



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**“Desarrollo de un Dispositivo Instrumentado para Medición de
Intensidad de Radiación Ultravioleta (DIMIRUV).”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA

PRESENTA:

HUGO DANIEL ABARCA AGUILAR

ASESORES:

Dr. LUIS ADRIÁN ZÚÑIGA AVILÉS

Dra. MIRIAM SÁNCHEZ POZOS

TOLUCA, MÉXICO

2025

**Desarrollo de un Dispositivo Instrumentado para Medición de
Intensidad de Radiación Ultravioleta (DIMIRUV)**

RESUMEN.

Este trabajo de investigación se centra en el desarrollo de un dispositivo para la medición de la radiación ultravioleta (UV) denominado DIMIRUV, colocado dentro de un concentrador solar que se encuentra en la Facultad de ingeniería desarrollado por la Dra. Miriam Sánchez Pozos. La necesidad de este proyecto se fundamenta en la importancia de monitorear la intensidad de radiación UV en la zona focal del concentrador solar, en tiempo real.

La metodología empleada involucró sensores UV compatibles con Arduino como plataforma de desarrollo, siendo parte integral del dispositivo. Estos componentes tecnológicos proporcionan una plataforma versátil y eficaz para la medición de radiación UV y como principal objetivo el reducir costos para este dispositivo.

Los resultados de la investigación destacan la viabilidad y eficiencia del dispositivo DIMIRUV para medir la intensidad de la radiación UV, de manera segura y sin riesgos físicos, dentro del concentrador solar. De tal forma que el dispositivo DIMIRUV permite realizar mediciones fiables de los niveles de radiación UV concentrada. La integración de sensores UV y Arduino han demostrado ser una solución efectiva y accesible para la medición de radiación ultravioleta.

Palabras clave: sensores UV, Arduino

ABSTRACT.

This thesis presents the development of the DIMURUV (Instrumented Device for Measuring Ultraviolet Radiation), a solar radiation device designed for educational purposes. The main aim was to create a smaller and more affordable solar concentrator, compared to its predecessor (MX/a/2015/000346), utilizing accessible UV sensors such as the GUVA S12SD and ML8511. These sensors replace high-end alternatives to reduce cost in academic settings. The device integrates a touch screen TFT ILI9341 display and Arduino® as its microcontroller, along with a microSD card for data storage, enabling users to export readings into Excel for further analysis.

Experimental tests were conducted using UV radiation from a reptile lamp, followed by outdoor test under direct sunlight. While indoor measurements showed some variability, the device produced acceptable readings when exposed to natural UV radiation. Comparative analysis with high-end sensor FLA63 Alborn confirmed the DIMIRUV's accuracy within a permissible range. Additionally, the reduced cost of components demonstrated the device's feasibility for educational settings.

The DIMIRUV has potential for further development, including real time data transmission and remote logging into Excel, as well as the integration of additional sensors by upgrading to an Arduino Mega. This project concludes that smaller, cost-effective solar concentrators can be manufactured with acceptable accuracy, facilitating their application in academic research and experimental labs.

ÍNDICE GENERAL.

ÍNDICE DE FIGURAS.	1
ÍNDICE DE TABLAS.	3
ÍNDICE DE GRÁFICAS.	4
NOMENCLATURA.	5
INTRODUCCIÓN.	6
Capítulo 1. Marco teórico.	8
1.1 Importancia de la radiación solar.	8
1.2 Luz.	9
1.3 Espectro electromagnético.	10
1.4 Distribución espectral de la radiación solar.	11
1.5 La longitud de onda, fotones y energía.	13
1.4 Radiación ultravioleta.	14
1.5.1 Radiación UV-A.	15
1.5.2 Radiación UV-B.	15
1.5.3 Radiación UV-C.	15
1.6 Elementos de radiometría.	16
1.7 Las ondas electromagnéticas.	17
1.8 Índice UV.	19
1.8.1 Medida de la radiación ultravioleta y cálculo del índice UV.	20
1.9 Arduino.	21
Capítulo 2. Estado del Arte.	33
Capítulo 3. Planteamiento metodológico.	37
Justificación.	39
Planteamiento del problema.	40
Hipótesis.	41
Objetivo general y particulares:	41
Objetivo general.	41
Objetivos específicos:	41
Alcance y limitaciones.	42
Alcance:	42
Limitaciones:	42

Capítulo 4. Diseño del Dispositivo DIMIRUV.	44
4.1 Datos generales de los sensores UV.	44
4.1.1 Sensor de rayos UV GUVA-S12SD.	45
4.1.2 Sensor ML8511.	47
4.2 Conexión de sensores.	50
4.2.1 Conexión del sensor GUVA S12SD.	50
4.2.2 Explicación del código para sensores de detección UV Arduino:	51
4.2.3 Conexión del sensor ML-8511.	58
4.2.4 Explicación de programación en el sensor ML-8511.	59
4.3 Incorporación de memoria MicroSD.	61
4.3.1 Memorias SD.	61
4.3.2 Conexión entre Arduino y modulo SD y microSD.	63
4.3.3 Guardando datos en la SD (Datalogger).	65
4.3.4 Exportando los datos del Datalogger a Excel.	67
4.4 Incorporación de pantalla ILI9341.	73
4.4.1 Pantalla ILI9341.	73
4.4.2 Conexión entre la pantalla TFT y Arduino.	75
Capítulo 5. Construcción y Validación del DIMIRUV.	79
5.1 Construcción del DIMIRUV.	79
5.1.1 Diagrama estructural.	80
5.1.2 Proceso de construcción del dispositivo DIMIRUV.	81
5.2 Evaluación del DIMIRUV.	82
5.2.1 Protocolo de pruebas.	82
5.2.2 Diagrama de flujo de pruebas y resultados.	83
Capítulo 6. Ficha de especificaciones técnicas y Costo del prototipo.	94
6.1 Ficha de especificaciones técnicas del DIMIRUV.	94
6.2 Costo del prototipo.	95
Conclusiones y trabajos futuros.	98
Trabajos futuros.	99
Referencias.	101
Anexos.	108

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Emisión de radio de onda del sol.[15].....	8
Figura 2: Efectos fisiológicos positivos y negativos de la radiación.[16]	9
Figura 3: Espectro electromagnético. [17]	11
Figura 4: Longitudes de onda del espectro electromagnético.[18].....	12
Figura 5: Onda continua.[19].....	13
Figura 6: Energía irradiada por el sol y la tierra. [20]	16
Figura 7: Onda electromagnética.[21]	17
Figura 8: Rango de longitudes.[22]	18
Figura 9: Guía práctica sobre el índice UV. [23].....	19
Figura 10: Rango de longitud de onda GUVA-S12SD. [24]	20
Figura 11: Sensores GUVA-S12SD. [25].....	45
Figura 12: Circuito electrónico de acondicionamiento GUVA-S12SD.[26]	46
Figura 13: Intensidad grafica en el sensor ML8511.[27]	47
Figura 14: Diagrama electrónico ML8511.[28].....	49
Figura 15: Diagrama de conexión GUVA S12SD. [29]	50
Figura 16: Datos del sensor. [30]	51
Figura 17: Datos del sensor. [31]	52
Figura 18: Diagrama de conexión.[32]	52
Figura 19: Conexión física del sensor UV.[33].....	53
Figura 20: Sensor GUVA-S12SD keyes. [34]	53
Figura 21: Datos sensor.[35]	54
Figura 22: Datos del sensor.[36]	54
Figura 23: Diagrama de conexión.[37]	55
Figura 24: Conexión física del sensor GUVA-S12SD.[38]	55
Figura 25: Sensor de detección UV.[39].....	56
Figura 26: Datos del sensor.[40]	56
Figura 27: Datos del sensor.[41]	57
Figura 28: Conexión física del sensor.[42]	57
Figura 29: Diagrama de conexión sensor ML8511.[43]	58
Figura 30: Rangos del espectro electromagnético.[44].....	59
Figura 31: Conexión física de los 4 sensores.[45]	60
Figura 32: Sensores dentro del concentrador solar.[46]	60
Figura 33: Tipos de memorias SD.[47]	61
Figura 34: Modulo microSD card. [48].....	62
Figura 35: Modulo SD card. [49].....	62
Figura 36: Adaptador de memoria microSD card. [50].....	63

Figura 37: Diagrama de conexión modulo SD.[51].	64
Figura 38: Diagrama de conexión para módulo microSD.[52]	64
Figura 39: Monitor serial prueba de código.[53]	65
Figura 40: Conexiones físicas de los sensores y el módulo microSD para Arduino.[54]	65
Figura 41: Proceso de programación de sensores y modulo micro SD.[56]	66
Figura 42: Proceso de programación de los sensores y módulo micro SD.[55]	66
Figura 43: Sensores acoplados a la estructura del modelo experimental para DIMIRUV.[57]	66
Figura 44: Muestras guardadas en la memoria SD. [58]	68
Figura 45: Adquisición de las muestras en Excel. [59]	68
Figura 46: Selección de archivos a importar.[60]	68
Figura 47: Ordenamiento de las muestras.[61]	69
Figura 48: Cuadro para asignación de separadores.[62]	69
Figura 49: Formato de tablas.[63]	70
Figura 50: Punto de inicio en nuestras tablas de Excel. [64]	70
Figura 51: Pantalla táctil ILI9341.[65]	74
Figura 52: Conversor de nivel lógico bidireccional.[66]	74
Figura 53: Arduino UNO.[67]	75
Figura 54: Conexión de Arduino al conversor analógico a la pantalla ILI9341.[68]	76
Figura 55: Circuito de conexión directa sin conversor de nivel lógico en protoboard.[69]	76
Figura 56: Diagrama esquemático de conexiones.[70]	77
Figura 57: Pantalla ILI9341 en Arduino.[71]	77
Figura 58: Construcción del prototipo DIMIRUV.[73]	79
Figura 59: Diagrama estructural del prototipo DIMIRUV.[74]	80
Figura 60: Prueba de funcionamiento sensores UV.	84
Figura 61: Activación individual de los sensores UV.	85
Figura 62: Prueba de registro de las lecturas en monitor serial.	86
Figura 63: Comprobación de funcionamiento de los 4 sensores.	87
Figura 64: Incorporación de memoria micro SD.	88
Figura 65: Modificación del código.	89
Figura 66: Incorporación de pantalla.	90
Figura 67: Validación de DIMIRUV.	91
Figura 68: Instalación de sensores uv en DIMIRUV.	92

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Criterios de la comisión Internationale de l'Eclairage (CIE).....	18
Tabla 2: Tipos de Arduino disponibles en el mercado.	30
Tabla 3: Variantes de sensores UV.	33
Tabla 4: Proyectos similares en radiación UV.	34
Tabla 5: Comparativa entre sensores gama alta y académicos.	35
Tabla 6: Identificación de pines.	49
Tabla 7: Principios de operación.	50
Tabla 8: Tabla de conexiones para el módulo SD.	63
Tabla 9: Tabla de conexiones de módulo microSD.	64
Tabla 10: Correlación entre sensores.	71
Tabla 11: Media aritmética de cada sensor.	72
Tabla 12: Desviación estándar: GUVA S12SD ROJO, GUVA AZUL S12SD, sensor ML-8511, sensor UV GUVA S12SD pequeño.	72
Tabla 13: Cálculo del error estándar de los sensores.	73
Tabla 14: Estandarización del error de los sensores UV.	73
Tabla 15: Tabla de conexiones entre la pantalla ili9341 y Arduino.	75
Tabla 16: Costo de elaboración de DIMIRUV.	95
Tabla 17: Desglose de gastos de desarrollo	96

ÍNDICE DE GRÁFICAS.

Grafica 1:Niveles de índice UV.	21
Grafica 2: Comparación entre los sensores.	71

NOMENCLATURA.

UV: Ultravioleta.

OEM: Ondas electromagnéticas.

ADC: Conversor analógico digital.

MCU: Unidad microelectrónica.

UVI: Índice ultravioleta.

I2C: Inter-integrated circuit

V: Volts

mV: Mili-volts.

SD: Secure digital.

SDSC: Secure digital standard capacity

SDHC: Secure digital high capacity.

SDXC: Secure digital extended capacity.

SDIO: Secure digital input / output.

SPI: Serial peripheral interface.

TTL: Transistor-transistor logic.

TFT: Thin-film transistor.

IDE: Entorno de desarrollo integrado.

INTRODUCCIÓN.

En el ámbito contemporáneo, los sensores ultravioletas (UV) han emergido como herramientas fundamentales en una amplia gama de aplicaciones, desde la protección solar hasta la vigilancia ambiental. Los sensores UV están diseñados para detectar la radiación ultravioleta en un espectro electromagnético que no se encuentra visible al ojo humano, estos dispositivos han evolucionado desde fósforos sensibles a la luz UV en el siglo XX, hacia tecnologías más sofisticadas como sensores fotoeléctricos y foto detectores específicos para diferentes longitudes de onda UV.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar e implementar dispositivos instrumentados de bajo costo para la medición de radiación UV en entornos relevantes, no solo en laboratorios controlados. El desarrollo de este dispositivo nombrado DIMIRUV busca garantizar la medición de la intensidad de radiación solar mediante sensores electrónicos UV compatibles y programables con Arduino, permitiendo realizar pruebas en entornos específicos programados. En el presente trabajo, se explora en detalle las características y aplicaciones de los dispositivos UV, destacando la construcción y evaluación de DIMIRUV.

Para lograr este objetivo, el dispositivo DIMIRUV se construye en un nivel de preparación tecnológica TRL3, con una estructura que incluye la evaluación de cuatro sensores UV comerciales y una lámpara UV para las pruebas iniciales. Los sensores adquiridos están diseñados para medir el espectro de radiación electromagnética en el rango de 200 a 380nm, en donde los datos obtenidos se almacenarán en una memoria microSD para su posterior análisis mediante herramientas de Excel.

Cabe destacar algunas de las limitaciones en el desarrollo de DIMIRUV. Por ejemplo, no se realizarán experimentaciones de degradación de polímeros, y la unidad de medición se expresará en mW/cm^2 . Además, el diseño no incluirá una placa fenólica para los componentes, y aunque se incluye la pantalla ILI9341, la misma pantalla no dispone de un controlador para la habilitación de su función táctil.

Capítulo 1.

Marco teórico

Capítulo 1. Marco teórico.

1.1 Importancia de la radiación solar.

La energía solar es la radiación proveniente del Sol, que se irradia en todas las direcciones a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Este flujo de energía es fundamental para influir en procesos atmosféricos y en la regulación del clima. Esta energía, generada por las reacciones de fusión nuclear en el núcleo solar, es emitida desde la superficie del Sol. [2]

El Sol emite esta energía en forma de radiación de onda corta, después de atravesar la atmósfera en donde experimenta un proceso de atenuación debido a la difusión, la reflexión en las nubes y la absorción por parte de las moléculas gaseosas como el ozono y el vapor de agua, así como por partículas en suspensión, la radiación solar llega a la superficie terrestre ya sea oceánica o continental. En este punto, la radiación puede ser reflejada o absorbida por la superficie. La porción de radiación absorbida es luego de vuelta hacia el espacio exterior en forma radiación de onda larga, transfiriendo calor a la atmósfera, como se muestra en la Figura 1. [2]

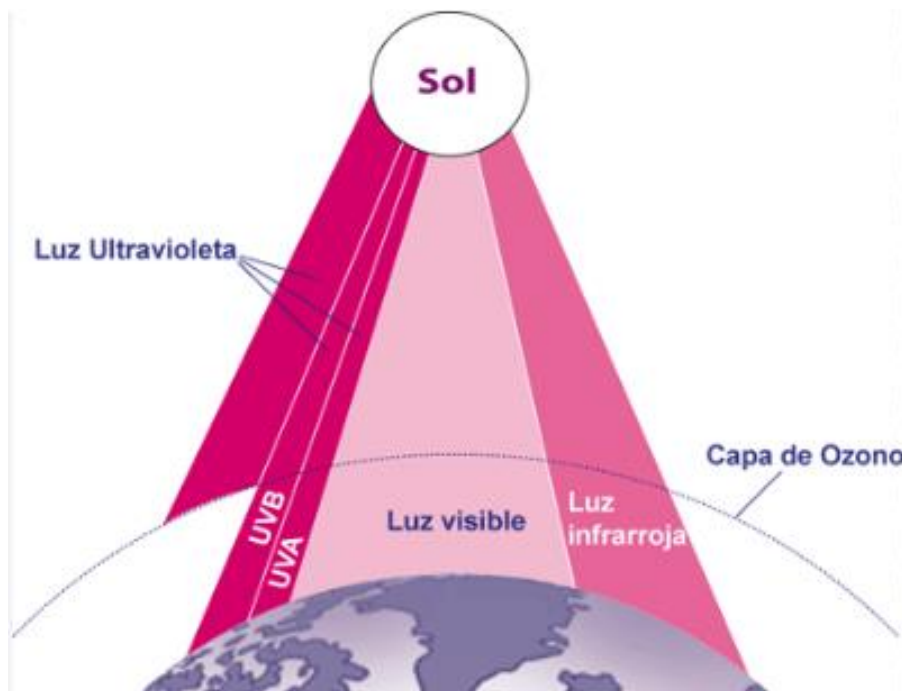


Figura 1: Emisión de radio de onda del sol.[15]

Medir la radiación solar resulta crucial para una amplia gama de aplicaciones de diversos campos como: ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología. Dentro de estas áreas destacan varias utilidades: su empleo como fuente de alternativa de energía en la generación de electricidad y en

el diseño de sistemas de calentamiento de agua; el diseño de edificios e infraestructura; la deshidratación de alimentos; implicaciones en la salud como el cáncer de piel o tratamientos curativos como se muestra en la Figura 2; el análisis de la evaporación e irrigación; su importante rol en los modelos de calidad de aire y de predicción del tiempo climático, y muchas otras aplicaciones y usos se emplean con radiación solar.

La radiación solar ofrece efectos fisiológicos positivos, incluyendo la estimulación de la síntesis de la vitamina D, que ayuda a prevenir el raquitismo y la osteoporosis; mejora la circulación sanguínea; contribuye al tratamiento de algunas enfermedades de la piel; y en ciertos casos estimula la producción de neurotransmisores cerebrales asociados con el estado de ánimo.

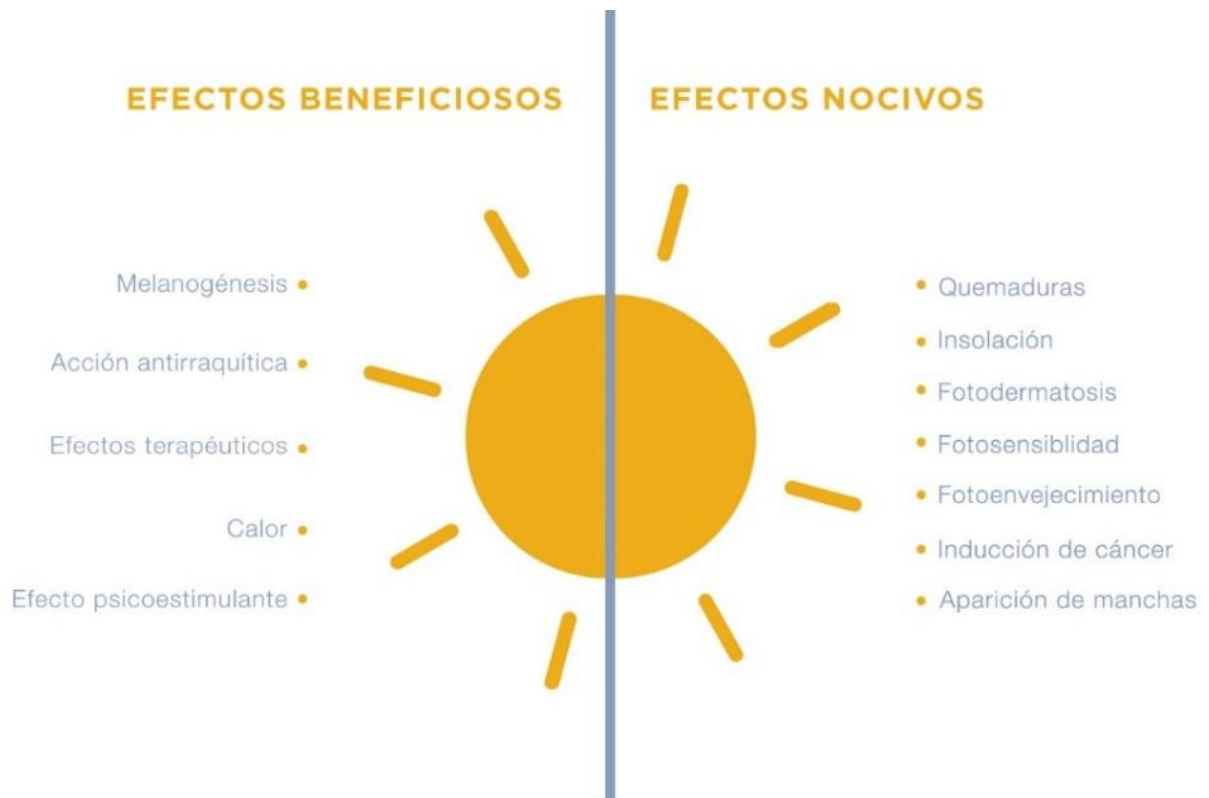


Figura 2: Efectos fisiológicos positivos y negativos de la radiación.[16]

1.2 Luz.

La luz como la conocemos es la porción del espectro electromagnético que es perceptible por el ojo humano. Sin embargo, más allá de la luz visible, existen diversas formas de radiación electromagnética en el universo que propagan por el

espacio y transportan energía de un lugar a otro, como la radiación ultravioleta o los rayos X, pero ninguna de ellas puede ser percibida de forma natural por nosotros.

La luz visible está compuesta por fotones, que son partículas elementales sin masa. Estos fotones exhiben un comportamiento dual, actuando tanto como ondas como partículas. Esta dualidad confiere a la luz propiedades físicas únicas.

La óptica es una rama de la física que se centra en el estudio de la luz, incluyendo sus propiedades, comportamiento, interacción con la materia y sus efectos. A pesar de que la óptica se dedica específicamente al estudio de la luz, esta fenomenología también es un objeto de estudio en diversas disciplinas, como la química, la relatividad general y la física cuántica, etc. [3]

La luz posee varias características distintivas:

1. Dualidad onda-partícula: La luz exhibe una dualidad onda-partícula, lo que significa que puede comportarse como una onda y al mismo tiempo una partícula. Esta dualidad se manifiesta en fenómenos como la interferencia y la difracción, así como la emisión de fotones individuales.
2. Movimiento rectilíneo: La luz se desplaza en línea recta a una velocidad constante en el vacío, denotada como la velocidad de la luz (c), que es aproximadamente 299,792,458 metros por segundo. [2]
3. Espectro de visible: La luz abarca un espectro de frecuencia que determina su nivel de energía. En el caso de la luz visible, este espectro comprende diferentes longitudes de onda que corresponden a diferentes colores. Las longitudes de onda que van desde los 700 nanómetros hasta los 400 nanómetros respectivamente. La frecuencia de estas ondas determina el color percibido por el ojo humano.

1.3 Espectro electromagnético.

El espectro electromagnético se refiere a la distribución de energías de radiación electromagnética. Puede ser expresado en términos de energía, aunque es más común denotarlo en función de la longitud de onda y las frecuencias de radiación. Este espectro se extiende desde las longitudes de onda más corta, como las gammas, hasta aquellas con la longitud de onda más larga como, las ondas de radio.

El espectro electromagnético se compone de varios subrangos o porciones, cuyos límites no están claramente definidos y a menudo se superponen. Cada banda del espectro se distingue de las demás por el comportamiento de sus ondas durante la emisión, transmisión y absorción, así como por sus aplicaciones prácticas. Estas

diferentes porciones incluyen, entre otras los rayos gamma, los rayos X, la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja, las microondas y las ondas de radio. [4]

Cuando hablamos del espectro electromagnético de un objeto, hacemos referencia a las distintas longitudes de onda que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción). Esto genera una distribución de energía en forma de un conjunto de ondas electromagnéticas, como se muestra en la Figura 3. Esta distribución de energía es característica de cada objeto y puede ser utilizada para identificar sustancias, analizar la composición de materiales y comprender procesos físicos y químicos.

Las características de la distribución en el espectro electromagnético dependen tanto de la frecuencia como de la longitud de onda de las oscilaciones, así como de su energía. Estas 3 cantidades están estrechamente relacionadas entre sí: a una longitud de onda dada le corresponde una frecuencia y una energía específicas. Es decir, la frecuencia, la longitud de onda y la energía de las ondas electromagnéticas están intrínsecamente vinculadas. [4]

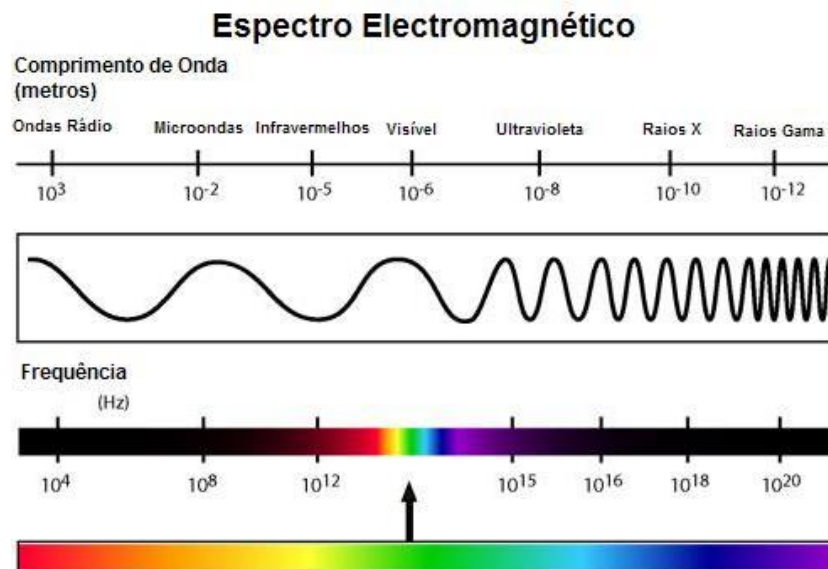


Figura 3: Espectro electromagnético. [17]

1.4 Distribución espectral de la radiación solar.

La energía solar llega en forma de radiación electromagnética. La radiación electromagnética son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Para estas ondas no es necesario un medio material para

propagarse, por lo que pueden atravesar el espacio y llegar a la Tierra, así como a las mismas estrellas desde el Sol.

La radiación se emite a lo largo de un espectro de longitudes de onda, y cada longitud de onda tiene asociada una cantidad específica de energía. Dado que la longitud de onda de luz es relativamente corta, se puede expresar en unidades mucho más pequeñas como: nanómetros (nm) o micrómetros (μm). Donde un nanómetro es equivalente a una millonésima parte de un metro, o una millonésima parte de milímetro, mientras que un micrómetro es igual a una millonésima parte de un metro. Estas unidades son útiles para poder describir con precisión las dimensiones de la luz y las otras formas de radiación electromagnéticas.

La radiación electromagnética puede ser ordenada en un espectro que abarca diferentes longitudes de onda, como se muestra en la Figura 4. Este espectro se extiende desde las longitudes de onda extremadamente cortas como los rayos gamma, hasta longitudes de onda corta como las ondas de radio. Es importante destacar que el espectro electromagnético no tiene límites definidos superior ni inferior.

