un tiempo de integración mayor de manera que al captar información más tiempo tenemos este resultado.

De igual manera en el laboratorio se realizaron las correspondientes pruebas del funcionamiento adecuado del Led UV con su sistema de colimación teniendo así pruebas realizadas con distintos filtros.

El primer filtro con el que se realiza la toma de muestras es el 515 Lime Yellow mismo que filtrara la intensidad de luz según se muestra en la Figura 39obteniendo así la gráfica mostrada en la Figura 40.

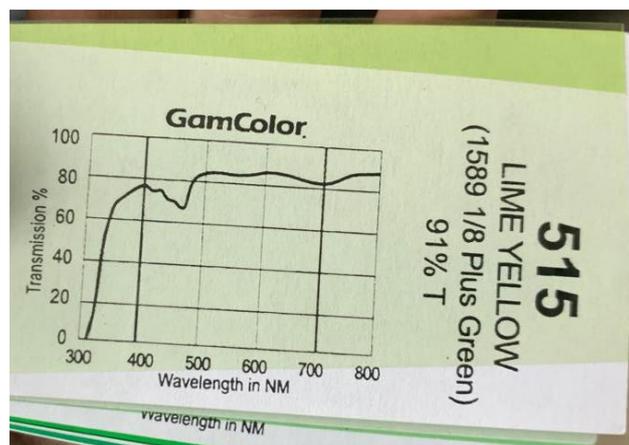


Figura 39 Filtro el 515 Lime Yellow

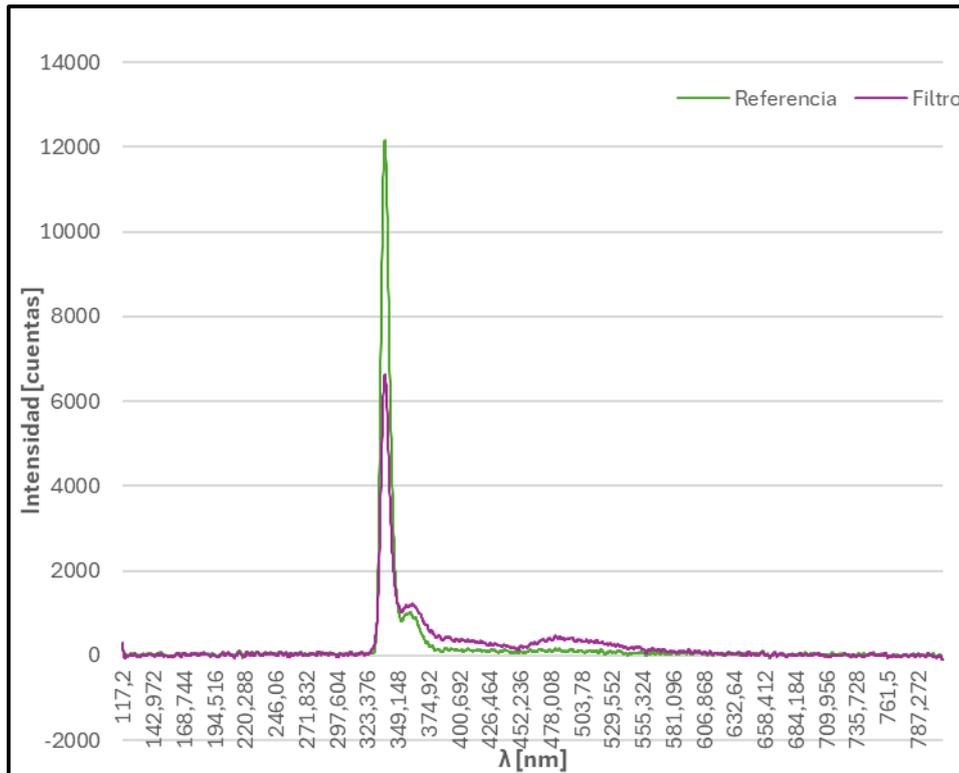


Figura 40 Gráfica obtenida al medir la luz del led UV a través del primer filtro.

Se puede observar en la Figura 40 como la luz se atenúa principalmente entre los 300 y 350 nm, sin embargo, a partir de estos valores hay valores de intensidad de luz mayores estos se pueden dar debido a reflejos dados por la inclinación del filtro.

La segunda prueba se realiza con el filtro 740 OFF BLUE mismo que filtrara la luz según la forma de onda mostrada en la Figura 41, obteniendo así las gráficas que se muestran en la Figura 42.

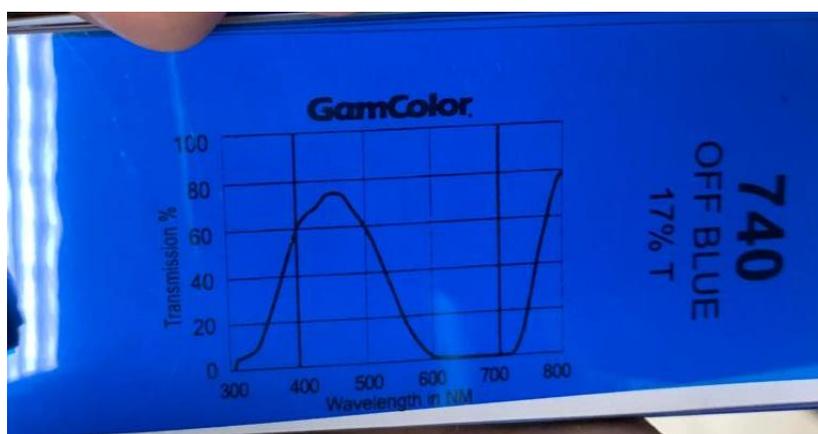


Figura 41 Filtro 740 OFF BLUE.

