



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL**

**DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU  
APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTA

**MARTÍN PÉREZ TISCAREÑO**

DIRECTORA DE TESIS:

**M.I LOURDES ANGÉLICA QUIÑONES JUÁREZ**

MÉXICO, D.F, 2014





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera.

A mis padres por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme sus aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis hermanos por representar la unidad familiar. A Reyna, Guadalupe y Guillermo por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir, a Francisco y Ricardo por llenar mi vida de alegrías. A todos ellos por apoyarme cuando más lo he necesitado.

A mi novia Jessica, por ser parte importante de mi vida, por apoyarme en las buenas y en las malas, sobre todo por su paciencia y amor incondicional.

Le agradezco a mi directora de tesis Angélica la confianza, dedicación de tiempo y conocimientos compartidos.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se desarrolló un prototipo de radiómetro ultravioleta, haciendo uso de los siguientes dispositivos: sensor UV-A (fotodiodo), amplificador operacional (OPA2350UA), microcontrolador (Arduino uno) y Ethernet Shield (sistema de comunicación inalámbrica).

Como primer paso se realizó una investigación sobre radiación ultravioleta para conocer sus principales características así como las formas que existen para su medición.

Posteriormente, con la interacción de los elementos mencionados anteriormente, se realizó un circuito capaz de medir la radiación UVA, el cual cuenta con características tales como: comunicación remota y almacenamiento de datos en una computadora. Estas características podrían suponer un costo elevado, pero al compararlo con dispositivos disponibles en el mercado y de manufactura extranjera. El costo final es relativamente bajo además que sería el primer dispositivo de este tipo diseñado en México.

Este radiómetro servirá principalmente para que sea instalado en puntos estratégicos de la República Mexicana, en donde los datos medidos con este radiómetro se compararán con mediciones satelitales y modelos espectrales, lo que resultara en la obtención de un modelo de radiación ultravioleta para la República Mexicana.

## **ABSTRACT**

In the present work a ultraviolet radiometer prototype, was developed making use of the following devices: sensor UV-A (photodiode), operational amplifier (OPA2350), microcontroller (Arduino one) and Ethernet shield (wireless communication system).

First step, an investigation was carried out about ultraviolet radiation in order to know what are their main features as well as the forms that exist for their measurement.

Subsequently with the interaction of the elements mentioned above, a circuit was built capable of measuring UVA radiation which features such as: wireless connection and data storage in a computer. These features could suggest that the cost is high, but, when it was compared with available devices in the market and foreign manufacturing, the final cost is cheaper. In addition, it would be the first device designed in Mexico.

This radiometer will be useful for the UV radiation modeling because it will be installed at strategic points of the Mexican Republic, where the measured data will be compared with satellite and spectral models. As a result, a UV radiation Model for Mexican conditions can be obtained.

# CONTENIDO

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Objetivo general</b> .....	2
<b>Objetivos Específicos</b> .....	2
<b>Capítulo 1 Rayos ultravioleta</b> .....	3
1.1 Definición de Rayos UV.....	3
1.2 Clasificación de radiación UV.....	4
1.3 Efectos positivos y negativos.....	5
1.3.1 Efectos sobre la piel.....	5
1.3.2 Enfermedades comunes a causa de los rayos UV en la piel.....	5
1.3.3 Efectos sobre los ojos.....	6
1.3.3.1 Efectos crónicos de la radiación ultravioleta en los ojos.....	6
1.3.4 Otros efectos sobre la salud.....	7
1.3.5 Efectos en la vida marina.....	7
1.4 Aplicaciones de la radiación ultravioleta.....	8
1.5 Tipos de sensores.....	9
1.5.1 Sensores disponibles en el mercado.....	10
<b>Capítulo 2. Radiómetro UV</b> .....	12
2.1 Estado del arte.....	12
2.1.1 Instrumentos de medición UV disponibles en el mercado.....	15
2.2 Materiales y Metodología.....	19
2.2.1 Arquitectura del producto.....	20
2.2.2 Selección de Sensor UV-A.....	21
2.2.3 Sensor fotodetector SVTA-UV-A.....	21
2.2.4 Selección de amplificador operacional.....	23
2.2.5 Amplificador Operacional OPA 2350.....	24
2.2.6 Arduino Uno.....	26
2.2.7 Sistema de comunicación <i>Ethernet Shield</i> .....	27
2.2.8 Metodología.....	28

2.2.8.1 Adaptación para amplificador Operacional OPA2350.....	28
2.2.8.2 Sensor UV-A y Amplificación.....	30
2.2.9 Disposición del circuito en protoboard.....	34
2.2.10 Circuito en tarjeta fenólica y estuche.....	34
<b>Capítulo 3 Caracterización y programación Radiómetro UV.....</b>	<b>35</b>
3.1 Caracterización.....	35
3.2 Tablas de mediciones de índice UV.....	39
3.3 Programación.....	48
3.4 Mejoras al Radiómetro.....	52
3.4.1 Almacenamiento de datos en Excel.....	53
<b>Capítulo 4 Costos, conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>55</b>
4.1 Costos.....	55
4.2 Conclusiones y Recomendaciones.....	55

## REFERENCIAS

## Anexos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Espectro de Radiación Solar.....	3
Figura 1.2.- Clasificación de la radiación UV.....	4
Figura 1.3.- Carcinoma Espinocelular.....	6
Figura 1.4.- Carcinoma Basocelular.....	6
Figura 1.5.- Cataratas Oculares.....	7
Figura 1.6.- Sensor PLC UV/VIS.....	10
Figura 1.7.- Radiómetro UV/características técnicas comunes.....	11
Figura 1.8.- Sensor UV ML8511.....	11
Figura 1.9.- Características técnicas SU-100.....	12
Figura 2.1.- Pirheliómetro Smithsonian.....	14
Figura 2.2.- Piranómetro Eppley.....	14
Figura 2.3.- LI-COR modelo LI-200SA.....	15
Figura 2.4.- Radiómetro PCE-UV34.....	16
Figura 2.5.- Radiómetro TMP-UV-340B.....	16
Figura 2.6.- Radiómetro UV Magnaflux.....	17
Figura 2.7.-Medidor de Radiación Ultravioleta MED-UV-01.....	18
Figura 2.8.- Radiómetro Eppley.....	19
Figura 2.9.- Funcionamiento general Radiómetro UV.....	19
Figura 2.10.- Arquitectura del producto.....	20
Figura 2.11.- SVTA-UV-A fotodetector.....	22
Figura 2.12.- Respuesta de corte sensor UV-A.....	22
Figura 2.13.- OPA 2350.....	25
Figura 2.14.- Arduino Uno.....	27



Figura 2.15.- Arduino Ethernet Shield.....	28
Figura 2.16.- Bosquejo de Circuito para Adaptación.....	29
Figura 2.17.- Lijado de la placa fenólica.....	29
Figura 2.18.- Tratamiento con cloruro férrico de la tableta.....	29
Figura 2.19.- Adaptación para OPA2350UA.....	30
Figura 2.20.- Vista frontal del adaptador.....	30
Figura 2.21.- Conexión de SG01S-HT.....	31
Figura 2.22.- Medición de voltaje de salida con multímetro.....	31
Figura 2.23.- Circuito y simulación del circuito.....	32
Figura 2.24.- Circuito en Protoboard.....	34
Figura 2.25 /2.26.- Disposición del circuito en tableta fenólica.....	34
Figura 2.27.- Circuito contenido en estuche.....	35
Figura 3.1.- Gráfica de radiación UV [w/m2] cada 5 minutos.....	40
Figura 3.2.- Gráfica de radiación UV [w/m2] cada 5 minutos.....	41
Figura 3.3.- Gráfica de radiación UV [w/m2] cada 5 minutos.....	42
Figura 3.4.- Gráfica de radiación UV [w/m2] cada 5 minutos.....	46
Figura 3.5.- Comparación entre radiómetro Eppley y tesis.....	47
Figura 3.6.- Interfaz Web.....	52
Figura 3.7.- Estuche contenedor de sensor UV-A.....	52
Figura 3.8.- Sensor UV-A con cubierta de vidrio.....	52
Figura 3.9.- Interfaz en Excel.....	54
Figura 3.10.- Almacenamiento de datos Excel.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Matriz de decisión Sensor UV.....	21
Tabla 2.- Especificaciones SVTA-UV-A.....	22
Tabla 3.- Matriz de decisión amplificador operacional.....	24
Tabla 4.- Especificaciones OPA2350.....	25
Tabla 5.- Caracterización.....	37
Tabla 6.- Radiación UV e Índice UV de 11:40 AM a 1:10 PM.....	39
Tabla 7.- Radiación UV e Índice UV de 11:15 AM a 1:15 PM.....	40
Tabla 8.- Radiación UV e Índice UV de 10:40 AM a 12:00 PM.....	41
Tabla 9.- Radiación UV e Índice UV de 2:30 PM a 8:00 PM.....	42
Tabla 10.- Comparación de Radiación UV entre Radiómetro Eppley y Tesis con %e...47	
Tabla 11.- Costos.....	55

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## Introducción

El hemisferio sur está entre los más afectados por el problema del agujero en la capa de ozono. La falta de ozono tiene como consecuencia un aumento de la radiación ultravioleta que incide sobre la superficie terrestre, lo que detona problemas en la salud de las personas principalmente como; cáncer de piel y cataratas.