La energía asociada a una fracción diminuta de radiación, como es conocido como fotón, es inversamente proporcional a su longitud de onda. Por lo tanto, a medida que la longitud de onda disminuye, la energía del fotón aumenta. Este concepto es fundamental para comprender como la radiación electromagnética interactúa con la materia y como se utilizan diferentes partes del espectro en diversas aplicaciones tecnológicas y científicas

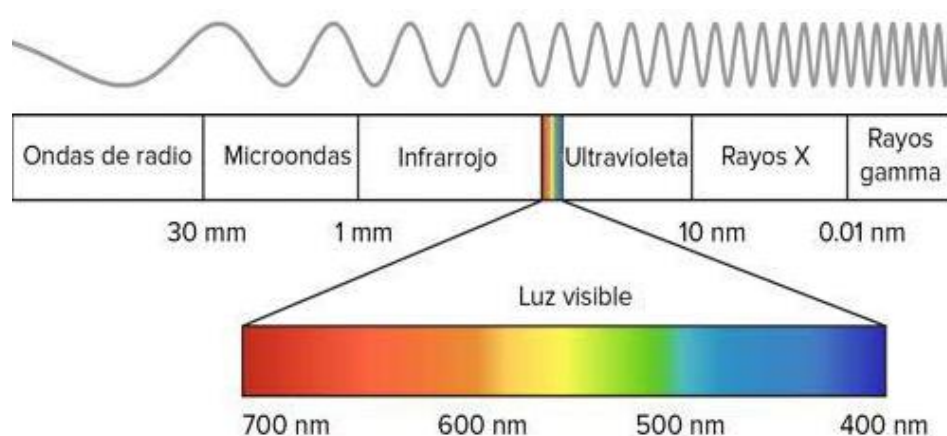
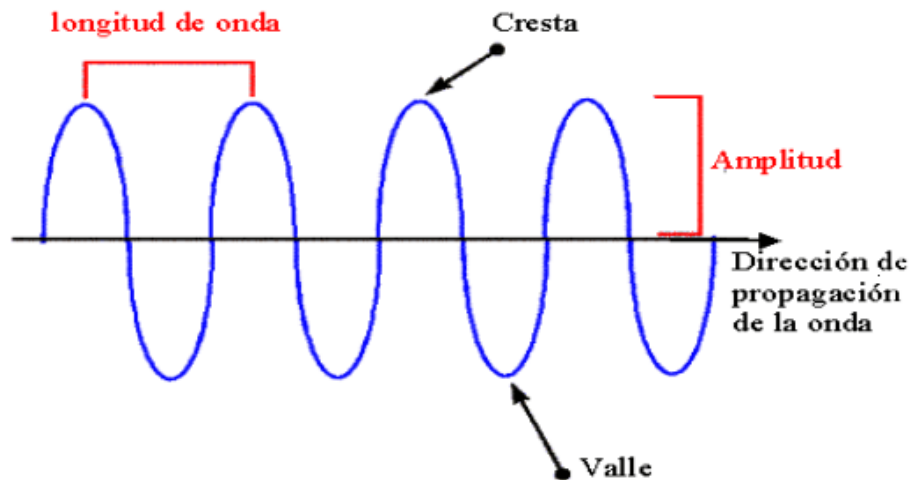


Figura 4: Longitudes de onda del espectro electromagnético.[18]

1.5 La longitud de onda, fotones y energía

La energía que llega desde el sol donde esta provee calor y vida a la superficie terrestre, exhibe una naturaleza dual: donde puede ser representada como una onda continua como se muestra en la Figura 5. En esta figura, la distancia entre ambos picos corresponde a la longitud de onda (λ), mientras que el número de ciclos completados que pasan por un punto fijo en un segundo representan la frecuencia (ν). Estos dos valores están inversamente relacionados a través de la siguiente ecuación:



Donde:

Figura 5: Onda continua.[19]

C: Es la velocidad de la luz en el vacío, 2.9979×10^8 m/s y al considerarla como una partícula, la energía de un cuanto de luz E es:

$$E = h * \nu$$

Al relacionar ambas propiedades:

$$E = h\left(\frac{c}{\lambda}\right)$$

Donde:

h: Constante de Planck, 6.6262×10^{-34} J.s

Es su naturaleza de partícula la que necesitamos entender, para explicar las interacciones de la radiación, ozono y organismos biológicos. [5]

1.4 Radiación ultravioleta.

La radiación ultravioleta (UV) es una forma de radiación electromagnética presente en la luz solar generada por el Sol. Aunque se clasifica como no ionizante, lo que significa que no tiene energía para ionizar directamente átomos o moléculas, puede ser beneficiosa para la salud en cantidades moderadas. Sin embargo, la exposición excesiva y prolongada a esta radiación se ha asociado con enfermedades cutáneas. [6]

Aunque el término “violeta” sugiere un color donde muchas personas pueden identificar, la radiación ultravioleta es completamente imperceptible para el ojo humano, por lo que su concepto es un poco más complejo de lo que sugiere, ya que implica longitudes de onda más cortas y propiedades que van más allá de lo que se percibe como color.

El espectro de luz ultravioleta se divide comúnmente en tres grupos principales de longitud de onda:

- UV-A: Esta es la forma de radiación ultravioleta de longitud de onda más larga, con longitudes que varían entre 320 y 400 nm. A menudo se le llama “luz negra” y puede penetrar profundamente sobre la piel causando daño en las capas más profundas, pero a su vez de gran importancia para los reptiles.
- UV-B: Esta forma de radiación ultravioleta de longitud de onda media puede variar entre los 280 y 320 nm. Esta misma es responsable de causar quemaduras solares y es un factor de desarrollo de cáncer de piel.
- UV-C: Esta radiación ultravioleta tiene una longitud de onda que puede variar entre los 180 y 290 nm. Sin embargo, la mayoría de esta radiación es absorbida por la atmosfera de la tierra y no llega a nuestra superficie en cantidades significativas. Se utiliza en aplicaciones industriales y médicas para la desinfección y esterilización debido a su alta capacidad de dañar el ADN de microorganismos. [7]

1.5.1 Radiación UV-A.

Los rayos UV-A tienen la capacidad de atravesar materiales como el vidrio (ventanas y parabrisas) así como la ropa ligera. Su efecto en la piel es indoloro, pero es capaz de penetrar las capas más profundas de la dermis. Esto puede provocar el fotoenvejecimiento, intolerancia al Sol e inhibición del sistema inmunológico. La radiación UV-A puede dañar el ADN celular y generar radicales libres, lo que aumenta el riesgo de desarrollar varios tipos de cáncer de piel entre ellos melanoma. La radiación UV-A está presente en las longitudes de onda largas desde los 320 y 400 nanómetros (nm). Esta forma de radiación UV alcanza en su totalidad la atmosfera terrestre y está presente durante todo el año, incluso en días nublados. [7]

1.5.2 Radiación UV-B.

Solo alrededor del 5% de los rayos ultravioleta que alcanzan la superficie de la Tierra son del tipo B (UV-B), mientras que el 95% son del tipo A (UV-A). Los rayos UV-B se definen comúnmente como la banda de longitud de onda comprendida entre 290 y 320 nanómetros (nm). La irradiación dentro de esta estrecha sub-banda del espectro UV-B es crucial para la fotosíntesis de la vitamina D3 en la piel. Es importante destacar que la radiación por encima de los 320 nanómetros puede descomponer esta vitamina D3 ya sintetizada en el tejido de la piel o adquirida nutricionalmente. Estos rayos son en gran parte absorbidos por la capa de ozono y las nubes, así como su intensidad varía según la estación del año. [7]

Los rayos UV-B son conocidos como “radiación de quemaduras” debido también a su capacidad para causar quemaduras solares y reacciones alérgicas en la piel. Asimismo, pueden destruir el sistema inmunológico y aumentar el riesgo de desarrollar cáncer en la piel, así como los rayos UV-A.

1.5.3 Radiación UV-C.

Los rayos UV-C son considerados la forma más dañina de radiación UV debido a su alta energía, los rayos UV-C son de longitud de onda corta oscilando entre los 200 y 280 nanómetros (nm). Esta radiación es absorbida por el mismo oxígeno y el ozono específicamente en la estratosfera, lo que impide que llegue en su totalidad a nuestra superficie terrestre. De caso contrario serían los más peligrosos para la vida en la tierra debido a la alta carga energética en comparación a sus anteriores variantes de radiación UV-A y UV-B.

A pesar de los efectos negativos asociados a la radiación UV, pequeñas cantidades de esta misma son beneficiosas para las personas. En el campo de la medicina, la

radiación UV-C artificial se utiliza para eliminar gérmenes, favorece en la cicatrización de heridas y tratar diversas afecciones en la piel como: la psoriasis, el vitíligo y los nódulos causados por el linfoma cutáneo de células. [7]

1.6 Elementos de radiometría.

Aproximadamente el 99% de la radiación solar que llega a nuestra superficie terrestre se encuentra entre los rangos de longitud de onda de 0.2 a 3.0 micrómetros (μm) a la vez que parte de la radiación terrestre de la onda larga se encuentra dentro del rango de 3.5 a 50 micrómetros (μm), como se ilustra en la Figura 6. [8]

1. La región visible del espectro electromagnético, que se encuentra entre 400 y 700 nanómetros (nm), corresponde a la radiación que puede ser percibida por la sensibilidad del ojo humano. Esta región incluye colores: violeta (420 nm), azul (480 nm), verde (520 nm), amarillo (570 nm) y rojo (700 nm). Se sabe que la luz de color violeta es más energética que la luz de color rojo debido a su longitud de onda más corta.
Cualquier radiación con longitudes de onda más cortas que corresponden a luz violeta se denomina radiación ultravioleta (UV).
 2. La región del ultravioleta abarca longitudes de onda que van desde los 100 y los 400 nanómetros.
 3. La región del infrarrojo cercano se extiende 700 hasta los 4000 nanómetros.
- [9]

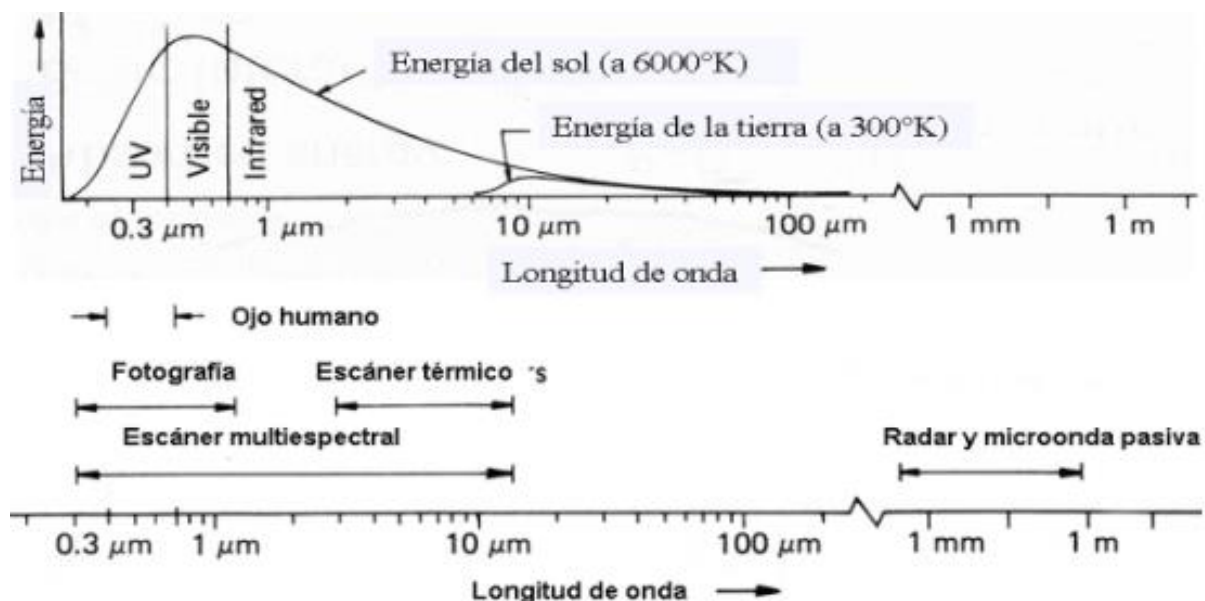


Figura 6: Energía irradiada por el sol y la tierra. [20]

Cada región del espectro electromagnético recibe una proporción de la energía total que incide en la parte superior de la atmosfera, conocida como radiación solar extraterrestre, distribuida de la siguiente manera: el 7.2% corresponde al ultravioleta, el 47.2% al visible y el 45.6% al infrarrojo cercano. [10]

1.7 Las ondas electromagnéticas.

Desde las investigaciones anteriores de James Clerk Maxwell, se ha comprendido que la energía puede propagarse en el espacio sin necesidad de un medio material como soporte adoptando las formas de ondas electromagnéticas (OEM), como muestra la Figura 7.

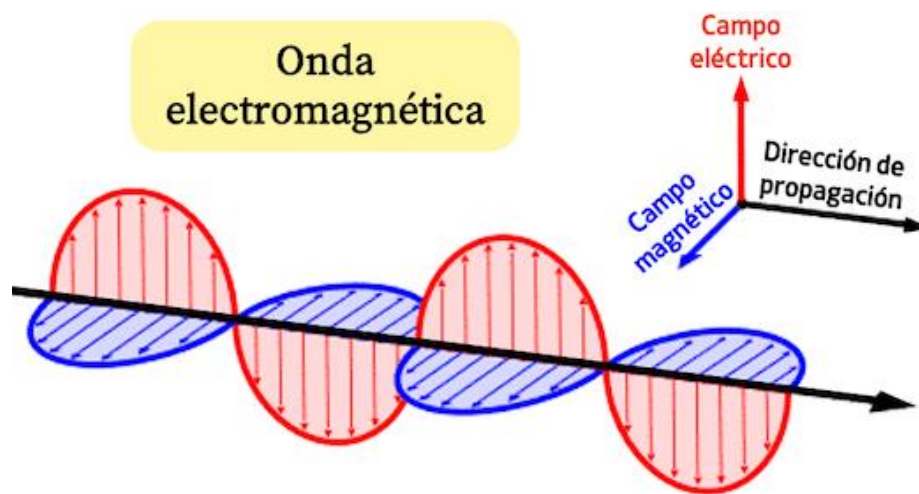


Figura 7: Onda electromagnética.[21]

A través de estas ondas electromagnéticas, una porción de la energía liberada por el sol puede alcanzar la Tierra y sustentar la vida que ha surgido en ella. Desde la perspectiva de los físicos una onda electromagnética (OEM) es una combinación de campos eléctricos y magnéticos sinusoidales perpendiculares entre sí, que se propagan a la misma velocidad constante, representada por la letra "c", en una dirección ortogonal a los vectores que definen ambos campos, como se muestra en la Figura 7. El plano que contiene el campo eléctrico se denomina plano de polarización de la onda electromagnética. La velocidad de propagación de estas 2 onda sinusoides cruzadas es extremadamente rápida y depende de las características del medio a través de la cual viajan; su velocidad es máxima en el vacío, con un valor aproximado de 2.99776×10^8 metros por segundo.

Las propiedades que exhiben estas ondas electromagnéticas cuando interactúan con el medio a través del cual pasan, están determinadas por la frecuencia ν de

vibración de sus campos y, por ende, por su longitud de onda en ese medio, que se define como la relación entre la velocidad de la luz de un medio y la frecuencia ($\lambda = c / \nu$). Esta longitud de onda se define como la distancia entre los máximos sucesivos del campo. El rango de longitudes de ondas electromagnéticas que la humanidad ha podido descubrir en la naturaleza es extraordinariamente amplia y se muestra en la Figura 8.

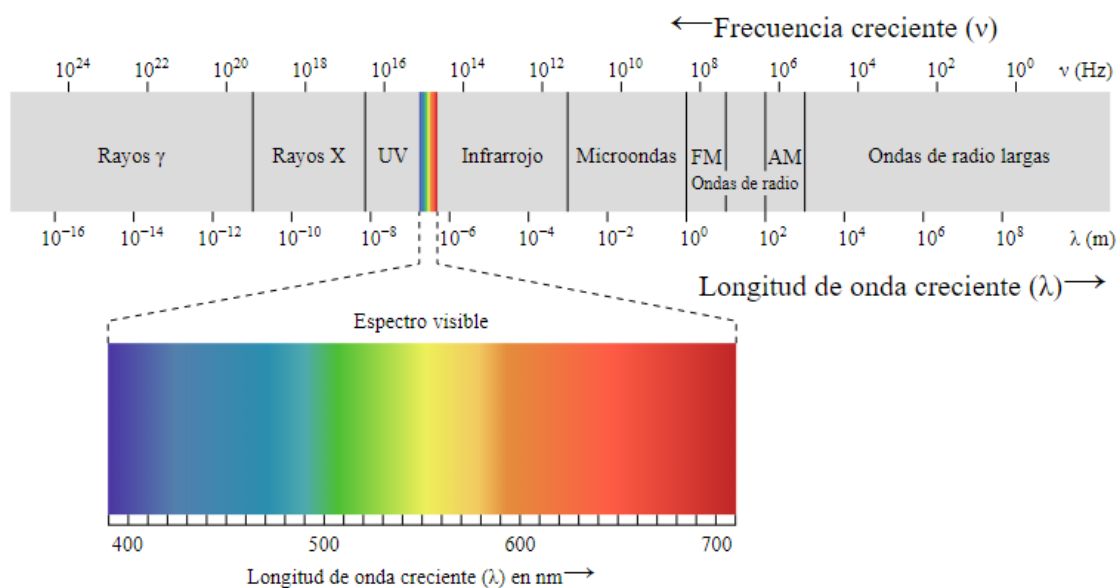


Figura 8: Rango de longitudes.[22]

Siguiendo los estándares de la Comisión Internacional de Iluminación o bien Comisión Internationale de l'Éclairage (CIE), convencionalmente se distinguen las siguientes frecuencias de la luz como se muestran en la Tabla 1.

Longitud de onda	Espectro de longitud de onda
0.250μm – 280μm	UV tipo C
0.280μm – 0.315μm	UV tipo B
0.315μm – 0.380μm	UV tipo A
0.380μm – 439μm	Violeta (máximo: 0.412μm)
0.439μm – 0.498μm	Azul (máximo: 470μm)
0.498μm – 0.568μm	Verde (máximo: 0.515μm)
0.568μm – 0.592μm	Amarillo (máximo: 0.577μm)
0.592μm – 0.631μm	Anaranjado (máximo: 0.600μm)
0.631μm – 0.760μm	Rojo (máximo:0.673μm)
0.760μm – 25.0μm	Infrarrojo

Tabla 1: Criterios de la comisión Internationale de l'Éclairage (CIE).

1.8 Índice UV.

El índice UV es un sistema estandarizado que proporciona una indicación simple de la radiación ultravioleta proveniente del sol que alcanza la Tierra, sirviendo como guía para evaluar el riesgo potencial para la salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha publicado una guía práctica sobre el índice UV de cual se muestra en la Figura 9, donde se detallan los riesgos para la salud asociados con la radiación ultravioleta y se propone seguir medidas de protección correspondientes a su intensidad. [11]

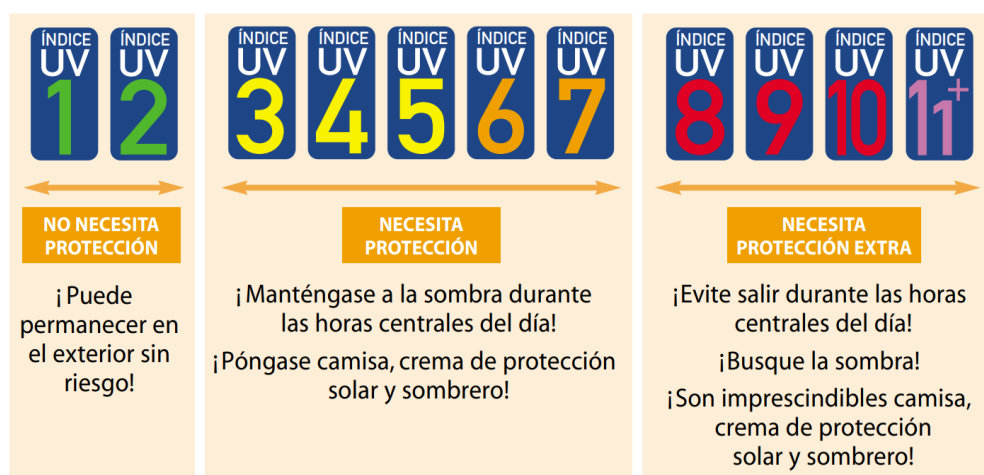


Figura 9: Guía práctica sobre el índice UV. [23]

La radiación ultravioleta emitida por el Sol es una preocupación constante para la salud de la piel, así como también de los ojos. El índice UV se crea como herramienta para evaluar los niveles de radiación y brindar orientación sobre los riesgos asociados. Este índice, es expresado en valores numéricos, donde se busca equilibrar los beneficios de la exposición moderada al Sol, desde la síntesis de vitamina D, así como los peligros del exceso de esta radiación, que incluyen envejecimiento prematuro de la piel, daños oculares y quemaduras solares

- 1...2 – bajo nivel de radiación UV,
- 3...5 – nivel UV medio, se recomiendan gafas de sol,
- 6...7 – nivel alto, se recomiendan cremas protectoras,
- 8...10 – nivel muy alto, sombra recomendada,
- 11 – nivel extremadamente alto de radiación UV, debe limitarse la exposición al aire libre.

1.8.1 Medida de la radiación ultravioleta y cálculo del índice UV.

Para adquirir mediciones precisas de la radiación ultravioleta, tanto la proveniente del Sol como la emitida por dispositivos como lámparas o LED, se utilizan espectro radiómetros. Estos dispositivos están calibrados específicamente para este propósito. Sin embargo, para aplicaciones más simples y económicas, también se puede emplear fotodiodos, típicamente Schocttky. La técnica consiste en medir la luz de una longitud de onda específica, generalmente en el rango UV-A, y asumir que esta medida se correlaciona de manera aproximada con la radiación ultravioleta. Aunque puede parecer menos exacta, esta metodología es lo suficientemente funcional como para estimar la radiación de manera razonable. [11]

Existen componentes específicos que se destinan exclusivamente a la medición del índice ultravioleta. Por ejemplo, el GUVA-S12SD es un componente analógico popular que realiza esta función y puede incorporar amplificación como el sensor ML8511. [11]

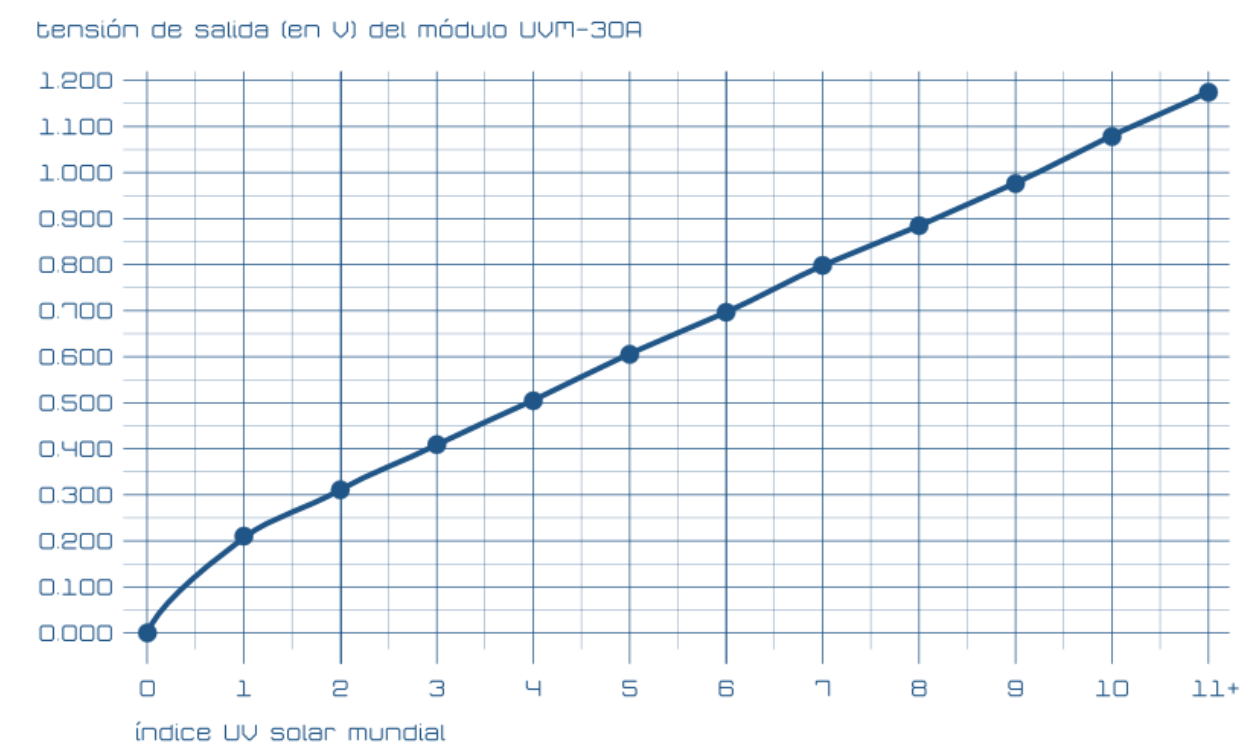
También hay opciones digitales, como el VEML6070, que comunican el resultado de la medición a través del protocolo I²C. Además, la función de medición de radiación ultravioleta puede estar presente como una característica secundaria en algunos sensores de iluminación y proximidad como el Si1145, también utiliza I²C. [11]

Tomando como ejemplo el sensor GUVA-S12SD, que es ampliamente utilizado en algunas insoladoras ultravioletas y que se pueden hallar los módulos UVM30 que son compatibles con Arduino, este componente tiene un rango de longitudes de onda de 240 a 380 nm, como se muestra en la Figura 10. Este rango resulta adecuado para detectar la radiación ultravioleta. [11]

Índice UV	0	1	2	3	4	5
Voltaje(mV)	<50	227	318	408	503	606
Valor analógico	<10	46	65	83	103	124
Índice UV	6	7	8	9	10	11
Voltaje(mV)	696	795	881	976	1070	1170
Valor analógico	142	162	180	200	221	240

Figura 10: Rango de longitud de onda GUVA-S12SD. [24]

Se encuentra una relacion de los valores de salida con los diferentes niveles de indice UV que se muestran en la Gráfica 1 que nos proporciona el fabricante del módulo.



Gráfica 1: Niveles de índice UV.

1.9 Arduino.

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto que combina hardware y software de fácil manejo. Preparado para diseñadores, aficionados, y cualquier otra persona interesada en crear entornos interactivos, consta de una placa equipada con un microcontrolador y un entorno de desarrollo integrado (IDE) que simplifica tanto la programación como la interacción con componentes electrónicos. [12]

Características principales.

- **Microcontrolador:** Utilizan microcontroladores AVR de Atmel, aunque algunas variantes pueden emplear otros microcontroladores como ARM.
- **Entradas/Salidas:** Están equipadas con pines digitales y analógicos que permiten la entrada y salida de señales eléctricas

- **Conectividad:** Algunos Arduinos cuentan con módulos de comunicación integrados, como USB, Ethernet o conexiones inalámbricas.

Lenguaje de programación: Maneja un lenguaje de programación establecido en Wiring, que simplifica la escritura de código especialmente para principiantes. El lenguaje está fundamentado en C-C++.

Entorno de Desarrollo Integrado (IDE): IDE ofrece un entorno amigable para escribir, compilar y cargar programas en la placa Arduino. Incluyendo características ventajosas como la verificación de errores y el poder monitorizar los datos desde el puerto serial.

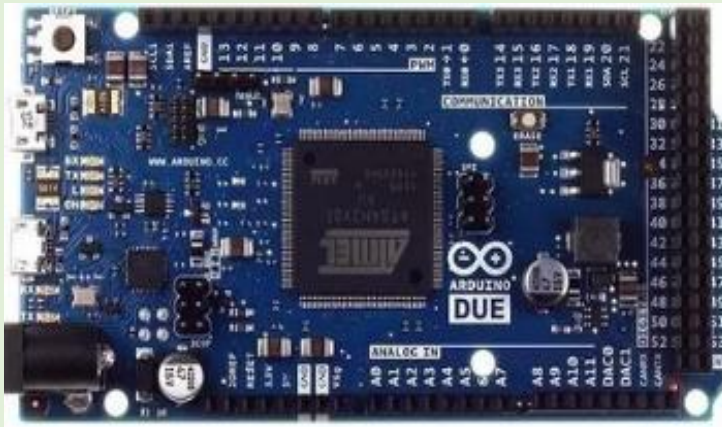
Similitudes en proyectos: Se emplea Arduino en una amplia gama de proyectos, que van desde el control de sistemas de luces, hasta mismos sistemas de riego y estaciones meteorológicas. Esto lo convierte en una opción ideal para proyectos de aficionados, educativos e industriales. Además, cuenta con un numerosas bibliotecas y recursos que favorece la elaboración de proyectos.