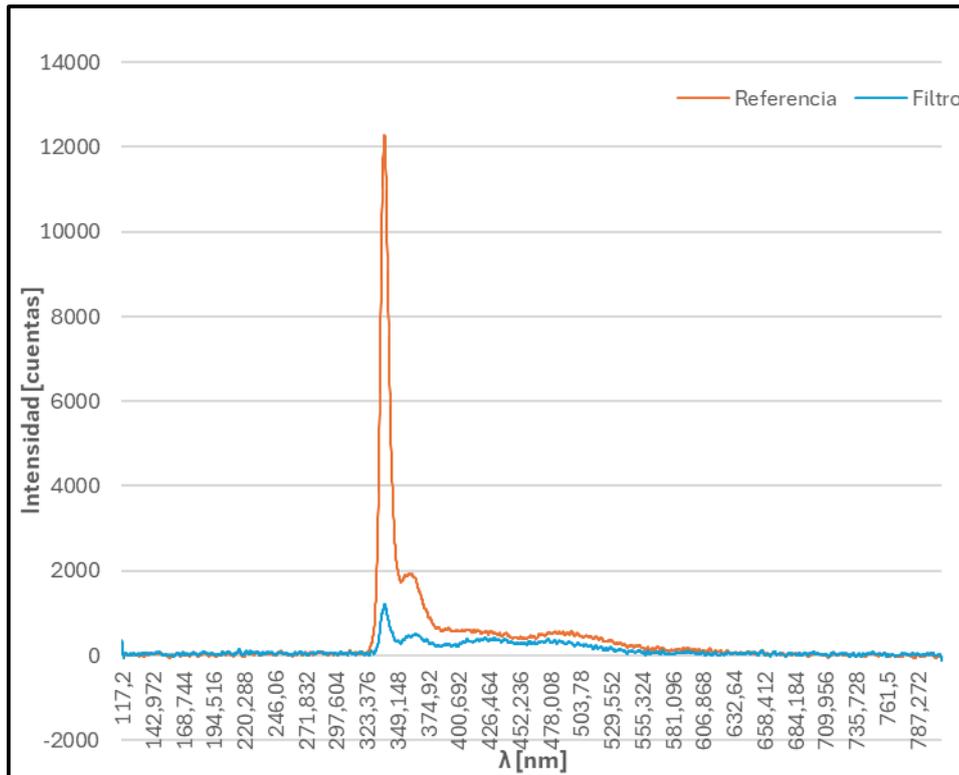


Figura 42 Gráfica obtenida al medir la luz del led UV a través del segundo filtro.

Podemos observar en la Figura 42 como la luz se filtra según la forma de onda del filtro teniendo así un filtro donde entre 400 y 500 nm se tiene el “pico” de luz que se deja pasar.

Finalmente se realiza la prueba con una muestra de plástico de invernadero de manera que podemos observar en la Figura 43 como este filtra totalmente la luz hasta los 400 nm y a partir de eso no filtra más luz de manera que las plantas reciban de manera natural la luz de las demás longitudes de onda filtrando solo la UV

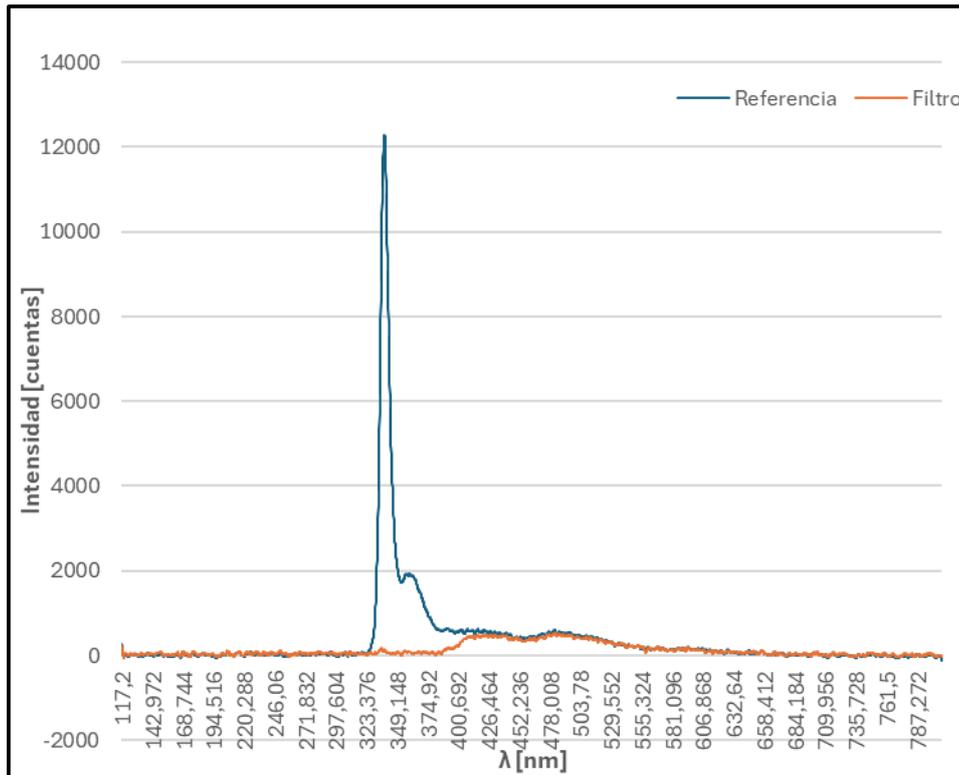


Figura 43 Gráfica obtenida al medir la luz del led UV a través de una muestra de plástico de invernadero.

3.2.2 Resultados obtenidos en Campo

Para las pruebas de campo se realizaron las mismas en la Universidad de Investigación de Tecnología Experimental Yachay, ubicada en San Miguel de Urucuí, en la Hacienda San José (Imbabura, Ecuador). Mismas que fueron realizadas en un Invernadero en los predios de Yachay.

Para realizar las pruebas de la medición del espectro solar de manera correcta se debe establecer un tiempo de integración (tiempo que le toma al espectrómetro tomar datos) en el cual no se saturan las muestras sin ningún filtro, según lo definido en las siguientes figuras. Como resultado concluyente se establece que el tiempo adecuado de integración es de 600 ms.

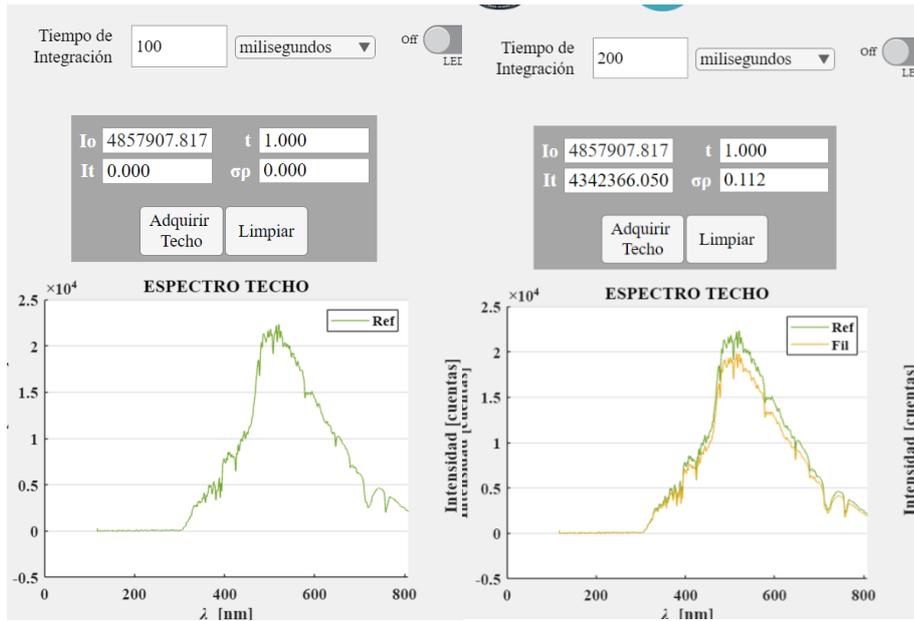


Figura 44. Resultados de las pruebas realizadas para obtención de tiempo de integración

