

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

**CONSTRUCCIÓN DE 2 MÓDULOS DIDÁCTICOS PARA MEDIR
LA LUZ Y RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UV) UTILIZANDO EL
ENTORNO SIMULINK DE MATLAB Y ARDUINO**

DISEÑO DE LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR
EN ELECTROMECAÁNICA**

ANDRÉS SANTIAGO BERMEO SOSORANGA

DIRECTOR: CATALINA ELIZABETH ARMAS FREIRE

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

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

ANDRÉS SANTIAGO BERMEO SOSORANGA

andres.bermeo@epn.edu.ec

andres.bermeo0801@gmail.com

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ANDRÉS SANTIAGO BERMEO SOSORANGA, bajo mi supervisión.

Catalina Elizabeth Armas Freire

DIRECTOR

elizabeth.armas@epn.edu.ec

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

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

ANDRÉS SANTIAGO BERMEO SOSORANGA

DEDICATORIA

Dedico esta pequeña meta a mi familia, su gran ayuda y apoyo fueron aspectos fundamentales para poder conseguir esta meta, dedico especialmente mi logro a mi madre, a mi padre, a mi hermano y hermana pequeña, además, dedico esto a mi novia, Francesca Sánchez persona que pese a las condiciones que he tenido que pasar nunca me ha dejado solo y que, gracias a su ayuda, he podido sobrellevar momentos donde la tesis se convertía en un momento muy complicado de sobrellevar.

Gracias por todo su apoyo y amor brindado durante este periodo de mi vida.

Andrés Bermeo

AGRADECIMIENTO

Agradezco enormemente al trabajo realizado por mi directora de tesis Ing. Armas, a la cual, gracias a su labor pudo ser posible realizar las debidas correcciones y perfeccionamientos del presente trabajo.

Además, agradezco a todas las personas que están detrás de mí, como mi familia, amigos, pareja, las cuales han sido de una ayuda enorme durante este proceso.

Por otro lado, agradezco la ayuda por parte de todos los profesores e ingenieros quienes me brindaron de su conocimiento durante toda esta travesía por la institución, ya que, me han permitido desarrollar como profesional y como persona.

Andrés Bermeo

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico.....	3
Índices Ultravioletas (UV)	3
Requerimientos y características de los módulos	3
Esquema general del módulo.	5
2 METODOLOGÍA.....	7
2.1 Dispositivos periféricos.....	7
2.2 Código de Matlab	9
Comand Window	9
Interfaz gráfica en App Designer.....	11
2.3 Diseño de los módulos didácticos.....	14
Diseño de la tapa de los módulos	14
Diseño de la estructura de los módulos	16
3 RESULTADOS	18
3.1 Dispositivos seleccionados.....	18
3.2 Comand Window.....	19
Obtención de datos del sensor UV ML8511	19

Obtención de datos del sensor LDR	20
3.3 Interfaz gráfica.....	21
Pruebas del sensor Ultravioleta	22
Pruebas del sensor LDR.....	23
3.4 Módulo didáctico	24
Implementación de funcionalidades	24
Pruebas de funcionamiento del Proyecto.....	25
4 CONCLUSIONES	26
5 RECOMENDACIONES.....	28
6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
7 ANEXOS.....	30

RESUMEN

El proyecto se centró en el diseño de los módulos didácticos diseñados para la medición de luz y radiación ultravioleta (UV), dirigidos específicamente a alumnos. Esta iniciativa innovadora integró la medición de variables físicas con la programación de Matlab y Simulink, proporcionando una experiencia educativa completa y práctica.

La primera sección está centrada en la revisión de fundamentos teóricos sobre los índices UV, Matlab y App Designer, comunicación entre los periféricos y la plataforma de Arduino y su enlace con Matlab. Además, se investigó sobre las características técnicas y librerías usadas para obtener una buena comunicación entre los periféricos y Matlab.

A continuación, se investigaron sobre las características técnicas de los periféricos de entrada y salida que estarán conectados al Arduino, identificándose en el esquema general donde se visualiza los componentes a desarrollarse dentro del proyecto y su especificación para este trabajo.

En la siguiente sección se procedió a desarrollar el código dentro de Matlab con el propósito de monitorear los pines digitales del Arduino. Se crearon códigos específicos para leer los datos provenientes de los sensores y activar los actuadores de acuerdo con las magnitudes identificadas. Se definieron los requisitos necesarios para la interacción tanto entre el Arduino y los dispositivos externos como entre Matlab y el Arduino. Se establecieron las instrucciones esenciales para garantizar una conexión fluida entre los dos entornos de programación, en conjunto con una plataforma de interacción de usuario intuitiva a través de App Designer. Este constituye un ambiente de programación interactivo centrado en objetos, diseñado para simplificar la conexión entre la disposición de los periféricos y la interfaz.

En la fase final, se completó el desarrollo del diseño de los módulos educativos, teniendo en cuenta tanto aspectos ergonómicos como de accesibilidad para garantizar la comodidad de los estudiantes. La creación de los módulos didácticos se llevó a cabo empleando el software Autodesk Inventor. Durante este proceso, se elaboraron planos en dos dimensiones y gráficos en 3D de los módulos, especificando medidas, disposición de los dispositivos externos, ubicación de los pines de conexión y la separación entre componentes.

PALABRAS CLAVE: Matlab, Arduino, Índice UV, Interfaz, programación.

ABSTRACT

The project focused on the design of educational modules intended for the measurement of light and ultraviolet radiation (UV), specifically targeting students. This innovative initiative integrated the measurement of physical variables with Matlab and Simulink programming, providing a comprehensive and practical educational experience.

The first section is centered on reviewing theoretical fundamentals related to UV indices, Matlab, App Designer, communication between peripherals, the Arduino platform, and its integration with Matlab. Additionally, research was conducted on the technical characteristics and libraries used to ensure effective communication between peripherals and Matlab.

Subsequently, investigations were carried out regarding the technical specifications of input and output peripherals that would be connected to Arduino. These were identified in the general scheme, outlining the components to be developed within the project and their specifications for this work

In the next section, the code was developed within Matlab with the purpose of monitoring the digital pins of the Arduino. Specific codes were created to read the data coming from the sensors and activate the actuators according to the identified magnitudes. The necessary requirements for the interaction both between the Arduino and external devices and between Matlab and the Arduino were defined. Essential instructions were established to ensure a fluid connection between the two programming environments, in conjunction with an intuitive user interaction platform through App Designer. This constitutes an interactive object-centered programming environment, designed to simplify the connection between the arrangement of peripherals and the interface.

In the final phase, the development of the design of the educational modules was completed, taking into account both ergonomic and accessibility aspects to guarantee the comfort of the students. The creation of the teaching modules was carried out using Autodesk Inventor software. During this process, two-dimensional plans and 3D graphics of the modules were prepared, specifying measurements, arrangement of external devices, location of connection pins and the separation between components.

KEYWORDS: Matlab, Arduino, UV Index, Interface, programming.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Este proyecto ha sido concebido con el objetivo principal de desarrollar dos módulos educativos destinados a la medición de la luz y radiación ultravioleta (UV). La implementación de esta iniciativa se llevó a cabo mediante el potente entorno Simulink de Matlab y la versatilidad de Arduino. Un aspecto destacado de este proyecto es la integración de diversas disciplinas académicas, fusionando conocimientos de Electrónica Analógica (TEMD353), Instrumentación (TEMD452) y Electrónica Digital y Microprocesadores (TEMD333), con un enfoque particular en la programación.

En el proceso de desarrollo se generaron programas y algoritmos en MATLAB para gestionar los pines digitales del hardware Arduino. Estas tareas se realizaron mediante comandos directos de MATLAB y a través de una interfaz de usuario interactiva, hábilmente integrada en el entorno de desarrollo. Además, se diseñaron bloques específicos en Simulink de MATLAB para controlar de manera eficiente las interacciones entre las entradas y salidas del sistema.