Educación: Arduino es incorporado con éxito en programas de educación para promover conceptos de programación y electrónica. Su versatilidad lo vuelven una herramienta valiosa para los estudiantes de todas las edades, ayudándoles a comprender de manera práctica y tangible los fundamentos de la tecnología.

Las placas de Arduino se pueden ensamblar manualmente o se pueden adquirir pre ensambladas. A continuación, se muestra una tabla con algunos tipos de Arduino disponibles en el mercado. [12]

Modelo	Características.
Arduino UNO.  https://images.app.goo.gl/uQxcx3yFeJer2tJ28	• Microcontrolador: ATmega328 • Voltaje de funcionamiento: 5 V • Pines I/O digitales: 14 (de los cuales proveen salida PWM) • Pines de entradas análogas: 6 • Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA • Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA • Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader • SRAM: 2 KB (ATmega328) • EEPROM: 1 KB (ATmega328) • Velocidad de reloj: 16 MHz
Arduino Leonardo.  https://images.app.goo.gl/3k676ohRRXDcYXZL6	• Voltaje de funcionamiento: 5 V • Pines I/O digitales: 20 • Canales PWM: 7 • Pines de entradas análogas: 12 • Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA • Corriente DC en el pin de 3.3 V: 50 mA • Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader • SRAM: 2 KB (ATmega32u4) • EEPROM: 1 KB (ATmega32u4) • Velocidad de reloj: 16 MHz

Arduino Due.



<https://images.app.goo.gl/fNsR9YjBZHThdQG8>

- Microcontrolador: AT91SAM3X8E
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 12 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 12
- Corriente DC total en todos los pines I/O: 130 mA
- Corriente DC en el pin de 5 V: 800 mA
- Corriente DC en el pin de 3.3 V: 800 mA
- Memoria Flash: 512 KB.
- SRAM: 96 KB (dos bancos: 64KB Y 32 KB)
- Velocidad de reloj: 84 MHz

Arduino YUN.



<https://images.app.goo.gl/bzN5Eu7csAJjVUBz8>

- Microcontrolador AVR
- Arduino: ATmega32u4
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 20
- Canales PWM: 7
- Pines de entradas análogas: 12
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader)
- SRAM: 2.5 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Procesador Linux: Atheros AR9331
- Arquitectura: MIPS @400MHz
- Ethernet: IEEE 802.3 10/100Mbit/s
- WiFi: IEEE 802.11b/g/n
- USB Tipo A: 2.0
- Lector de tarjeta: sólo Micro-SD

	• RAM: 64 MB DDR2 • Memoria Flash: 16 MB
Arduino Robot.  https://images.app.goo.gl/JGuppy4i9QbkTF3QA	• Microcontrolador: ATmega32u4 • Voltaje de funcionamiento: 5 V • Pines I/O digitales: 5 • Canales PWM: 6 • Canales de entradas análogas: 4 (de los pines digitales I/O) • Canales (multiplexados) de entradas análogas: 8 • Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA • Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader. • SRAM: 2 KB (ATmega32u4) • EEPROM (interno): 1 KB (ATmega32u4) • EEPROM (externo): 512 KB (I2C) • Velocidad de reloj: 16 MHz • Teclado: 5 teclas • Perilla: Potenciómetro conectado a un pin análogo. • LCD a color: Comunicación SPI • Lector de tarjetas SD: Para tarjetas formateadas FAT16 • Altavoz: 8 Ohms • Áreas de prototipado: 4
Arduino Esplora.	• Microcontrolador: ATmega32u4 • Voltaje de funcionamiento: 5 V • Memoria Flash: 32 KB de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader • SRAM: 2.5 KB • EEPROM: 1 KB • Velocidad de reloj: 16 MHz • 4 Push buttons • Joystick análogo con un Push button central • Potenciómetro lineal



<https://images.app.goo.gl/KN8h93DwJXfZiqbUA>

- Micrófono
- Foto resistor
- Sensor de temperatura
- Acelerómetro de 3 ejes
- Buzzer
- Led RGB
- Conector para LCD

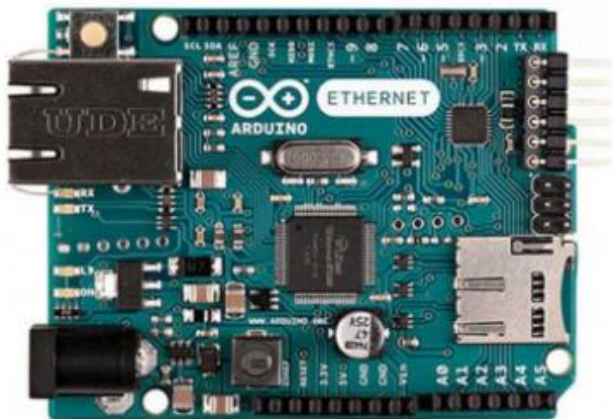
Arduino Mega ADK.



<https://images.app.goo.gl/WZtr4KzK1P9U1wgJ6>

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 16
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB de los cuales 8 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Velocidad de reloj: 16 MHz

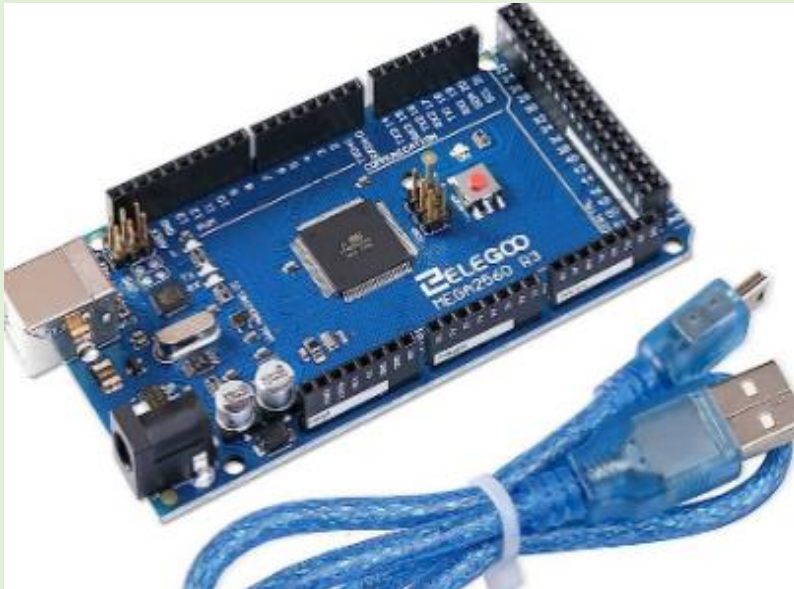
Arduino Ethernet.



<https://images.app.goo.gl/MyQ8BDvos4FShGaB9>

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 4 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 6
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB son utilizados por el bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328)

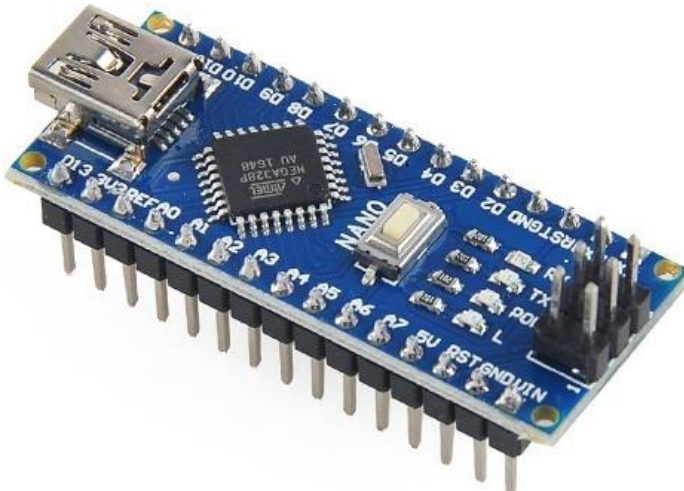
Arduino Mega 2560.



<https://images.app.goo.gl/ahSSZUJDpY7KawMdA>

- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz
- Controlador embebido Ethernet W5100 TCP/IP
- Tarjeta MicroSD, con adaptadores activos de voltaje.
- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 16
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB de los cuales 8 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 8 KB (ATmega328)
- EEPROM: 4 KB (ATmega328)
- Velocidad del reloj: 16 MHz

Arduino nano.



<https://images.app.goo.gl/5N26UWRmM346r1b66>

- Microcontrolador: ATmega168
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen una salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 8
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- RAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Arduino Pro mini.



<https://images.app.goo.gl/e24epEtXadj3fB926>

- Microcontrolador: ATmega168
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 8
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes
- Velocidad de reloj: 8 MHz

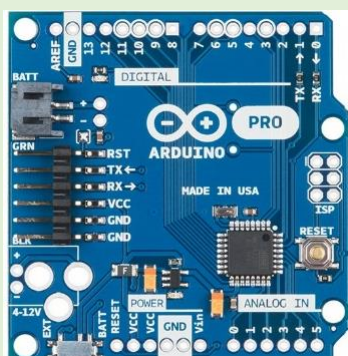
Arduino micro.



<https://images.app.goo.gl/VnM7qzYxm8i24Wji7>

- Microcontrolador: ATmega32u4
- Voltaje de funcionamiento: 5 V
- Pines I/O digitales: 20
- Canales PWM: 7
- Pines de entradas análogas: 12
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Corriente DC en pin de 3.3 V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2.5 KB (ATmega32u4)
- EEPROM: 1 KB (ATmega32u4)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Arduino Pro.



<https://images.app.goo.gl/WE5deUnW4xNpELsB9>

- Microcontrolador: ATmega168
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 6
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes
- Velocidad de reloj: 8 MHz

Arduino Fio.



<https://images.app.goo.gl/xrFqFVscDvcqUBf27>

- Microcontrolador: ATmega328P
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 8
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad de reloj: 8 MHz

LilyPad Arduino USB.



<https://images.app.goo.gl/RKwXKCgkySTkwQn57>

- Microcontrolador: ATmega32u4
- Voltaje de funcionamiento: 3.3 V
- Pines I/O digitales: 9
- Canales PWM: 4
- Pines de entradas análogas: 4
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 4 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2.5 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad de reloj: 8 MHz

LilyPad Arduino Simple



<https://images.app.goo.gl/m8CeUA36X4SbxSfe9>

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: 2.7-5.5 V
- Pines I/O digitales: 9 (de los cuales 5 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 4
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad de reloj: 8 MHz

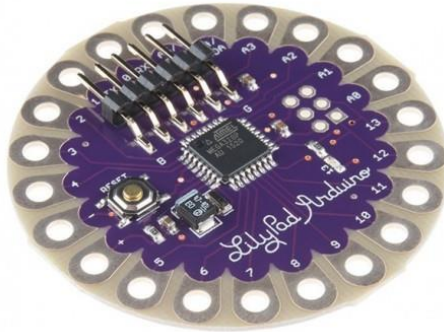
LilyPad Arduino SimpleSnap.



<https://images.app.goo.gl/FErbEivr2kHmvDMG9>

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: 2.7-5.5 V
- Pines I/O digitales: 9 (de los cuales 5 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 4
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Velocidad de reloj: 8 MHz

LilyPad Arduino.



<https://images.app.goo.gl/555sDabx61wLmwcM9>

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje de funcionamiento: 2.7-5.5 V
- Pines I/O digitales: 14 (de los cuales 6 proveen salida PWM)
- Pines de entradas análogas: 6
- Corriente DC por cada pin I/O: 40 mA
- Memoria Flash: 16 KB de los cuales 2 KB son utilizados por el bootloader
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes

Tabla 2: Tipos de Arduino disponibles en el mercado.

Existen numerosos microcontroladores y plataformas disponibles para aplicaciones de computación como Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, etc. Estas opciones encapsulan los complejos detalles de la programación de microcontroladores en un formato accesible. Arduino, que también simplifica el proceso, presenta ciertas ventajas para profesionales, alumnos y entusiastas en comparación con otros sistemas:

- Asequible: Las placas Arduino UNO son económicas en comparación con otras plataformas. Las versiones más básicas de esta tarjeta pueden ser ensambladas por nuestra cuenta, y ya pre ensamblada tiene un costo de 450 a 250 pesos o bien menos de 50 dólares.

- Versatilidad de plataforma: El software Arduino es compatible con una amplia gama de sistemas operativos, incluyendo: Windows, Macintosh y GNU/Linux. En contraste, la mayoría de otros microcontroladores están diseñados para funcionar principalmente para Windows.
- Interfaz de programación intuitiva: La interfaz de programación de Arduino se destaca por su simplicidad, lo que hace accesible para principiantes y al mismo tiempo flexibilidad para usuarios más experimentados. Esta es una característica es particularmente beneficiosa para profesores, ya que en el entorno de programación Processing. Por lo tanto, los estudiantes que aprenden a programar en este entorno encontrarán familiar el aspecto y funcionalidad de Arduino.
- Software de código abierto: El software de Arduino se ofrece como herramientas de código abierto, lo que permite su expansión por parte de programadores experimentados. El lenguaje puede ser ampliado mediante el uso de librerías C++, y aquellos interesados en comprender los detalles técnicos.
- Hardware abierto y expansible: Arduino se fundamenta en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. Los esquemas de los módulos están disponibles bajo la licencia Creative Commons, permitiendo que diseñadores de circuitos experimentados desarrollen sus propios módulos ampliándolos y mejorándolos. Incluso los usuarios con poca experiencia pueden construir su propia placa del módulo para comprender su funcionamiento y ahorrar costos.

Capítulo 2.

Estado del

Arte

Capítulo 2. Estado del Arte.

En esta sección, se presenta una revisión exhaustiva de los avances y desarrollos recientes en el campo de los sensores UV. Los sensores UV desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones, desde la protección solar hasta la detección de contaminantes atmosféricos. Esta revisión tiene como objetivo contextualizar la investigación actual y resaltar los logros significativos en este dominio. En la Tabla 3 se muestran las variantes de sensores UV.

Referencia	Sensor	Rango espectral	Temperatura de operación.	Tiempo de respuesta	Precisión	Tamaño y peso	Interfaz de comunicación	Consumo energético	Precio unitario
[13]	Sensor analog UV adafruit	240 - 370nm	-30 a +85°C	0.5 ms	%0.1	10mm x 19mm Peso: <1g	Arduino IDE/Raspberry PI	DC 3.3-5V	500 MX
[27]	Sensor de detección UV KEYES	240 - 370nm	-30 a +85 °C	50 ms	%0.1	35mm x 20mm Peso: <1g	Arduino IE/RaspberryPI	DC 3.3-5 V	347 MX
[28]	Sensor de luz UV GUVA-S12SD	200-370nm	-20 a +85 °C	50 ms.	%0.1	2mm x 16mm Peso:<1g	Arduino IDE	DC 3.3-5V	273 MX
[33]	Sensor UV ML8511 KEYES	280-390nm	-20 a +70°C	0.5 seg	<1 %	5mm x 7mm Peso: <1g	Arduino IDE	DC 3.3-5 V	335 MX
[87]	Sensor Radiation probe FLA 623 x	380-720nm	-10 a +40°C	<1 seg	-	50 gramos	Ahlborn instruments	DC 5-15V	1,548 MX

Tabla 3: Variantes de sensores UV.

Los sensores UV son dispositivos diseñados para detectar radiación ultravioleta en el espectro electromagnético. Su aplicación abarca desde la monitorización ambiental hasta la industria de la salud, donde la detección precisa de radiación UV es esencial para diversas aplicaciones. En la Tabla 4 se pueden observar una serie de proyectos similares.

Proyecto	Plataforma	Tipo de sensor	Interfaz de comunicación	Características técnicas	Lugar de origen
Radiómetro ultravioleta. [85]	Arduino UNO.	Sensor UV-A	Ethernet shield	Comunicación remota, almacenamiento de datos, bajo costo	México.
Medidor de radiación UV con Sigfox. [23]	Arduino MKRFOX1200.	Sensor de radiación UV ML8511.	Red Sigfox.	Conexión a Sigfox, medición de radiación UV.	No especificado.
Evaluación de un sistema adquisición de datos del índice UV solar usando Arduino y Labview. [12]	Arduino Labview.	Radiómetro GUV-511. Sensor UV ML8511.	Labview	Programación de Arduino con sensores, permitiendo la medición UV.	Perú.
Desarrollo e implementación de un sistema detector de radiación solar, temperatura y humedad. [13]	Arduino módulo ethernet	Módulo Sensor DHT11 Humedad. Sensor temperatura. Sensor UV	Ethernet shield	Programación de Arduino con sensores de humedad, temperatura y UV.	Monterrey
Diseño e implementación de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar. [86]	Arduino, Labview	Sensor UV-A (no especificado)	Labview	Se programó un sistema de seguimiento solar utilizando Arduino como el controlador principal y Labview como interfaz gráfica.	Ecuador

Tabla 4: Proyectos similares en radiación UV.

Las características que se toman en cuenta para sensores UV son: rango de longitud de onda de detección, precisión, resolución, conexiones, alimentación, tamaños, funciones adicionales, interfaz de programación y precio. Se pueden encontrar en la Tabla 5 con una comparación entre sensores UV de gama Alta con sensores usados para fines académicos.

Características	Sensores gama alta.			Sensores para fines académicos			
	Vernier UV-VIS spectrophotometer	Hamatsu UV tron	FLA-623	GUVA-S12SD	VEML6070	SI1145	ML8511
Rango de longitud de onda	190-400nm	185-400nm	215-400nm	200-400nm	280-400nm	280-400nm	200-370nm
Precisión.	Alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Resolución.	Alta	Alta	Alta	Moderada	Baja	Baja	Baja
Conexiones.	N/A	N/A	N/A	GPIO	I2C	I2C	I2C
Alimentación	Externa	Externa	Externa	5V	3.3V	3.3V	3.3V
Tamaño	Grande	Grande	Grande	Compacto	Compacto	Compacto	Compacto
Funciones adicionales	Medición UV y VIS	N/A	Medición de rayos UVA, UVB	N/A	N/A	Detección de luz visible y UV	N/A
Interfaz de programación	N/A	N/A	N/A	Arduino, Raspberry	Arduino	Arduino	Arduino
Costo	1,899 MX	1,726 MX	1,548 MX	273MX	276MX	Discontinuo	376MX

Tabla 5: Comparativa entre sensores gama alta y académicos.

Capítulo 3.

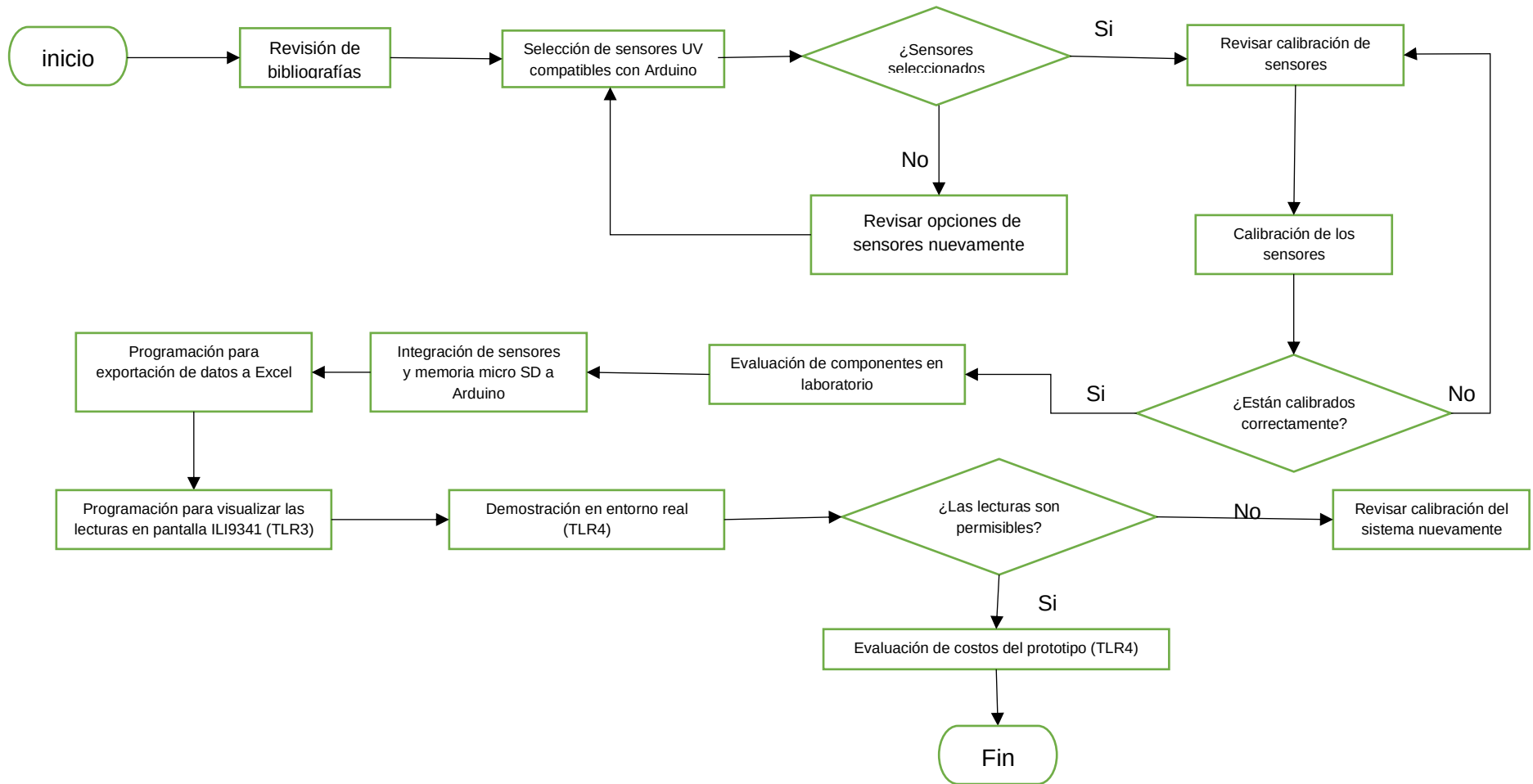
Planteamiento metodológico

Capítulo 3. Planteamiento metodológico.

La metodología está estructurada en 10 etapas que incluyen fases y actividades; tomando como guía de diseño los niveles de madurez tecnológica, por sus siglas en inglés, Technology Readiness Level (TRL).

1. Revisión de bibliografía: Se buscará y revisará trabajos previos de sistemas optoelectrónicos para sensor radiación ultravioleta.
2. Definición de los requerimientos del usuario y propuestas del sistema DEMIRUV, determinando un concepto de diseño (TRL2).
3. Selección de sensores: Se buscarán sensores UV compatibles con Arduino: sensor ML8511, sensor GUVA S12SD, sensor de detección UV, Sensor UV keys, para la integración de los sensores, Arduino UNO y pantalla LCD touch screen y así mismo con sus rangos de medición de radiación electromagnética.
4. Calibración de los sensores: Se calibrarán los sensores de radiación UV de acuerdo con sus hojas de especificaciones y manuales de proveed.
5. Evaluación de componentes: Se evaluarán los sensores y los componentes electrónicos tales como memorias y pantallas LCD en entorno de laboratorio.
6. Integración de sensores: Se integrarán los 3 sensores de radiación UV en un microcontrolador con la memoria microSD.
7. Programación de la memoria: Se programará la memoria para guardar las lecturas de la radiación UV en tiempo real, compatible con Excel.
8. Visualización de datos: Se incorpora una pantalla LCD touch screen para visualización de datos. En esta etapa se alcanzará un TRL3.
9. Demostración en entorno real: Se probará el funcionamiento del prototipo DIMRUV para sensor radiación UV en un entorno real, dentro de la zona focal del concentrador solar. En esta etapa se alcanzará un TRL4.
10. Costo del prototipo: Se analizarán los costos de construcción de un prototipo en un nivel de madurez tecnológica TRL4.

Para un mejor entendimiento a la metodología que se empleara se puede revisar el siguiente diagrama de flujo siguiente.



Justificación.

Esta investigación se centra en el desarrollo de un prototipo para medir la radiación UV en un entorno real, que permitirá optimizar el desempeño óptico de los concentradores solares.

La importancia radica en que el sistema DIMIRUV permitirá monitorear en tiempo real el impacto de la intensidad de radiación UV en concentradores solares para la degradación de plásticos. Esto debido a que la radiación UV es la principal causante de la degradación en los materiales plásticos (González, E., & Sánchez, M. (2014)), y es muy complicado medirlo de manera directa, debido a los factores de riesgo que se presentan en la zona focal del concentrador, como consecuencia de las altas temperaturas y de los elevados niveles de radiación, que pueden ocasionar quemaduras o daños en la vista. Por lo que contar con un sistema que permita monitorear la intensidad de la radiación UV en tiempo real, será de gran utilidad para optimizar el desempeño de estos sistemas de concentración solar. Además de que el prototipo propuesto en este trabajo será de bajo costo en comparación con los sistemas comerciales con características más altas.

El prototipo involucrará la integración de sensores UV compatibles con Arduino ofreciendo una solución económica y accesible para obtener lecturas en tiempo real de la intensidad de la radiación concentrada en la zona del absorbedor del concentrador solar.

Para hacer uso de las lecturas se hará un programa en Arduino que será compatible con Excel. Las lecturas se guardarán en una memoria microSD conectada directamente a Arduino, también se incorporará una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) para que el usuario pueda ver las mediciones que se están generando en los sensores UV en tiempo real en la zona focal del concentrador solar con número de patente MX377409B.

Planteamiento del problema.

En los sistemas de concentración solar es muy difícil tener acceso a la zona focal durante los periodos de insolación directa ya que la temperatura en la zona del absorbedor así, como la cantidad de radiación son muy elevadas lo cual implica una problemática importante para sensar temperatura y niveles de radiación en tiempo real. Por lo que en este trabajo se diseñó, construyó y evaluó un sistema optoelectrónico que permita monitorear y registrar los niveles de intensidad de radiación ultravioleta (UV). Este sistema será utilizado para un concentrador solar que se utiliza para degradar materiales plásticos (Sanchez,2020. MX377409B)

Los sensores UV son dispositivos diseñados para detectar radiación ultravioleta en el espectro electromagnético. Su aplicación abarca desde la monitorización ambiental hasta la industria de la salud, donde la detección precisa de radiación UV es esencial para diversas aplicaciones. Se pueden observar una serie de proyectos similares:

1. Cueva, Alcides, 2021.Desarrollo de un sistema de monitorización del índice de radiación UV orientado a Smart Campus, con tecnología Sigfox y un Arduino MK.
2. Huamán Cones.2018. Evaluación de un sistema de adquisición de datos del índice UV solar usando Arduino y Labview.
3. Febre Martínez, Chanta Santos, 2022. Desarrollaron un prototipo de un pirómetro con ayuda de Arduino para medir la radiación solar
4. Martin Perez,2014. Se propuso el diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación modelos de radiación UV.

Por tanto, la pregunta de investigación es la siguiente:

¿Cómo hacer o realizar un dispositivo de medición solar UV mediante instrumentación de bajo costo?

Hipótesis.

Es posible diseñar, construir e instrumentar el sistema DIMIRUV para medición de radiación UV en la zona focal de un concentrador solar en tiempo real, con componentes electrónicos de bajo costo.

Objetivo general y particulares:

Objetivo general.

Desarrollar un sistema instrumentado de bajo costo, empleando sensores compatibles con Arduino, para la obtención de las lecturas de intensidad de radiación UV, de la zona focal de un concentrador solar con número de patente MX377409B.

Objetivos específicos:

- Determinar las características de los componentes que conformaran el sistema DIMIRUV.
- Diseñar y programar el sistema DIMIRUV con el fin de obtener las mediciones de intensidad de radiación ultravioleta UV.
- Construir un modelo físico experimental para evaluar el sistema DIMIRUV.
- Que sea rentable y de fácil adquisición cada uno de sus componentes que conformaran en la construcción de DIMIRUV.
- Poder facilitar el estudio de los datos obtenidos de los 3 sensores UV por medio de las Herramientas de Excel.

Alcance y limitaciones.