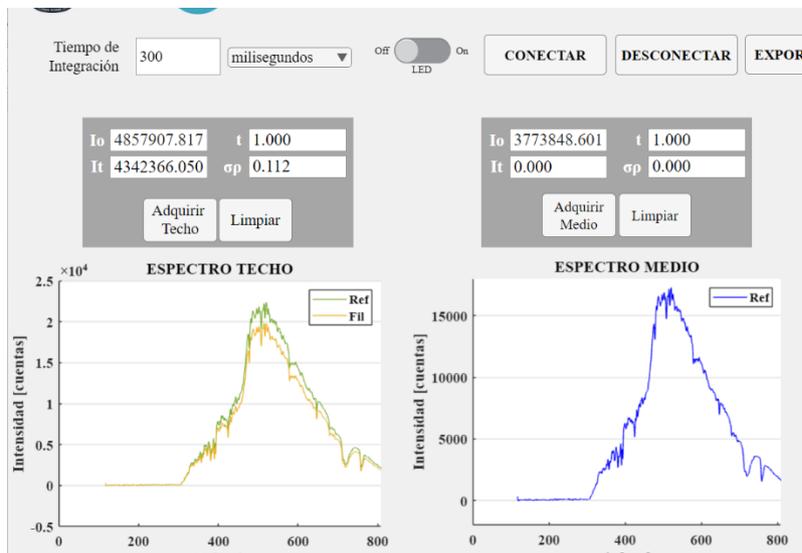


Figura 45. Resultados de las pruebas realizadas para obtención de tiempo de integración

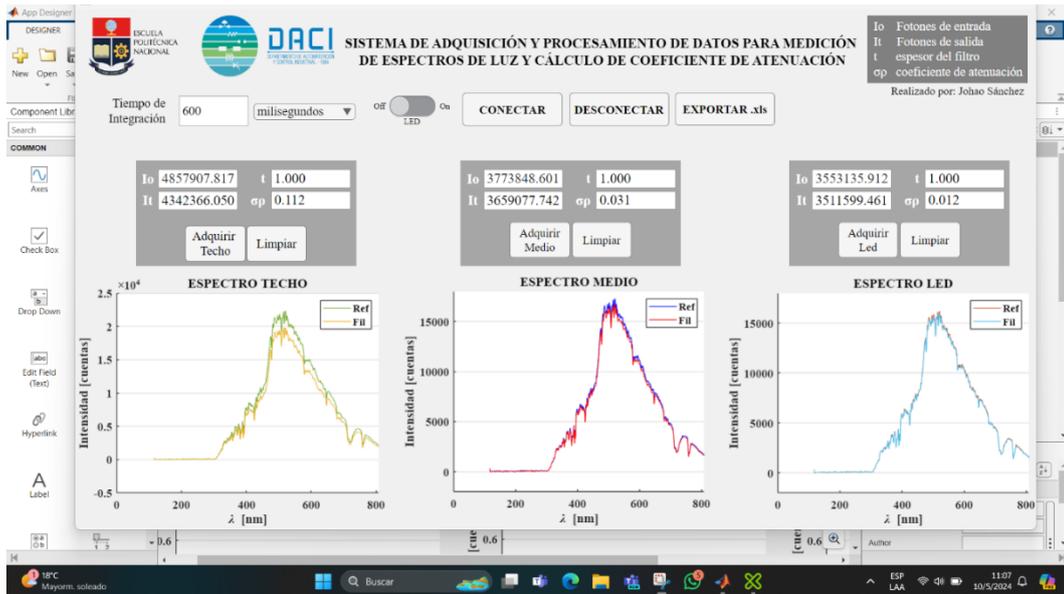


Figura 46. Resultados de las pruebas realizadas para obtención de tiempo de integración

Una vez definido el tiempo de integración adecuado para la toma de muestras se procedió a tomar las respectivas muestras en las distintas configuraciones de nuestro sistema.

Se debe tomar la referencia del sol a en la configuración deseada sin ningún filtro y evitando la generación de sombras por agentes externos y posteriormente realizar la muestra en la misma configuración, pero con el filtro (plástico de invernadero)

En la siguiente figura, se muestran las curvas de relación obtenida en la configuración “techo”. La curva naranja representa la referencia del sol medido sin filtros como se mencionó previamente, mientras que la curva de color celeste representa los datos al colocar el plástico de invernadero. Ambos escenarios se realizaron a la misma altura y evitando cualquier sombra u obstáculo indeseable. Se puede observar en la gráfica una disminución sustancial únicamente en las longitudes de onda hasta los 374 nm de manera que se puede decir que el plástico de invernadero está reduciendo la intensidad lumínica mayoritariamente en el espectro UV.

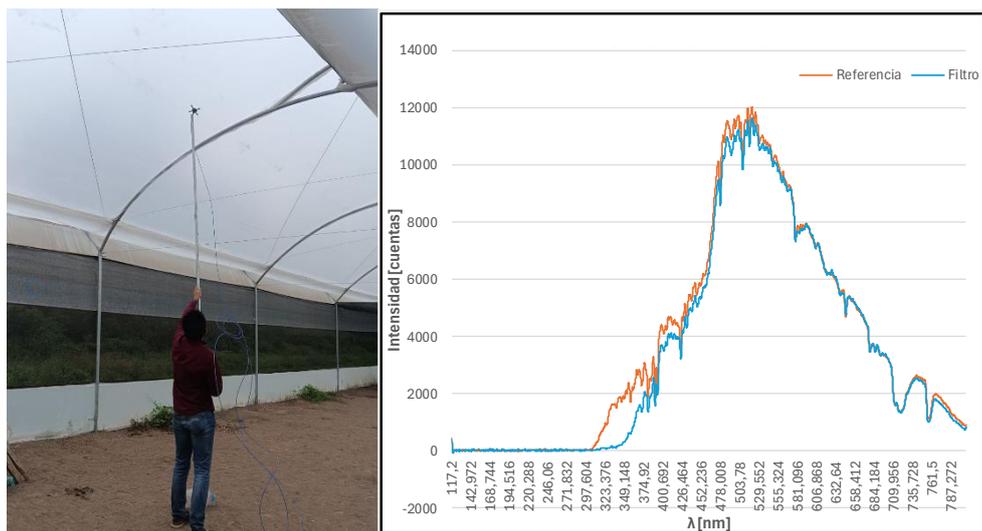


Figura 47. Resultado de la prueba realizada (techo)

Adicionalmente, se realizó otra toma de datos con la misma configuración a la altura del techo en otra posición del invernadero parte en la cual se generó una sombra, debida al polvo ambiental acumulado (condición existente en los invernaderos). En la figura a continuación se muestra los resultados de la medición al existir la sombra mencionada anteriormente en el techo lo cual genera que la curva, antes obtenida, se vea atenuada, lo cual implica que esta denota menor intensidad de luz en todo el rango de las longitudes de onda medidas además del espectro UV obtenido en la medición anterior.