La estructuración de los módulos abordó no solo aspectos de software, sino también de hardware. Se seleccionaron con cuidado componentes que aseguraran un vínculo físico fiable entre los dos entornos, utilizando conectivas apropiadas para garantizar un enlace sólido. A nivel de software, se emplearon librerías y controladores específicos para facilitar la comunicación entre Arduino, Matlab y los dispositivos periféricos. La creación de programas y líneas de código específicos fue fundamental para lograr la interconexión exitosa entre ambos sistemas, lo cual requirió una investigación detallada debido a las características particulares de los periféricos involucrados.

En el diseño de los módulos didácticos se integró una interfaz gráfica atractiva para el usuario mediante App Designer. Esta interfaz no solo presenta visualmente los datos recopilados por los sensores, sino que también permite gestionar las mismas funciones disponibles en el módulo físico. Esta versatilidad facilita la visualización de datos tanto en el lugar de la medición, como de forma remota, ampliando así las posibilidades de aplicación y simplificando el acceso a la información generada por los módulos didácticos. Además, el diseño de la disposición de cada uno de los periféricos se desarrolló en Inventor, permitiendo aprovechar de manera más eficiente el espacio y ubicar las recomendaciones teniendo en cuenta los índices UV.

1.1 Objetivo General

Construir 2 módulos didácticos para medir la luz y radiación ultravioleta (UV) utilizando el entorno Simulink de Matlab y Arduino.

1.2 Objetivos Específicos

1. Especificar los dispositivos periféricos (digitales/analógicos).
2. Desarrollar el código en Matlab para controlar las entradas y salidas del Arduino.
3. Diseñar los módulos didácticos.

1.3 Alcance

El enfoque principal del proyecto se centró en la creación de dos módulos didácticos diseñados específicamente para la medición de luz y radiación ultravioleta (UV). La herramienta elegida para llevar a cabo esta iniciativa fue el entorno Simulink de Matlab, combinado con la flexibilidad de Arduino. La meta del proyecto abarcó la programación, el diseño y la construcción de un sistema microprocesado capaz de adquirir señales desde dispositivos de entrada para, posteriormente controlar dispositivos de salida. Este desafío requería la escritura de programas y algoritmos en MATLAB, específicamente diseñados para gestionar las interacciones de entrada y salida en el hardware de Arduino. Las tareas se ejecutaron mediante comandos directos de MATLAB y desde una interfaz de usuario interactiva, hábilmente integrada en el entorno de desarrollo.

Asimismo, se establecieron bloques en el entorno de Simulink de MATLAB para manejar eficientemente las señales de entrada y salida en el sistema. La implementación de los módulos incluyó componentes clave como un sensor LDR, un sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511, y un servomotor para posicionar una aguja indicadora en el medidor. La ingeniería del proyecto se extendió a la generación de planos tridimensionales detallados del módulo, indicando con precisión la ubicación de cada elemento. Además, se elaboraron diagramas para la placa de circuito impreso (PCB), asegurando un diseño eficiente y de fácil comprensión.

Un criterio importante fue la facilidad de conexión entre el computador, Arduino y los elementos de entrada y salida. La meta era garantizar que el módulo pudiera operar de manera independiente, sin necesidad de estar constantemente conectado a una computadora. Esta característica añade versatilidad al sistema, permitiendo su implementación en diversos contextos educativos y prácticos.

1.4 Marco teórico

Índices Ultravioletas (UV)

El Índice de Radiación Ultravioleta (UV) es una medida que evalúa la intensidad de la radiación ultravioleta proveniente del sol, que alcanza la Tierra en un lugar específico y en un momento determinado. Este índice proporciona información sobre el riesgo potencial para la salud asociado con la exposición a la radiación UV. En la Figura 1.1, se logra visualizar la tabla utilizada para representar los índices UV dentro del módulo.

Categorías de exposición		
Categoría	Valores	Colores
Baja	<2	Verde
Moderada	3 - 5	Amarillo
Alta	6 - 7	Naranja
Muy alta	8 - 10	Rojo
Extremadamente alta	11+	Púrpura

Figura 1.1 Índice UV brindado por el INAMHI [1].

Requerimientos y características de los módulos

En la Tabla 1.1 se exponen las características requeridas para los módulos

Tabla 1.1 Características requeridas para los módulos

Características	Descripción
Comunicación Matlab - Arduino	Soporte para la comunicación entre Matlab y Arduino, a través de "Matlab Support Package for Arduino", "Adafruit_Neopixel" para establecer, mantener y configurar en enlace del Arduino con los dispositivos externos.
Comunicación bidireccional	La transferencia instantánea de información y órdenes entre Matlab y Arduino.
Amigabilidad en interfaz de usuario	Una interfaz visual generada a través de App Designer que posibilita la interacción intuitiva de los usuarios con Arduino y la gestión de periféricos mediante elementos como botones, deslizadores, campos de entrada, gráficos, entre otros.
Conexión física sencilla	Utilizando un cable USB para conectar el Arduino a la computadora, es fundamental que los controladores USB del Arduino estén correctamente instalados en la computadora para que Matlab pueda reconocer el dispositivo.

Características	Descripción
Monitoreo en tiempo real	Permite que las variables puedan ser monitoreadas en tiempo real, permitiendo dar apertura a una eficiente toma de decisiones en función a los ajustes e información proporcionada por el módulo.
Enfoque educativo	Permite la enseñanza y aprendizaje sobre métodos, librerías, conceptos de programación, control y manejo de variables.

Control de los periféricos a través de Matlab y Arduino.

La gestión de dispositivos periféricos a través de Matlab con Arduino requiere una comunicación activa entre el software y el hardware en ambas direcciones. En este procedimiento, Matlab sirve como el medio para controlar y analizar, mientras que Arduino se emplea como la plataforma para la administración de los componentes. Esta combinación puede separarse en dos métodos principales dentro del entorno de Matlab: el uso del Comand Window y App Designer (interfaz).

- **Manejo a través de Comand Window.**

En el Comand Window, se utilizan instrucciones y secuencias de comandos de Matlab para establecer una conexión con Arduino. Este proceso implica transmitir instrucciones precisas y recibir información de manera inmediata, lo cual permite una comunicación directa y ágil con los dispositivos externos conectados al Arduino. Esta modalidad permite tanto el control como la supervisión desde el Comand Window, siendo especialmente útil para aplicaciones más simples y para llevar a cabo pruebas conceptuales de manera rápida.[2]

- **Manejo a través de Interfaz Gráfica.**

La interfaz diseñada con App Designer actúa como un medio de control al ofrecer una forma más amigable y visual de interactuar con los dispositivos conectados. Los usuarios pueden manipular y supervisar el hardware a través de la interfaz, lo que simplifica la experiencia de control y permite una interacción más intuitiva en comparación con el uso exclusivo del Command Window. Esto resulta especialmente útil para aplicaciones más complejas y proyectos en los que se busca una experiencia de usuario más elaborada.[3]

Esquema general del módulo.

En la Figura 1.2 Se ofrece una visión panorámica del módulo, en el cual la señal de los periféricos conectados es gestionada tanto de manera remota como física.

La gestión remota se realiza desde la computadora mediante el uso de Matlab, empleando dos herramientas esenciales: el Comand Window y App Designer. La comunicación entre la placa de Arduino y Matlab posibilita el intercambio instantáneo de datos, permitiendo el seguimiento en tiempo real de cada variable del sistema. A través del Comand Window, se ejecutan códigos y secuencias de programación que interactúan directamente con los dispositivos periféricos de entrada y salida. Por otro lado, App Designer ofrece una interfaz gráfica que facilita la interacción con cada variable de manera visual, proporcionando una experiencia más intuitiva para el usuario mediante elementos como botones, controles deslizantes y gráficas.

La vinculación de dispositivos de entrada y salida en la gestión física del proyecto se lleva a cabo mediante la placa de Arduino, que desempeña la función de la unidad central de procesamiento del sistema. Los dispositivos de entrada, como el sensor de radiación UV ML8511, el sensor LDR, la tira de LED, el servomotor y la pantalla OLED, se conectan a los pines digitales y analógicos de entrada/salida de Arduino.