En los meses de verano la radiación ultravioleta (UV) alcanza niveles de hasta 42 watts por metro cuadrado en la mayoría de los días, según mediciones de la Estación Radiométrica de la Planta Solar del Instituto de Ingeniería (II) de la UNAM. El efecto se incrementa y estimula un índice UV extremo si hay nubosidad, debido a que las condiciones climatológicas no cubren el círculo solar y el fenómeno alcanza mayores niveles.

La radiación UV tiene beneficios, pero también es dañina, por lo tanto es importante su modelado y medición en diferentes puntos de la República Mexicana. Entre los aspectos benéficos, se encuentra su uso para la desintoxicación de agua contaminada para consumo humano, el cual es un proceso que utiliza la radiación ultravioleta para degradar materia orgánica mediante el uso de catalizadores con base en  $TiO_2$ . Además de que los seres vivos requieren de una exposición moderada a la radiación UV para que su organismo pueda ser capaz de sintetizar la vitamina "D" [ref.1].

Para el modelado y la medición del recurso solar, principalmente del espectro ultravioleta, es necesaria la implementación de una red de radiómetros UV para la adecuada medición de este tipo de radiación.

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## **Objetivo General**

Diseñar un radiómetro ultravioleta de bajo costo, para su aplicación en proyectos desarrollados en México que involucren la medición del recurso solar, en específico el espectro que comprende a la radiación UV (300-400nm). Aplicando conocimientos de circuitos y sistemas electrónicos.

## **Objetivos Específicos**

- Conocer el mercado de los dispositivos de medición para radiación UV.
- Diseñar un dispositivo con tecnología disponible que sea capaz de realizar mediciones de radiación UV.
- Realizar una comparación de su funcionamiento con algún radiómetro comercial.

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

## Capítulo 1. Rayos ultravioleta

### 1.1 DEFINICIÓN DE RADIACIÓN UV

La radiación que recibe la tierra proviene del Sol, esta radiación comprende una gama continua y muy extensa de longitudes de onda que van desde los rayos gamma a las ondas de radio, pasando por los rayos X, ultravioleta (UV), visible infrarrojo (IR) y microondas.

La radiación ultravioleta (UV) cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm y los 100 nm tiene una longitud de onda más corta que la luz visible. (Figura1.1) [ref. 2].

La radiación de longitud de onda entre 100 y 300 nm se conoce como ultravioleta lejano o de vacío. Comúnmente proviene del Sol o de lámparas de descarga gaseosa. El oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera absorben la radiación ultravioleta lejana proveniente del Sol, transformando su energía en reacciones fotoquímicas e impidiendo, en consecuencia, que llegue a la superficie terrestre, donde imposibilitaría la existencia de la vida. [ref 3].

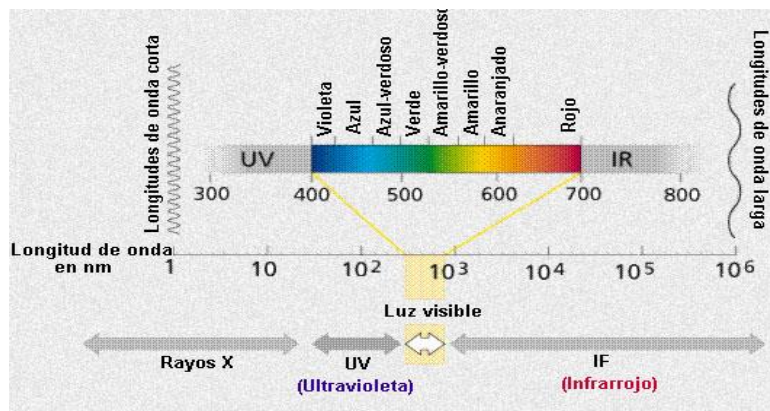


Figura 1.1 Espectro de Radiación Solar [ref.3]

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE RADIACIÓN UV

Los rayos solares, conocidos también como rayos ultravioletas (UV) son invisibles al ojo humano y se clasifican de acuerdo a su longitud de onda, que es medida en nanómetros (nm). Cabe destacar que entre más corta es la onda, más intensa es la energía de los rayos solares.

Este espectro se puede subdividir en tres zonas (Figura 1.2):

La radiación tipo UV-A; que comprenden la radiación solar menos nociva. La longitud de esta onda se encuentra entre los 320 y 400 nm y la mayoría de estos rayos llega a la superficie terrestre;

La radiación tipo UV-B, o los rayos de onda media; la longitud de esta onda se encuentra entre 290 y 320 nm., ésta energía en gran parte es absorbida por la capa de ozono, pero sin embargo un porcentaje llega a la superficie terrestre; y

La radiación tipo UV-C; cuya longitud de onda oscila entre los 200 y 290 nm. Estos rayos son absorbidos por la capa de ozono antes de llegar a la tierra y son potencialmente peligrosos para los seres humanos.

Dicho de una manera específica, cuando la luz solar atraviesa la atmósfera, el ozono, el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono absorben toda la radiación UVC y aproximadamente el 70% de la radiación UVB [ref.4]

La atmósfera absorbe la radiación UVA en menor medida, entonces, se puede decir que la radiación UV que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de rayos UVA, con una pequeña porción de rayos UVB.

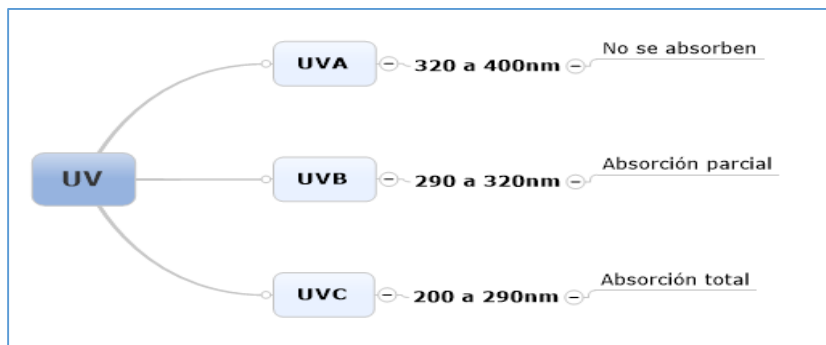


Figura 1.2 Clasificación de la radiación UV.

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## 1.3 EFECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS

El Sol es imprescindible para la vida y produce efectos benéficos para nuestro organismo, pero una exposición sin protección y de forma desmedida le ocasionará efectos nocivos. En este caso, además, al tratarse de una exposición a radiación ultravioleta, es importante tener en cuenta algunos factores más, tales como la elevación solar, atenuación de la radiación, nubosidad y el albedo, que son factores que influyen en cuanto radiación UV incide sobre la superficie terrestre. [ref.5].

### 1.3.1 EFECTOS SOBRE LA PIEL

La piel es el órgano más grande del cuerpo humano con una superficie de más de 1.5 m<sup>2</sup> en un adulto promedio, esta parte del cuerpo funciona como una primera etapa de protección contra la acción de productos químicos, la radiación, así como de infecciones. Además la piel también impide la evaporación de los fluidos corporales.