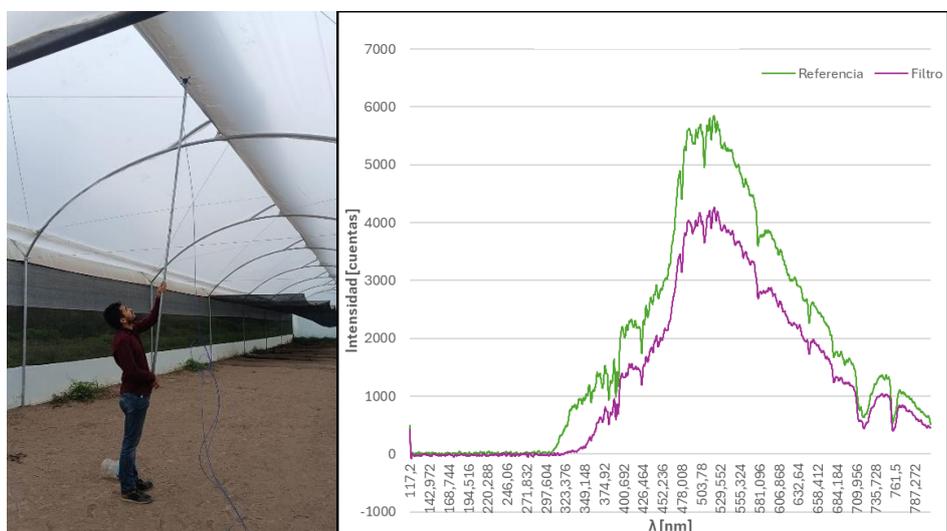


Figura 48. Resultado medición (techo con polvo)

Por último, se realizó las mediciones en la siguiente configuración a nivel del suelo, de la misma manera se tomó primero le referencia del sol sin la existencia de ningún filtro ni

sombra y posteriormente la toma de muestra bajo esta configuración y con una sombra existente por un filtro de luz adicional existente en el invernadero denotando así una disminución de la curva del filtro en todo el rango de las longitudes de onda.

Teniendo, así como se puede observar en la siguiente figura, se obtiene una intensidad de luz menor en comparación a mediciones anteriores debido a la variación de altura y por el filtro de luz adicional existente teniendo así en primera instancia una disminución en las longitudes de onda de la luz UV donde se tiende a cero y en todo el espectro por el filtro adicional implementado a las plantas obteniendo resultados según lo esperado.

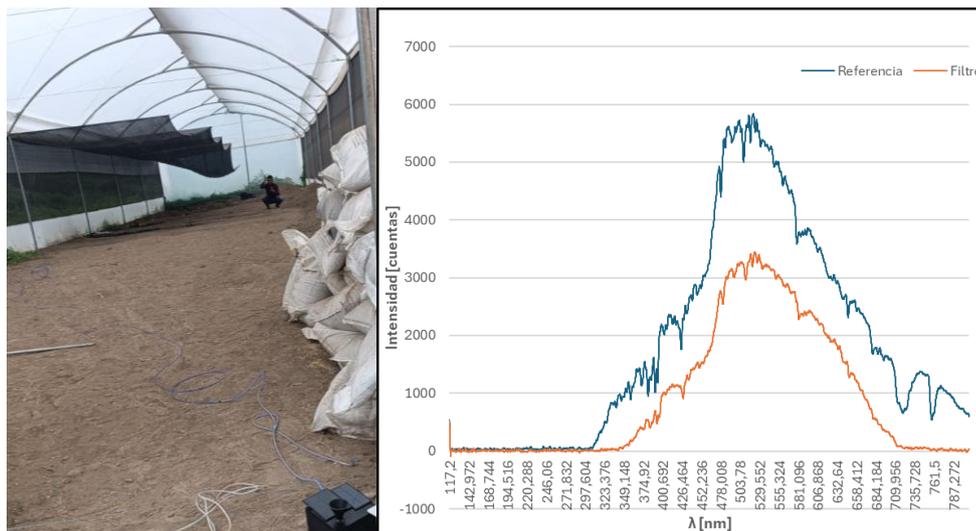


Figura 49. Resultados medición (piso)

Adicionalmente se realizaron pruebas en el Jardín Botánico de Quito, ubicado en el interior del parque “La Carolina”, las pruebas se realizaron en 3 invernaderos interiores del jardín denominados “Invernadero de orquídeas cálidas”, “Invernadero de orquídeas frías” e “Invernadero de plantas carnívoras”

Para los tres invernaderos tomamos tres muestras en distintos puntos de manera que obtuvimos información de distintos puntos según las plantas existentes

Para el invernadero de orquídeas cálidas se tiene en su mayoría se requiere una alta concentración lumínica dentro del invernadero llegando a inclusive amplificar la luz en longitudes de ondas de la región VIS sin embargo existe una filtración de la radiación UV como se puede observar en la figura 50

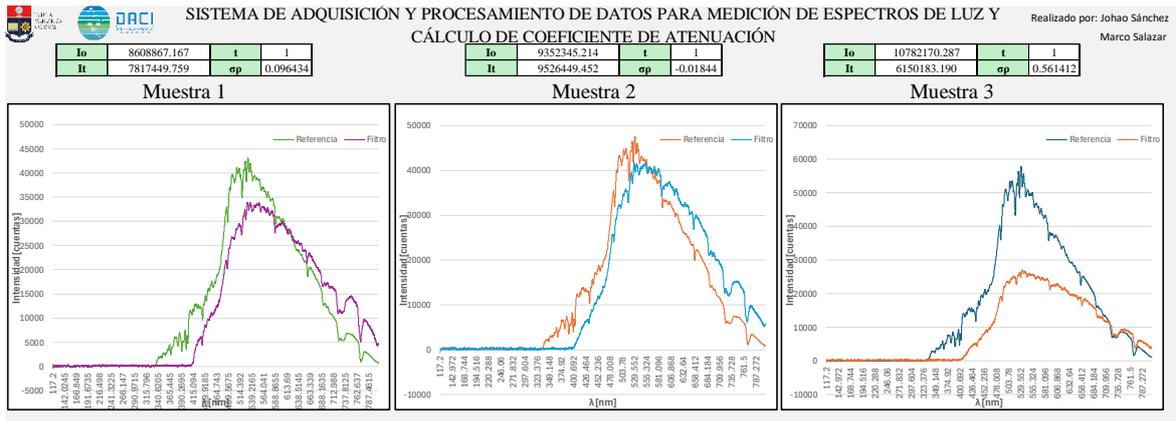


Figura 50 Gráficas obtenidas en 3 puntos del invernadero de orquídeas cálidas

Para el invernaderos de orquídeas frías tenemos que las mismas deben mantener un espacio mayoritariamente oscuro de manera que hay una gran atenuación de la luz sin embargo que por el material que se utiliza en el invernadero tenemos una ampliación de la concentración lumínica para longitudes de onda mayores a 700 nm, podemos observar también en la figura 51 como la región del UV se ve atenuada completamente como se esperaba.