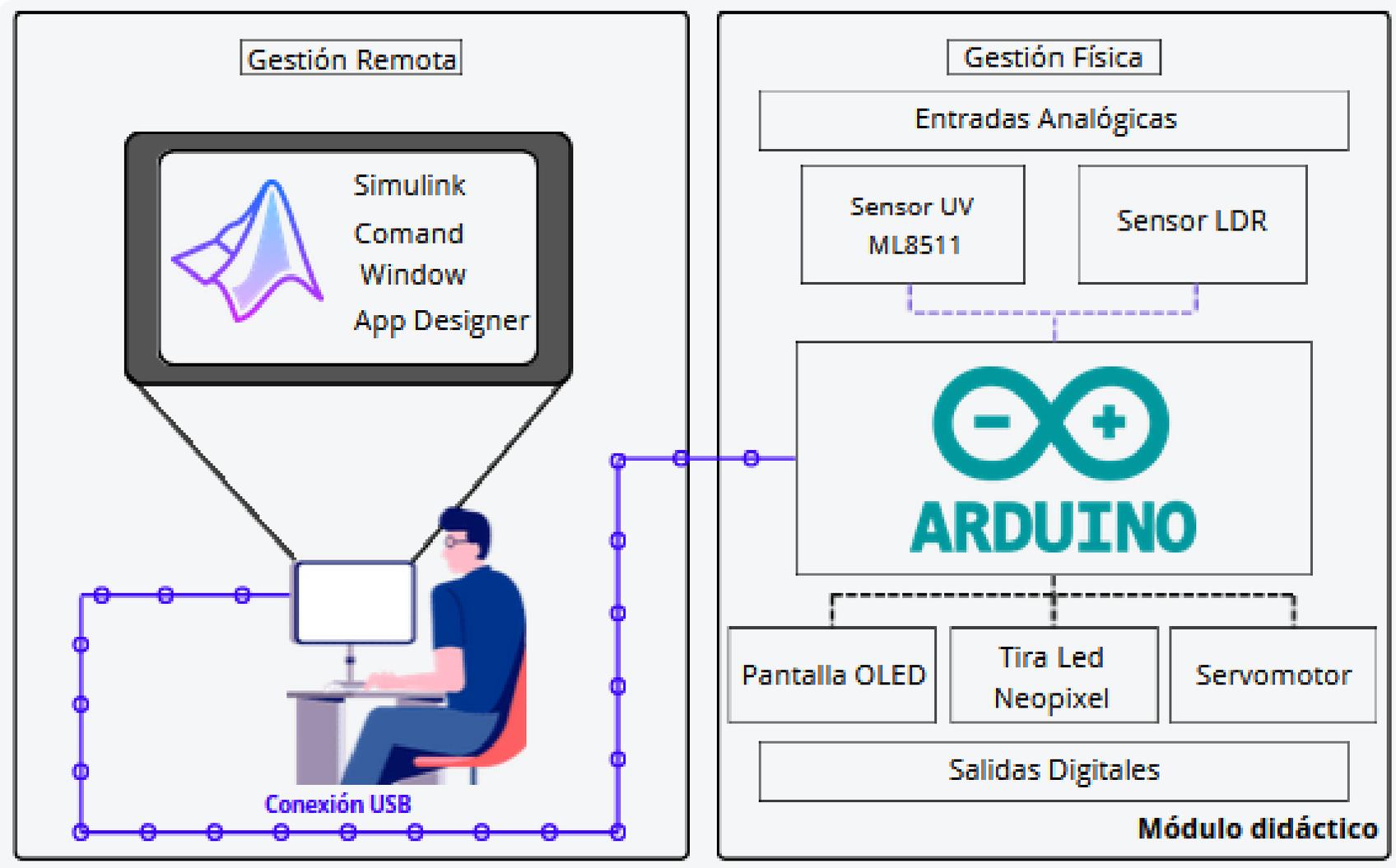


Figura 1.2 Esquema general del proyecto.

2 METODOLOGÍA

La creación de los módulos educativos se llevó a cabo con una perspectiva orientada a la práctica y la experimentación. Este proyecto ofrece a los alumnos conceptos teóricos que pueden programar mediante la comunicación con dispositivos tangibles, además de la evaluación de los resultados de manera instantánea.

En la Figura 2.1 se detallan las etapas seguidas para finalizar el componente.

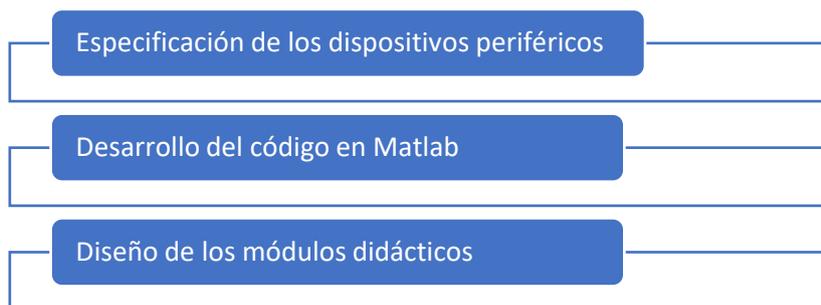


Figura 2.1 Diagrama de proceso general del componente

2.1 Dispositivos periféricos

De acuerdo con las consideraciones y necesidades del módulo se ha optado por estos componentes:

Periféricos de entrada

- Sensor de radiación UV ML8511.

En la Tabla 2.1 se muestran las características del sensor de radiación UV.

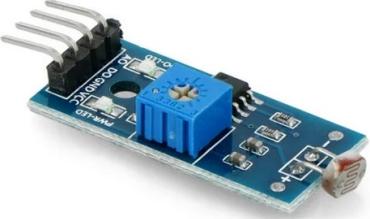
Tabla 2.1 Características técnicas del sensor de radiación UV ML8511.[4]

Voltaje de alimentación	3,3(V _{DC})– 5(V _{DC})	
Salida de voltaje analógico lineal	1-3 (V _{DC})	
Longitud de onda	280-390(nm)	
Pines de Conexión	<ul style="list-style-type: none"> • VIN • 3V3 • GND • OUT • EN 	
Tamaño	12x12 (mm)	

- Sensor LDR (fotorresistor)

En la Tabla 2.2 se muestran las características del sensor LDR.

Tabla 2.2 Características técnicas de Sensor LDR.[5]

Voltaje de operación	5(V _{DC})	
Salida de señal	La resistencia varía y modifica el valor de voltaje	
Pines de Conexión	<ul style="list-style-type: none"> • VCC • GND • DO • AO 	
Incluye	<ul style="list-style-type: none"> • Potenciómetro para ajuste de comparador • Led rojo de encendido y verde de salida digital 	

Periféricos de salida

- Micro servo SG90

En la Tabla 2.3 se muestran las características del Micro Servo SG90.

Tabla 2.3 Características técnicas de Micro Servo SG90.[6]

Voltaje de alimentación	3.0(V _{DC})– 7.2(V _{DC})	
Velocidad	0.1 seg / 60grados	
Torque	1.3 (kg.cm) a 4.8(V _{DC}) 1.6 (Kg.cm) a 6.0(V _{DC})	
Engranajes	Nylon	
Dimensiones	22x11.5x27 (mm)	
Pines de Conexión	<ul style="list-style-type: none"> • Cable rojo: alimentación • Cable café: tierra • Cable naranja: Señal PWM 	

- Tira led Neopixel WS2812B

En la Tabla 2.4 se muestran las características de la tira LED Neopixel WS2821B.

Tabla 2.4 Características técnicas de Tira LED Neopixel WS2821B.[7]

Voltaje de alimentación	5(V _{DC})	
Corriente por led	60(mA)	
Color de los leds	RGB Variable	
Pines de Conexión	<ul style="list-style-type: none"> • GND • DIN • 5V 	

- Pantalla OLED SSD1306.

En la Tabla 2.5 se muestran las características de la pantalla OLED SSD1306.

Tabla 2.5 Características técnicas de Pantalla OLED SSD1306.[8]

Tipo	Display OLED	
Resolución	128x64 Píxeles – 0.96 pulgadas	
Driver	SSD1306	
Interfaz	I2C	
Dimensiones	27x27x3 (mm)	
Voltaje de Operación	3.3(V _{DC}) – 5.5(V _{DC})	
Pines de Conexión	<ul style="list-style-type: none"> • VCC • GND • SCL • SDA 	

2.2 Código de Matlab

Comand Window

Al digitalizar los diferentes comandos, se observa en la pantalla del Comand Window los resultados de cada uno de ellos, ya sea el valor de índice UV que receipta el sensor ML8511 o el valor de voltaje del sensor LDR.