Alcance:

- Construcción de un sistema de medición de radiación ultravioleta TRL3.
- Evaluaciones con 4 sensores comerciales.
- Conjunto de sensores y lámpara de emisión de radiación ultravioleta tipo UV.
- Los sensores comerciales adquiridos medirán el espectro de radiación electromagnético correspondiente a sus rangos de medición que son desde los 200 a 380 nm.
- Los datos obtenidos podrán ser guardados a través de una memoria microSD.
- Compatibilidad de poder estudiar estos datos por medio de las herramientas de Excel.

Limitaciones:

- No se realizará experimentación para degradación de polímeros.
- Su unidad de medición será de mW/cm^2 .
- No se contará con placas fenólica para la colocación de los componentes.
- No se podrá acceder a su función touch al no contar con su módulo touch screen en el ILI 9341.

Capítulo 4.

Diseño del

Dispositivo

DIMIRUV

Capítulo 4. Diseño del Dispositivo DIMIRUV.

4.1 Datos generales de los sensores UV.

Un sensor UV, también denominado sensor de luz ultravioleta, es un dispositivo diseñado para detectar la radiación ultravioleta dentro del espectro electromagnético. La radiación electromagnética se sitúa en longitudes de onda más cortas que la luz visible, generalmente por debajo de los 400nm. Estos sensores son fundamentales para la medición de la exposición a la radiación UV, el cual puede contener efectos perjudiciales para la salud humana, y para evaluar la efectividad de ciertos productos o dispositivos al Sol.

El principio de funcionamiento de los sensores UV radica comúnmente en el uso de materiales fotosensibles, los cuales producen una corriente eléctrica al ser expuestos a la radiación UV. La magnitud de la corriente generada está directamente vinculada con la intensidad de radiación UV recibida. Este cambio en la corriente se convierte en una señal eléctrica que puede ser medida y analizada para calcular la intensidad de radiación UV.

Aplicaciones:

1. Monitoreo ambiental: Son empleados en estaciones meteorológicas para registrar la radiación UV del entorno y emitir alertas sobre niveles perjudiciales para la salud.
2. Protección solar: Los sensores UV se integran en dispositivos de protección solar como gafas de Sol para probar su eficiencia y que bloqueen eficazmente los rayos UV.
3. Industria médica: En la industria médica, los sensores UV pueden desempeñar un papel crucial en la garantía de la esterilización efectiva de instrumentos y superficies.
4. Procesos industriales: En el curado de adhesivos e impresión, los sensores UV desempeñan un papel importante para monitorear y mejorar los procesos de curado.
5. Investigación científica: Los sensores UV desempeñan un papel crucial en los estudios atmosféricos para entender el comportamiento de los rayos UV en nuestra superficie terrestre.

4.1.1 Sensor de rayos UV GUVA-S12SD.

La señal de salida del fotodiodo es capaz de detectar la luz ultravioleta en un rango de 240 a 370 nanómetros, la señal de salida se ajusta para alcanzar un nivel de voltaje compatible con microcontroladores, con un voltaje de alimentación de 2.5 – 5.5VDC. El voltaje de salida se calcula con la siguiente fórmula.

$$V_0 = 4.3 \times \text{corriente del diodo (medida en } \mu\text{Amp)}$$

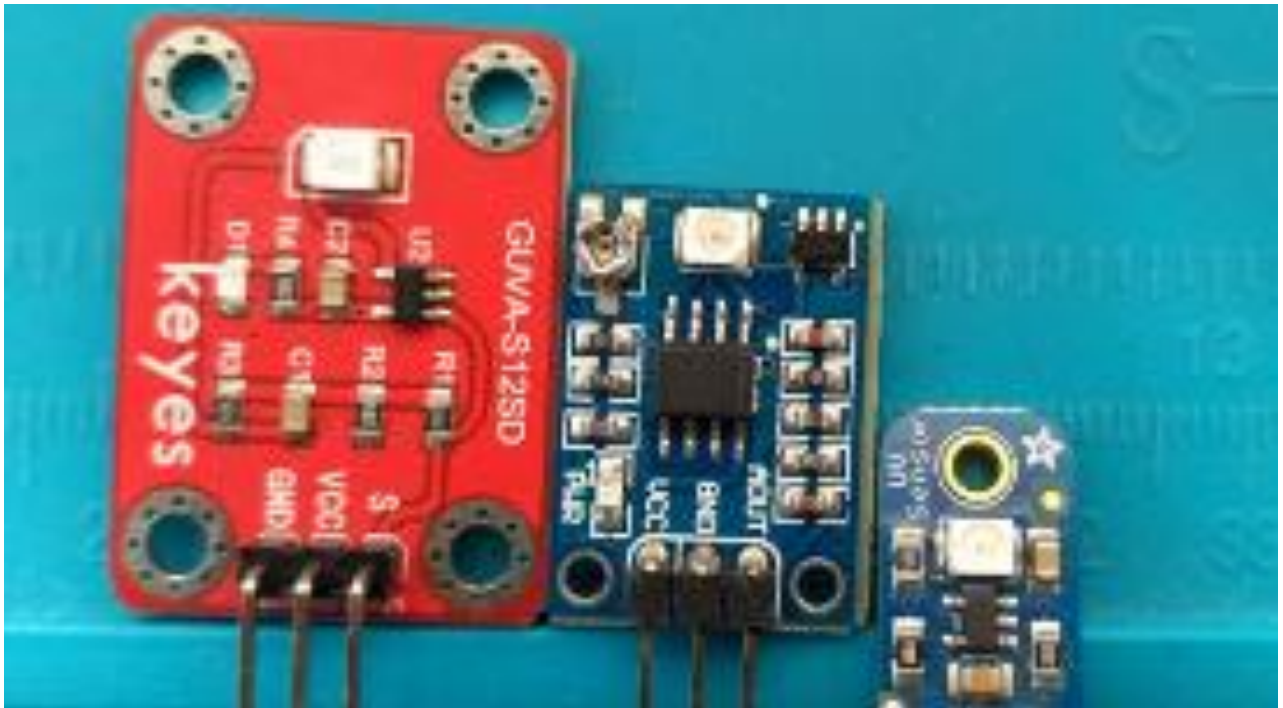


Figura 11: Sensores GUVA-S12SD. [25]

El sensor se basa en un fotodiodo Schottky, diseñado para detectar la mayor parte de la radiación UV posible. El módulo GUVA-S12SD, emite una tensión analógica calibrada, la cual puede ser registrada a través del convertor analógico-digital (ADC) del Arduino. En la Figura 11 se puede observar los 3 diferentes tipos de módulos GUVA-S12SD.

Características GUVA-S12SD:

- Tensión: de 2,5 Vcc a 5,5 Vcc
- Rango de medición: de 240 a 370 nm
- Salida: $V_0 = 4,3 \times \text{corriente del diodo } (\mu\text{A})$
- Índice UV: $V_0/0,1 \text{ V}$

4.1.2 Teoría de operación sensor GUVA-S12SD.

El módulo GUVA-S12SD está equipado con un amplificador operacional LM538 que despliega una función crucial: convierte la corriente de salida del sensor en una señal de voltaje en una señal de voltaje y luego la amplifica para que pueda ser captada por la entrada analógica de una unidad de control microelectrónica (MCU), permitiendo así la lectura de niveles de radiación UV como se muestra en la Figura 12.

El amplificador operacional de la primera de la primera etapa genera un voltaje que es directamente proporcional a la fotocorriente del sensor, siguiendo una relación de 4.3 veces la corriente en microamperios (μA). Por ejemplo, si la fotocorriente es de $0.1 \mu\text{A}$ (equivalente a 0.09 mW/cm^2) entonces su salida sería de 0.43 voltios.

Este voltaje alimenta un segundo amplificador operacional que amplifica aún más la señal, aumentándola con un factor de 61 veces. En el caso del ejemplo antes mencionado, la salida final sería de 0.43 voltios multiplicados por 6.1, lo que equivale a 2.62 voltios.

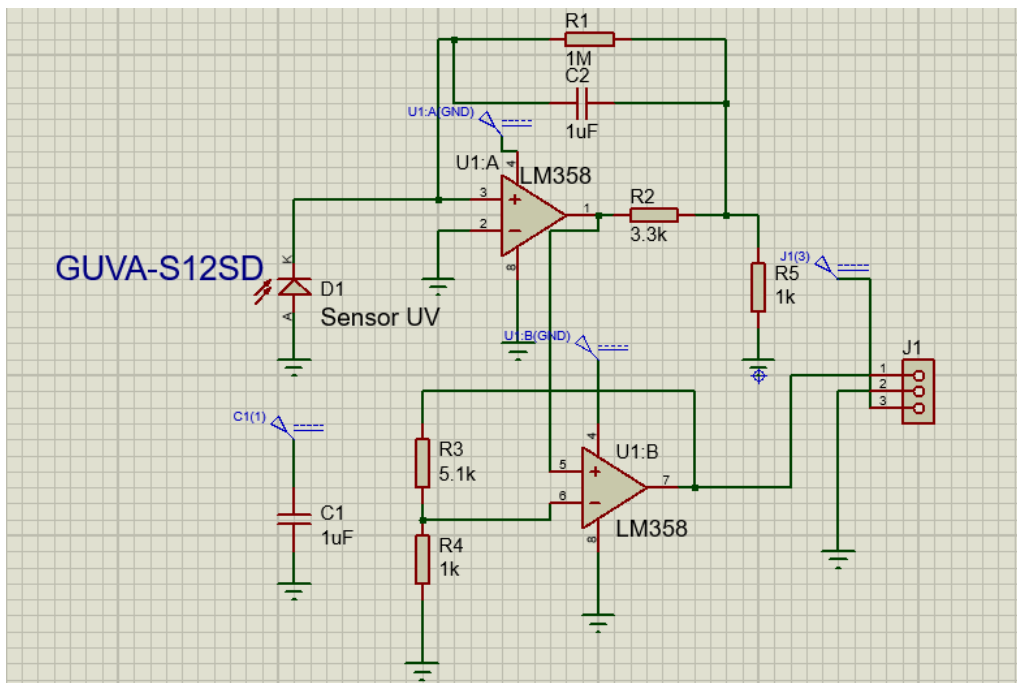


Figura 12: Circuito electrónico de acondicionamiento GUVA-S12SD.[26]

La configuración actual del módulo lo hace adecuado para medir niveles de luz UV que van desde moderados altos o si el sensor se sitúa detrás de un filtro de densidad neutra para reducir la cantidad de radiación UV que incide directamente en él.

4.1.2 Sensor ML8511.

El sensor ML8511 de amplio espectro UV tiene la capacidad de medir longitudes de onda entre los 280 y 400 nanómetros cubriendo así desde el espectro de radiación UV-B y UV-A, y ofrece una respuesta al eritema. Se utiliza para estimar el índice de radiación UV con un margen de error de +/- 1UVI.

Por otro lado, el sensor ML8511 proporciona una señal analógica dependiente de la cantidad de luz detectada es comúnmente utilizado en proyectos de monitoreo ambiental relacionadas con la radiación UV. La señal analógica puede ser detectada con un microcontrolador y acondicionada por un ADC y así facilitar la medición.

Características:

- Voltaje de Operación: 5V DC.
- Salida analógica.
- Longitud de onda: 280-390nm.
- Consumo ultra bajo de energía.
- Aplicaciones meteorológicas, cuidado de la piel, medición industrial de nivel UV.

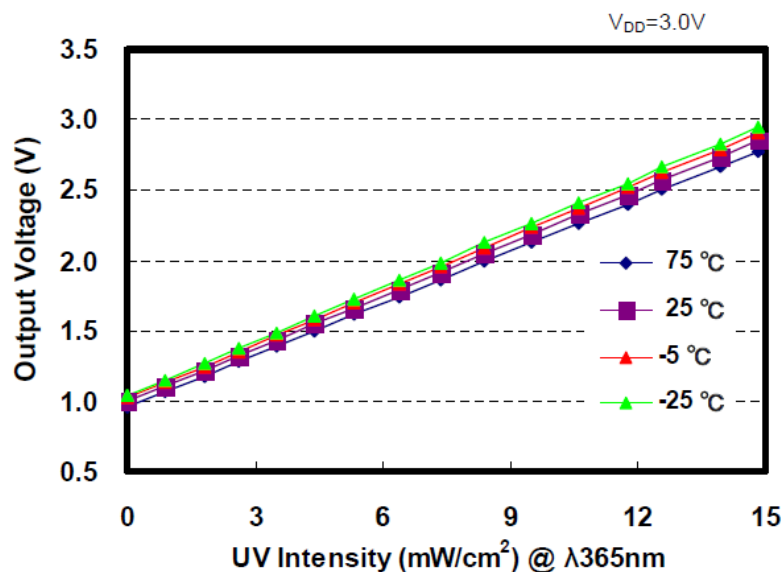


Figura 13: Intensidad grafica en el sensor ML8511.[27]

A continuación, se muestra el espectro de índice de radiación UV correspondientes a las lecturas que proporciona el sensor en la Figura 13.

4.2.1 Teoría de operación sensor ML8511.

El sensor mide la intensidad total de radiación UV en la gama de UV-A y UV-B, en donde la salida de voltaje del ML8511 es directamente proporcional a la intensidad total de UVA + UVB. Para poder generar el cálculo de intensidad de radiación UV se usa la siguiente ecuación.

$$OutputVoltage = \frac{3.3}{refLevel * uvLevel}$$

$$UVIntensity = \frac{(OutVoltage - in_{min}) * (Out_{max} - Out_{min})}{(in_{max} - in_{min})} + Out_{min}$$

Con ayuda de los datos del fabricante:

$$in_{min} = 0.49$$

$$in_{max} = 3.9$$

$$Out_{min} = 0.0$$

$$Out_{max} = 18$$

Donde:

$$UVLevel = \text{Lectura analogica del sensor Ml8511}(0 - 1023)$$

$$refLevel = \text{Lectura analógica del pin de referencia } 3.3v$$

OutputVoltage = Voltaje de salida del sensor ML811 (mV).

UVIntensity = Intensidad de radiación UV (mW/cm^2).

El diagrama electrónico del sensor ML8511 se muestra en la Figura 14:

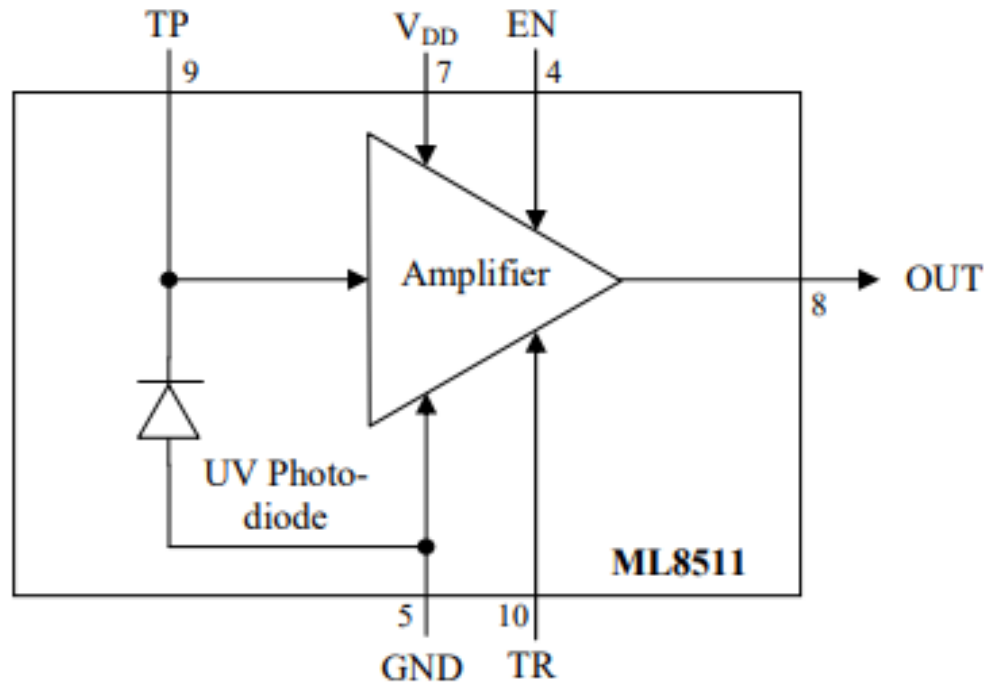


Figura 14: Diagrama electrónico ML8511.[28]

Para facilitar la identificación de sus correspondientes pines de conexión se puede observar en la Tabla 5

Pin	Símbolo	I/O	Función
7	VDD	PW	Suministra el voltaje. Desacople este pin a tierra con un capacitor de 0.1uF
5	GDN	PW	Tierra
4	EN	I	Habilita el pin de activación alta (High: modo activo, Low: modo de espera)
8	OUT	O	Salida
9	TP	I/O	Pin de prueba
10	TR	I/O	Referencia interna de voltaje
1,2,3,6,11,12	NC	-	Sin conexión, no conectar

Tabla 6: Identificación de pines.

4.2 Conexión de sensores.

4.2.1 Conexión del sensor GUVA S12SD.

Los datos del sensor GUVA-S-12-SD, como cualquier otro sensor analógico (por ejemplo, sensor de luz), se leen utilizando el comando `analogRead`. A continuación, de acuerdo con la documentación técnica del sensor, calculamos el índice UV dividiendo la tensión de entrada del sensor por 0,1.

Item	Symbol	Test conditions	Min	Typ	Max	Unit
Corriente oscura	I_0	$V_R=0.1V$	-	-	1	nA
Foto corriente	I_{PD}	UVA Lamp, $1mV/cm^2$	-	113	-	nA
		1 UVI	-	26	-	
Coeficiente de temperatura	I_{TC}	UVA LAMP	-	0.08	-	%/°C
Responsivity	R	$\lambda = 300nm$, $V_R=0V$	-	0.14	-	A/W
Rango espectral de detección	Λ	10% of R	240	-	370	nm

Tabla 7: Principios de operación.

Como resultado, mostramos el índice UV y la radiación UV. Conecta el sensor GUVA-S12SD al Arduino y carga el siguiente código Como muestra en la Figura 15.

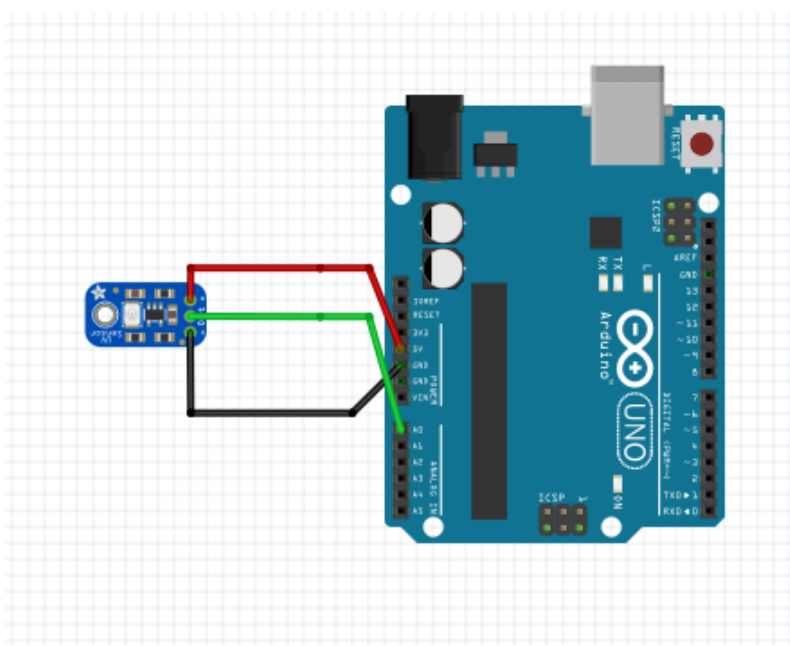


Figura 15: Diagrama de conexión GUVA S12SD. [29]

4.2.2 Explicación del código para sensores de detección UV Arduino:

Comenzaremos con el sensor GUVA-S12SD este sensor puede conectarse a cualquier entrada analógica del Arduino. La señal del fotodiodo es amplificada con la ayuda del amplificador operacional LM358 en donde las lecturas sin convertir se realizan por medio de la función `AnalogRead` dependiendo del pin que se hayamos seleccionado para su operación. Para obtener las lecturas en de la intensidad de radiación UV es necesario convertir las lecturas en voltaje utilizando la siguiente formula.

$$voltaje = valordelsensor * (\frac{5.0}{1023.0})$$

Para darle una estructura de separación en forma de columnas utilizamos el comando `Serial.print(" | ")` con el objetivo de poder facilitar su interpretación. La programación de los sensores GUVA S12SD se encuentran en el Anexo 1.

Resultados en un espacio cerrado completamente, vistos en el monitor serial 8:54, como se muestra en la Figura 16.

```
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
Voltage = 0.00 | UV Index = 0.00
```

Figura 16:Datos del sensor. [30]

Resultados en un espacio abierto, vistos en el monitor serial 8:54 en el exterior 8:55am como se muestran el Figura 17.

```

UV Index = 1.08
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.08
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.12
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.08
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.12
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.08
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.08
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.08
Voltage = 0.11 | UV Index = 1.08
Voltage = 0.10 | UV Index = 1.03
Voltage = 0.10 | UV Index = 1.03
Voltage = 0.10 | UV Index = 1.03
Voltage = 0.10 | UV Index = 1.03
Voltage = 0.10 | UV Index = 1.03
Voltage = 0.10 | UV Index = 1.03
Voltage = 0.10 | UV Index = 0.98
Voltage = 0.10 | UV Index = 0.98
Voltage = 0.10 | UV Index = 0.98
Voltage = 0.10 | UV Index = 0.98

```

Figura 17: Datos del sensor. [31]

El diagrama de conexión se puede observar en la Figura 18.

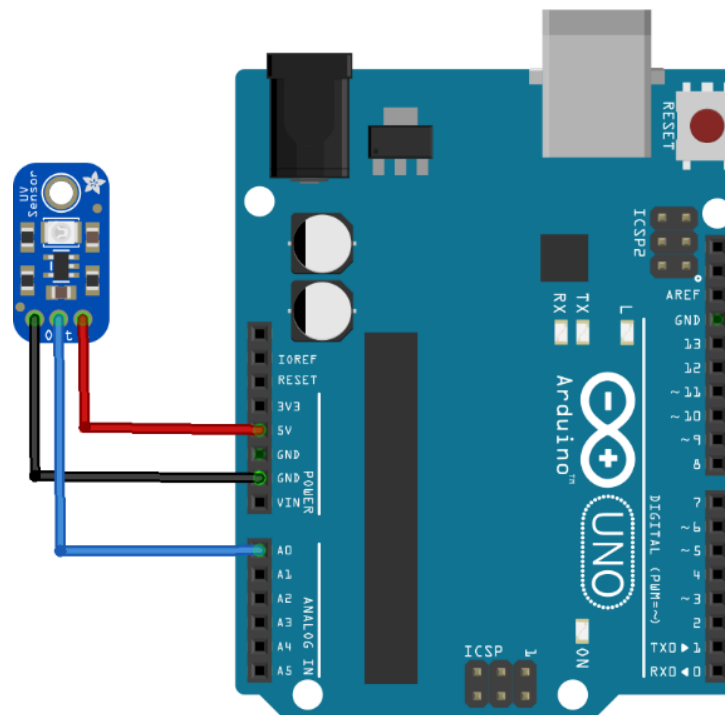


Figura 18: Diagrama de conexión.[32]

La conexión directa del sensor a Arduino se puede observar en la Figura 19.

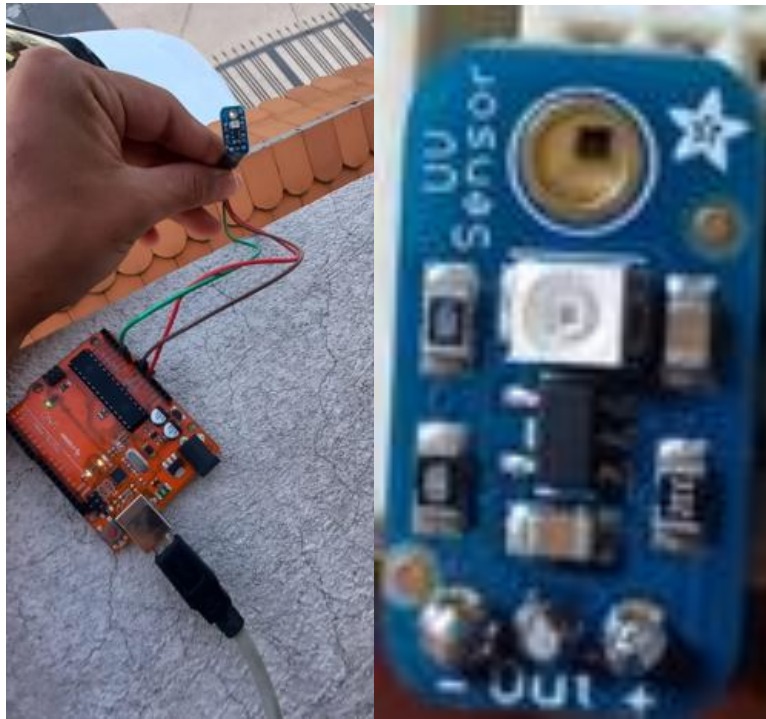


Figura 19: Conexión física del sensor UV.[33]

Prueba con el siguiente sensor marca keyes se pueden observar en la Figura 20. Al ser de la familia GUA podemos activarlo con el mismo programa anterior.



Figura 20: Sensor GUA-S12SD
keyes. [34]

Resultados en un espacio cerrado completamente, vistos en el monitor serial 9:00am como se observan en la Figura 21.

Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00

Figura 21: Datos sensor.[35]

Resultados en un espacio abierto, vistos en el monitor serial 9:15am como se observan en la Figura 22.

Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.83
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.83
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79
Voltage = 0.28		UV Index = 2.79

Figura 22: Datos del sensor.[36]

El diagrama de conexión se puede observar en la Figura 23.

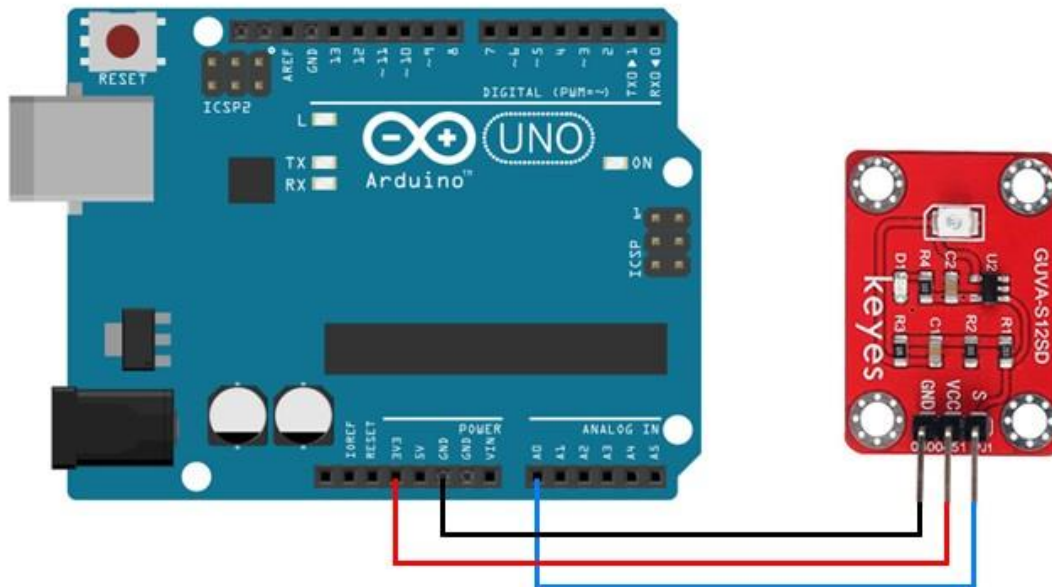


Figura 23: Diagrama de conexión.[37]

La conexión en físico se muestra en la Figura 24.