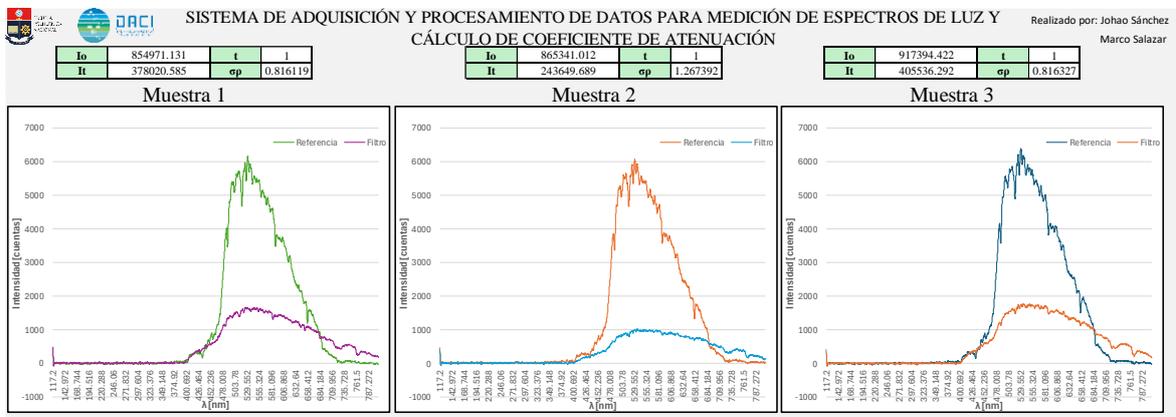


Figura 51 Gráficas obtenidas en 3 puntos del invernadero de orquídeas frías.

Finalmente, para el invernadero de plantas carnívoras se puede observar en la figura 52 como tenemos atenuaciones tanto en la región UV de manera general como características distintas según la sección del invernadero en la que se mida teniendo una sección en la cual se filtra ligeramente la luz en lo demás de las distintas longitudes de onda, otra sección en la cual se amplifica la luz por las propiedades de las plantas que se encontraban en esa sección y finalmente una sección donde se tiene una atenuación casi total de la luz, por un filtro de sombra adicional que existía en esa sección.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se logró diseñar, desarrollar e implementar un sistema de detección de radiación UV con técnicas de espectroscopia óptica para uso en invernaderos agrícolas.

Se logró realizar la revisión bibliográfica sobre sistemas para el monitoreo de radiación UV con sus distintas etapas y componentes.

Se logró realizar el diseño e implementación de un sistema electrónico, mecánico y óptico para el monitoreo de la radiación UV.

Se logró realizar las pruebas y la validación de los resultados obtenidos comparando con datos de equipos comerciales.

Se logró realizar la medición UV en tres instancias importantes para una correcta evaluación de la filtración dada por los distintos plásticos de invernadero, siendo estas instancias a nivel del techo del invernadero, al nivel del piso del invernadero y por medio de muestras de los plásticos.

Se logró implementar un circuito de disparo para realizar el control de un led UV con el cual se pueden probar trozos de plásticos de manera independiente pudiendo así medir su efectividad previamente a ser implementados en invernaderos reales.

Se logró diseñar un HMI mediante el cual se puede controlar la toma de muestras en las tres instancias al igual que un control óptimo del encendido del Led UV variando así la intensidad de luz que se emita en el mismo.

Se logró realizar las pruebas de campo y de laboratorio pudiendo observar el funcionamiento óptimo de los equipos y el HMI desarrollado

4.2 Recomendaciones

Para tener una referencia correcta en los datos se recomienda evitar cualquier sombra existente al igual que dirigir al colimador del techo en la misma dirección que esta implementado el techo del invernadero.

Antes de utilizar el equipo se recomienda leer el manual del usuario para realizar las configuraciones adecuadas en software al igual que para la toma de muestras.

Se recomienda tomar varias muestras dentro de los invernaderos en distintas ubicaciones para poder evaluar de manera real el correcto filtrado del plástico del invernadero.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

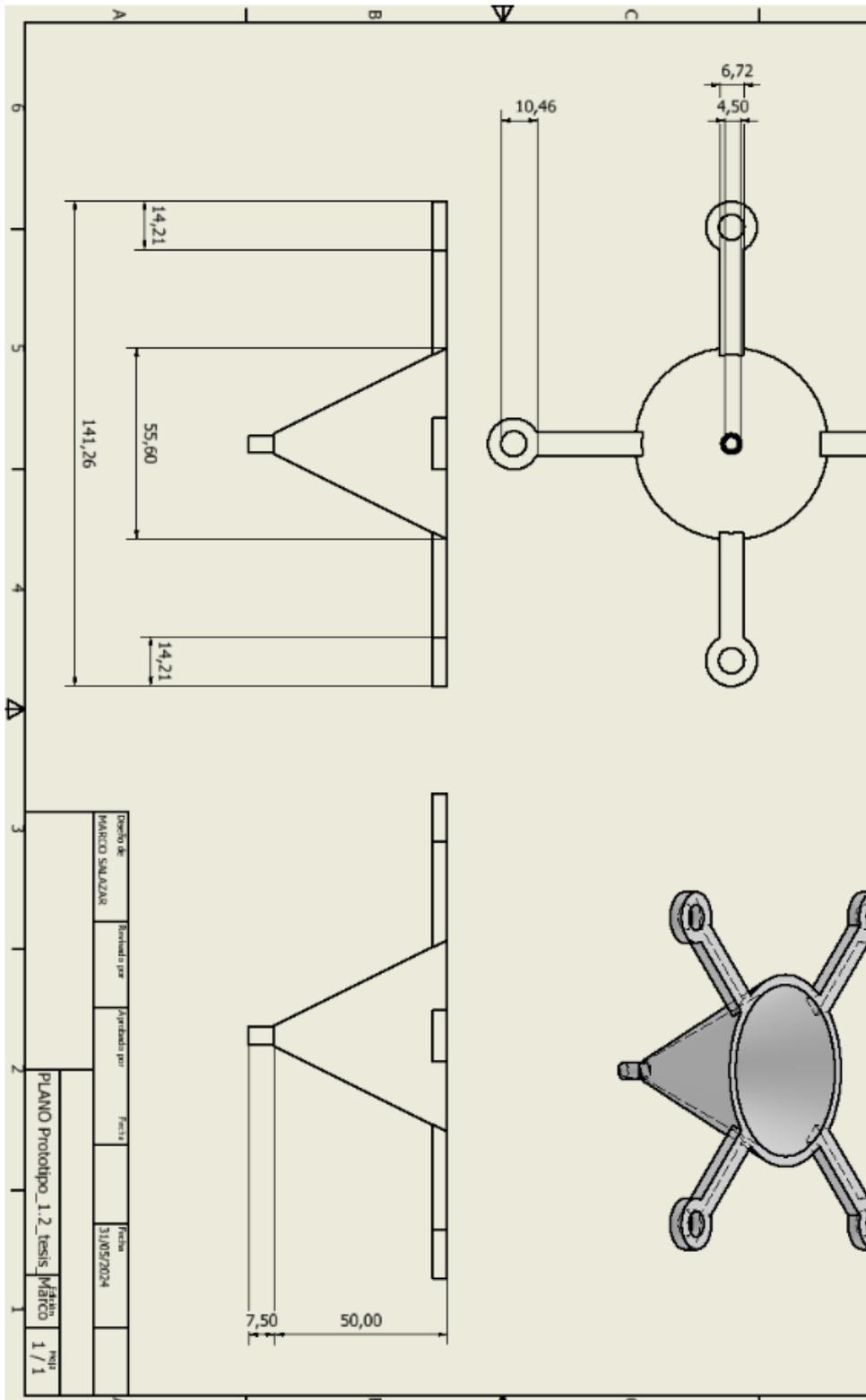
- [1] M. TOLEDO, «Espectroscopia ultravioleta-visible: conceptos básicos». Professionelle Waagen für Gewerbe & Industrie,» [En línea]. Available: https://www.mt.com/es/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/uv-vis-spectroscopy/uvvis-spectroscopy-explained.html. [Último acceso: 10 12 2023].
- [2] DigiKey, «Cómo implementar un circuito de detección espectrofotométrica de alta sensibilidad.,» 14 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-implement-a-high-sensitivity-spectrophotometric-sensing-circuit>. [Último acceso: 10 12 2023].
- [3] M. J. & d. I. T.-D. I. Pérez-Sánchez, «Espectro electromagnético y radioeléctrico: Una visión general. Revista de la Academia Canaria de Ciencias,» 2017. [En línea]. Available: https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf . [Último acceso: 2023 12 2022].
- [4] D. E. Meca Abad, «Evaluación de un plástico fotoselectivo NIR como materia de cubierta de invernadero.,» 2013.
- [5] «Plásticos de Invernaderos - Plástico tipo PE, PVC, EVA, PC,» Fabricantes de Invernaderos y Sistemas de Riego, [En línea]. Available: <https://novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/materiales-y-estructuras/plasticos-invernaderos>. [Último acceso: 10 12 2023].
- [6] D. G. Dalrymple, «Controlled Environment Agriculture: A Global Review of Greenhouse Food Production,» *Economic Research Service, Foreign Agricultural Economic Report*, vol. 89, 1973.
- [7] G. A. a. W. J. R. Giacomelli, «Greenhouse covering systems. HortTechnology,» 1993, pp. 50-58.
- [8] S. H. a. N. C. Wittwer, «Protected cultivation of horticultural crops worldwide,» 1995, pp. 6-23.
- [9] M. a. D. H. Guo, «Stabilization of agricultural films: basics and new development,» de *Proceedings 27th National Agricultural Plastics Congress*, H. G. Taber, 1998, pp. 217-222.
- [10] I. D. U. a. J. M. Z. Vulic, «) Light stabilization of agricultural films. In Proceedings,» de *30th National Agricultural Plastics Congress*, San Diego, 2002.