En cantidades pequeñas, las radiaciones ultravioleta son beneficiosas para la salud y desempeñan una función esencial en la producción de vitamina D. Sin embargo, la exposición excesiva a ellas se relaciona con diferentes tipos de cáncer cutáneo, quemaduras de sol, envejecimiento acelerado de la piel, cataratas y otras enfermedades oculares. También se ha comprobado que estas radiaciones aminoran la eficacia del sistema inmunitario [ref. 5].

### 1.3.2 ENFERMEDADES COMUNES A CAUSA DE LOS RAYOS UV EN LA PIEL:

- Melanoma maligno cutáneo: cáncer maligno de la piel potencialmente mortal.
- Carcinoma espinocelular: cáncer maligno que generalmente avanza con menor rapidez que el melanoma y ocasiona la muerte con menor frecuencia (Figura 1.3).
- Carcinoma basocelular: cáncer cutáneo de crecimiento lento que predomina en las personas mayores (Figura 1.4).
- Fotoenvejecimiento: pérdida de la firmeza de la piel y aparición de queratosis solares. [ref. 6]

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---



Figura 1.3 Carcinoma Espinocelular [ref.7]



Figura 1.4 Carcinoma basocelular [ref. 7]

## 1.3.3 EFECTOS SOBRE LOS OJOS

Las radiaciones ultravioleta ocasionan efectos agudos en los ojos, conocidos como fotoqueratitis (inflamación de la córnea) y fotoconjuntivitis (inflamación de la conjuntiva). Estos efectos pueden desaparecer por completo y se previenen fácilmente usando gafas protectoras.

### 1.3.3.1 EFECTOS CRÓNICOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LOS OJOS:

- Cataratas: enfermedad en la cual se ven afectados los ojos, causando que el cristalino se vaya opacando poco a poco, lo que provocará la disminución de la visión y en casos extremos causará ceguera (Figura 1.5)
- Terigión: es una enfermedad que aparece en la superficie ocular que tiene como característica principal la formación de una carnosidad blanca o de color crema.
- Carcinoma epidermoide de la córnea o de la conjuntiva: es el segundo tumor más frecuente del ojo el cual comienza con un pequeño abultamiento de crecimiento lento en la córnea o conjuntiva. Este tumor se puede extender a regiones vecinas y órganos distantes llegando a producir la muerte de la persona afectada [ref.8]



## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

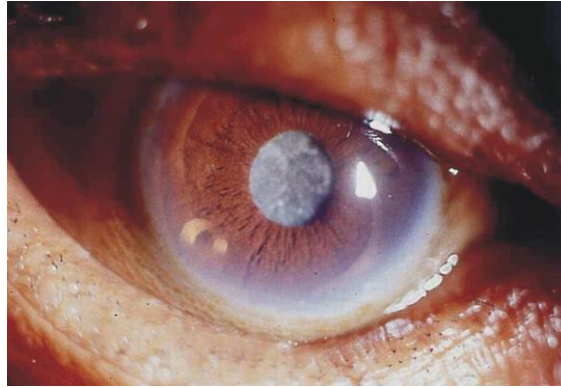


Figura 1.5 Cataratas oculares [ref. 8]

### 1.3.4 OTROS EFECTOS SOBRE LA SALUD

La radiación ultravioleta disminuye la eficacia del sistema inmunológico, debido a que puede modificar la actividad y la distribución de las células que desencadenan las respuestas inmunitarias. [ref. 8]

### 1.3.5 EFECTOS EN LA VIDA MARINA

Décadas atrás se consideraba que la radiación ultravioleta carecía de importancia como factor ambiental en los ecosistemas acuáticos, ya que se suponía era totalmente absorbida en los primeros centímetros de la columna de agua. El descubrimiento del "agujero de ozono" sobre la Antártida estimuló el desarrollo de mejores instrumentos de medición, algunos de ellos capaces de funcionar debajo del agua; gracias a estos instrumentos hoy se sabe que la penetración de la radiación ultravioleta es mucho mayor, y que sus efectos biológicos resultan observables hasta decenas de metros de profundidad lo cual afecta las cadenas alimentarias de algunos ecosistemas lacustres y marinos, perjudicando, por ejemplo, la producción pesquera [ref. 9].

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## 1.4 APLICACIONES DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA:

- Desinfección de agua: Este es el uso más extendido de la radiación ultravioleta. Con esta tecnología se puede tratar el agua de un pequeño acuario, producir agua potable para consumo humano o dar el tratamiento final a una instalación de depuración de aguas residuales para una ciudad de 2 millones de habitantes.

Los sistemas de tratamiento y desinfección de Agua mediante luz Ultra Violeta (UV), garantizan la eliminación de entre el 99.9% y el 99.99 de agentes patógenos. Para lograr este grado de efectividad casi absoluta mediante este procedimiento físico, es totalmente imprescindible que los procesos previos del agua eliminen de forma casi total cualquier turbiedad de la misma, ya que la Luz Ultravioleta debe poder atravesar perfectamente el flujo de agua a tratar.

Los Purificadores de Agua por Ultravioleta funcionan mediante la "radiación" o "iluminación" del flujo de agua con una o más lámparas de silicio cuarzo, con unas longitudes de onda de 200 a 300 nanómetros. Por lo tanto, el agua fluye sin detenerse por el interior de los purificadores, que contienen estas lámparas.

La luz UV no cambia las propiedades del agua o aire, es decir, no altera químicamente la estructura del fluido a tratado. Al contrario de las técnicas de desinfección química, que implican el manejo de sustancias peligrosas y reacciones que dan como resultado subproductos no deseados, la luz UV ofrece un proceso de desinfección limpio, seguro y efectivo.

- Desinfección de aire: La acción bactericida de la luz ultravioleta permite eliminar cualquier organismo patógeno de una corriente de aire. Puede emplearse instalando unas lámparas en los conductos de aire acondicionado, tratar el aire de toda una sala suspendiendo las lámparas del techo (en ausencia de personas u orientadas hacia arriba) o incluyéndolas en un equipo de recirculación.
- Desinfección de superficies: Aplicada sobre la superficie de un objeto se eliminan los microorganismos que hayan en ella. Puede servir para esterilizar material médico, desinfectar envases alimentarios o tratar directamente alimentos.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

- Curado/secado de lacas, barnices y adhesivos: Este uso está bastante extendido en la industria del mueble por la alta velocidad de curado que se obtiene. En estos casos el barniz o el adhesivo que se emplean son especiales para esta aplicación.
- Fotoquímica: La obtención de algunos productos químicos se ve facilitada enormemente si los reactivos se exponen a la acción de la radiación ultravioleta. Se trata normalmente de grandes instalaciones diseñadas a medida para una industria química.
- Fotoluminiscencia: Se trata de provocar la luminiscencia de algún producto para distinguirlo de su entorno. Estas aplicaciones van desde los tubos de luz negra empleados en tunning a su uso en microscopía, pasando por la detección de trazas de algún producto en laboratorios, cuadros, sin olvidar los conocidos detectores de billetes falsos. [ref.10]

### 1.5 TIPOS DE SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc.

En este caso se requiere de un sensor que sea capaz de medir la radiación ultravioleta que incide sobre la superficie terrestre, por lo tanto fue necesario conocer qué tipo de sensores se pueden encontrar en el mercado, así como, las características principales de cada uno.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

### 1.5.1 SENSORES DISPONIBLES EN EL MERCADO

#### ➤ Sensores tipo PLC UV / VIS:

PLC UV / VIS (Figura 1.6) sirven como cabezales para la medición con alto grado de precisión de la irradiación UV y luminancias en sistemas controlados por un sistema de control lógico programable (PLC). El rango espectral, rango de medida, tensión de trabajo y la señal se pueden elegir de acuerdo a la tarea que se requiere implementar y al tipo de PLC que se utilizará. La electrónica que lo integra produce un voltaje que se transfiere al PLC con un nivel de ruido bajo, conducido por un cable blindado. [ref.11]



Figura 1.6 Sensor PLC UV/VIS [ref.11]

#### ➤ Radiómetro UV:

Los radiómetros UV (Figura 1.7) sirven como cabezales de medición para irradiaciones UV con los radiómetros RM12 y RM22, así como con el controlador de dosis de UV-MAT.

Los sensores pueden ser usados en un chorro de agua y diferentes rangos de medición. La electrónica integrada genera un voltaje de la señal que se transfiere al radiómetro con bajo nivel de ruido por un cable blindado, además, el sensor está equipado con una memoria que contiene los parámetros específicos del sensor, tales como rango espectral o de calibración.