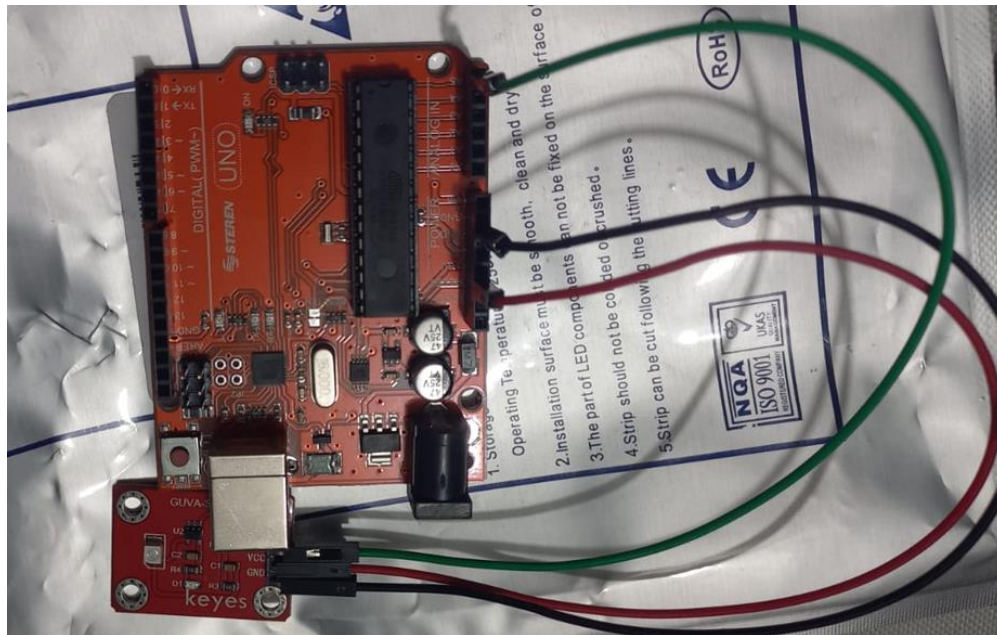


Figura 24: Conexión física del sensor GUVVA-S12SD.[38]

Lecturas del siguiente sensor como se muestra en la Figura 25 que es conocido como sensor de detección UV al igual que sus antecesores comparten el mismo sensor y programación.



Figura 25:Sensor de detección UV.[39]

Resultados en un espacio cerrado completamente, vistos en el monitor serial 9:30am como se muestra en la siguiente Figura 26.

Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00
Voltage = 0.00		UV Index = 0.00

Figura 26: Datos del sensor.[40]

Resultados en un espacio abierto, vistos en el monitor serial 9:45am, como se muestran en la Figura 27.

Voltage = 0.73		UV Index = 7.33
Voltage = 0.72		UV Index = 7.23
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.72		UV Index = 7.23
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.71		UV Index = 7.14
Voltage = 0.73		UV Index = 7.33
Voltage = 0.67		UV Index = 6.74
Voltage = 0.68		UV Index = 6.84
Voltage = 0.72		UV Index = 7.18
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.69		UV Index = 6.89
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.70		UV Index = 6.99
Voltage = 0.72		UV Index = 7.23
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.67		UV Index = 6.74
Voltage = 0.73		UV Index = 7.28
Voltage = 0.71		UV Index = 7.14
Voltage = 0.73		UV Index = 7.33

Figura 27: Datos del sensor.[41]

La conexión física del sensor se puede observar en la Figura 28.



Figura 28: Conexión física del sensor.[42]

4.2.3 Conexión del sensor ML-8511.

El sensor ML8511 produce un voltaje analógico que está relacionado linealmente con la intensidad UV medida (mW/cm²). Con el microcontrolador que nos proporciona Arduino podemos realizar una conversión de analógico a voltaje, logrando de esta manera poder detectar el nivel de UV. A continuación, conectamos la siguiente placa de conexión ML8511 a nuestro Arduino de la siguiente manera:

1. ML8511/Arduino
2. 3,3 V = 3,3 V
3. SALIDA = A0
4. Tierra = Tierra
5. ES = 3,3V
6. Arduino 3.3V = Arduino A1

La conexión deberá estar de la siguiente manera como se muestra en la Figura 30.

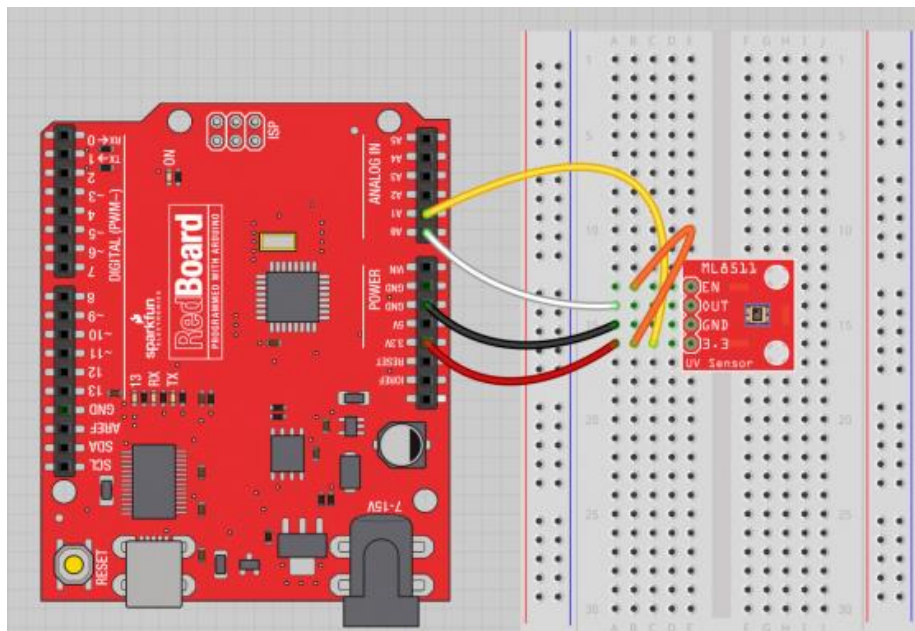


Figura 29: Diagrama de conexión sensor ML8511.[43]

4.2.4 Explicación de programación en el sensor ML-8511.

Conectamos el pin EN a la salida a 3.3V que está disponible en el Pin A1. Además, conectaremos el pin de 3,3 V del conector al pin A1 de Arduino. Esto habilitará la salida para las conversiones de analógicas a digital. Las conversiones de dependen completamente de VCC. Asumimos este es 5 V, pero si la placa se alimenta desde USB, puede ser tan alto como 5,25 V o tan bajo como 4,75 V. Debido a este rango desconocido, el ADC suele ser bastante impreciso en estos casos. Para solucionar este problema, utilizamos la referencia integrada de 3,3 V, que es muy precisa (con una precisión del 1%). Por lo tanto, al hacer un ADC en el pin de 3.3V (A1) y compararla con la lectura del sensor podemos extrapolar una lectura realista sin importar el valor del VIN (siempre que sea superior a 3,4 V). La programación del sensor ML-8511 se encuentra en el Anexo 2.

Podemos generar a la vez los rangos de longitud de onda que está siendo detectada por el sensor ML-8511 con el fin de probar la variedad de usos de este sensor como se muestra en la Figura 30. Las programaciones para generar dichas lecturas se encuentran en el Anexo 3.

```
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:336
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
Moderado
Indice UV:3 - Rango:337
```

Figura 30: Rangos del espectro electromagnético.[44]

Al terminar la programación para cada uno de nuestros sensores pasaremos a generar el código que será como base para poder medir la radiación UV por medio de 4 sensores diferentes con el objetivo de escoger 3 sensores ideales para una posición específica en DIMIRUV, la conexión entre estos 4 sensores se muestra en la Figura 31. El programa generado se puede encontrar en el Anexo 4.

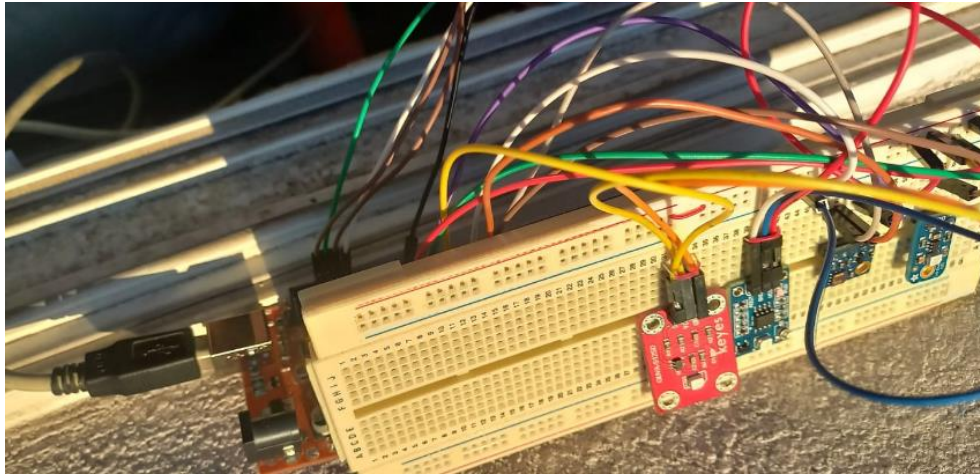


Figura 31: Conexión física de los 4 sensores.[45]

A continuación, en la Figura 32 se muestra la prueba de colocar los 4 sensores colocados en el interior del concentrador solar.



Figura 32: Sensores dentro del concentrador solar.[46]

4.3 Incorporación de memoria MicroSD.

4.3.1 Memorias SD.

Las tarjetas de memoria SD son ampliamente utilizadas en dispositivos portátiles debido a su alta capacidad y tamaño compacto. Debido a su alto desempeño, estas tarjetas son fáciles de adquirir en una variedad de capacidades y precios. Esto los convierte en una excelente opción de almacenamiento para su manejo en Arduino, especialmente cuando se requiere almacenar grandes cantidades de información.

Existen 3 tamaños de tarjetas de memorias: SD estándar, Mini SD y Micro SD, la memoria más común de usar, así como encontrar es la MicroSD. Aunque difieren en ciertos tamaños físicos como se muestra en la Figura 33, funcionan de la misma manera, y en donde es posible utilizar ciertos adaptadores para insertarlas en diferentes tipos de entradas a nuestras computadoras, teléfonos o ciertos aparatos electrónicos.

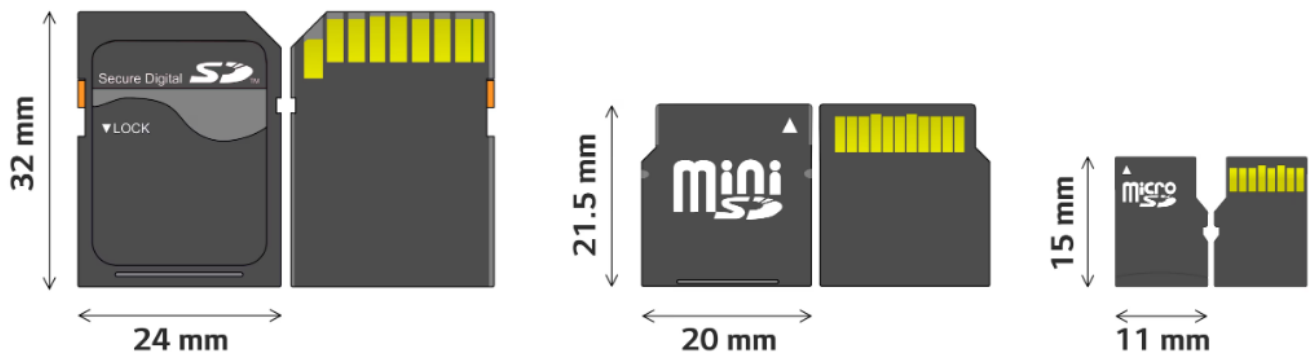


Figura 33: Tipos de memorias SD.[47]

En cuanto al formato existen, cuatro tipos de tarjetas SD: SDSC, SDHC, SDXC y SDIO.

La comunicación entre la memoria se realiza por medio de SPI y operaran a 3.3V. Para que sean usadas en Arduino, se requieren módulos externos que no solo incluyan el socket para la tarjeta, sino también los componentes necesarios para adaptar los voltajes a TTL lo que permitirá una conexión más inteligible para Arduino.

- **Modulo Micro SD:** Este dispositivo nos proporciona la posibilidad de insertar una tarjeta de memoria Micro SD como se puede observar en la Figura 34, la cual es una de las más comunes en el mercado. Este módulo lleva un regulador de tensión, por lo que tiene la posibilidad de ser alimentado con 3.3V o 5V.

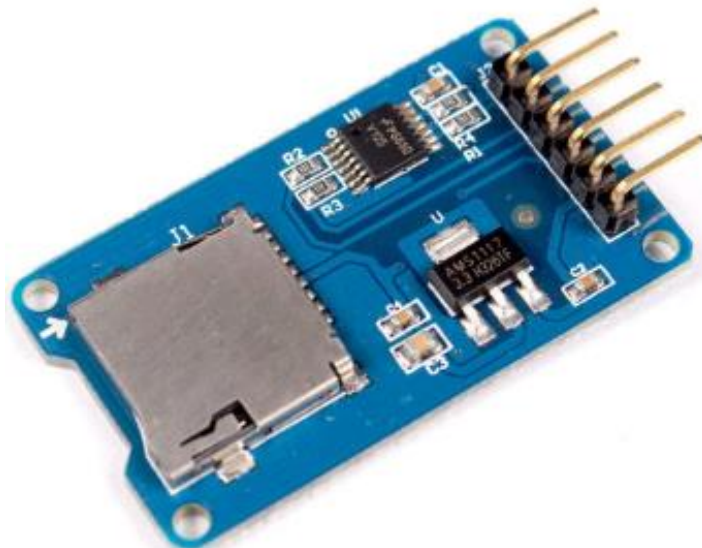


Figura 34: Modulo microSD card. [48]

- Modulo SD card: Este módulo contiene un socket grande diseñado para las tarjetas de memoria de tamaños estándar como se muestra en la Figura 35. Sin embargo, mediante el uso de un adaptador también se pueden utilizar tarjetas microSD como se muestra en la Figura 36.



Figura 35: Modulo SD card. [49]



Figura 36: Adaptador de memoria microSD card. [50]

Arduino tiene librerías incorporadas que permiten el uso de estas memorias y es compatible con cualquiera de los módulos mencionados. Esta librería viene incluida con el IDE de Arduino, por lo que no se necesita instalar ni descargar por separado y para poder hacer uso de esta librería se necesita escribir la siguiente estructura para dar su inicio: Include <SD.h>. Las funciones principales resumidas de la librería SD se pueden encontrar en el Anexo 5.

4.3.2 Conexión entre Arduino y modulo SD y microSD.

Las conexiones para el módulo SD son las siguientes:

Modulo SD	Arduino Uno, Nano	Arduino Mega
GND	GND	GND
+3.3V	No conectado	No conectado
+5.0V	5.0V	5.0V
CS	4	4
MOSI	11	51
SCK	13	52
MISO	12	50
GND	GND	GND

Tabla 8: Tabla de conexiones para el módulo SD.

**Se puede alimentar con 5V o 3,3V usando los pines correspondientes, pero no se debe de alimentar por ambos pines a la vez*

La conexión física para la memoria se puede observar en la Figura 37.

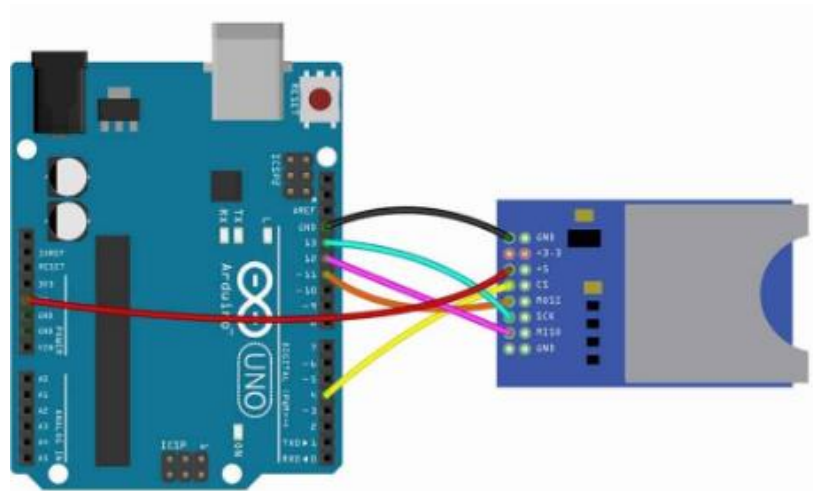


Figura 37: Diagrama de conexión modulo SD.[51].

Y las conexiones si se trabajan con el módulo microSD son:

Modulo SD	Arduino Uno, Nano	Arduino Mega
CS	4	4
SCK	13	52
MOSI	11	51
MISO	12	50
VCC	5V	5V
GND	GND	GND
3.3V	No conectado	No conectado

Tabla 9: Tabla de conexiones de módulo microSD.

**Se puede alimentar con 3,3V en lugar de 5V usando el pin correspondiente, pero no se debe de alimentar por ambos pines a la vez*

La conexión física para la memoria se puede observar en la Figura 38.

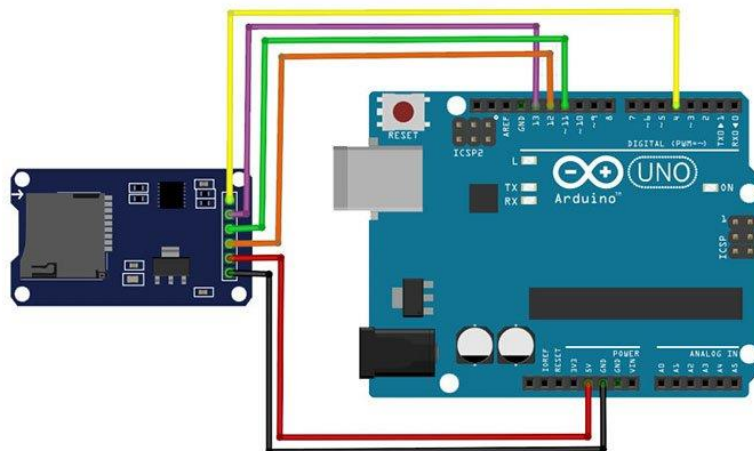


Figura 38: Diagrama de conexión para módulo microSD.[52]

4.3.3 Guardando datos en la SD (Datalogger).

Se comenzará usando como base inicial la programación para activar los 3 sensores simultáneamente, primeramente, probaremos el guardar los datos de los sensores en un archivo de texto para tener una mejor orientación y disposición de cómo funciona cada comando usado en este programa, este programa se puede encontrar en el Anexo 6. El resultado de realizar esta programación se muestra en la Figura 39.

```
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 49.05
- Rango: 280
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
- Rango: 94
Sensor 3 (ML8511) - UV Intensity (mW/cm^2): 2.11
Hora: 00:60:00
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 49.05
- Rango: 280
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
- Rango: 94
Sensor 3 (ML8511) - UV Intensity (mW/cm^2): 2.11
Hora: 00:60:00
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 48.99
- Rango: 278
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
- Rango: 94
Sensor 3 (ML8511) - UV Intensity (mW/cm^2): 2.11
Hora: 00:60:00
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 49.05
- Rango: 280
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
```

Figura 39: Monitor serial prueba de código.[53]

El proceso de elaboración de conexiones de los 4 sensores de radiación UV para el modelo experimental de DIMIRUV se muestra en la Figura 40, Figura 41, Figura 42 y Figura 43.

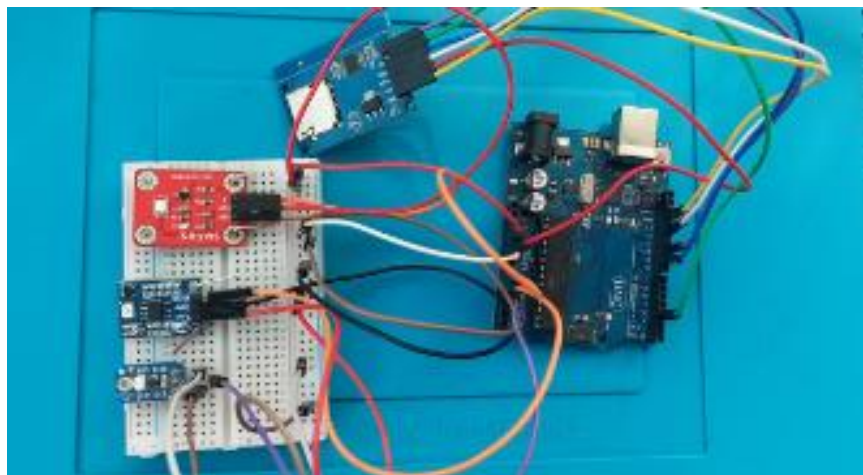


Figura 40: Conexiones físicas de los sensores y el módulo microSD para Arduino.[54]

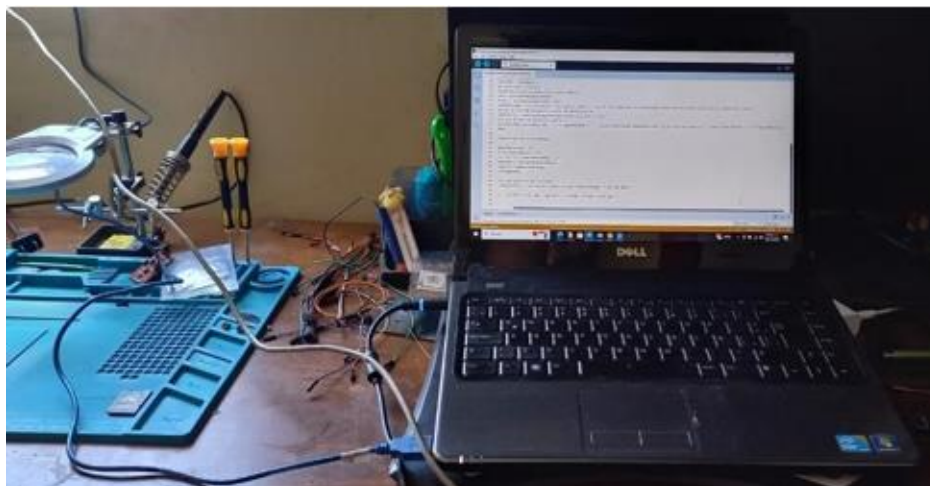


Figura 41: Proceso de programación de sensores y modulo micro SD.[56]

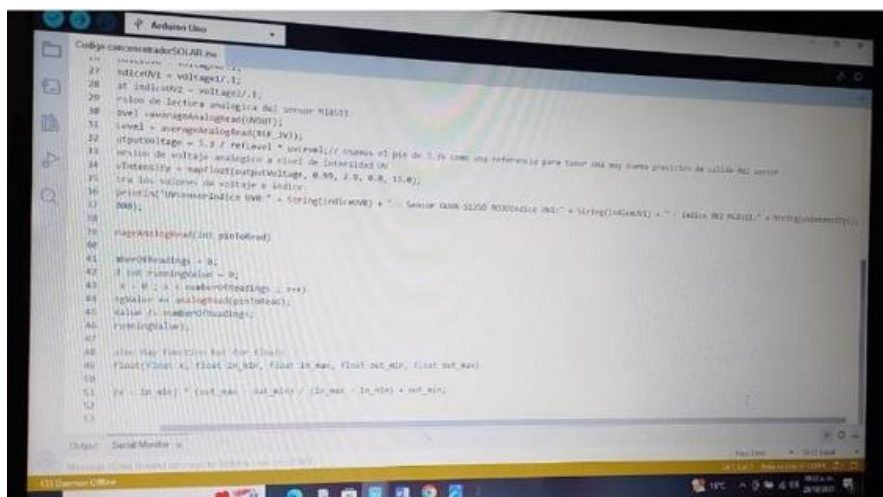


Figura 42: Proceso de programación de los sensores y módulo micro SD.[55]

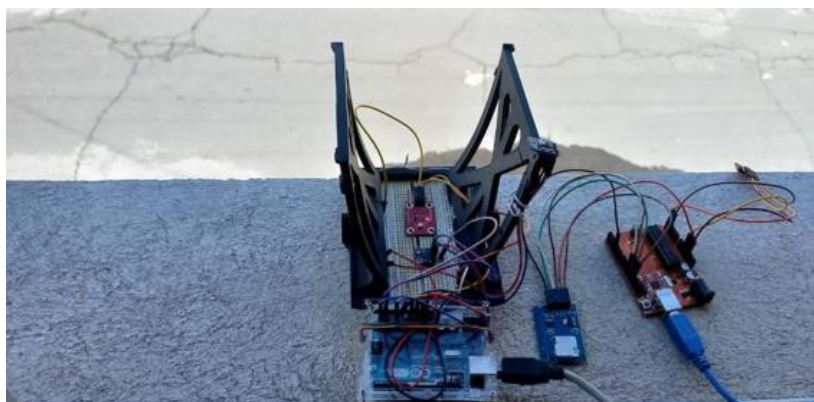


Figura 43: Sensores acoplados a la estructura del modelo experimental para DIMIRUV.[57]

4.3.4 Exportando los datos del Datalogger a Excel.

En esta etapa del proyecto, buscamos darles un propósito a los datos almacenados en la memoria SD para obtener un estudio detallado y organizado. Esto se conseguirá mediante la ayuda de Excel, donde le daremos un orden a la serie de mediciones obtenidas de nuestros sensores UV en forma de una hoja de Excel para generar una mejor comprensión de su comportamiento y así seleccionar los sensores adecuados para las necesidades de DIMIRUV.

Para lograr esto, no guardaremos las mediciones directamente en Excel, sino más bien los guardaremos en un formato “.csv” (valores separados por comas), lo que permitirá el registro de las mediciones, así como darles una estructura en forma de filas por medio de saltos de página y columnas a través de comas o algún otro separador. El usar este formato nos brindara la ventaja de poder importar los datos no solo en Excel, sino también a otros programas como Calc de Open Office, Gnumeric, Matlab, etc.

Tomamos como referencia el programa del Anexo 6 en donde no buscaremos ahora ya guardarlos las lecturas de nuestros sensores en formato de una hoja de texto, ahora se intentará el poder exportar esos datos a Excel y darle una organización para el usuario. Dicho programa elaborado se encuentra en el Anexo 7.

Como se puede observar los cambios generados (ver Anexo 7) se realizan desde el inicio generado donde incluimos nombres de los campos o encabezados desde nuestro void set up. Si el archivo no existe podemos, crear uno y luego escribimos primera fila. Posteriormente nos concentramos ahora en el bucle void loop, en donde escribiremos los datos de toda la programación que con lleva para cada sensor para llegar a las mediciones de intensidad de radiación UV. Como dato adicional, como el archivo que creamos para poder guardar esta serie lecturas, cada vez que se encienda o se reinicie Arduino continuara escribiendo desde la última posición. Si el usuario desea reiniciar todas las lecturas, podemos seguir 3 opciones que usuario puede seguir:

1. Cambiar el nombre del archivo por uno nuevo ya sea Muestras 1, Muestras 2 etc.
2. Eliminar el archivo manualmente desde la PC.
3. Mediante código, eliminar el archivo con SD. remove(filename) en la función del void Setup().

Después de obtener los datos que deseamos, el siguiente paso es ingresar la memoria SD a la PC ya con los datos guardados por nuestro Arduino como se muestra en la Figura 44.