El diagrama de flujo representado por la Figura 2.2 exhibe la operatividad del entorno de Matlab donde los distintos comandos son introducidos de manera directa.

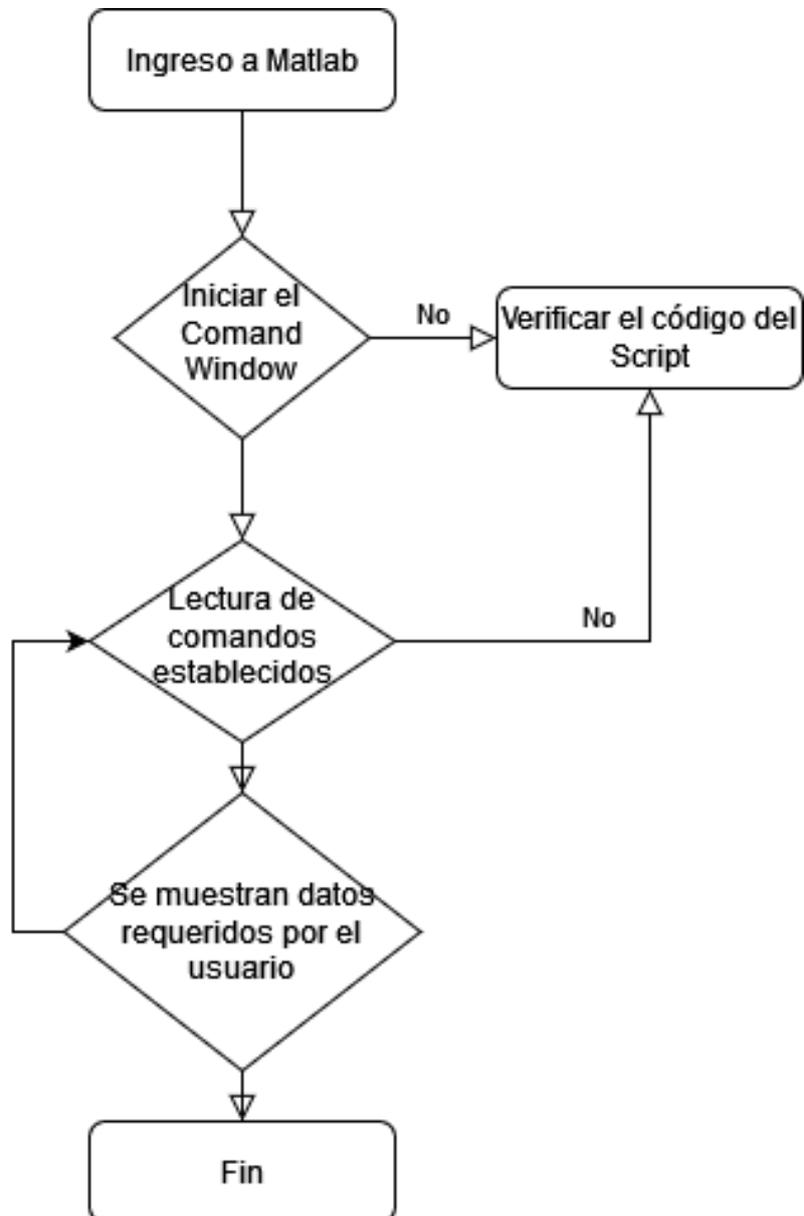


Figura 2.2 Diagrama de flujo de funcionamiento de Comand Window.

En el Anexo VI se encuentra la lista de comandos establecidos, que permiten visualizar lo siguiente:

- Comando para medir el sensor LDR
- Comando para medir el sensor UV.

En la Tabla 2.6 se observa cómo funcionan los comandos dentro del Comand Window y lo que controlan.

Tabla 2.6 Comandos de control

Acción	Comando	Resultado
Lectura del sensor LDR y posición del servomotor	"medldr"	<pre>>> medldr Voltaje LDR:2.8006 Grados del servomotor: 97.2141°</pre>
Lectura del sensor UV y obtención de niveles de radiación UV	"nivelUV"	<pre>>> nivelUV Índice UV: 3 Voltaje: 1.2121 Color: Amarillo Alerta: Moderado Recomendación: Uso de gorro o sombrero, protector solar y gafas de sol.</pre>
Control del servomotor	"ControlServo"	Este aspecto solo es visible al iniciar el programa en el módulo.

Interfaz gráfica en App Designer

Se diseñó la interfaz gráfica de monitoreo donde se añadieron elementos interactivos como gráfico de datos, cuadros de texto, leds, botones de acción y barras indicadoras; que cumplen con funciones específicas detalladas en el código de programación.

Accionadores de la interfaz

Para observar los valores y gráficas dentro de la interfaz, se colocaron botones de acción que, permiten el monitoreo de cada una de las variables.

Las funciones que utilizan los botones de medición del sensor UV y del sensor LDR son "MedicinUVButton" y "MedicionLDR", respectivamente, los cuales son acompañados por un led indicador que responden a la función "medicionUVlamp" y "LampLDR". Esto se observa en las Figuras 2.3 y 2.4.



Figura 2.3 Botón de acción de Sensor UV.

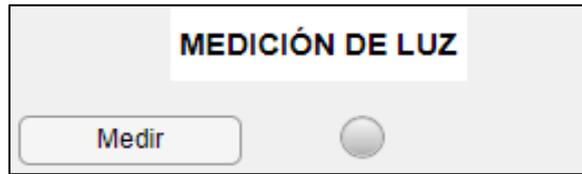


Figura 2.4 Botón de acción del Sensor LDR.

Periféricos de Entrada

- **Sensor UV ML8511**

La medición de la tensión se realiza con la tarea "medvoltajeUV" en el callback de la interfaz, tal como se ilustra en la Figura 2.5. El sensor UV está enlazado al pin A0 del Arduino y exhibe el valor de voltaje medido en la interfaz. La gráfica ilustra cómo varía el voltaje de salida del sensor a lo largo del tiempo en segundos, permitiendo observar el comportamiento del sensor y sus cambios a través del tiempo.

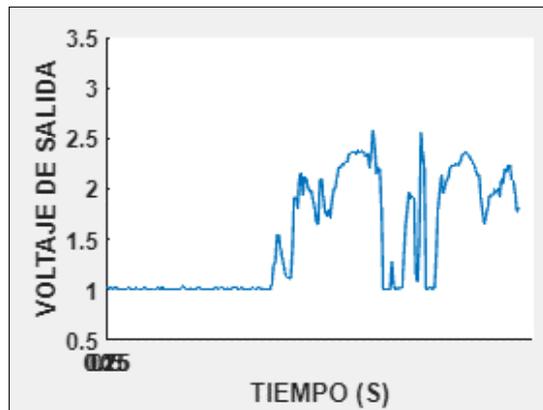


Figura 2.5 Apartado de la Interfaz para el Sensor UV ML8511

Continuando con la medición de voltaje, se añadió un cuadro con valores numéricos, el cual, permite visualizar específicamente el valor de voltaje brindado por el sensor, como se observa en la Figura 2.6, a través de la función "VOLTAJESENSORUV".



Figura 2.6 Indicador de voltaje del Sensor UV

Se incorporó una barra deslizante, la cual indica cuantitativamente el valor del índice UV, esto es gracias a la función "INDICADORUV" de la interfaz, como se muestra en la Figura 2.7.

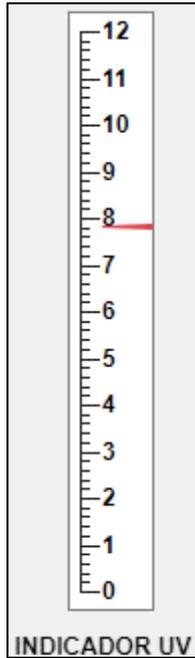


Figura 2.7 Indicador de índices UV.