- [11] D. T. C. H. D. & M. R. M. Krizek, «Spectral Properties of Selected UV-blocking and UV-transmitting Covering Materials with Application for Production of High-value Crops in High Tunnels,» de *31st Annual Meeting of the American Society for Photobiology*, Baltimore, 2003.
- [12] S. J. B. a. R. M. M. Krizek, Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and IJV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce, 1998.
- [13] C. L. M. C. R. P. S. S. J. G. Z. C. V. G. T. M. R. M. M. C. O. E. S. a. A. L. Ballark, Impacts of solar ultraviolet-B radiation on terrestrial ecosystems of Tierra del Fuego, Argentina, 2001.
- [14] P. H. E. R. D. T. K. S. J. B. a. R. M. M. Adamse, An inexpensive setup for assessing the impact of ambient solar ultraviolet radiation on seedlings, 1997.
- [15] C. L. Ballark, «) Stress under the sun: spotlight on ultraviolet-B responses,» *Plant Physiol*, pp. 1725-1727, 2003.
- [16] O. Ocean, «USB4000-UV-VIS,» O. Ocean, [En línea]. Available: <https://oceanoptics.com/product/usb4000-uv-vis-es/>. [Último acceso: 202312].
- [17] H. Optics, «¿Qué es una lente colimadora? - Hyperion Optics,» Hyperion Optics, [En línea]. Available: <http://es.hypoptics.com/what-is-a-collimator-lens.html>. [Último acceso: 04 12 2023].
- [18] P.A.Pancho, «“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO ESPECTRAL PORTÁTIL UTILIZANDO LUZ BLANCA PARA LA CAPTACIÓN DE HUELLAS EN HOJAS DE PLANTAS FLORÍCOLAS”, PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL,» Escuela Politecnica Nacional, 2017. [En línea]. [Último acceso: 10 12 2023].
- [19] G. A. a. W. J. R. Giacomelli, «Greenhouse covering systems. HortTechnology,» 1993, pp. 50-58.
- [20] O. Insight, «UV-Visible Optical Fiber Assembly,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.oceaninsight.com/products/fibers-and-probes/fibers/patch-cords/uv-vis-fibers/>. [Último acceso: 2023 12 15].
- [21] R. LaserTechnik, «UVLUX320-5 Datasheet,» Roithner LaserTechnik, [En línea]. Available: <https://www.roithner-laser.com/pricelist.pdf>. [Último acceso: 2023 12 10].
- [22] Arduino, «Arduino Pro Mini,» [En línea]. Available: <https://docs.arduino.cc/retired/boards/arduino-pro-mini/>. [Último acceso: 10 12 2023].
- [23] O. Insight, «QR400-ANGLE-UV,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.oceaninsight.com/products/fibers-and-probes/probes/reflectionbackscatter-probes/qr400-angle-uv/?qty=1>. [Último acceso: 10 12 2023].
- [24] ThorLabs, «UV Fused Silica Plano-Convex Lenses,» ThorLabs, 2022. [En línea]. Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=6532. [Último acceso: 15 Diciembre 2023].