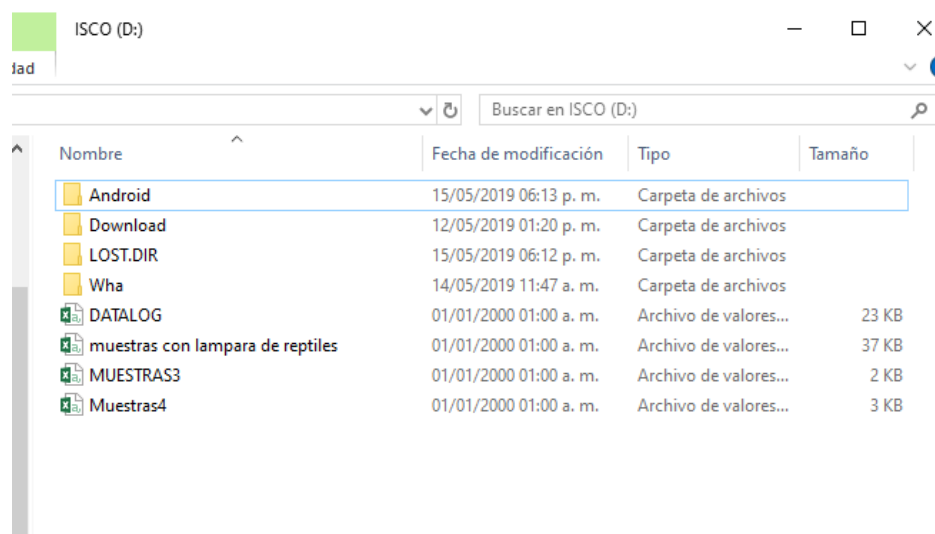


Figura 44: Muestras guardadas en la memoria SD. [58]

Al ingresar a la SD debemos encontrar el archivo DATALOG.CSV, posteriormente abrimos Excel y en la barra de menús vamos a Datos y luego a Obtener datos externos seguido a Desde un archivo de texto como se muestra en la Figura 45.

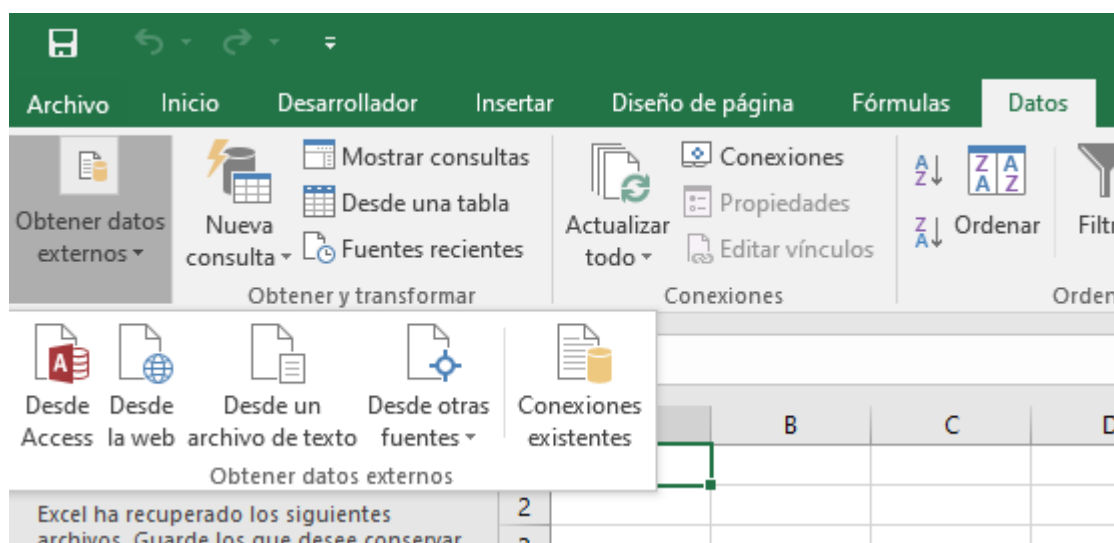


Figura 45: Adquisición de las muestras en Excel. [59]

Donde ahora procedemos a escoger el archivo que deseamos importar, en nuestro caso datalog.csv y nos abrirá el asistente de importación, como primer paso será el escoger las muestras que deseamos estudiar como se muestra en la Figura 46.

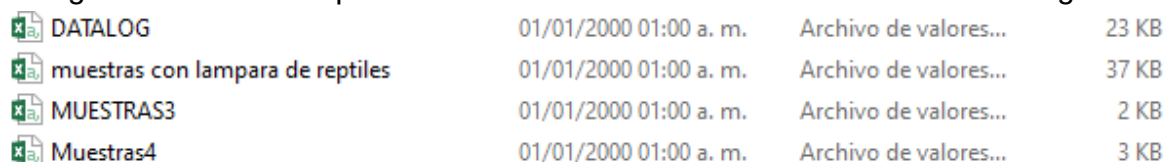


Figura 46: Selección de archivos a importar.[60]

Al seleccionar la muestra nos aparece el siguiente recuadro, donde seleccionaremos el punto de datos delimitados, ya que nuestros datos están ordenados gracias a comas por Arduino como se muestra en la Figura 47.

El asistente estima que sus datos son Delimitados.
Si esto es correcto, elija Siguiente, o bien elija el tipo de datos que mejor los describa.

Tipo de los datos originales

Elija el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión:

☒ Delimitados - Caracteres como comas o tabulaciones separan campos.

☐ De ancho fijo - Los campos están alineados en columnas con espacios entre uno y otro.

Comenzar a importar en la fila: 1 Origen del archivo: MS-DOS (PC-8)

☐ Mis datos tienen encabezados.

Vista previa del archivo D:\MUESTRAS3.CSV.

1	Tiempo (ms)	GuvaROJO	GuvaAZUL	SE-ML8511	TinyGuva
2	2089	2.98	2.88	3.50	4.20
3	21	2.98	3.27	3.52	4.20
4	1217	2.98	3.23	3.52	4.20
5	2351	2.93	2.74	3.52	4.20

Figura 47: Ordenamiento de las muestras.[61]

La asignación de los separadores se realiza en el mismo cuadro de asistencia de Excel como se muestra en la Figura 48.

Asistente para importar texto - paso 2 de 3

Esta pantalla le permite establecer los separadores contenidos en los datos. Se puede

Separadores

☐ Tabulación

☐ Punto y coma

☒ Coma

☐ Espacio

☐ Otro:

☐ Considerar separadores consecutivos como uno solo

Calificador de texto: *

Vista previa de los datos

Tiempo (ms)	GuvaROJO	GuvaAZUL	SE-ML8511	TinyGuva
2089	2.98	2.88	3.50	4.20
21	2.98	3.27	3.52	4.20
1217	2.98	3.23	3.52	4.20
2351	2.93	2.74	3.52	4.20

Figura 48: Cuadro para asignación de separadores.[62]

Por último, ahora dejamos todas las columnas en “General” para darle un formato de tabla a los datos como se muestra en la Figura 49.

Asistente para importar texto - paso 3 de 3

Esta pantalla permite seleccionar cada columna y establecer el formato de los datos.

Formato de los datos en columnas

☒ General
☐ Texto
☐ Fecha: DMA
☐ No importar columna (saltar)

'General' convierte los valores numéricos en números, los valores de todos los demás valores en texto.

Avanzadas...

Vista previa de los datos

General	General	General	General	General
Tiempo (ms)	GuvaROJO	GuvaAZUL	SE-ML8511	TinyGuva
2089	2.98	2.88	3.50	4.20
21	2.98	3.27	3.52	4.20
1217	2.98	3.23	3.52	4.20
2351	2.93	2.74	3.52	4.20

Figura 49: Formato de tablas.[63]

Para finalizar seleccionamos cualquier punto de nuestra página de Excel como inicio de nuestra tabla de datos de los sensores tal como se muestra en la Figura 50.

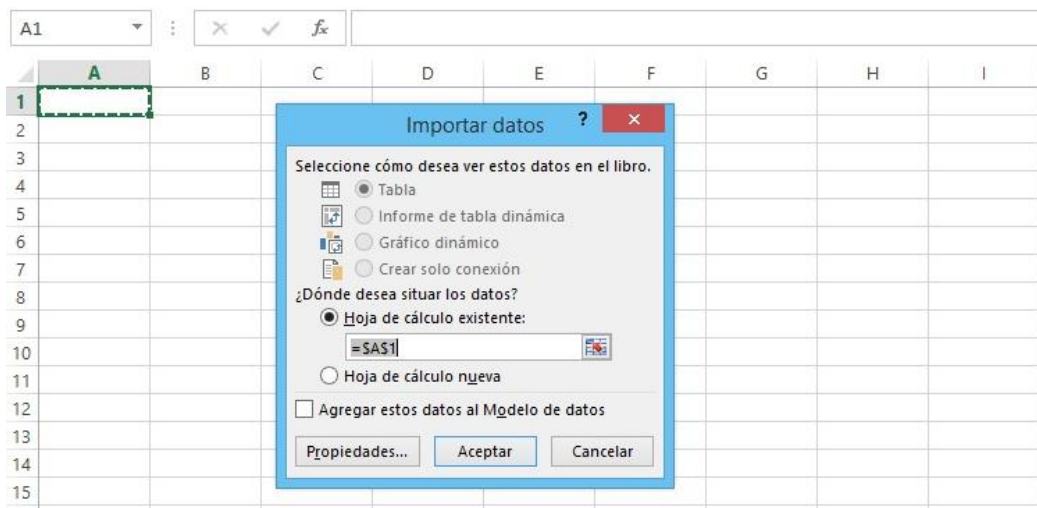
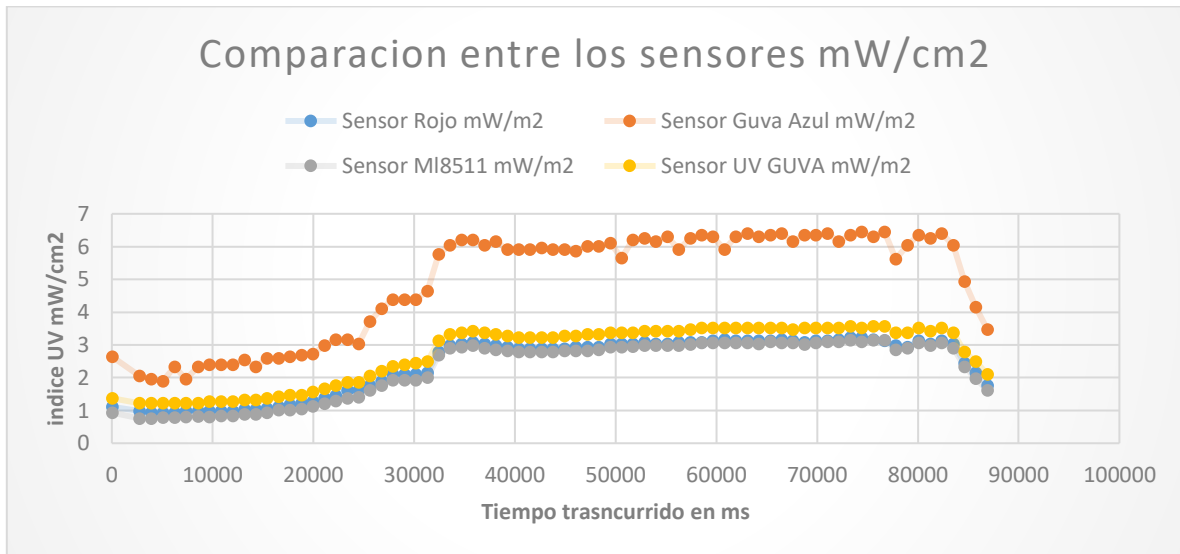


Figura 50: Punto de inicio en nuestras tablas de Excel. [64]

Finalmente tenemos los datos ya disponibles para su estudio en una tabla de Excel que se pueden encontrar en el Anexo 8.

Se elaboró un gráfico para la selección de nuestros sensores ideales para este proyecto se pueden observar en la Grafica 2.



Grafica 2: Comparación entre los sensores.

La correlación calculada para poder asignar cuales serán nuestros sensores ideales se muestra en la Tabla 9

Correlación entre el sensor GUYA ROJO y GUYA azul	
	0.995179445
Correlación entre el sensor GUYA ROJO y GUYA UV pequeño	
	0.999417738
Correlación entre el sensor GUYA ROJO y ML8511	
	0.999340293
Correlación entre el sensor GUYA Azul y GUYA UV pequeño	
	0.995775603
Correlación entre el sensor GUYA Azul y ML8511	
	0.996139607
Correlación entre el sensor GUYA UV pequeño y ML8511	
	0.999631981

Tabla 10: Correlación entre sensores.

Proceso de obtención de desviación estándar de los sensores.

Formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Donde:

- σ = Es la desviación estándar.
- X_i = Es cada valor individual en el conjunto de datos.
- $\bar{x}$ = Es la media del conjunto de datos.
- Σ = Indica la suma sobre todos los valores del conjunto de datos.
- n = Número de muestras.

Cálculo de la media para cada sensor.

Numero de datos de los sensores		76
Media Sensor rojo		2.39842105
Media sensor GUYA azul		4.91552632
Media sensor MI8511		2.28710526
Media sensor UV GUYA pequeño		2.73605263

Tabla 11: Media aritmética de cada sensor.

Calculo por medio de las funciones de Excel se pueden observar en la Tabla 8.

=DESVEST (numero1, numero2, ...)

Calculo adquirido por nuestra calculadora.

Desviación estándar sensor GUYA ROJO = $(55.856010531/75)^{0.5} = 0.862987$.

Calculo de desviación estándar entre los sensores		R
Desviación estándar sensor Rojo		0.86298714
Desviación estándar sensor GUYA azul		1.63717187
Desviación estándar sensor ML8511		0.91944734
Desviación estándar sensor UV GUYA pequeño		0.90439678

Tabla 12:Desviación estándar: GUYA S12SD ROJO, GUYA AZUL S12SD, sensor ML-8511, sensor UV GUYA S12SD pequeño.

Proceso de obtención del error estándar.

$$error = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}$$

Donde:

σ = Desviación estándar.

Error= Error estándar.

n = Número de las muestras.

Cálculo de error estándar entre cada sensor.

Cálculo del error estándar.	R
Error en sensor rojo GUVA S12SD	0.098991414
Error en sensor GUVA azul	0.187796493
Error en sensor ML8511	0.105467843
Error en sensor UV GUVA pequeño	0.103741426

Tabla 13: Calculo del error estándar de los sensores.

Estandarización del error:

$$Z = \frac{\text{error}}{\text{desviacion estandar de la muestra}}$$

$$z = \frac{0.098991414}{0.86298714} = 0.1147$$

Estandarización del error para cada sensor.

Estandarización del error para cada sensor.	R
Sensor GUVA S12SD	0.114707867
Sensor GUVA azul	0.114707867
Sensor ML8511	0.114707867
Sensor UV GUVA Pequeño	0.114707867

Tabla 14: Estandarización del error de los sensores UV.

4.4 Incorporación de pantalla ILI9341.

4.4.1 Pantalla ILI9341.

La pantalla táctil ILI9341 como se muestra en la Figura 51, impulsada por un controlador homónimo (que comparten el mismo procesador ILI9341) emerge como una opción central en el ámbito de las interfaces graficas a colores. Con una resolución de 320x240 píxeles y una gran adaptabilidad, es comúnmente elegida para proyectos propios y sistemas embebidos. Esta pantalla TFT nos proporciona una representación visual clara y provee funciones táctiles para una interacción directa y amigable con el usuario si así se le requiere. Su interfaz de comunicación en SPI, facilita su incorporación de una variedad de plataformas como: Arduino, Raspberry Pi, Teensy, ESP32 y ESP8266. Las aplicaciones que se le pueden dar a esta TFT van desde dispositivos de medición hasta controladores de interfaz de usuario, la ILI9341 se favorece de librerías de software disponibles, lo que facilita la

elaboración de proyectos y la vuelve una muy buena opción para aquellos una opción grafica interesante y fácil de usar.



Figura 51: Pantalla táctil ILI9341.[65]

La pantalla táctil ILI9341 opera con un voltaje de 3.3V, por lo que es crucial no alimentarla con 5V. Además, los niveles lógicos deben adaptarse a 3.3V, para esto se puede utilizar un módulo conversor de nivel lógico bidireccional de 5V a 3.3V, como se muestra en la Figura 52

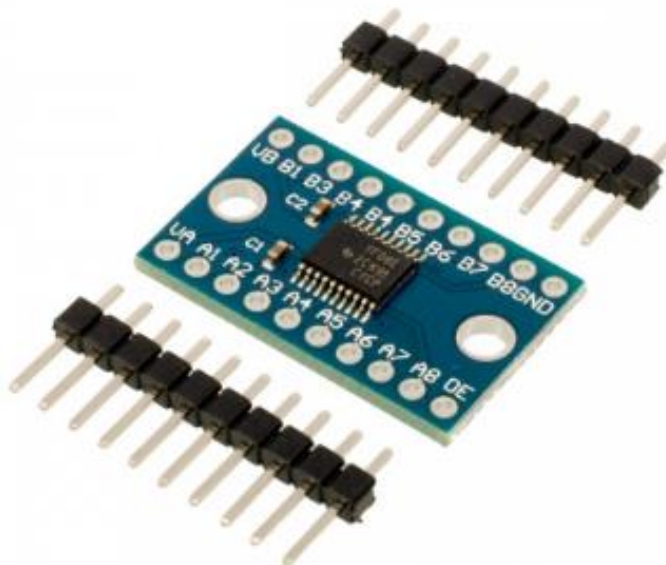


Figura 52: Conversor de nivel lógico bidireccional.[66]

Otra opción es usar un Arduino UNO tal como se muestra en la Figura 53 o alguna de sus otras variantes PRO mini o NANO.



Figura 53: Arduino UNO.[67]

Para ser capaces de sacar el máximo rendimiento de esta pantalla, existen varias librerías y funciones que simplifican su manejo permitiéndonos desarrollar interfaces graficas vibrantes y dinámicas. Estas funciones se pueden encontrar en el Anexo 9.

4.4.2 Conexión entre la pantalla TFT y Arduino.

Para facilitar la identificación de las conexiones de la pantalla ILI9341 se muestran en la Tabla 14.

Módulo TFT	Arduino NANO.
SDO(MISO)	Pin 12
LED	Pin 3.3V o fuente externa 3.3V
SDK	Pin 13
SDI(MOSI)	Pin 11
D/C	Pin 9
RESET	Pin 3.3V o fuente externa 3.3V
CS	Pin 10
GND	Pin GND
VCC	Pin 3.3V o fuente externa 3.3V

Tabla 15: Tabla de conexiones entre la pantalla ili9341 y Arduino.

La pantalla funciona con un voltaje de operación a 3.3v en nuestro caso como escogimos el Arduino UNO no es necesario un convertor de nivel lógico como se muestra en la Figura 54. [17]

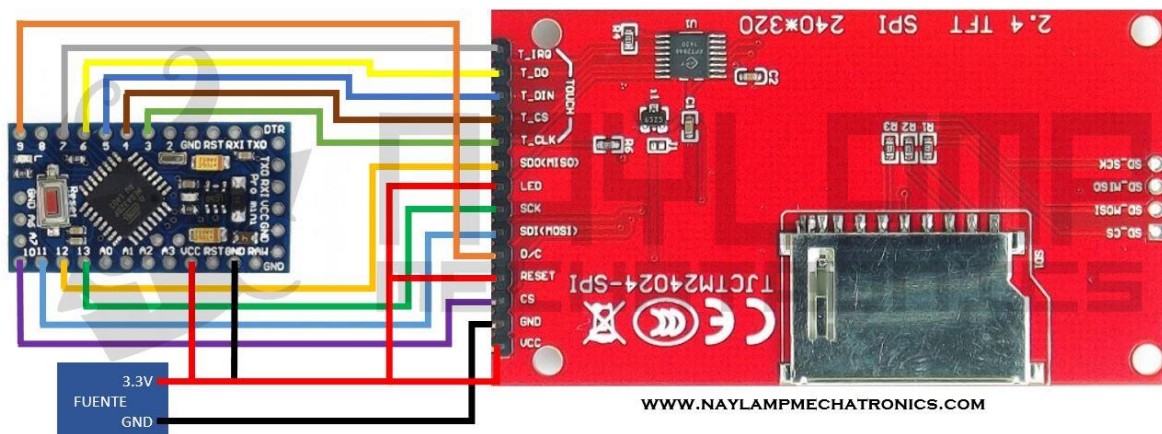


Figura 54: Conexión de Arduino al convertor analógico a la pantalla ILI9341.[68]

A continuación, se muestra la conexión directa entre el Arduino uno sin un convertor lógico programable como se muestra en la Figura 55.

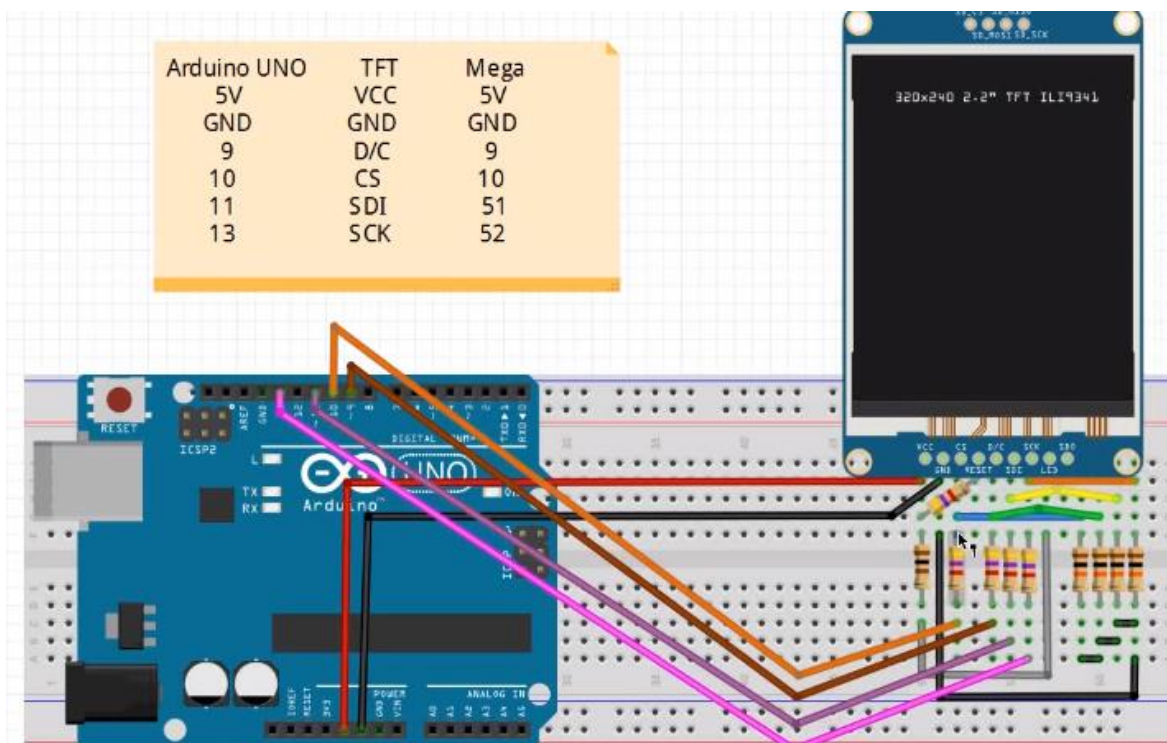


Figura 55: Circuito de conexión directa sin convertor de nivel lógico en protoboard.[69]

Para una mejor vista de las conexiones se muestra el diagrama de conexiones correspondiente para la pantalla tal como se muestra en la Figura 56.

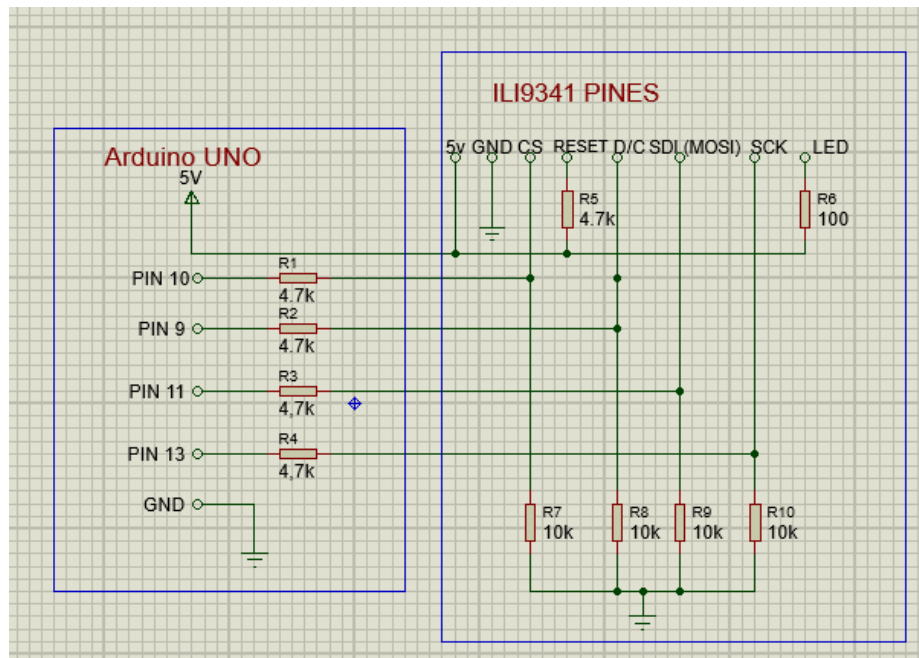


Figura 56: Diagrama esquemático de conexiones.[70]

La incorporación de la pantalla ILI9341 en el proyecto se pueden observar en la Figura 57 en donde A) es la incorporación de la pantalla en DIMURV y B) el ordenamiento de los elementos que integran a DIMIRUV.

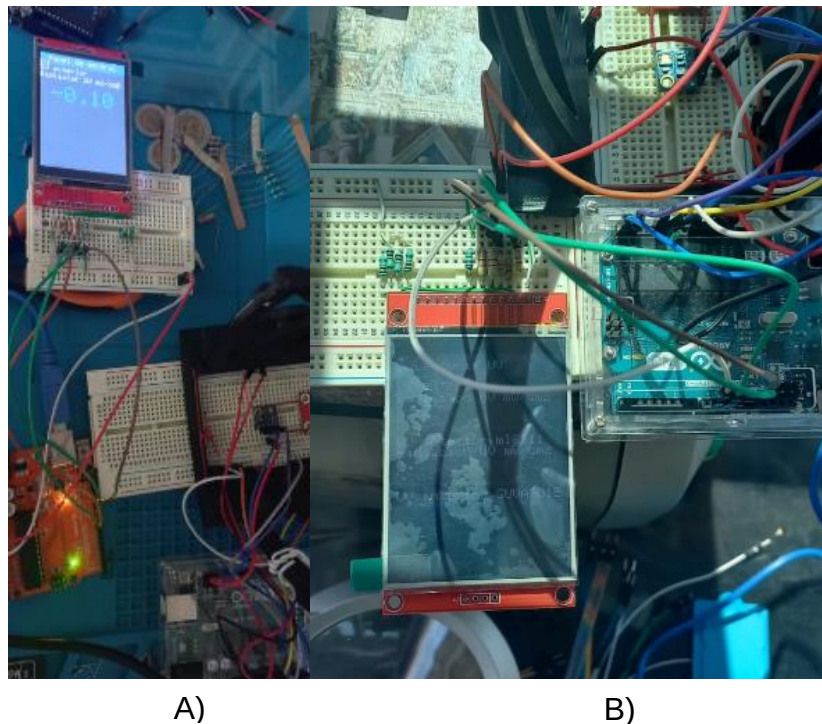


Figura 57: Pantalla ILI9341 en Arduino.[71]

Capítulo 5.

Construcción y Validación del DIMIRUV

Capítulo 5. Construcción y Validación del DIMIRUV.

En este capítulo nos acercaremos ahora al desarrollo total del modelo experimental de DIMIRUV, iniciando su proceso armado y evaluación con otros sensores que contamos a nuestra disposición.

5.1 Construcción del DIMIRUV.

El proceso de incorporación de todos los elementos antes mencionados para el prototipo de DIMIRUV se muestra en la Figura 59.