Además, recreando una parte del diseño del módulo físico, se decidió utilizar leds para enmarcar de forma cualitativa los índices UV, tomando en consideración la tabla proporcionada por el INAMHI. A través de leds se mostraron los colores respectivos a cada esquema relacionado con los índices UV, así mostrándose en la Figura 2.8.



Figura 2.8 Índices UV cualitativos.

- **Sensor LDR**

Para manejar los valores del sensor LDR se ha diseñado un esquema el cual, a través de un diagrama de rango semicircular se indica que tan iluminado está el ambiente donde se encuentra el módulo, reflejándose en la Figura 2.9.



Figura 2.9 Rango semicircular indicando la cantidad de luz.

Además, se añadió un cuadro con valores numéricos el cual permite visualizar el valor de voltaje de salida del sensor LDR, así como se muestra en la Figura 2.10.



Figura 2.10 Indicador de voltaje del Sensor LDR.

Todos estos elementos fueron elegidos y diseñados con el fin de monitorear de forma eficiente cada uno de los valores de los sensores conectados al Arduino.

2.3 Diseño de los módulos didácticos

Diseño de la tapa de los módulos

El diseño del sticker que cubre la tapa del módulo ha sido meticulosamente elaborado con el propósito principal de proporcionar información detallada y práctica sobre los índices de radiación UV, así como ofrecer recomendaciones útiles para el cuidado de la piel y la salud en general. La inclusión de un diagrama de un cuarto de círculo junto con una aguja indicadora no solo añade un elemento estético atractivo, sino que también ofrece una manera intuitiva para que los usuarios puedan evaluar rápidamente el nivel de luminosidad en su entorno.

La Figura 2.11 presenta una representación visual detallada del diseño del sticker, destacando su disposición modular y los elementos clave que lo componen.

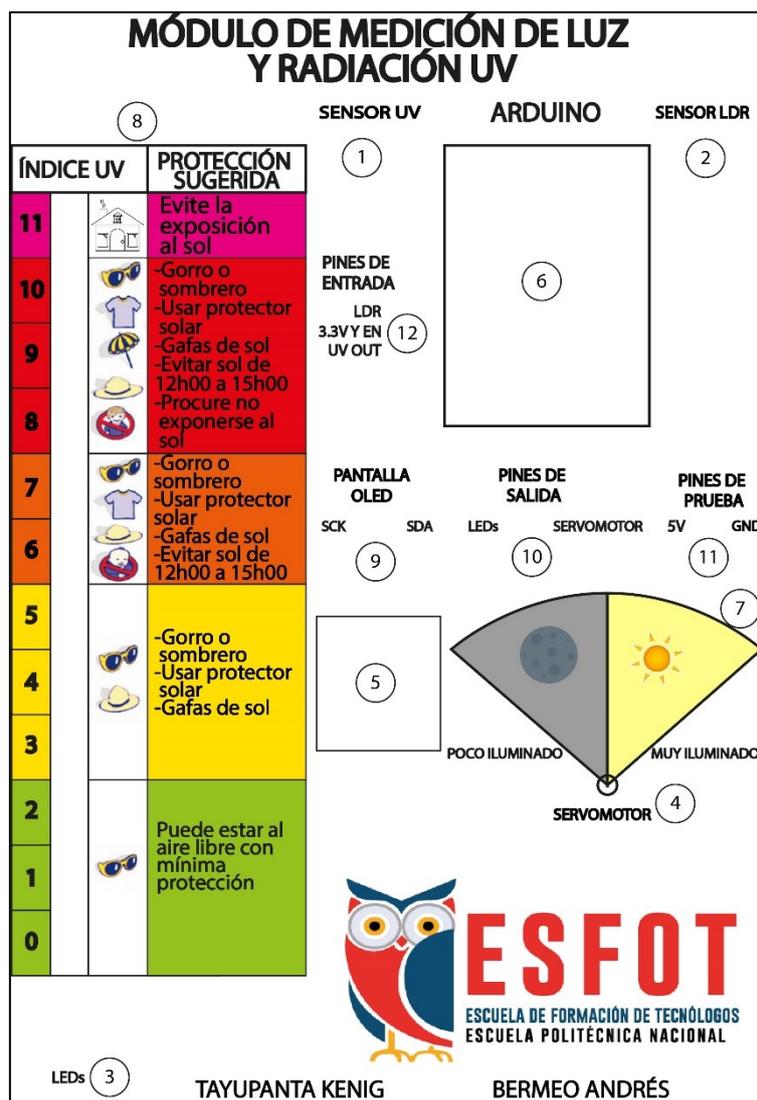


Figura 2.11 Diseño del sticker para la tapa del módulo

Donde, se aprecia lo siguiente:

1. Sensor UV ML8511.
2. Sensor LDR.
3. Conexión para tira LED Neopixel.
4. Servomotor.
5. Pantalla LCD OLED SSD1306 128x64.
6. Arduino UNO R3.
7. Ilustración para verificar la incidencia de luz.
8. Tabla de los índices UV proporcionada por el INAMHI.
9. Pines de conexión de datos de la pantalla LCD OLED.
10. Pines digitales de los dispositivos periféricos de salida.
11. Pines de 5V y GND para realizar pruebas con los sensores.
12. Pines analógicos de los dispositivos periféricos de entrada.

Un aspecto importante es que la placa PCB será la tapa del módulo, que aparte de cubrir la caja tendrá la capacidad de contener todas las conexiones eléctricas que sean diseñadas con base en el diseño del sticker de la Figura 2.11.

Para brindarle un mejor diseño a la tapa del módulo y una predisposición de los componentes que están en el módulo se muestra la Figura 2.12, donde, gracias a la herramienta de Inventor se recrearon y ubicaron los componentes dependiendo la ubicación detallada con anterioridad.

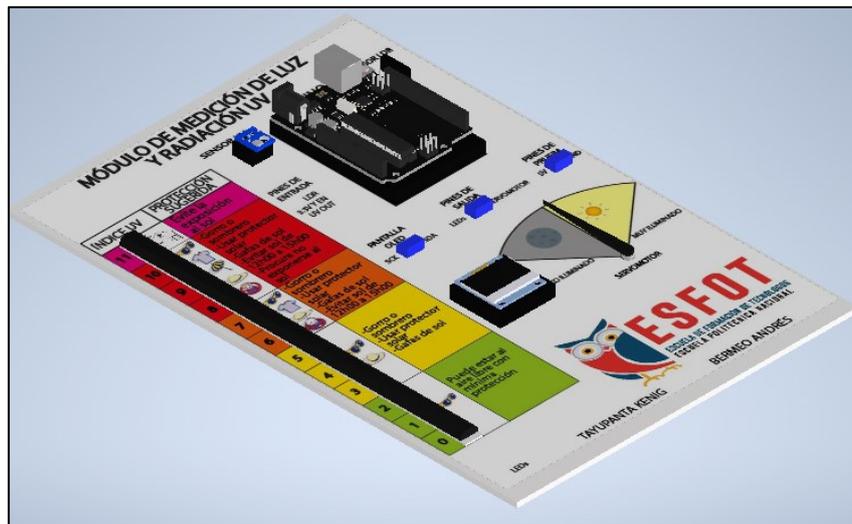


Figura 2.12 Diseño de la tapa de los módulos didácticos.

Diseño de la estructura de los módulos

En el diseño de la estructura del módulo, se consideraron las dimensiones del servomotor, ya que éste se ubica de forma perpendicular a la tapa del módulo. Además, la funcionalidad de la estructura cuenta con un riel que facilita la incorporación de la tapa. La estructura del módulo fue diseñada con un grosor de paredes de 3,00 mm tomando en consideración que la estructura se construya en acrílico. La Figura 2.13 presenta el diseño de la estructura de los módulos.