También cuenta con un sensor de temperatura, por lo tanto es posible conocer la temperatura en el núcleo del sensor. [ref.11]

En cuanto a características técnicas se pueden apreciar a continuación (Figura 1.7).

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV



Voltaje de Operación:	+/- 3.3 V
Señal de voltaje:	0 hasta 2.5 V
Temperatura de operación:	0 hasta 40 °C
Temperatura de Almacenamiento:	-10 hasta 40°C
Cable:	8 polos, 2 m de largo
Peso:	150 g

Figura 1.7 Radiómetro UV / Características técnicas comunes [ref.11]

### ➤ OKI Semiconductor ML8511-00FC:

El Sensor ML8511 (Figura 1.8) es un sensor que mide la radiación UV, este sensor se puede utilizar tanto para la adquisición de la intensidad UV en interiores así como para exteriores.

Este sensor está equipado con un amplificador interno, que convierte foto-corriente a voltaje en función de la intensidad UV.

En el modo de apagado, la corriente de espera típica es de 0,1 microAmpere, lo que disminuirá el consumo de energía.

Sus características generales Son: Sensor óptico para la medición de rayos UV-A y UV-B con una salida analógica, dispositivo pequeño y delgado para su montaje en superficie. [ref. 12]

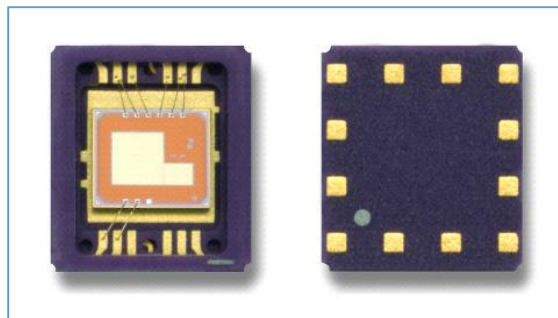


Figura 1.8 Sensor UV ML8511 [ref.12]

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## ➤ Sensor Ultravioleta SU-100:

El SU-100 es un sensor ultravioleta que mide radiación UV entre 250 y 400nm, cuenta con una cubierta sólida para evitar la acumulación de agua y la condensación interna en ambientes húmedos.

El sensor es sensible a los rayos UV-B, pero también puede incluir la UV-A para proporcionar una medida total de la radiación UV.

Este sensor es especialmente útil para la determinación de la transmitancia de rayos UV en plásticos transparentes y vidrio. [ref.13]

A continuación se muestran sus características técnicas tomadas directamente de la hoja de datos del fabricante (Figura 1.9).

<b>Especificaciones</b>	<b>Tiempo de respuesta</b>
<b>Precisión Absoluta</b>	1 ms
+/- 10 %	<b>Temperatura de Operación</b>
<b>Repetitividad</b>	-25 hasta 55 °C
+/- 1%	<b>Peso</b>
<b>Poder de entrada</b>	75 g
Ninguno	

Figura 1.9 Características técnicas SU-100 [ref.13]

## Capítulo 2. Radiómetro UV

### 2.1 ESTADO DEL ARTE

El espectrorradiómetro es un instrumento diseñado para medir la longitud de onda de la radiación ultravioleta. Este instrumento fue presagiado en el siglo XVII por la refracción de Newton la cual está restringida al hacer pasar un haz de luz a través de un prisma. Tiempo después en el año de 1801 se descubrió la radiación UV.

En la década de 1870 el espectrorradiómetro estaba en uso y en el año de 1879 se descubre el corte de la radiación solar para longitudes de onda alrededor de 300 nm. Gracias a este descubrimiento en el año de 1919 se logró deducir el espesor de la capa de ozono de la estratósfera [ref.14].

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

Durante el siglo XX continuaron las investigaciones para determinar la constante solar que se necesitaba para establecer una medición estándar para la irradiación solar. Tratando de mejorar la precisión de la medición, Charles Greeley desarrolló su pirheliómetro basado en los principios de calorimetría [ref.15].

Con el desarrollo del tubo de vacío y de los cátodos fotosensibles en la primera década del siglo XX, en el año 1928 Rentschler pudo crear un tubo sensible a los rayos UV, principalmente para longitudes de onda menores a 350 nm; la desventaja de este sistema era que no se podía utilizar en la intemperie.

A finales de los años 1950 el Dr. Donald Robertson desarrolló un medidor basado en fósforo que indica la intensidad de radiación UV biológicamente eficaz como una señal eléctrica. Este medidor contaba con una excelente estabilidad, linealidad y rango dinámico, al igual que el costo total era bastante bajo convirtiéndose en el primer radiómetro UV exitoso, el cual es la base de la red de medidores Robertson-Berger que desde 1973 ha establecido la climatología UV en más de 40 sitios en el mundo. [ref.14].

### ➤ **Pirheliómetro Smithsonian (1910)**

Este pirheliómetro estaba basado en los principios de medición de calorimetría. Como se muestra en la figura (Figura 2.1), el flujo de agua entra en el tubo (BB), pasando a través de una apertura de precisión (C), y absorbida por una cámara ennegrecida (AA) con un cono en la base de la cámara para mejorar la absorción de la radiación. El hueco cilíndrico (K) aísla a la cámara receptora de cambios en el ambiente producidos por el aire y la temperatura. El curso del agua en espiral rodea la cámara receptora y destila agua a una temperatura constante y se suministra a un tubo de entrada (E) donde el agua entra a la pared de la cámara a una velocidad constante pasando a través de una pieza de marfil (D1) y saliendo por una pieza similar (D2) [ref.15].

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

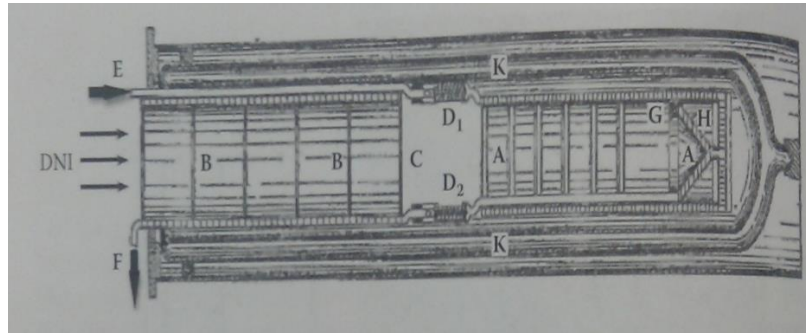


Figura 2.1 pirheliómetro Smithsonian [ref.15]

### ➤ Pirheliómetro Marvin (1910)

Antes de desempeñarse como jefe de la Oficina Meteorológica de los Estados Unidos de 1913 a 1934, C.F. Marvin fue el desarrollador de mejores instrumentos para medir la luz del Sol y un pirheliómetro para medir la irradiación normal directa solar, similar a otros pirheliómetros, el pirheliómetro Marvin utilizó un cable de resistencia en vez de un termómetro de mercurio. El pirheliómetro de Marvin reemplazó al Angstrom. En 1914 este instrumento fue utilizado por la oficina meteorológica de los Estados Unidos.

### ➤ Eppley modelo PSP (1957)

El primer modelo de piranómetro de precisión espectral (PSP) desarrollado por Laboratorios Eppley y utilizado para medir la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra, fue introducido en 1957. El PSP ha sido ampliamente aceptado para aplicaciones en tierra, mar y plataformas para aeronaves (Figura 2.2). [ref.15]

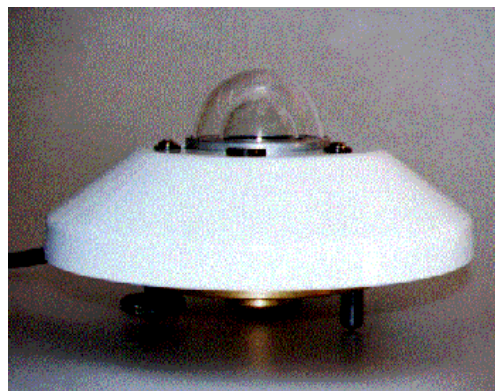


Figura 2.2 Piranómetro Eppley [ref.15]



## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

### ➤ Piranómetro Yanishevsky (1957)

La serie de piranómetros Yanishevsky ha servido como el principal instrumento de medición de radiación solar en Rusia y Asia Central.