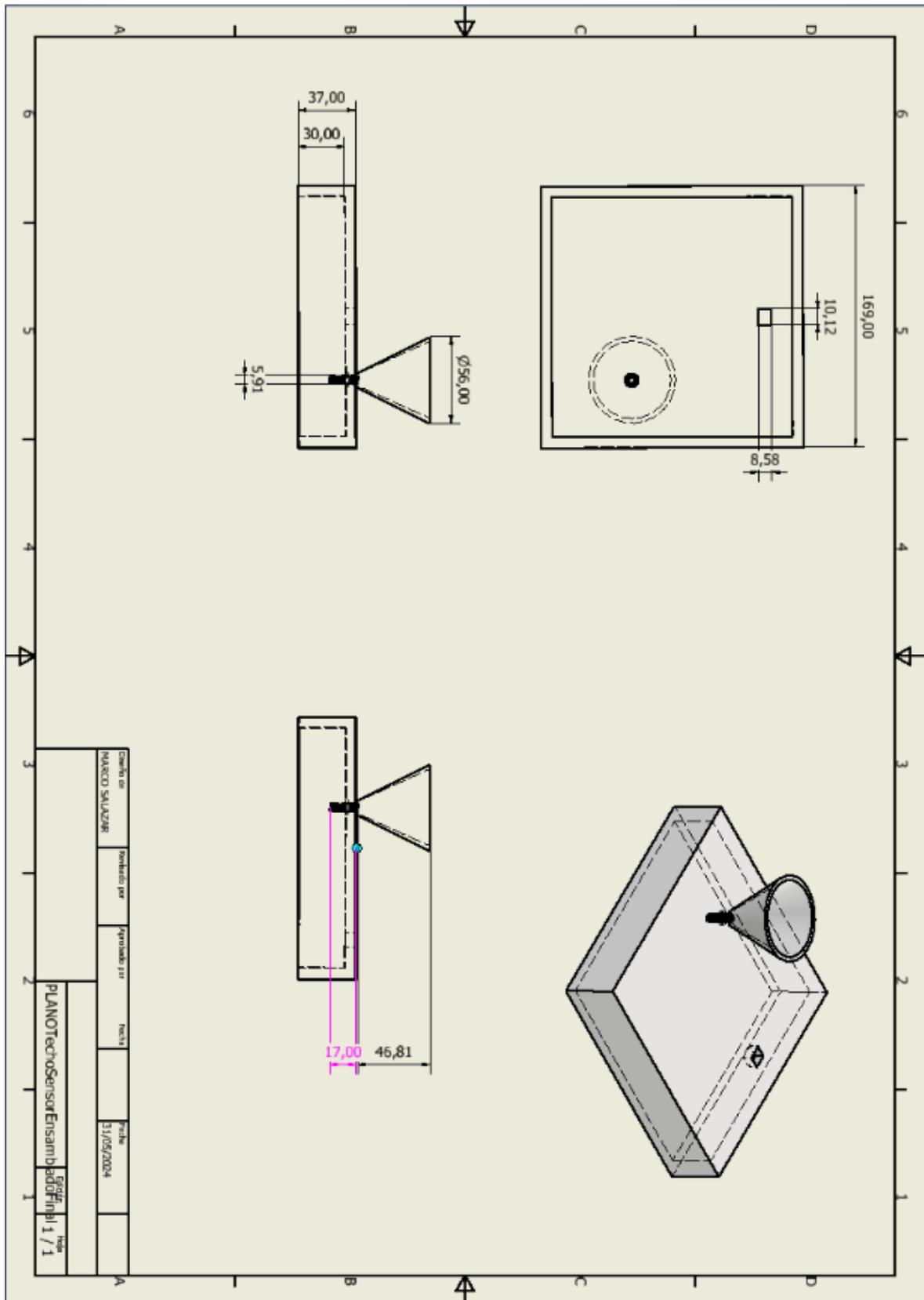
- [25] M. S. U. B. o. Trustees, «OCEAN OPTICS FLAME – MINIATURE FIBER OPTIC SPECTROMETER,» [En línea]. Available: <https://www.egr.msu.edu/psp/equipment/ocean-optics-flame-%E2%80%93-miniature-fiber-optic-spectrometer>. [Último acceso: 01 07 `2024].
- [26] L. Carvajal, Metodología de la Investigación Científica. Curso general y aplicado, 28 ed., Santiago de Cali: U.S.C., 2006, p. 139.

6 ANEXOS

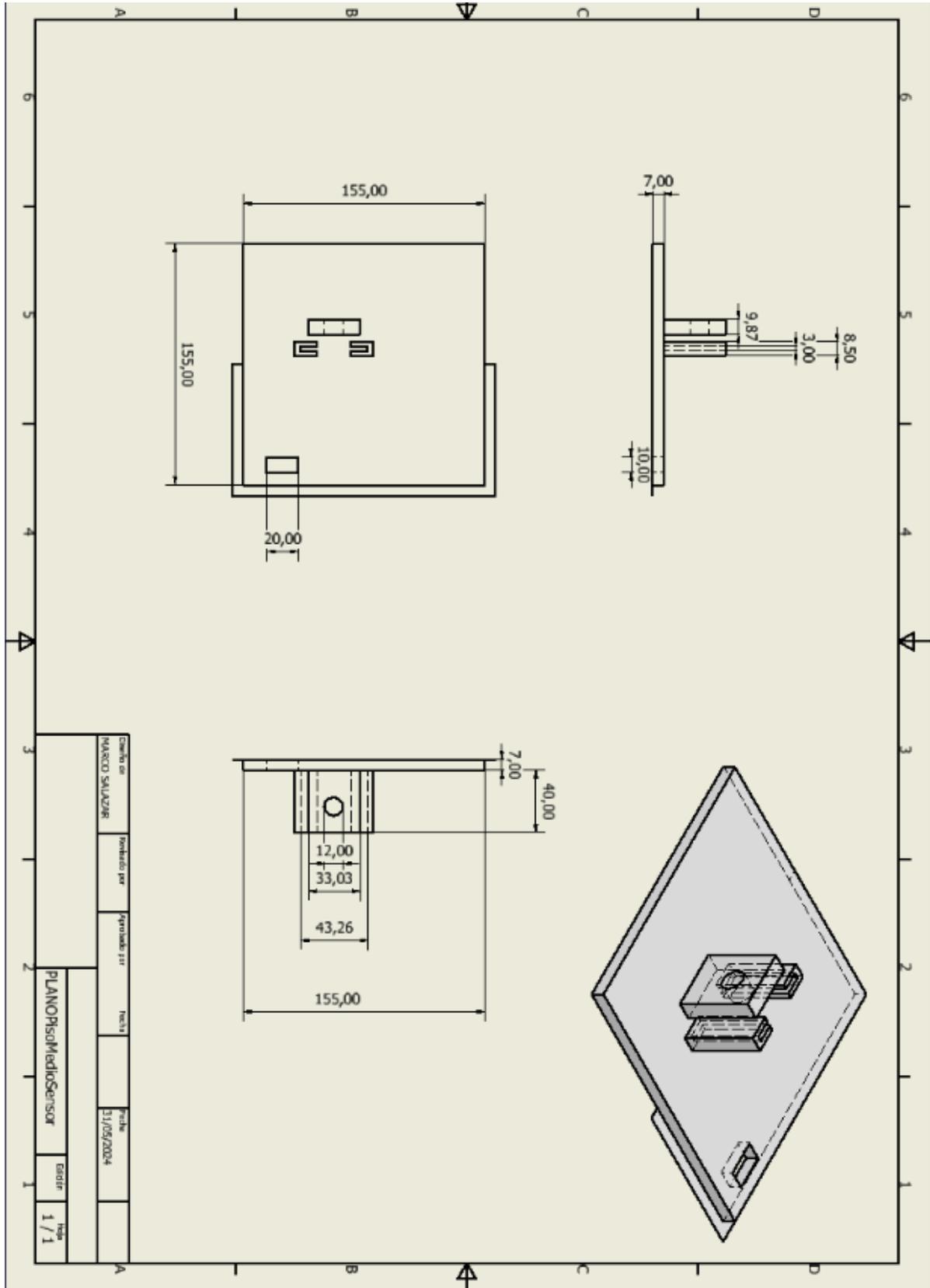
6.1 Plano del diseño implementado del colimador del techo de invernadero.