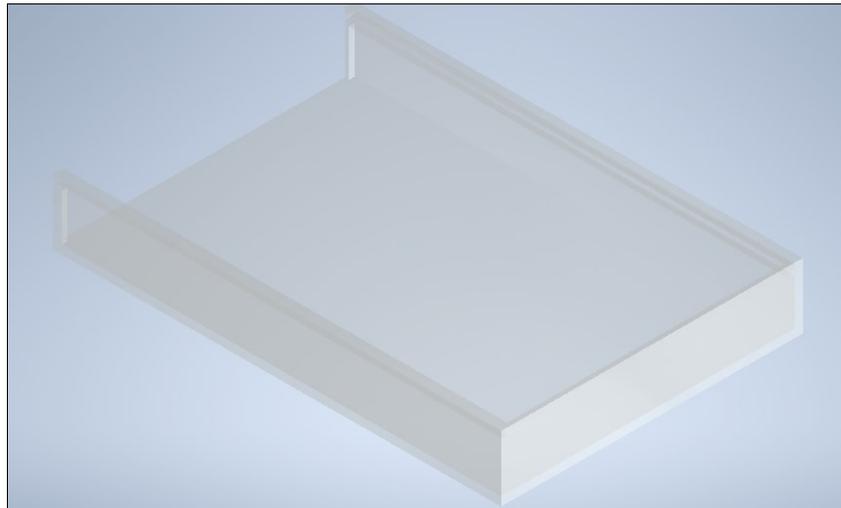


Figura 2.13 Diseño de la estructura de los módulos

Por último, se observa en la Figura 2.14 el ensamble completo del módulo, los planos de desarrollo del módulo se encuentran en el Anexo III con un plano de conjunto del módulo, el plano de la estructura del módulo y el plano con la distancia entre elementos.

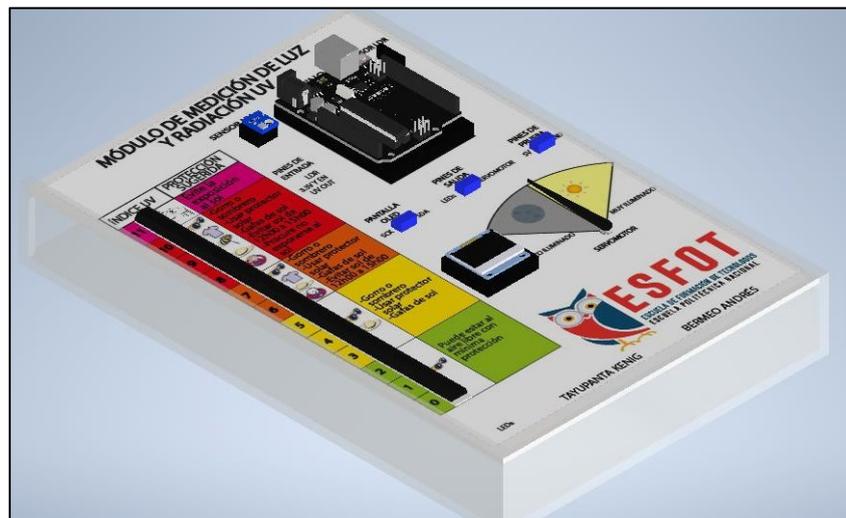


Figura 2.14 Diseño completo del módulo.

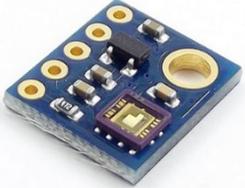
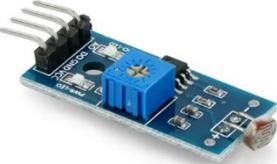
3 RESULTADOS

Se realizó la elección de los componentes que fueron utilizados para los módulos, además, se realizaron las pruebas para comprobar el funcionamiento de la interfaz y el Comand Window, y por último el diseño del módulo.

3.1 Dispositivos seleccionados

En la Tabla 3.1 se presentan los dispositivos seleccionados para el diseño de los módulos.

Tabla 3.1 Dispositivos seleccionados para el diseño y construcción del módulo.

No. De componente	Nombre	Imagen
1	Sensor UV ML8511	
2	Módulo sensor LDR	
3	Micro Servo SG90	
4	Led Neopixel	
5	Pantalla OLED	

No. De componente	Nombre	Imagen
6	Espadín tipo hembra	
7	Borneras de 2 y 3 pines	

3.2 Comand Window

En el transcurso de la investigación, se ha conseguido una incorporación exitosa del Comand Window como un medio para la interacción con diversos elementos del sistema. Los datos obtenidos respaldan la efectividad de este enfoque para la interacción y la recolección de datos de forma interactiva.

Obtención de datos del sensor UV ML8511

En la Figura 3.1 se muestra el comando utilizado para la medición del sensor UV ML8511 y su respuesta para obtener los datos de medición del sensor UV.

```
>> nivelUV
Índice UV: 14
Voltaje: 1.911
Color: Violeta
Alerta: Extremo
Recomendación: Evite exposición al sol.
```

Figura 3.1 Comando "nivelUV" para el funcionamiento del sensor UV.

En la Tabla 3.2 se integran los resultados de la medición del índice UV y su comparación con una aplicación móvil llamada UVIMate [9] la cual permite observar tanto el índice como el nivel de radiación ultravioleta, sin importar el lugar donde se encuentre debido a que utiliza la ubicación del teléfono móvil para ello.

Las medidas ideales del nivel e índice UV son tomadas en cuenta con la aplicación móvil, mientras que las medidas son las que se han realizado con el Comand Window, así fue como se obtuvo un error promedio de 3.81%.

Tabla 3.2 Funcionamiento del Comand Window

Hora de medición	Nivel ideal	Nivel medido	Índice UV ideal	Índice UV medido	Error (%)	Resultado
11:00	Extremo	Extremo	13.2	13	1.51	✓
12:00	Extremo	Extremo	14.4	14	2.77	✓
13:00	Extremo	Extremo	15.1	14	7.28	✓
16:00	Extremo	Extremo	13.3	13	2.25	✓
18:00	Bajo	Bajo	1.9	2	5.26	✓

Para realizar las mediciones, el sensor UV fue compensado para que su medición mantenga coherencia con los datos obtenidos de la aplicación móvil y reducir su error, obteniendo un buen resultado en el objetivo de lectura del sensor UV.

Por otro lado, las pruebas se realizaron considerando las horas donde los niveles de radiación ultravioleta son mayores para así corroborar que el módulo mida niveles altos.

Obtención de datos del sensor LDR

Se realizaron las pruebas de lectura del sensor LDR. Para ello se expresan 3 situaciones en las que se encuentra el sensor. Se compararon los voltajes que brinda el sensor con la medición de un multímetro, y obteniendo el valor de posición que tiene el servomotor respecto a cada valor de voltaje.

La Figura 3.2 expresa el comando que controla al servomotor y el sensor LDR.

```
>> voltajeLDR
Voltaje LDR:4.7752
Grados del servomotor: 144.6041°
```

Figura 3.2 Comando "medldr" para obtener valores del LDR.

Las situaciones para tomar en consideración son las siguientes:

- Sensor LDR con amplia iluminación.
- Sensor LDR con mediana iluminación.
- Sensor LDR con poca iluminación.

En la Tabla 3.3 se compararon los valores obtenidos de cada una de las situaciones antes mencionadas.

Tabla 3.3 Tabla comparativa de medición del sensor LDR

Condición	Voltaje ideal (V _{DC})	Voltaje Medido (V _{DC})	Grados del servomotor	Error (%)	Resultado
Amplia iluminación	0.0252	0.0261	30.58°	3.57	✓
Mediana iluminación	3.02	2.98	102.49°	1.32	✓
Baja iluminación	4.72	4.65	143.31°	1.48	✓

El sensor LDR al estar en una amplia, media y baja iluminación brinda una respuesta lineal, lo cual, resulta eficiente en la lectura por parte de la programación de Matlab, probando que se cumplió el objetivo de la lectura del sensor LDR y el control del servomotor, añadiendo que el error promedio obtenido fue de 2.12%.

3.3 Interfaz gráfica

La Figura 3.3 ilustra la integración de todos los componentes en una única ventana de interfaz, lo que facilita su visualización al usuario. La información captada por los sensores de entrada, tales como el sensor UV ML8511 para la radiación UV y el sensor LDR, puede ser visualizada instantáneamente en la interfaz gráfica.