### ➤ LI-COR modelo LI-200SA (1971)

El origen de este piranómetro (Figura 2.3) se basa en la necesidad de un radiómetro de bajo costo para apoyar el trabajo del Departamento de ciencias del suelo y del agua en la Universidad de Wisconsin. El fotodiodo detector de silicio usado en el diseño original fue montado por debajo de un difusor de plástico para proporcionar una respuesta adecuada y angular junto con un integrador de estado sólido, especialmente diseñado para el registro de las cantidades diarias de irradiación global. [ref.15]



Figura 2.3 LI-COR modelo LI-200SA [ref.15]

### 2.1.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UV DISPONIBLES EN EL MERCADO

#### ➤ Medidor de radiación (Radiómetro) UVA - UVB PCE-UV34

El medidor de radiación UVA - UVB PCE-UV34 (Figura 2.4) es un aparato para la medición de la radiación ultravioleta. Este medidor detecta longitudes de onda de entre 290 a 390 nm. Entre las aplicaciones de este tipo de sensores se encuentran las cabinas de bronceado para detectar cuándo los niveles de radiación UVA pueden comenzar a deteriorar la salud de los usuarios. También se utiliza en sistemas de esterilización, compensación fotoquímica en laboratorios de virología o en la investigación del ADN. Este instrumento es de fácil uso debido a que cuenta con detector externo [ref.16].

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---



Figura 2.4 Radiómetro PCE-UV34 [ref.16]

### ➤ TPM-UV-340B

El Radiómetro TP-UV-340B (Figura 2.5) utiliza un sensor exclusivo que filtra la radiación ultravioleta mostrando solamente la UV-A y UV-B.

Puede ser utilizado para monitoreo de radiación en diferentes procesos tales como: esterilización por UV, borrado de UV EPROM, curación de enlaces, adhesivos y recubrimientos, etc. [ref.16]

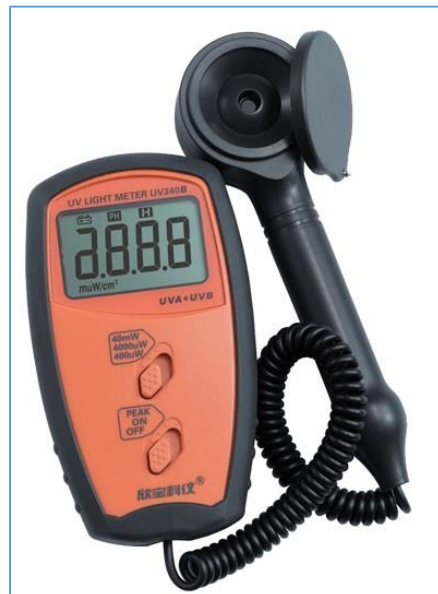


Figura 2.5 Radiómetro TPM-UV-340B [ref.16]

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

### ➤ Radiómetro UV Magnaflux

El radiómetro UV Magnaflux (Figura 2.6) es capaz de medir rayos UV-A con un diseño compacto y robusto, fácil de operar. El medidor de UV multifuncional ha demostrado ser muy eficaz para medir y calibrar las fuentes de luz ultravioleta utilizada en partículas magnéticas fluorescente y líquidos penetrantes.

El sistema está integrado por; un sensor remoto desmontable, pantalla digital LCD de alto contraste, batería de 9V y estuche protector [ref.17].



Figura 2.6 Radiómetro UV Magnaflux [ref.17]

### ➤ Medidor de Radiación Ultravioleta MED-UV-01

El medidor de luz digital (Figura 2.7) opera dentro de los límites de 220 a 400 nm (UV-A /UV-B). Cuenta con una pantalla dual de cristal líquido de 4 dígitos con iluminación de fondo, receptáculo para instalación trípode y posee certificado de calibración.

La capacidad de iluminación del medidor permite al usuario realizar mediciones cuantitativas precisas de radiación ultravioleta: requerimientos de radiometría y laboratorio, curado UV en impresión offset, intensidad y envejecimiento de lámparas UV, control de procesos industriales, fabricación de semiconductores, intensidad de luz UV de la luz solar para evitar daños a la piel, control de esterilización y ambiental.[ref. 18]

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---



Figura 2.7 Medidor de Radiación Ultravioleta MED-UV-01 [ref.18]

### ➤ Radiómetro EPPLEY

El Radiómetro EPPLEY (Figura 2.8) es un instrumento que fue desarrollado para la medición de la radiación solar UV. Las principales características de diseño son que es de fácil operación y se combina con su óptimo desempeño que se compara con los piranómetros meteorológicos destinados a registro de la radiación total de onda corta emitida por el Sol y el cielo sobre una superficie horizontal. Otra característica importante es que este radiómetro prescinde de métodos sofisticados para amplificar la señal, ya que utiliza potenciómetros.

El radiómetro Eppley UV utiliza un recipiente herméticamente cerrado de selenio y una celda fotoeléctrica, que está protegida por una ventana de cuarzo.

Por estar construido de latón cromado, es ideal para soportar las inclemencias del tiempo así también cuenta con un filtro óptico interno que controla la temperatura manteniéndola a 25 °C, independiente de la temperatura externa, esto elimina las variaciones de la sensibilidad espectral causadas por el cambio de temperaturas.

Los radiómetros se han diseñado para mediciones precisas de la radiación ultravioleta de la atmósfera para tres diferentes rangos espectrales. Todos los modelos miden la radiación UV global [ref.19].

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

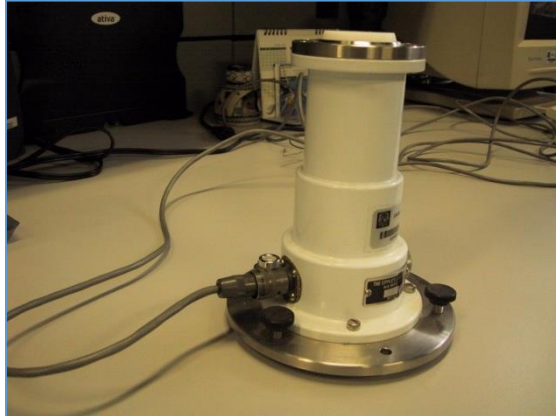


Figura 2.8 Radiómetro Eppley [ref.19]

### 2.2 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Tras la investigación de los diferentes equipos que hay disponibles en el mercado, se encontró que todos tienen de manera general un mismo principio de funcionamiento. A través de un sensor UV se hace la medición del recurso solar que pasa posteriormente al radiómetro para hacer la adquisición de datos y transformación de la señal a  $[W/m^2]$  (Figura 2.9).

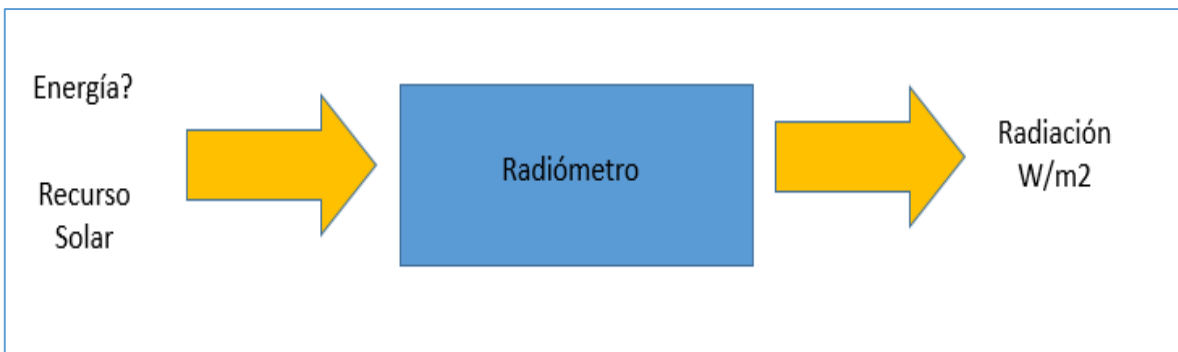


Figura 2.9 Funcionamiento general Radiómetro UV

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

## 2.2.1 ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

Al pensar y hablar de arquitectura del producto se debe tener en cuenta todos los elementos principales con los que deberá contar el Radiómetro y saber en qué subsistema se deben considerar (Figura 2.10).