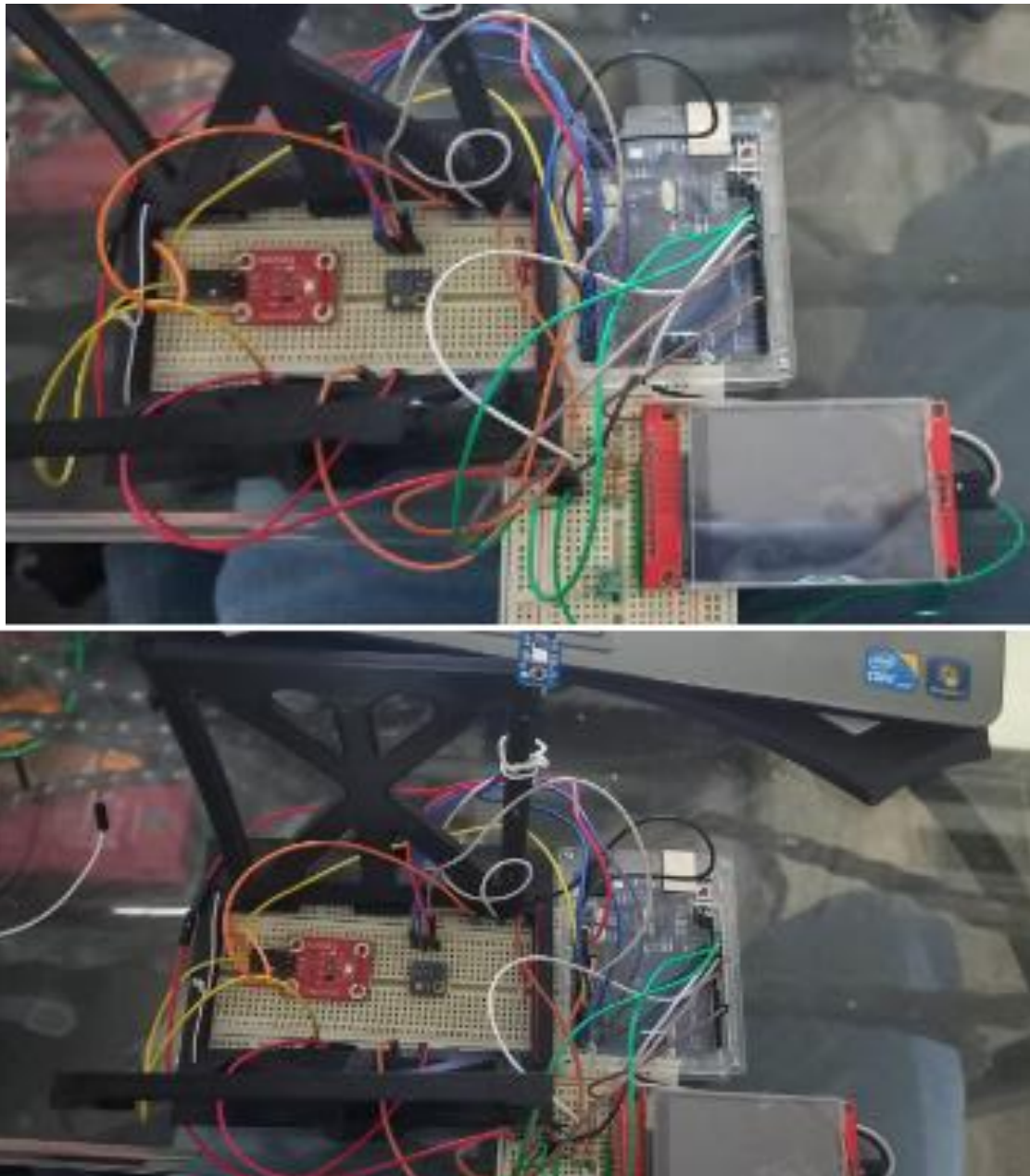


Figura 58: Construcción del prototipo DIMIRUV.[73]

5.1.1 Diagrama estructural.

El siguiente diagrama estructural de arquitectura y la organización que con lleva a la elaboración de DIMIRUV que se muestra en la Figura 59. Este diagrama proporciona una visión general de cómo se conecta cada componente, ayudando a comprender su funcionamiento ya explicados en capítulos anteriores.

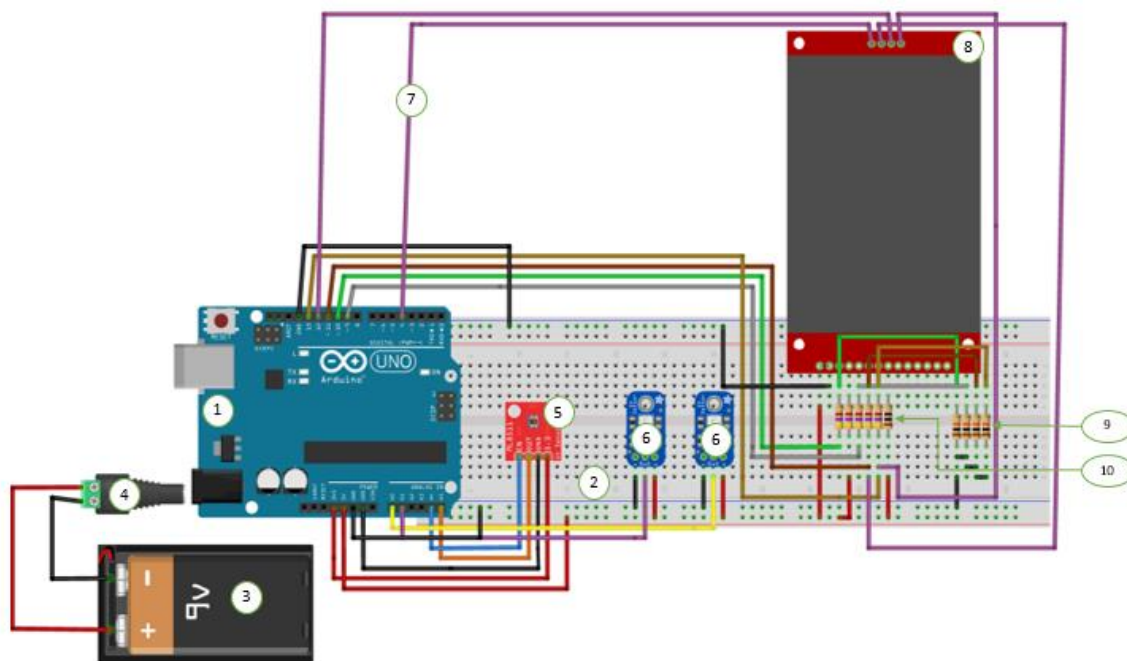


Figura 59: Diagrama estructural del prototipo DIMIRUV.[74]

La identificación de los elementos y dispositivos electrónicos que se usaron para la elaboración de DIMIRUV se muestran en la Tabla 15.

Numeración	Cantidad	Material
1	1	Arduino UNO
2	1	Protoboard
3	1	Batería 9v
4	1	Adaptador Jack
5	1	Sensor ML8511
6	2	Sensor GUVVA S12SD
7	32	Jumpers macho/macho
8	1	Pantalla TFT ILI9341
9	4	Resistencias 10k ohm
10	1	Resistencia 100 ohm
11	5	Resistencias 4.7k ohm

Tabla 15: Lista de materiales para la elaboración de DIMIRUV.

5.1.2 Proceso de construcción del dispositivo DIMIRUV

DIMIRUV se diseñó para medir la intensidad de radiación solar de manera alcanzable y permisible. En donde se utilizó un microcontrolador Arduino UNO como base del sistema, junto con una serie de 3 sensores UV. Para poder visualizar los datos se hace uso de la pantalla TFT ILI 9341 así como el registro de los datos en una memoria microSD por uno de los módulos incorporados en la pantalla para conseguir la exportación de los datos en Excel.

Los componentes fueron seleccionados considerando la precisión, costo y disponibilidad. Se optó por sensores UV con fines académicos para sustituir ciertos sensores de gama alta o bien con características más altas a los académicos. Lo que permitió reducir significativamente los costos de maduración tecnológica para el prototipo.

Se diseñó un circuito en una protoboard para montar los componentes de una manera ordenada para poder colocar los sensores en el foco generado entre las láminas de DIMIRUV. El código del software se desarrolló en el entorno Arduino, permitiendo la adquisición de datos de los sensores, la visualización de los datos en la pantalla TFT y finalmente poder registrar y exportar las lecturas para Excel.

Los componentes electrónicos fueron montados en la protoboard y conectados en la protoboard por medio Jumpers a Arduino. En donde se prestaron especial atención y se realizó un montaje meticuloso para garantizar un funcionamiento óptimo.

Se realizaron pruebas para verificar el funcionamiento correcto del prototipo de cada componente y del sistema en conjunto. Se comprobó la precisión de los sensores UV midiendo la radiación solar en diferentes condiciones. Las mediciones de DIMIRUV también se compararon con las de un sensor de referencia, demostrando una correlación satisfactoria, en donde se realizaron pruebas en entornos controlados y al aire libre para evaluar su precisión y fiabilidad del dispositivo, todo el desarrollo de programación y evidencias fotográficas se pueden encontrar en el Anexo 10.

Se realizó un estudio del costo de elaboración de DIMIRUV, demostrando un ahorro significativo para ser un prototipo en comparación con concentradores solares más grandes y elaborados.

Se evaluó su viabilidad económica como una herramienta educativa y de investigación, concluyendo que es una opción asequible y efectiva para medir la radiación solar.

El proceso de generación del sistema DIMIRUV se concluye con el desarrollo un dispositivo accesible, preciso y económicamente barato para la medición de radiación UV. Las pruebas y mejoras realizadas durante el proceso han garantizado la calidad y fiabilidad del dispositivo.

5.2 Evaluación del DIMIRUV.

5.2.1 Protocolo de pruebas.

Objetivo del protocolo de pruebas:

- Verificar la funcionalidad del dispositivo en registrar el índice de radiación UV.
- Evaluar la sensibilidad del dispositivo.
- Identificar y corregir posibles errores antes de su lanzamiento

Descripción general:

- El dispositivo DIMIRUV permite al usuario medir, registrar y analizar la radiación UV por medio de sensores UV y Arduino.
- El dispositivo también incluye la función de poder interpretar los datos registrados en una serie de tablas de en Excel para facilitar el estudio de las muestras.

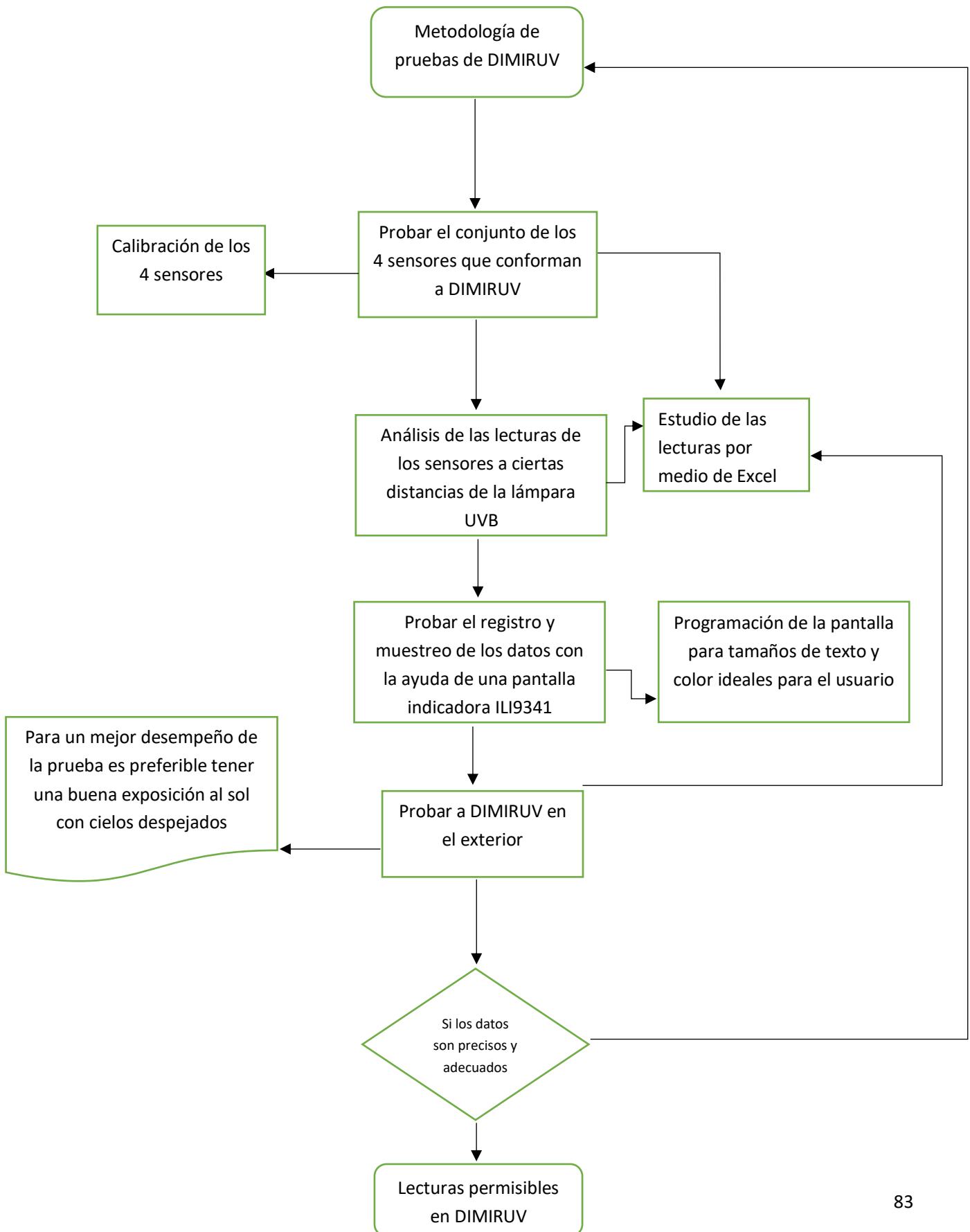
Alcance de las pruebas:

- Las pruebas se centrarán en el proceso de medición de radiación UV y muestreo para el usuario.
- También abarcaran el registro y estudio de las muestras obtenidas en tiempo real por la ayuda de Excel.

Planificación de pruebas.

- Calibrar y determinar que sensores serian adecuados para DIMIRUV.
- Probar el conjunto de los 3 sensores que conforman a DIMIRUV con una lámpara UV o lámpara germicida UV.
- Comparar las lecturas de los sensores a ciertas distancias que pongamos la lámpara UV o germicida UV.
- Probar el registro y muestreo de los datos con la ayuda de nuestra pantalla touch ILI9341.
- Probar el dispositivo en el exterior, en donde para un mejor desempeño se espera hacer la prueba con cielos despejados y buena exposición al sol.
- Probar el estudio de las muestras adquiridas con la ayuda de generación de tablas en Excel por medio del dispositivo DIMIRUV.
- Análisis de resultados.

5.2.2 Diagrama de flujo de pruebas y resultados.



Etapas de pruebas y resultados.

1 Prueba individual de cada sensor UV:

- Descripción: Cada sensor se prueba individualmente con una fuente de alimentación de 3V o 5V, según las especificaciones del fabricante. Se utiliza un voltímetro para observar la señal de salida y se compara con los valores indicados en las hojas de datos, utilizando una lámpara UV para reptiles colocada en diferentes alturas.
- Objetivo: Verificar la precisión de cada sensor en condiciones controladas y ajustar su calibración según sea necesario.
- Método: Se conecta cada sensor a la fuente de alimentación, se observan las lecturas en el voltímetro y con la lámpara UV iluminando los sensores se desplaza la lámpara a diferentes alturas, de tal forma que conservan paralelos los sensores y lámpara.
- Resultados: Se conectó cada sensor de acuerdo con su hoja de fabricante, obteniendo lecturas de acuerdo con el voltaje.

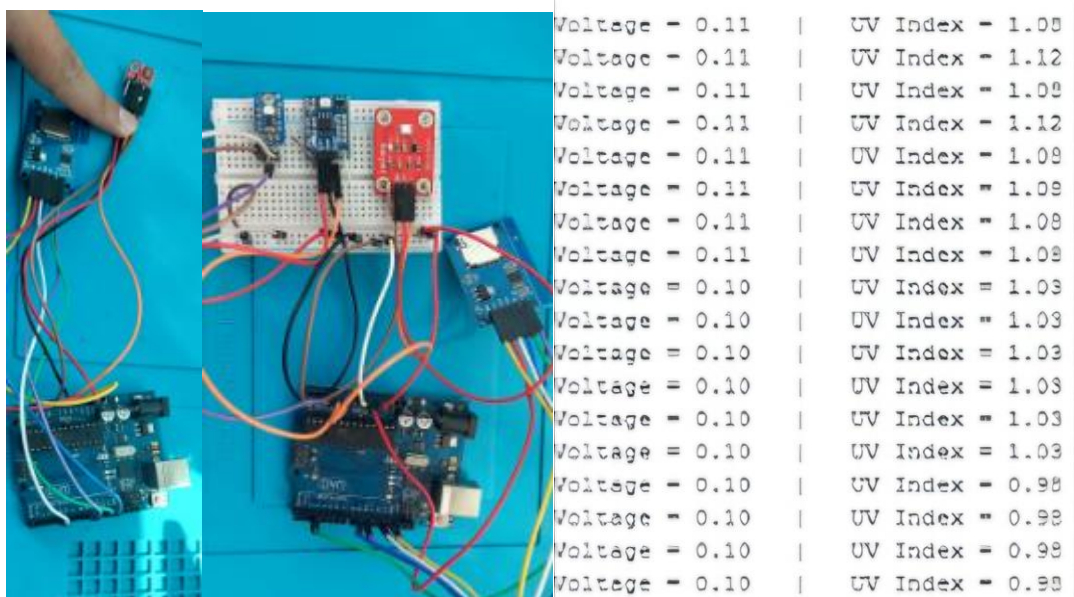


Figura 60: Prueba de funcionamiento sensores UV. [88]

2 Conexión de los sensores a Arduino y programación individual:

- Descripción: Los sensores se conectan a Arduino de forma individual para programarlos y calibrarlos según las hojas del fabricante.
- Objetivo: Comprobar la correcta activación y funcionamiento de cada sensor.
- Método: Se programa en Arduino para leer los datos de cada sensor por separado. Se ajustarán los parámetros de calibración según sus hojas de especificaciones lo indiquen.
- Resultados: Se consiguió activar individualmente cada sensor con su correspondiente programación de acuerdo con el fabricante.

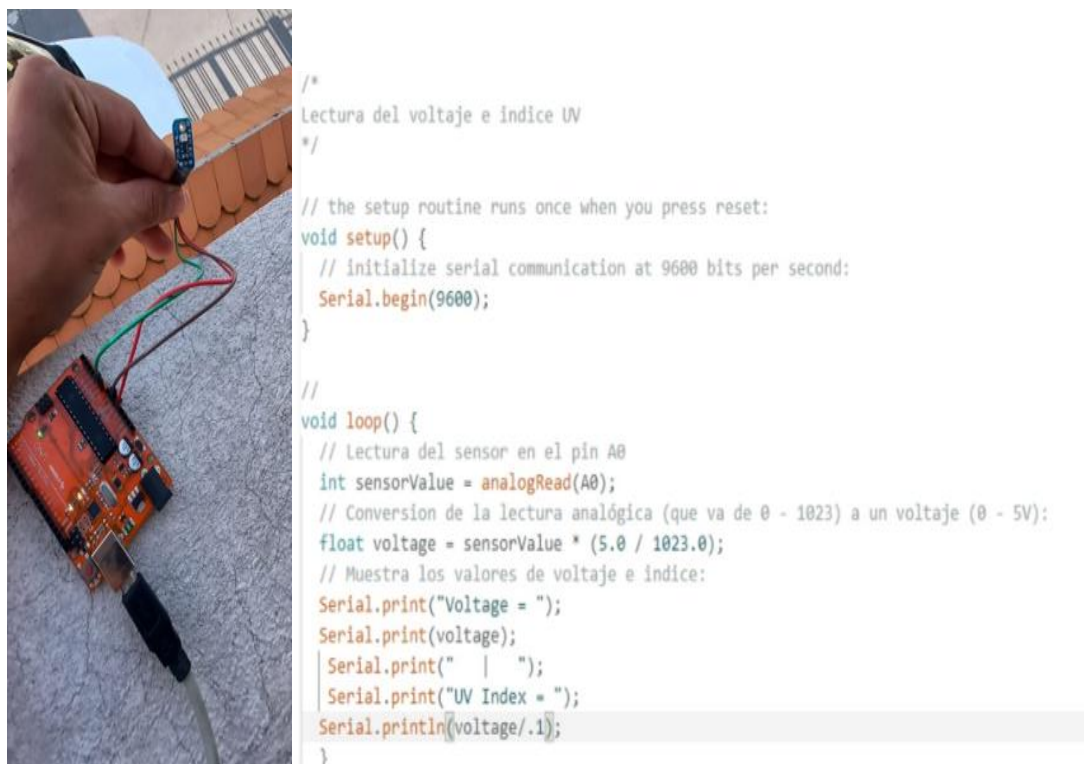
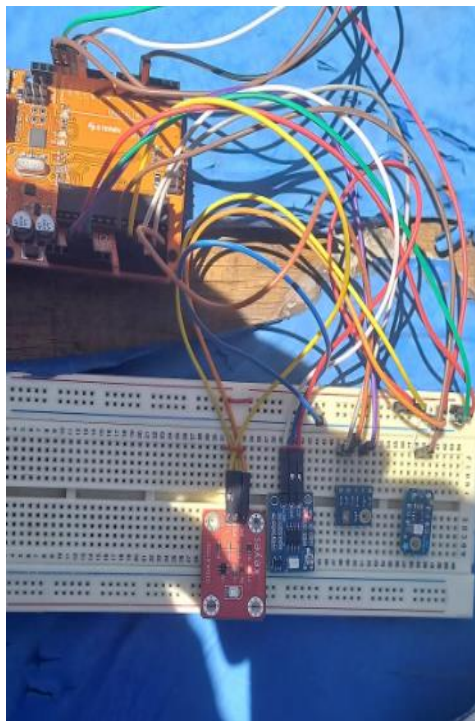


Figura 61: Activación individual de los sensores UV. [89]

3 Mediciones de los sensores en un entorno cerrado y abierto al sol:

- Descripción: Se realiza la medición de cada sensor en un entorno cerrado (es decir en donde la radiación UV o luz solar debería ser mínima) y otra lectura en un espacio abierto al sol para comparar las lecturas en presencia y ausencia del sol.
- Objetivo: Verificar la sensibilidad de los sensores a la radiación UV natural.
- Método: Se comprueba y se registran las lecturas de los sensores en ambos entornos observando las lecturas en el monitor serial de Arduino.
- Resultados: Los sensores muestran lecturas cercanas a cero en el entorno cerrado y lecturas significativas en el entorno abierto al sol.



```
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 49.05
- Rango: 280
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
- Rango: 94
Sensor 3 (ML8511) - UV Intensity (mW/cm^2): 2.11
Hora: 00:60:00
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 49.05
- Rango: 280
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
- Rango: 94
Sensor 3 (ML8511) - UV Intensity (mW/cm^2): 2.11
Hora: 00:60:00
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 48.99
- Rango: 278
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
- Rango: 94
Sensor 3 (ML8511) - UV Intensity (mW/cm^2): 2.11
Hora: 00:60:00
Sensor 1GUVAS12SD keyes - Intensity UV: 49.05
- Rango: 280
Sensor 2GUVAS12SD azul- Intensity UV: 13.04
```

Figura 62: Prueba de registro de las lecturas en monitor serial. [90]

4 Prueba de los 4 sensores juntos en Arduino:

- Descripción: Se conectan los cuatro sensores a Arduino simultáneamente para comparar sus lecturas y verificar su funcionamiento.
- Objetivo: Evaluar la coherencia y precisión de los sensores cuando están conectados juntos.
- Método: Comprobar las lecturas de los 4 sensores aparezcan se visualicen en el monitor serial de Arduino de una manera ordenada y clara.
- Resultados: Los sensores muestran lecturas consistentes y proporcionales entre sí.

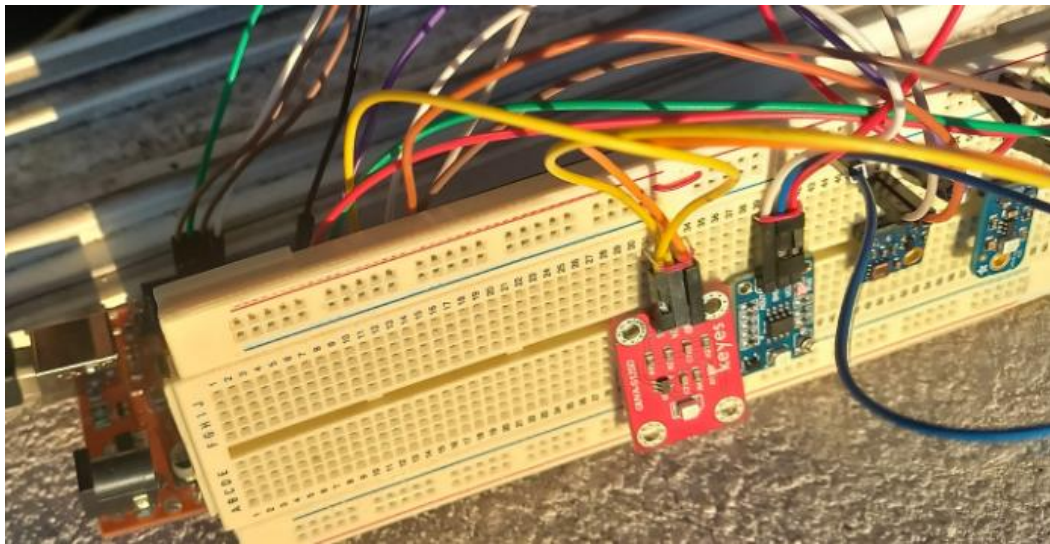


Figura 63: Comprobación de funcionamiento de los 4 sensores. [91]

5 Conexión de la memoria microSD a Arduino para almacenar los datos en una memoria microSD.

- Descripción: Se acoplará una memoria microSD a Arduino mediante un módulo especial para guardar los datos en un archivo de texto para guardar los datos de los sensores UV en un archivo de texto.
- Objetivo: Almacenar las lecturas de los sensores juntos con el tiempo transcurrido en un archivo de texto para su análisis,
- Método: Se conectarán los sensores a Arduino, así como el módulo para la memoria microSD y se programará para poder almacenar los datos en la memoria.
- Resultados: Los datos de los sensores se guardan correctamente en la memoria microSD y se puedan recuperar para su análisis.

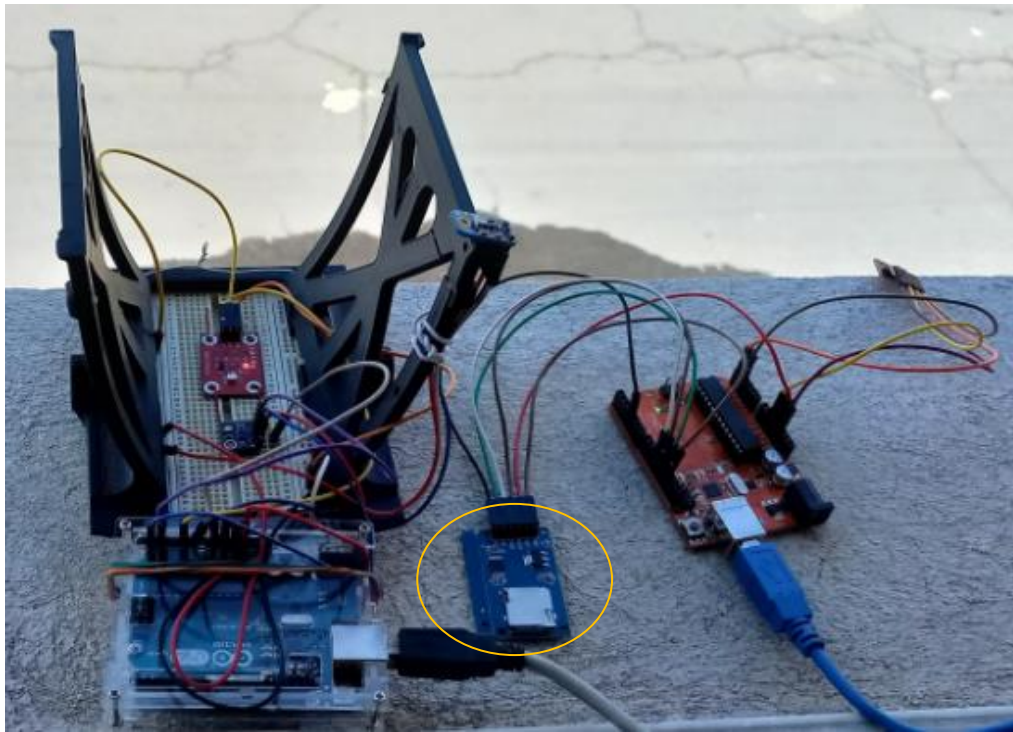


Figura 64: Incorporación de memoria micro SD. [92]

7 Incorporación de pantalla TFT para visualizar los datos:

- Descripción: Se añade una pantalla TFT ili9341 a Arduino para visualizar los datos en tiempo real.
- Objetivo: Facilitar la visualización de las mediciones obtenidas de los sensores de manera interactiva por medio de Arduino y la pantalla.
- Método: Se conecta la pantalla TFT a Arduino y se ajustará el código para poder mostrar los datos de los sensores en la pantalla.
- Resultados: Los datos de los sensores se imprimen correctamente en la pantalla TFT de una manera ordenada para visualizar en tiempo real las lecturas.