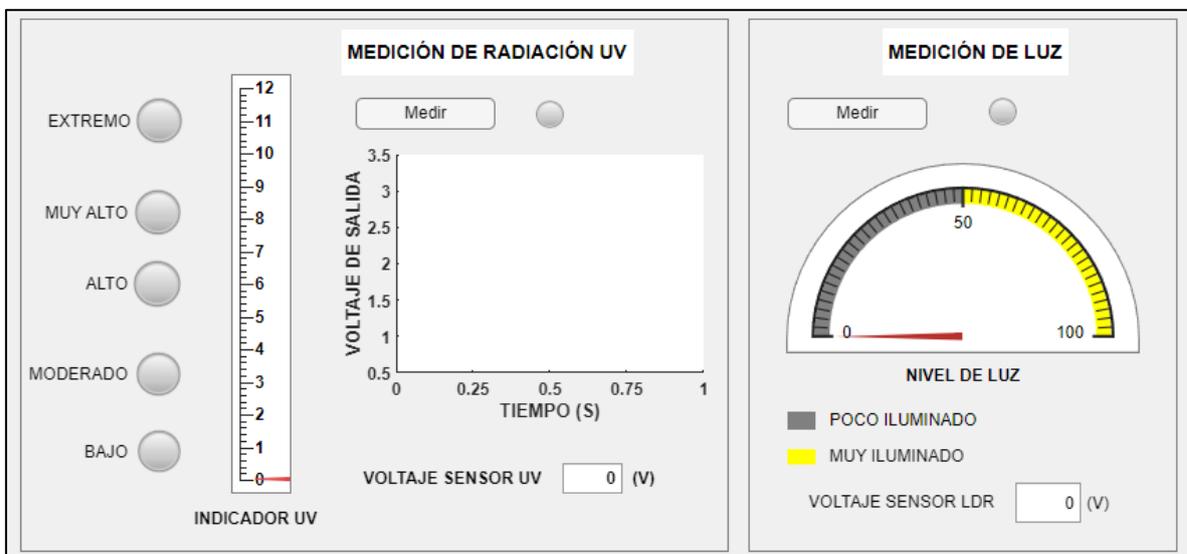


Figura 3.3 Interfaz gráfica en App Designer.

Pruebas del sensor Ultravioleta

El propósito del sensor ultravioleta fue detectar la radiación solar y proporcionar una señal analógica que represente los niveles de radiación UV con el fin de informar al usuario sobre las recomendaciones de vestimenta o el uso de protector solar.

Por lo que, se compararon los voltajes de medición con el módulo construido con los datos obtenidos al medir con el multímetro los voltajes de salida del sensor.

En la Tabla 3.4 se encuentran los datos obtenidos de las mediciones y los valores ideales para el funcionamiento del sensor UV, obteniendo un error promedio del 1,14%.

Tabla 3.4 Comparación entre voltaje medido y voltaje ideal.

Nivel	Voltaje ideal (V _{DC})	Voltaje Medido (V _{DC})	Error (%)	Resultado
0	1	0,99	1,00	✓
1	1,07	1,10	2,80	✓
2	1,14	1,17	2,63	✓
3	1,22	1,24	1,63	✓
4	1,29	1,28	0,78	✓
5	1,36	1,34	1,47	✓
6	1,44	1,45	0,69	✓
7	1,51	1,52	0,66	✓
8	1,58	1,60	1,26	✓
9	1,66	1,67	0,60	✓
10	1,73	1,70	1,73	✓
11	1,80	1,81	0,55	✓
12	1,88	1,88	0,00	✓
13	1,95	1,94	0,51	✓
14	2,02	2,00	0,99	✓
15	2.1	2,08	0,95	✓

Según la Tabla 3.4, se cumplió con el objetivo de la lectura del sensor UV ML8511 y brindando un mínimo error de lectura a nivel de voltaje y confiabilidad de sus resultados.

Pruebas del sensor LDR

El propósito del sensor LDR fue analizar su respuesta frente a distintos niveles de luz incidente en el módulo y cómo estos cambios se reflejan tanto en el aspecto físico del módulo como en la interfaz. También se incluyó la comparación entre los valores obtenidos por la interfaz y los medidos con el multímetro.

En la Tabla 3.5 se presentan en detalle las pruebas de medición de voltaje y se comparan con los obtenidos mediante la interfaz gráfica.

Tabla 3.5 Funcionamiento sensor LDR

No. De Prueba	Voltaje Ideal (V_{DC})	Voltaje medido (V_{DC})	Error %	Interfaz	Resultado
1	0.4008	0.4	0.19	 <p>The screenshot shows a digital display for 'MEDICIÓN DE LUZ' with a green 'Midiendo' indicator. Below it is a semi-circular gauge with a scale from 0 to 100, where 50 is marked. The needle points to approximately 40. A legend indicates 'POCO ILUMINADO' (grey) and 'MUY ILUMINADO' (yellow). At the bottom, it shows 'VOLTAJE SENSOR LDR' with a value of 0.4008 (V).</p>	✓
2	1.281	1.21	5.54	 <p>The screenshot shows a digital display for 'MEDICIÓN DE LUZ' with a green 'Midiendo' indicator. Below it is a semi-circular gauge with a scale from 0 to 100, where 50 is marked. The needle points to approximately 60. A legend indicates 'POCO ILUMINADO' (grey) and 'MUY ILUMINADO' (yellow). At the bottom, it shows 'VOLTAJE SENSOR LDR' with a value of 1.281 (V).</p>	✓
3	1.75	1.78	1.71	 <p>The screenshot shows a digital display for 'MEDICIÓN DE LUZ' with a green 'Midiendo' indicator. Below it is a semi-circular gauge with a scale from 0 to 100, where 50 is marked. The needle points to approximately 70. A legend indicates 'POCO ILUMINADO' (grey) and 'MUY ILUMINADO' (yellow). At the bottom, it shows 'VOLTAJE SENSOR LDR' with a value of 1.75 (V).</p>	✓

El resultado de cada una de las mediciones cumple con la lectura del sensor LDR y el control del servomotor dependiendo del nivel de luz que incide sobre el sensor LDR.

Además, que se observó que mantiene un error promedio de 2,48% entre las mediciones realizadas.

3.4 Módulo didáctico

Implementación de funcionalidades

En la Figura 3.4 se explica la sección que tiene cada módulo, lo cual facilita a los estudiantes la conexión y esquematización del módulo, permitiendo que se establezcan y se diferencien las secciones del módulo.

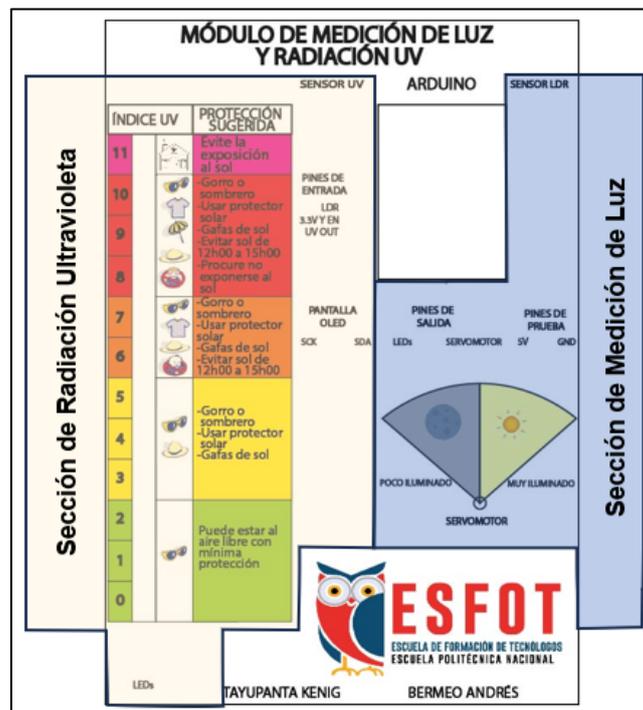


Figura 3.4 Secciones del módulo

El diseño de la tapa del módulo prevé que se establezcan puntos donde los estudiantes puedan conectar los elementos, pero a su vez tener la capacidad de obtener medidas analógicas de los mismos. La implementación de los pines de prueba permite que los estudiantes utilicen la fuente de 5 (V_{DC}) del Arduino y el pin GND que permita la medición de valores analógicos con el resto de los pines de conexión.