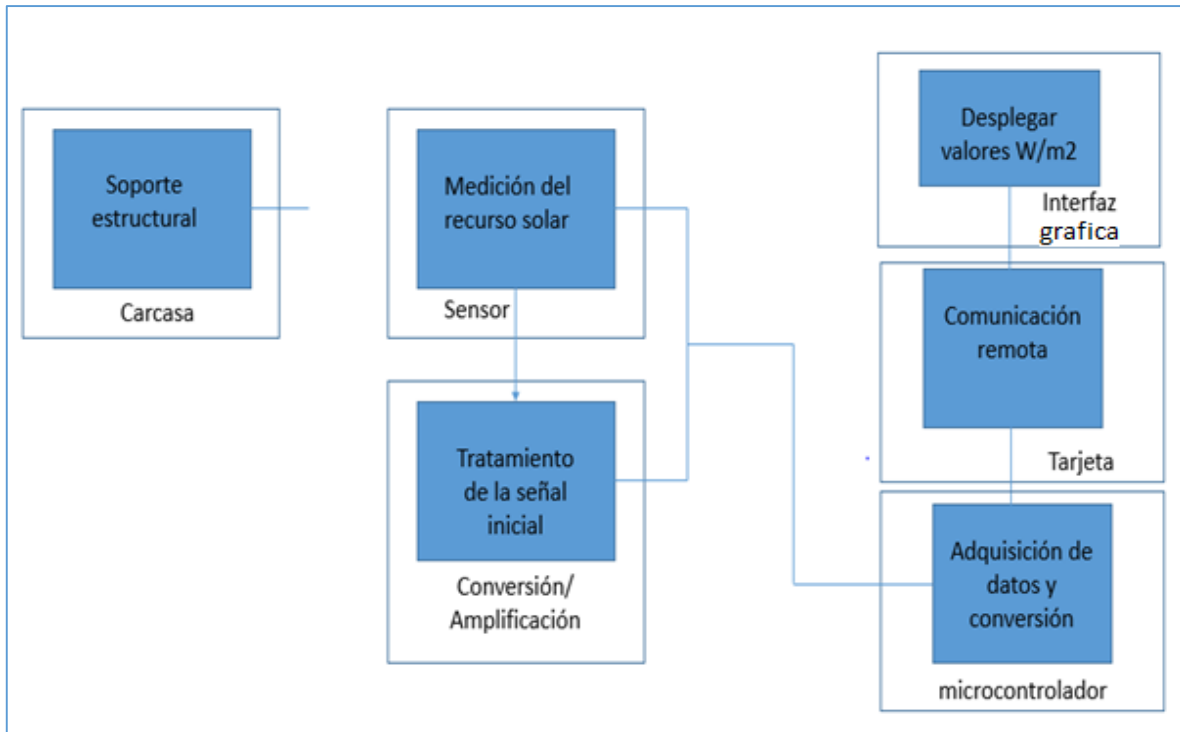


Figura 2.10 Arquitectura del producto

En la figura anterior se puede observar el planteamiento de los subsistemas que debe tener el radiómetro el cual se divide en 6 partes:

- Carcasa: su función es contener las tarjetas y circuitos necesarios.
- Sensor: servirá para captar la variable de instrumentación (radiación UV-A).
- Conversión / Amplificación: dar el tratamiento inicial a la variable de instrumentación.
- Microcontrolador: encargado de realizar la adquisición de datos.
- Tarjeta: su función es poder brindar la característica de comunicación remota.
- Interfaz gráfica: encargada de mostrar las mediciones al usuario.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

### 2.2.2 SELECCIÓN DE SENSOR UV-A

Para una buena elección del sensor es indispensable tener en cuenta varios factores de importancia que permitan cumplir con el objetivo planteado.

Para realizar esta tarea se propone una matriz de decisión tomando en cuenta los criterios más relevantes tal como se muestra en la siguiente matriz de decisión (Tabla 1):

Criterios de Selección	ML8511-00FC	SU-100	SVT-UV-A
Temperatura máxima de trabajo	+	-	+
Consumo de energía	+	+	+
Filtrado UV-A	-	-	+
Requerimiento de equipo extra	+	-	+
Facilidad de uso	-	+	+
Protección	-	+	0
Precio	+	-	0
Suma +	4	3	5
Suma -	4	4	0
Suma 0	0	0	1
Evaluación neta	0	-1	<b>5</b>

Tabla 1. Matriz de decisión Sensor UV

Los resultados obtenidos en la matriz de decisión permitieron brindar mayor seguridad en que la mejor opción para el radiómetro UV es el sensor SVT-UV-A.

### 2.2.3 SENSOR FOTODETECTOR SVTA-UV-A

El detector SVTA-UVA (Figura 2.11) es pequeño (5.3mm x 5 mm) y robusto. Este detector ofrece alta eficiencia a longitudes de onda menores de 360 nm y un alto rechazo de respuesta a longitudes de onda visible e infrarroja.

El paquete estándar cuenta con un encabezado TO-46 con tapa. Otros tipos de paquetes están disponibles con una etapa de amplificación integrada. [ref.20]

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV



Figura 2.11 SVTA-UV-A fotodetector [ref.20]

## Especificaciones

Área activa	$0.5\text{mm}^2$
Capacidad de respuesta @360nm	15A/W
Temperatura máxima de operación	85°C
Rechazo @>400nm	$> 5 \times 10^3$
Resistencia en Serie	<1 k $\Omega$
Tipo de empaque	TO-46

Tabla 2. Especificaciones SVTA-UV-A

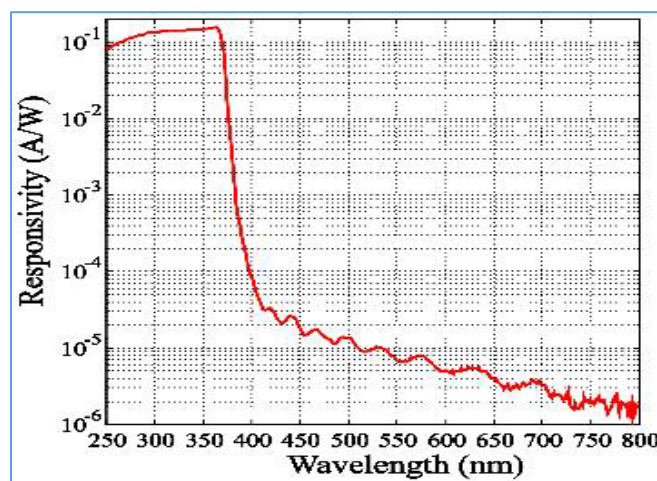


Figura 2.12 Respuesta de corte sensor UV-A [ref.20]



# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## Aplicaciones típicas

- Curado y secado UV
- Monitoreo de combustión
- Detección de arcos
- Fototerapia
- Control de esterilización
- Espectroscopia
- Detección de agentes biológicos
- Mediciones de irradiación solar [ref.20]

## 2.2.4 SELECCIÓN DE AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Una etapa de amplificación es primordial para lograr el funcionamiento del Radiómetro UV. Así también, de igual manera, es necesario transformar en primera instancia la fotocorriente del sensor a voltaje para poder realizar una posterior caracterización.

Por este motivo fue necesario investigar y elegir criterios relevantes tales como: bajo nivel de ruido, alta velocidad y una fácil utilización. Estos criterios se plantean en la Tabla 3.

Para elegir la mejor opción, se investigaron algunos modelos de amplificadores operacionales disponibles en el mercado, y posteriormente se analizó si contaban con las características antes mencionadas.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

Criterios de Selección	LM741	TL082	INA114	OPA2350UA
Temperatura máxima de trabajo	+	+	+	+
Bajo nivel de ruido	-	-	+	+
Alta velocidad	-	-	-	+
Rail to Rail	-	-	-	+
Facilidad de uso	+	+	+	+
alimentación simple	-	+	0	+
Amplificador por encapsulado >1	-	+	-	+
Precio	+	+	0	0
Suma +	3	5	4	7
Suma -	5	3	3	0
Suma 0	0	0	2	1
Evaluación neta	-2	2	1	<b>7</b>

**Tabla 3. Matriz de decisión amplificador operacional**

Tras realizar el análisis de las características con las que debe contar el amplificador operacional. En la tabla 2 se puede observar que la mejor opción es el OPA2350UA.