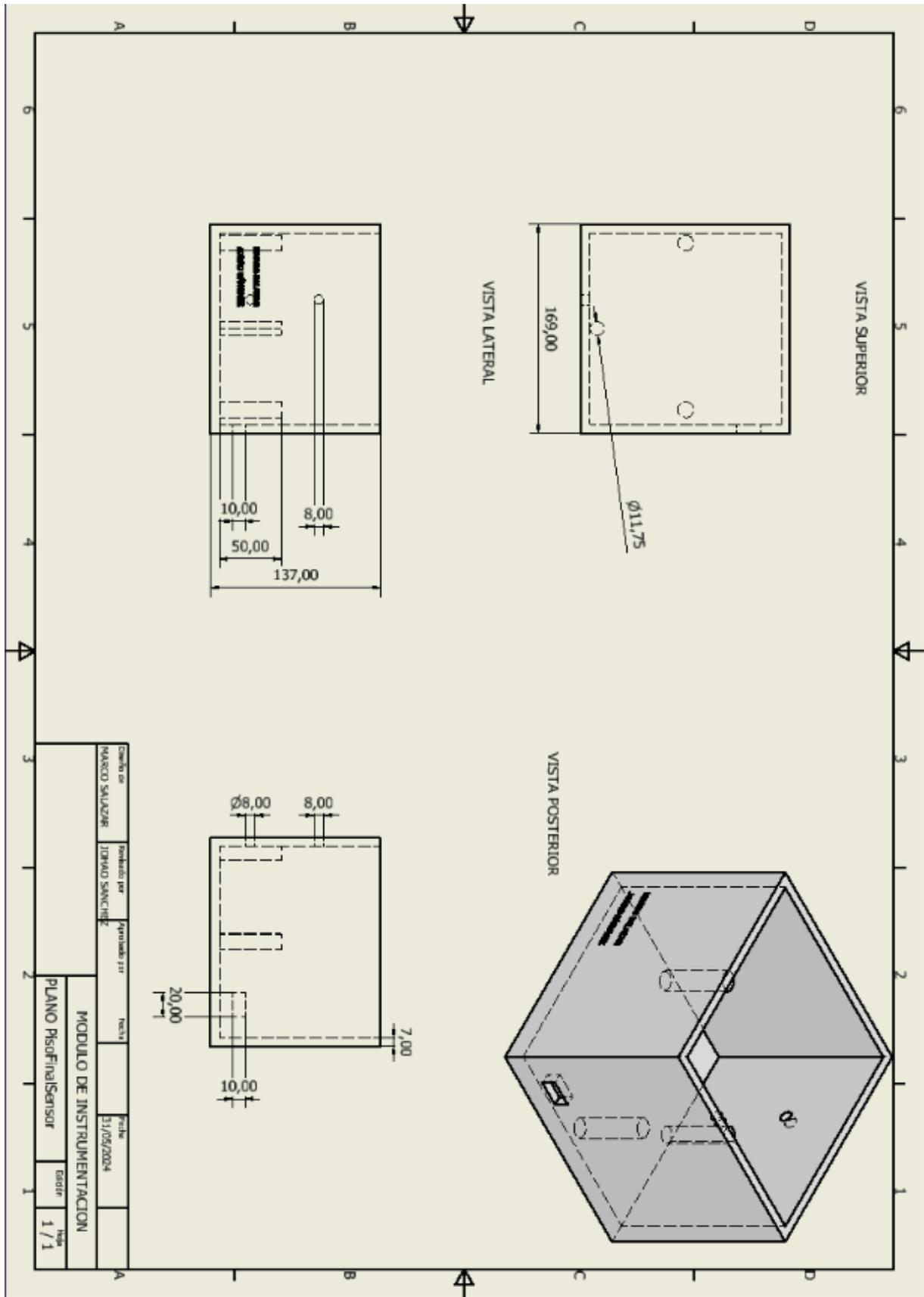
6.2 Plano del diseño implementado del techo del prototipo con la colimación de piso.



6.3 Plano del diseño implementado de la base intermedia donde se ubica el led UV.



6.4 Plano del cuerpo del prototipo



6.5 Evidencia de toma de datos en el invernadero de Quito



6.6 Código de microcontrolador

////////////////////Realizado por: Johao Sánchez, Marco Salazar////////////////

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h> //

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2); // dirección de esclavo

int valorA0 = 0;

int valorA1 = 0;

int valorA2 = 0;

double vc1 = 0.0;

double vc2 = 0.0;

double vc3 = 0.0;

double vct = 0.0;

////////////////////////////////////

char tipo_serial = 0;

String inteLED;

int led = 9;

////////////////////////////////////

void setup() {

//BLUETOOTH

  Serial.begin(19200);

  pinMode(led, OUTPUT);

  pinMode(con, OUTPUT);

  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

////////////////////////////////////

//Configuración de display

  lcd.init();

  lcd.backlight();

```

```
lcd.clear();  
  
////////////////////////////////////  
  
//Configuración A/D  
  
analogReference(DEFAULT);  
  
pinMode(A0, INPUT);  
  
pinMode(A1, INPUT);  
  
pinMode(A2, INPUT);  
  
////////////////////////////////////  
  
}
```

```
void loop() {  
  
////////////////////////////////////  
  
//BLUETOOTH  
  
while(Serial.available()){  
  
    tipo_serial = Serial.read();  
  
    delay(10);  
  
    switch(tipo_serial){  
  
        case 'e':  
  
            digitalWrite(led,LOW);  
  
            break;  
  
        case 'p':  
  
            digitalWrite(led,HIGH);  
  
            break;  
  
        case 'z':
```

```
analogWrite(led,0);  
break;  
case 'y':  
analogWrite(led,20);  
break;  
case 'x':  
analogWrite(led,40);  
break;  
case 'w':  
analogWrite(led,60);  
break;  
analogWrite(led,80);  
break;  
case 'v':  
analogWrite(led,100);  
break;  
case 'u':  
analogWrite(led,120);  
break;  
analogWrite(led,140);  
break;  
case 't':  
analogWrite(led,180);  
break;
```

```

    case 's':
        analogWrite(led,200);
        break;
        analogWrite(led,220);
        break;
    case 'r':
        analogWrite(led,240);
        break;
    case 'q':
        analogWrite(led,255);
        break;
    }
}

////////////////////////////////////

lcd.clear();

valorA0 = analogRead(A0);

vc1 = valorA0*(0.0162597402597403) - (valorA1*(0.011474359)-0.6) - 0.3;

lcd.display();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" B1");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.println(vc1);

valorA1 = analogRead(A1);

```

```
vc2 = valorA1*(0.011474359)-0.9 - (valorA2*(0.00581717451523546)-0.1)-0.7;

lcd.display();

lcd.setCursor(7,0);

lcd.print("B2");

lcd.setCursor(6,1);

lcd.print(vc2);

valorA2 = analogRead(A2);

vc3 = valorA2*(0.00581717451523546)-0.2;

lcd.display();

lcd.setCursor(13,0);

lcd.print("B3");

lcd.setCursor(12,1);

lcd.print(vc3);

delay(100);

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

}
```