Se ha conseguido crear los planos en dos dimensiones y gráficos 3D de los módulos utilizando el software Autodesk Inventor, tal como se exhibe en el Anexo III. Estas

representaciones muestran cómo están colocados los dispositivos externos y la placa Arduino Uno en el espacio, facilitando así la comprensión y operación de los módulos. Además, la Figura 3.5 muestra un dibujo del módulo completo con los dispositivos periféricos incluidos.

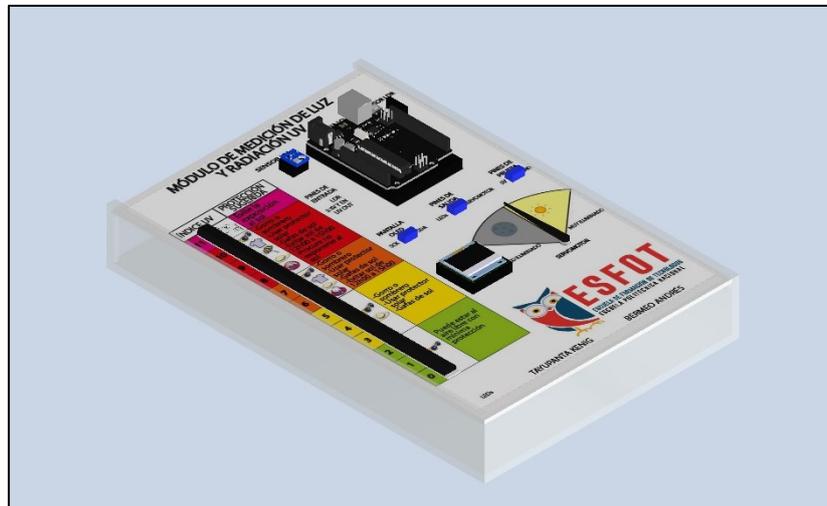


Figura 3.5 Diseño final de los módulos

Pruebas de funcionamiento del Proyecto



Figura 3.6 Código QR del video sobre pruebas y funcionamiento del módulo de Medición de luz y Radiación UV

URL: <https://bit.ly/43j1JpA>

4 CONCLUSIONES

- ❖ El primer objetivo del proyecto se centró en la identificación y especificación de los dispositivos periféricos necesarios, tanto digitales como analógicos, para la medición precisa de la luz y la radiación. Los componentes seleccionados fueron los siguientes:
 - Sensor UV ML8511.
 - Módulo sensor LDR.
 - Micro Servo SG90.
 - Tira Led Neopixel.
 - Pantalla OLED SSD1306 de 0.96”.
- ❖ El desarrollo del código en Matlab para controlar las entradas y salidas del Arduino implicó la escritura de programas que permitieran la comunicación entre Matlab y Arduino, así como la implementación de algoritmos de procesamiento de datos y control de dispositivos periféricos. Gracias a esta integración software-hardware, se logró una gestión eficiente de la adquisición de datos y la manipulación de señales, facilitando la interacción con los módulos didácticos y su posterior análisis. Para ello se utilizaron librerías específicas que facilitaron el control del servomotor, además de la utilización de un “tool” de Matlab el cual realice la misma funcionalidad de “map” en Arduino, siendo su representante dentro de Matlab la herramienta “mapfun”.
- ❖ Finalmente, se cumplió el objetivo de diseñar los módulos didácticos propiamente dichos. Estos módulos fueron concebidos con una estructura clara y modular, que permitiera su fácil ensamblaje y desmontaje, así como su adaptación a diferentes entornos educativos y aplicaciones prácticas. Se incorporaron elementos visuales y prácticos, como la pantalla OLED, la tira de LEDs, el microcontrolador Arduino, el servomotor y los respectivos sensores.
- ❖ En las pruebas realizadas dentro de Comand Window para la lectura del sensor UV se observó que el error promedio fue de 3,81%, esto debido a la compensación realizada al momento de comparar los valores del índice UV obtenidos de la aplicación móvil con los del sensor UV, lo cual, incide sobre la linealidad que ofrece el fabricante y las variaciones que genera el haber compensado el rango de medición del sensor UV.
- ❖ Por otro lado, en las pruebas de lectura del sensor LDR a través del Comand Window el error obtenido fue de 2,12%, esto debido a la precisión del multímetro, dado que, el sensor LDR al estar en condiciones de amplia

iluminación, sus valores de voltaje son muy pequeños y el multímetro tuvo inconvenientes a la hora de medir en milivoltios, lo cual explica que al medir bajo esta circunstancia el error obtenido fue el mayor.

- ❖ Al realizar las pruebas con la interfaz gráfica se observó que las comparaciones de medición del sensor UV otorgaron un error promedio de 1,14% debido a la compensación realizada para la obtención de los niveles de radiación UV otorgados por la aplicación móvil y el número de mediciones realizadas tomando en consideración todos los índices UV que fueron medidos por la interfaz.
- ❖ Dentro de las tres pruebas realizadas para la comprobación del funcionamiento de la interfaz con el sensor LDR se obtuvo un error promedio de 2,48% siendo un poco mayor con referencia a los valores obtenidos con el Comand Window, lo cual indica que la precisión que ofrece la interfaz es más reducida al solo manejar valores con hasta dos decimales, siendo el principal factor para que el error obtenido haya aumentado en consideración al Comand Window.

5 RECOMENDACIONES

- Es importante saber cómo funcionan los dispositivos periféricos dado que, los valores de manejo de variables parten de este conocimiento, uno de ellos es la linealidad de la salida del voltaje del sensor UV ML8511 que permite que el control de variables sea más práctico y eficiente.
- Es importante continuar optimizando el código desarrollado, dado que, uno de los obstáculos más grandes al momento de la programación fue que no existían librerías dentro de Matlab capaces de controlar ciertos periféricos, lo cual, aparte de ser una inversión de tiempo no factible, puede llevar a desviar ciertos aspectos que son fundamentales dentro del control de los periféricos.
- Se recomienda que con planes futuros se pueda integrar este tipo de módulos con plataformas de aprendizaje online para así ampliar su alcance y accesibilidad.
- Finalmente es recomendable que exista un plan de actualización y mantenimiento del equipo, dado que, gracias a aspectos como el *drift* pueden hacer que la vida útil del módulo se reduzca y empiecen los fallos.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "INAMHI Monitor UV". Consultado: el 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://186.42.174.236/IndiceUV2/>
- [2] A. Elizalde, "Introducción a Matlab", ene. 2005. Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.um.es/documents/4874468/11150045/introduccionmatlab-2.pdf/8d99a83a-2366-462d-8090-467b95a9f94f>
- [3] "Diseñador de aplicaciones: qué es, funciones - Talent Scanner". Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://santandersmartbank.es/talent-scanner/disenio-visual-arte-y-creatividad/app-designer-service-design/>
- [4] "Módulo Sensor de luz ultravioleta (UV) ML8511". Consultado: el 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-luz-y-sonido/169-modulo-sensor-de-luz-ultravioleta-uv-ml8511.html>
- [5] "Sensor Luz LDR - AV Electronics". Consultado: el 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://avelectronics.cc/producto/sensor-luz/>
- [6] "Micro Servo SG90 1.5Kg". Consultado: el 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/servomotores/21-servo-sg90-1kg.html>
- [7] "Tira NeoPixel de LEDs RGB - Negro 60 LEDs - Comprar - Ultra-lab". Consultado: el 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ultra-lab.net/producto/tira-neopixel-de-leds-rgb-negro-60-leds/>
- [8] "Pantalla Lcd Oled Azul 128×64 0.96 I2C – Novatronic". Consultado: el 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://novatronic.ec.com/index.php/product/pantalla-lcd-oled-azul-128x64-0-96-i2c/>
- [9] "UVIMate - Sun Safety Coach and Global UV Index Application". Consultado: el 15 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://uvimate.com/>

7 ANEXOS.

ANEXO I. Reporte de Similitud Generado por Turnitin

ANEXO II. Certificado de Funcionamiento de Trabajo de Integración Curricular

ANEXO III. Planos del Módulo en Inventor

ANEXO IV. Diseño del Sticker del módulo

ANEXO V. Código de matlab para el control del servomotor.

ANEXO VI. Comandos para Matlab