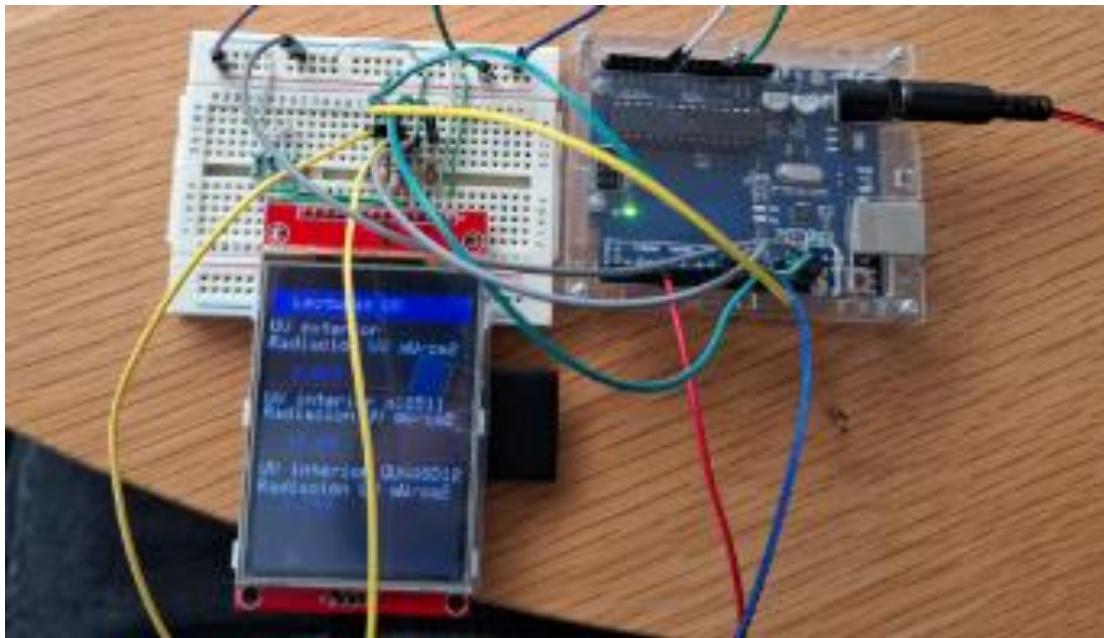


Figura 66: Incorporación de pantalla. [94]

8 Validación del funcionamiento de los sensores y la pantalla TFT:

- Descripción: Se realiza una validación completa del funcionamiento de los sensores UV, Arduino y pantalla TFT con los radiómetros UV que se encuentran en la facultad de ingeniería UAEMex, y se compararan los resultados entre ambos.
- Objetivo: Verificar la precisión y fiabilidad de los sensores UV y la pantalla TFT en comparación con el radiómetro UV para poder escoger cuales sensores serán los ideales para DIMIRUV.
- Método: Se realizan mediciones utilizando los sensores, para comprobar la visualización en la pantalla TFT tomando como referencia las lecturas que proporcionan los radiómetros.
- Resultados: Las lecturas de los sensores UV fueron consistentes y similares a las mediciones del radiómetro UV.



Figura 67: Validación de DIMIRUV. [95]

9 Instalación de los sensores UV en zonas específicas en DIMIRUV.

- Descripción: Los sensores UV se colocan en puntos estratégicos dentro del dispositivo DIMIRUV para detectar los niveles de radiación UV en áreas críticas, especialmente en la zona focal que se generará entre las láminas de DIMIRUV.
- Objetivo: Monitorear los niveles de radiación UV en la zona focal del dispositivo DIMIRUV.
- Método: Se instalan los sensores UV, Arduino y la pantalla TFT en DIMIRUV en las zonas que se crean convenientes para poder detectar, registrar y observar las mediciones de radiación UV en su zona focal.
- Resultados: Los sensores UV detectan correctamente los niveles de radiación UV en las zonas designadas y registrar esos datos en su memoria, así como el visualizar estos datos de una manera más accesible para los usuarios.

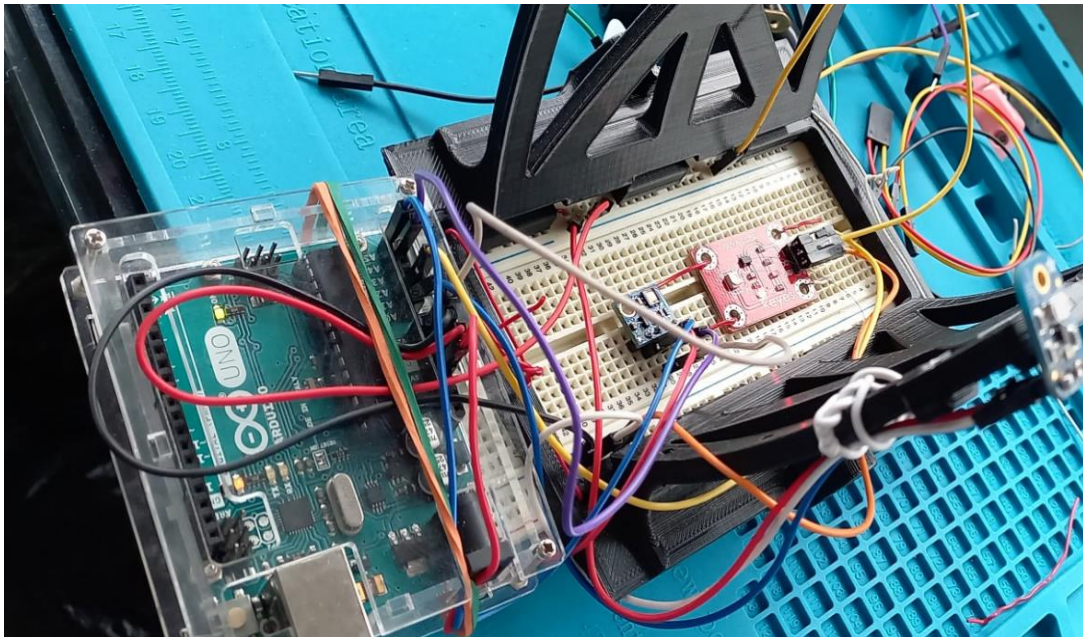


Figura 68: Instalación de sensores uv en DIMIRUV. [96]

Capítulo 6. Ficha de especificaciones técnicas y Costo del prototipo

Capítulo 6. Ficha de especificaciones técnicas y Costo del prototipo.

Esta ficha técnica tiene como objetivo detallar las características, especificaciones y rendimiento del dispositivo, permitiendo una comprensión clara de sus capacidades, aplicaciones y limitaciones. A través de la información aquí presentada, se busca ofrecer una referencia útil para investigadores, educadores y usuarios interesados en la medición de radiación UV.

6.1 Ficha de especificaciones técnicas del DIMIRUV.

1. Características generales.

Especificación	Detalles técnicos
Nombre del dispositivo	Dispositivo Instrumentado de Medición de Intensidad de Radiación Ultravioleta (DIMIRUV)
Función principal	Medición de radiación UV
Dimensiones	Altura: 10cm Ancho: 15cm
Peso	100 -200 g
Sistema de visualización	Pantalla TFT táctil de 2.8 pulgadas (320x340 pixeles)
Rango de medición UV	280-390 nm
Rango de precisión	99%
Frecuencia de actualización	100ms a 1 seg (intervalos configurables)
Vida útil estimada	3-5 años, bajo condiciones normales de uso.

2. Compatibilidad y conectividad.

Especificación	Detalles técnicos
Compatibilidad con software	Compatible con Windows, Mac, Linux para exportar datos desde la microSD Soporta análisis en Excel, Matlab, etc.
Almacenamiento de datos	MicroSD (hasta 32GB), formato CSV para análisis y exportación en Excel.
Conectores y puertos	Puerto USB para alimentación y programación. Conectores SPI para pantalla Pines I2C para módulos adicionales (sensores, comunicación)

3. Rendimiento y consumo.

Especificación	Detalles técnicos
Frecuencia de operación	Arduino UNO/MEGA: 16MHz Sensores UV: Respuesta en microsegundos, frecuencia de adquisición configurable
Consumo energético total	Arduino UNO: 46mA Pantalla TFT: 100mA Sensores UV: 0.06mA/0.09mA
Duración de la batería	6h
Temperatura de operación (sensores UV)	-20-85°C
Temperatura de operación	-40-85°C

6.2 Costo del prototipo.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el costo de elaboración para el prototipo DIMIRUV al ser una nueva clase de concentrador solar equipado con sensores UV medianamente comerciales los cuales son: ML-8511, GUVVA S12SD, sensor de detección UV KEYES, sensor analog UV adafruit, como indicador se usara la pantalla TFT ILI9341 touch screen así como también se hará uso de su módulo para conectar una memoria micro SD que permitirá el registro de los datos obtenidos de cada sensor para su exportación a Excel y hacer uso de sus herramientas. Todas estas funciones se conseguirán desarrollar por medio de Arduino.

El objetivo que se tiene planeado en DIMIRUV abarcará desde aficionados a la meteorología, académicos y estudiantes que necesitan y quieren medir la intensidad de radiación UV en diferentes entornos, desde laboratorios asta exteriores. Donde se buscará que el dispositivo sea una solución viable, confiable, portátil y permita reducir costos de elaboración a comparación de un concentrador solar idealmente grande.

Los concentradores solares son idealmente grandes para poder concentrar grandes cantidades de radiación UV lo que conlleva para su elaboración a estructuras de metal, laminas especiales, cristales de protección contra el aire y radiómetros costosos. Además, la precaución que con lleva a usar como cualquier otro, dispositivo o instrumento el seguir ciertas medidas de seguridad para evitar daños en la salud como si no se siguen ciertas medidas de protección como: guantes, batas de laboratorio, lentes de protección contra rayos UV, etc. Los costos de elaboración sus desarrollos electrónicos para el dispositivo de DIMIRUV se muestran en la Tabla 14.

Material.	Cantidad.	Precios.	Links de compra.
Sensor ML8511	1	\$199 MXM	https://shre.ink/8SVn
Sensor GUVVA S12SD	2	\$199 MXM	https://shre.ink/8SVB
Arduino UNO	1	\$169 MXM	https://shre.ink/8SwP
Jumper	35	\$70 MXM	https://shre.ink/8Sww
Pantalla TFT ILI9341	1	\$470 MXM	https://shre.ink/8Swu
Memoria microSD	1	\$134 MXM	https://shre.ink/8Swt
Resistencias	15	\$30 MXM	https://shre.ink/8Sw8
Batería 9v	1	\$24 MXM	https://shre.ink/8SwB
Adaptador Jax	1	\$12 MXM	https://shre.ink/8Sw9

Tabla 16: Costo de elaboración de DIMIRUV.

Si contamos el costo por la programación de DIMIRUV se puede estimar por: \$1,511 MXM.

Los parámetros para llegar a ese precio fueron:

1. Tiempo de desarrollo: Para desarrollar el funcionamiento de DIMIRUV entre pruebas y errores tome un tiempo considerable de 1 mes y 2 semanas, lo que equivale a 6 semanas sin agregar fin de semanas. El lapso que con llevo su programación fueron de 6 horas diarias.
2. La Complejidad del proyecto: A pesar de la cantidad de tiempo de programación fue mediana-alta en el proyecto implico la integración de múltiples sensores y funciones en donde conllevo a ciertas complejidades técnicas.
3. Tarifa: La hora de programación en la plataforma Arduino® es de aproximadamente de \$89.00 MX, en mi caso yo desee cobrar solamente \$5.00 MX por todo.

En este caso al ser un proyecto de investigación donde se pretendía optimizar el tamaño de una manera más compacta sin afectar su funcionalidad por lo cual no se capitaliza la mano de obra, así como los recursos intangibles (electricidad).

Por lo tanto, el costo del dispositivo DIMIRUV es de:

Categoría	Total
Componentes	\$1,506 MXM
Programación	\$900 MXM
Total	\$2,406MXM

Tabla 17:Desglose de gastos de desarrollo.

Conclusiones y trabajos

Conclusiones y trabajos futuros.

El presente prototipo ha abordado el desarrollo y la evaluación de un dispositivo instrumentado de medición de intensidad de radiación ultravioleta, denominado DIMIRUV, con el propósito de probar la funcionalidad de un concentrador solar más compacto en comparación de su antecesor con número de patente MX377409B, usando ahora tecnologías nuevas y compactas para medir la intensidad de radiación ultravioleta así como el uso de Arduino como un medio más económico y manipulable para quienes quieran elaborar sus propios sistemas de medición de radiación solar. Se hicieron comparaciones y estudios sobre la existencia de proyectos similares anteriores que compartieran ciertos objetivos al nuestro, que es la elaboración de un sistema para monitorear la radiación solar en tiempo real usando sensores de radiación UV con fines académicos de buena calidad, con un costo más bajo en comparación de sensores de gama alta, que permitiera incorporar sensores compactos en la estructura ya diseñada para este prototipo y obtener mediciones que se consideren permisibles. Por lo que no se encontró algún dispositivo como DIMIRUV, pero si una variedad de sensores que serían útiles para el objetivo y tamaño, En el desarrollo de este prototipo se siguió una serie de pasos que incluyen desde la selección, diseño e implementación del dispositivo, así como la realización de pruebas y comparación con sensores de referencia.

Durante la elaboración de DIMIRUV se utilizaron sensores UV compatibles con Arduino, así como los usados para fines académicos para ahorrar gastos de compra en sensores de gama alta o con características más elevadas, tales como: sensor Guva s12sd, ml8511, sensor de detección solar keyes y el sensor analógico UV adafruit. Todos estos sensores y material usado para la elaboración del prototipo fueron proporcionados por los asesores. Las etapas de pruebas se realizaron a cielo abierto para poder descartar que sensores no sería ideales para DIMIRUV.

Se realizaron pruebas en conjunto de los 3 sensores para poder registrar sus lecturas en una memoria microSD primeramente guardándolas como un archivo de texto para que los usuarios. El desarrollo de este primer programa se realizó correctamente tomando como referencia la programación individual de cada sensor, y es compatible para poder guardar los datos en la memoria y exportarlos en Excel cambiando el registro de los datos en un archivo.csv, en donde al exportar estas muestras a Excel puede hacerse uso de su gran repertorio de herramientas para análisis de datos. Para monitorear las lecturas se incorporó la pantalla TFT ili9341 permitiendo el comparar las lecturas de estos 3 sensores con el sensor UV FLA623 marca Ahlborn y tener una referencia de hasta donde las lecturas podrían ser consideradas permisibles. Las pruebas realizadas a cielo abierto implican que

factores como la nubosidad podrían alterar las lecturas, afectando la reproducibilidad de los resultados. Se observó también la sensibilidad de movimientos bruscos en donde la pantalla TFT ILI9341 presenta interrupciones en la visualización de datos cuando el prototipo experimenta movimientos repentinos, lo que puede afectar la precisión del monitoreo en tiempo real. En cada etapa que corresponde al desarrollo del DIMIRUV se alcanzó el cumplimiento de los objetivos del proyecto, toda vez que se diseñó, construyó y evaluó el sistema DIMIRUV, el cual funciona con un error permisible (0.09) para la medición de la radiación UV.

Este prototipo demuestra la facilidad de desarrollar una herramienta accesible y eficaz para la medición de radiación UV, con un potencial para aplicaciones educativas y de investigación.

Trabajos futuros.

Para futuras investigaciones sobre este tema, se propone trabajar con:

- El proceso de manufactura para realizar pruebas experimentales en entornos reales.
- La elaboración de estructuras de los concentradores solares.
- El proceso de exportación de datos por medio de internet o una nube.
- El desarrollo de aplicaciones más específicas para este dispositivo.
- Estudio del impacto ambiental y económico de los concentradores solares compactos.

Referencias.

Referencias.

- [1] Arroyo Cornejo Carlos (1), A. L. (s.f.). Construcción de un medidor de intensidad de radiación Ultravioleta. Jóvenes en la ciencia. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de <https://acortar.link/yP47Rx> .
- [2] Iberdrola. Recuperado el 9 de septiembre de 2023 <https://acortar.link/gD4c43>.
- [3] *concepto*. (s.f.). Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de concepto: concepto. (s.f.). Obtenido de concepto: <https://concepto.de/luz/>.
- [4] *concepto*. (s.f.). Recuperado el 10 de septiembre de 2023, de concepto: <https://concepto.de/espectro-electromagnetico/>.
- [5] Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (s.f). Radiación solar ultravioleta. IDEAM. Recuperado el 14 de septiembre de 2023, de <https://shre.ink/gedi>.
- [6] Universidad Católica del Norte. (s.f). Radiación UV. Prevención Antofagasta. Recuperado el 16 de septiembre del 2023, de <https://shre.ink/ged>.
- [7] Lighting, E. T. (7 de noviembre de 2023). Exo Terra lighting. Obtenido de Exo Terra lighting: https://legacy.exo-terra.com/download/lighting_guides/Exo_Terra_Lighting_Guide_ES.pdf
- [8] Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (s.f). Radiación solar ultravioleta. IDEAM. Recuperado el 16 de septiembre del 2023, de <https://shre.ink/gedD>.
- [9] Instituto de hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. (s.f). Radiación solar ultravioleta. IDEAM. Recuperado el 16 de septiembre del 2023, de <https://shre.ink/gedD>.
- [10] Somos Advance. (s.f). Energía solar. Somos Advance. Recuperado el 16 de septiembre de 2023, de <https://somosadvance.com/expertise/energia-solar/>

- [11] Ventura,V. (s.f.).Sensor de radiación ultravioleta para Arduino : índice UV, UVM30A, GUVA-S12SD.Victor Ventura. Recuperado el 16 de septiembre de 2023,de <https://victorventura.es/polaridad.es/sensor-radiacion-ultravioleta-arduino-indice-uv-uv-m30a-guva-s12sd/>.
- [12] Huamán Cones, W. (2018) (Recuperado el 23 de septiembre de 2023). Evaluación de un sistema de adquisición de datos del índice UV solar usando Arduino y Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) en el Distrito de El Tambo-Huancayo: <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/5740>.
- [13] Febre Martínez, C. P., & Chanta Santos, E. (2022). Desarrollo de un Prototipo de Piranómetro para Medir la Radiación Solar (Recuperado 21 de enero de 2024). <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/456>.
- [14] González, E., & Sánchez, M. (2014). Desarrollo de un concentrador solar para la degradación acelerada de polímeros de desecho. *Ideas en Ciencia*, 41, 47-58. Labferrer. (Recuperado 20 de enero de 2024). Obtenido de Labferrer: <https://www.lab-ferrer.com/sensor-de-radiacion-ultravioleta-uv/>.
- [15] LAPIS Semiconductor Co., Ltd. (8 de marzo de 2013). (Recuperado el 12 de septiembre de 2023): https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/LightImaging/ML8511_3-8-13.pdf.
- [16] Lighting, E. T. (7 de noviembre de 2023). *Exo Terra lighting*. Obtenido de Exo Terra lighting: <https://acortar.link/kC8sQk>.
- [17] Mechatronics: <https://acortar.link/W3HT3n>.
- [18] Sean Kent, E. P. (agosto de 2019). <https://web.mit.edu>. Recuperado el 13 de octubre de 2023, de <https://acortar.link/guHO1m>.
- [19] Sparkfun start shomething. (s.f.). Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de Sparkfun start shomething: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ml8511-uv-sensor-hookup-guide/all>.
- [20] Naylamp mechatronics. (s.f.). Recuperado el 18 de noviembre de 2023, de Naylamp mechatronics: https://naylampmechatronics.com/blog/38_tutorial-arduino-y-memoria-sd-y-micro-sd.html.

- [21] Naylamp mechatronics. (14 de octubre de 2023). Obtenido de Narlamp Tinjacá, D. L. (2019).
- [22] CamargoTinjacáDarioLeonardo2019.pdf. Recuperado el 5 de septiembre de 2023, de CamargoTinjacáDarioLeonardo2019.pdf:
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/23177/CamargoTinjacáDarioLeonardo2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [23] Oña Chicaiza, J. D., & Cueva, L. (2021) Recuperado el 8 de septiembre de 2023. Desarrollo de un sistema de monitorización del índice de radiación ultravioleta orientado a Smart Campus, mediante una red de sensores inalámbricos con tecnología Sigfox:
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/25648/1/T-ESPE-044702.pdf>.
- [24] Ventura, V. (29 de marzo de 20216). Polaridades que circule la corriente. Recuperado el 1 de septiembre de 2023, de Polaridades que circule la corriente: <https://victorventura.es/polaridad.es/sensor-radiacion-ultravioleta-arduino-indice-uv-uv30a-guva-s12sd/>.
- [25] Emisión de radio de onda del sol. Obtenido de <https://images.app.goo.gl/x1D1cNax4Px83iKF8>.
- [26] Efectos fisiológicos positivos y negativos de la radiación. Obtenido de: <https://images.app.goo.gl/38MJPFnNwB5yirF6A>.
- [27] Espectro electromagnético. Obtenido de <https://images.app.goo.gl/fl92puwxcnskagg27>.
- [28] Longitudes de onda del espectro electromagnético. Obtenido de: <https://images.app.goo.gl/oJJaUHnkvjwi73er8>.
- [29] Onda continua. Obtenido de: <https://acortar.link/IUgBv8>.
- [30] Energía irradiada por el sol sobre la Tierra: <https://images.app.goo.gl/GCxdcMm7cGGzxvzNA>.
- [31] Onda electromagnética: <https://images.app.goo.gl/GCxdcMm7cGGzxvzNA>
- [32] Rangos de longitudes de onda: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-son-las-luces-ultravioleta>.

- [33] Guía práctica sobre el índice UV: <https://images.app.goo.gl/mfxunwIUe8tj6FD46>.
- [34] Rango de longitud de onda GUVA-S12SD: <https://acortar.link/AElwm6>.
- [35] Sensores GUVA-S12SD: Fotografía propia.
- [36] Circuito electrónico de acondicionamiento guva-s12sd: <https://acortar.link/RcTVyv>.
- [37] Intensidad grafica en el sensor ML8511: <https://images.app.goo.gl/e4KMt4ED31Bg5ZmD7>.
- [38] Diagrama a bloques: <https://images.app.goo.gl/D7fzuBaphLPJrHMR9>
- [39] Diagrama de conexión GUVA S12SD: <https://images.app.goo.gl/ViVDY38uqu4eFepCA>.
- [40] Datos del sensor: Captura de mi pantalla.
- [41] Datos del sensor: Captura de mi pantalla.
- [42] Diagrama de conexión: <https://images.app.goo.gl/jYB8yYGRWCL1Kzsd8>
- [43] Conexión física del sensor UV: Fotografía propia.
- [44] Sensor GUVA-S12SD keys: Fotografía propia.
- [45] Datos del sensor: Captura de mi pantalla.
- [46] Datos del sensor: Captura de mi pantalla.
- [47] Diagrama de conexión: <https://images.app.goo.gl/renHEqdaJBFU7udx6>.
- [48] Conexión física del sensor: Fotografía propia.
- [49] Sensor de detección UV: Fotografía propia.
- [50] Datos del sensor: Captura de mi pantalla.

- [51] Datos del sensor: Captura de mi pantalla.
- [52] Conexión física del sensor: Fotografía propia.
- [53] Diagrama de conexión sensor ML-8511:
<https://images.app.goo.gl/oG8ENADUFasZFfUAA>.
- [54] Rangos del espectro electromagnético ML8511: Captura de mi pantalla.
- [55] Conexión física de los 4 sensores: Fotografía propia.
- [56] Sensores dentro del concentrador solar: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [57] Tipos de memorias: <https://images.app.goo.gl/Xsx2atcFeDjgVtZA8>.
- [58] Módulo microSD: <https://images.app.goo.gl/EqnthfQok8BqrsK57>.
- [59] Módulo SD card: <https://images.app.goo.gl/cZxDbkFmBSEBUeBW8>.
- [60] Adaptador de memoria microSD:
<https://images.app.goo.gl/mBccoYRxdddGdwiiC8>.
- [61] Diagrama de conexión módulo SD:
<https://images.app.goo.gl/smMffp6qsQDMSjQJ9>.
- [62] Diagrama de conexión módulo microSD:
<https://images.app.goo.gl/mBccoYRxdddGdwiiC8>.
- [63] Monitor serial prueba de código: Captura de mi propia pantalla.
- [64] Conexiones físicas de los sensores y el módulo microSD para Arduino:
Fotografía tomada por mi cuenta.
- [65] Proceso de programación de los sensores y módulo microSD: Fotografía propia.
- [66] Proceso de programación de sensores y módulo microSD: Fotografía propia.
- [67] Sensores acoplados a la estructura del modelo experimental para DIMIRUV:
Fotografía tomada por mi cuenta.

- [68] Muestras guardadas en la memoria SD: Captura de mi pantalla.
- [69] Adquisición de las muestras en EXCEL.: Captura de mi pantalla.
- [70] Selección de archivos a importar: Captura de mi pantalla.
- [71] Ordenamiento de las muestras: Captura de mi pantalla.
- [72] Cuadro para asignación de separadores: Captura de mi pantalla.
- [73] Formato de tablas: Captura de mi pantalla.
- [74] Punto de inicio en nuestras tablas de Excel: Captura de mi pantalla.
- [75] Pantalla táctil ILI9341: <https://images.app.goo.gl/ja17RjeRvmeH3j6eA>.
- [76] Conversor de nivel lógico bidireccional.:
<https://images.app.goo.gl/f4MnsBL2YopLB55Q8>.
- [77] Arduino UNO: <https://images.app.goo.gl/kv8iDWK1vjZFdYi38>.
- [78] Conexión de Arduino al conversor analógico a la pantalla ili9341:
<https://images.app.goo.gl/YwcmMUDPjSgKEiP38>.
- [79] Circuito de conexión directa sin conversor de nivel lógico en protoboard:
<https://www.youtube.com/watch?v=nNDqRpfEy40&t=1578s>.
- [80] Diagrama esquemático de conexiones: Captura de pantalla de mi pantalla.
- [81] Pantalla ILI9341 en Arduino: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [82] Pantalla ILI9341 en Arduino: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [83] Construcción del prototipo DIMIRUV: Captura de mi pantalla.
- [84] Diagrama estructural del prototipo DIMIRUV: Captura de mi pantalla.
- [85] Pérez, M. (2014). Diseño de un radiómetro ultravioleta, para su aplicación en modelos de radiación UV. México DF, UNAM.

- [86] Pérez, G. C. (2016). Diseño e implementación de un sistema automático de seguimiento solar para un generador termo solar.
- [87] Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH. (s.f). Radiation probe FLA 623 X. DirectIndustry. Recuperado el 7 de abril del 2024 <https://shre.ink/gedV>.
- [88] Prueba de funcionamiento sensores UV: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [89] Activación individual de los sensores UV: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [90] Prueba de registro de las lecturas en monitor serial: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [91] Comprobación de funcionamiento de los 4 sensores: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [92] Incorporación de memoria micro SD: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [93] Modificación del código: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [94] Incorporación de pantalla: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [95] Validación de DIMIRUV: Fotografía tomada por mi cuenta.
- [96] Instalación de sensores uv en DIMIRUV: Fotografía tomada por mi cuenta.