### 2.2.5 AMPLIFICADOR OPERACIONAL, OPA 2350 UA

OPA2350 serie rail-to-rail CMOS (Figura 2.13) son amplificadores operacionales optimizados para baja tensión así como una operación de alimentación simple. Bajo nivel de ruido ( $5\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ), y un funcionamiento a alta velocidad (38MHz,  $22\text{V}/\mu\text{s}$ ). Lo que convierte a este amplificador en una solución ideal para muestreo de convertidores analógico-digital.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

También resultan muy adecuados para telefonía celular, bucles de control y procesamiento de audio y video, al igual que aplicaciones de uso general.

La serie de amplificadores operacionales OPA2350 funciona con un sistema de alimentación único tan bajo como 2.5V [ref.21].

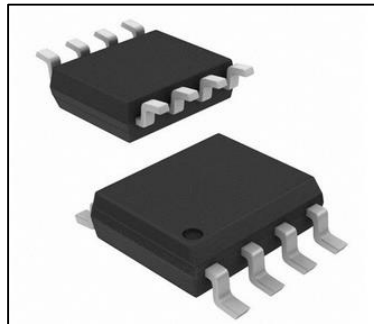


Figura 2.13 OPA 2350UA [ref.21]

Especificaciones	
Tipo de amplificador	Uso general
Dimensiones	3 x 3 x 0.97 mm
Altura	0.97 mm
Longitud	3mm
Temperatura de trabajo máxima	85 ° C
Temperatura de trabajo mínima	-40 ° C
Tipo de montaje	Montaje superficial
Número de canales por chip	2
Número de pines	8
Tipo de fuente	Sola
Voltaje típico	2.5 V- 5 V
Velocidad de respuesta	22V/μs
Ganancia de tensión típica	122 dB
Ancho	3mm

Tabla 4. Especificaciones OPA2350

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## Aplicaciones típicas

- Teléfono celular lazos de control
- Convertidores A / D
- Procesamiento de video
- Adquisición de datos
- Control de procesos
- Procesamiento de audio
- Comunicaciones
- Filtros activos

### 2.2.6 ARDUINO UNO

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para ingenieros, artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en desarrollar entornos u objetos interactivos.

El Arduino Uno (Figura 2.14) es una placa electrónica basada en el microprocesador Atmega328. Tiene 14 pines digitales de entrada / salida (de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador, para su alimentación se podrá utilizar: un cable USB, un adaptador AC-DC o una batería.

Arduino puede tomar información del entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El microcontrolador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en *Wiring*) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en *Processing*). Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de ser conectados a un ordenador, además de poder utilizar diferentes tipos de software (p.ej. Flash, *Processing*, MaxMSP).

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

Las placas pueden ser desarrolladas por el usuario o ensambladas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita [ref.22].

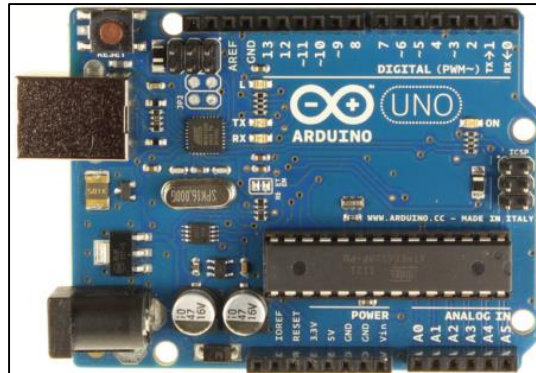


Figura 2.14 Arduino Uno [ref.22]

### 2.2.7 SISTEMA DE COMUNICACIÓN *ETHERNET SHIELD*

La tarjeta Arduino complementada con el sistema Arduino *Ethernet Shield* (Figura 2.15) permitirá al usuario tener un sistema con conexión a internet. El sistema Arduino Ethernet Shield utiliza el chip *ethernet Wiznet W5100*.

La *Ethernet Shield* dispone de unos conectores que permiten conectar a su vez otras placas encima y apilarlas sobre la placa Arduino. [ref.23]

Arduino usa los pines digitales 11, 12, y 13 para comunicarse con el W5100 por lo tanto estos pines no pueden ser usados como E/S.

La *Ethernet Shield* cuenta con un número de leds que tienen una función específica, tal como se menciona a continuación:

- PWR: indica que la placa y la shield están alimentadas.
- LINK: indica la presencia de un enlace de red y parpadea cuando la tarjeta envía o recibe datos.
- FULLD: indica que la conexión de red es full dúplex.
- 100M: indica la presencia de una conexión de red de 100 Mb/s.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

- RX: parpadea cuando la shield recibe datos.
- TX: parpadea cuando la shield envía datos.



Figura 2.15 Arduino *Ethernet Shield* [ref.23]

### 2.2.8 METODOLOGÍA

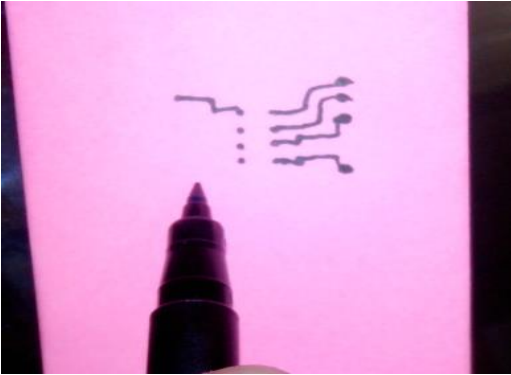
Con la finalidad de construir el radiómetro ultravioleta, se plantearon los siguientes pasos.

#### 2.2.8.1 Adaptación para amplificador operacional OPA2350UA

A razón de que se planeó realizar el circuito en una tableta de pruebas (*protoboard*) y los amplificadores operacionales que se utilizaron son componentes de dimensiones muy pequeñas, como primer paso se fabricó una adaptación para estos, la cual se realizó con el uso de una tableta fenólica tal como se muestra en las siguientes figuras (Figura 2.16, Figura 2.17 y Figura 2.18):

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---



**Figura 2.16** Bosquejo de circuito para la adaptación



**Figura 2.17** Lijado de la placa fenólica



**Figura 2.18** Tratamiento con cloruro férrico de la tableta

Después de que el cloruro férrico removiera la capa de cobre que no se necesitaba (figura 2.16), se limpió y midió continuidad en cada una de las pistas para luego realizar los orificios correspondientes, así como también se soldaron los amplificadores operacionales OPA2350UA y puntas correspondientes (Figura 2.19 y Figura 2.20).

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

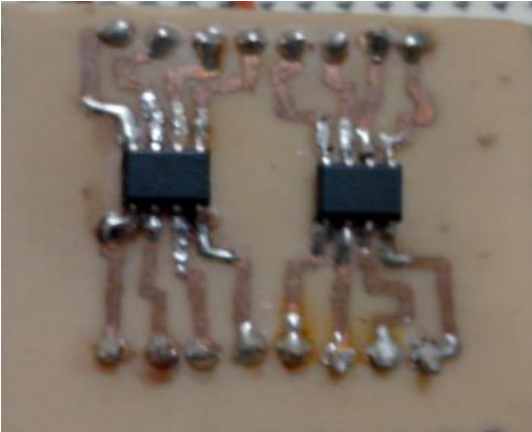


Figura 2.19 Adaptación para OPA2350UA.



Figura 2.20 Vista frontal del adaptador.

Para finalizar y corroborar el buen funcionamiento de la adaptación se realizaron nuevamente mediciones de continuidad entre el amplificador y las puntas (*header macho*), al igual que se realizó un circuito que permitiera monitorear el correcto funcionamiento de la tarjeta en general.

### 2.2.8.2 Sensor UV-A y amplificación

En este caso se presentaron algunos inconvenientes en la conexión del sensor ya que la hoja de datos proporcionada por el proveedor no contenía información necesaria para el desarrollo de este proyecto, por tal motivo, se tuvo que realizar una búsqueda exhaustiva, de sensores que funcionaran bajo el mismo principio de operación que el sensor utilizado.

Por lo tanto, se encontraron hojas de datos de sensores como el SG01S-HT, y con esto se pudo deducir el voltaje de operación del sensor.



## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

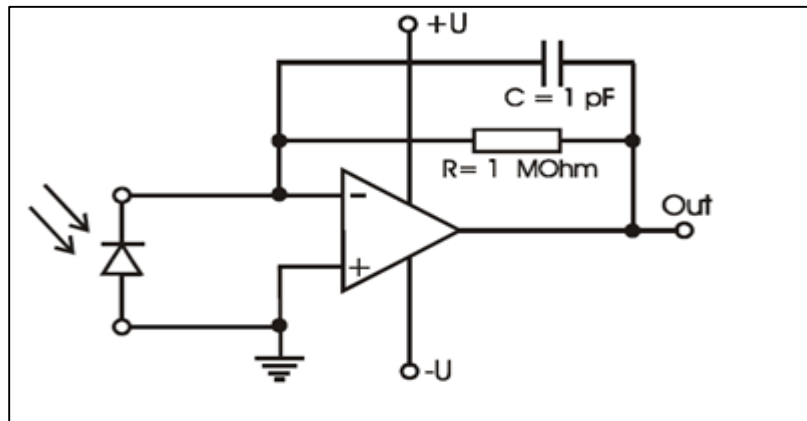


Figura 2.21 Conexión de SG01S-HT [ref.24].

Tomando en cuenta que la corriente que entrega el sensor utilizado es muy pequeña, poder amplificar la señal que el fotodiodo recibe es de gran utilidad, para lo cual se requiere utilizar una etapa de amplificación.

Para este caso, al tratarse de un fotodiodo que trabaja con corriente, se propone como primer paso realizar una conexión con el amplificador operacional como convertidor de corriente a voltaje acoplándole por indicación del fabricante un capacitor  $C = 1 \text{ pF}$  para mejorar la respuesta en frecuencia y un valor fijo de  $R = 1 \text{ M}\Omega$  (Figura 2.21).

En este caso se llevó a cabo la conexión de manera física y se hicieron pruebas midiendo con multímetro (Figura 2.22).

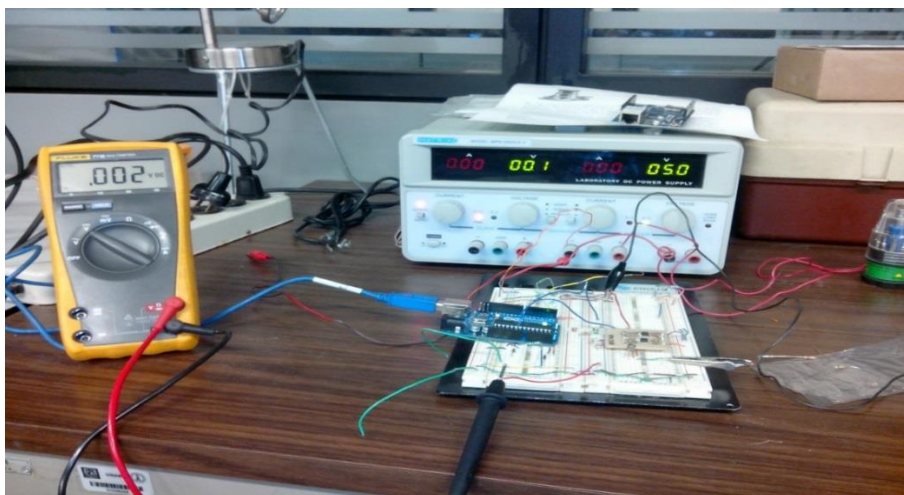


Figura 2.22 Medición voltaje de salida con multímetro.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

En la figura (Figura 2.22) se aprecia la medición del voltaje de salida que nos entrega el amplificador el cual es de aproximadamente .002 [V]; por lo tanto se decidió realizar otra etapa de amplificación por comodidad y facilidad en el manejo de las mediciones.

El circuito se muestra a continuación (Figura 2.23):

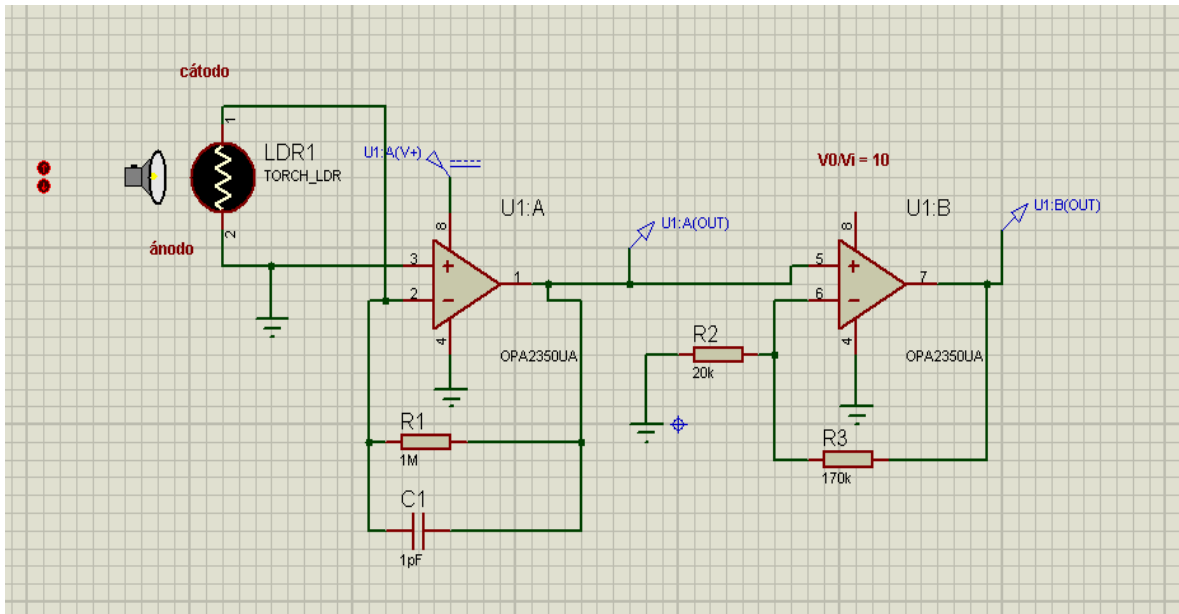


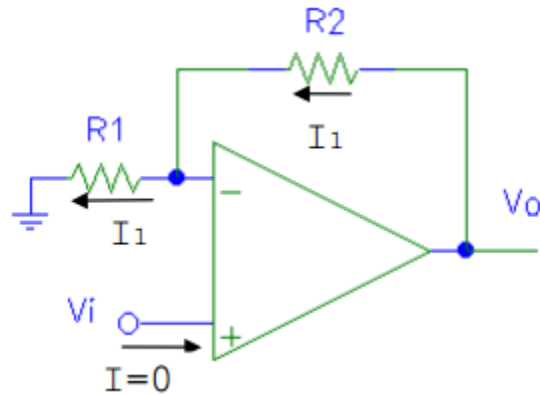
Figura 2.23 Circuito y simulación del circuito.

\*El LDR se colocó en reemplazo del fotodiodo ya que el software no contiene este elemento así como el voltaje de alimentación es de 5V.

En la figura (Figura 2.23) se puede observar que se colocó un segundo amplificador con un arreglo de dos resistencias (20k $\Omega$  y 170k $\Omega$ ). Estos valores de resistencias se obtuvieron como resultado de haber realizado lo siguiente:

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---



Por definición, en un modelo ideal la intensidad  $I=0$ .

En cuanto a la ganancia, se sabe que  $V_-=V_+=V_i$ , si suponemos que por  $R_1$  pasa una intensidad  $I_1$  cuyo valor sería:

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = (V_i - 0)/R_1 = V_i/R_1 \dots\dots (1)$$

La tensión  $V_o$  se obtendría:

$$V_o = I_1 R_2 + V_- = I_1 R_2 + V_i = I_1 R_2 + I_1 R_1 = I_1(R_2 + R_1) = \frac{V_i}{R_1}(R_1 + R_2) \dots(2)$$

Por lo tanto la ganancia será:

$$G = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \dots\dots\dots (3)$$

Para este caso se requirió obtener una amplificación de aproximadamente diez veces ( $G=10$ ), por lo tanto se usó la fórmula 3 y tomando en cuenta los valores comerciales de resistencias se obtuvo que:

**R1=20kΩ**

**R2=170kΩ**

Por lo tanto la ganancia obtenida resultó de: **G=9.5**.

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

## 2.2.9 DISPOSICIÓN DEL CIRCUITO EN PLACA DE PRUEBAS

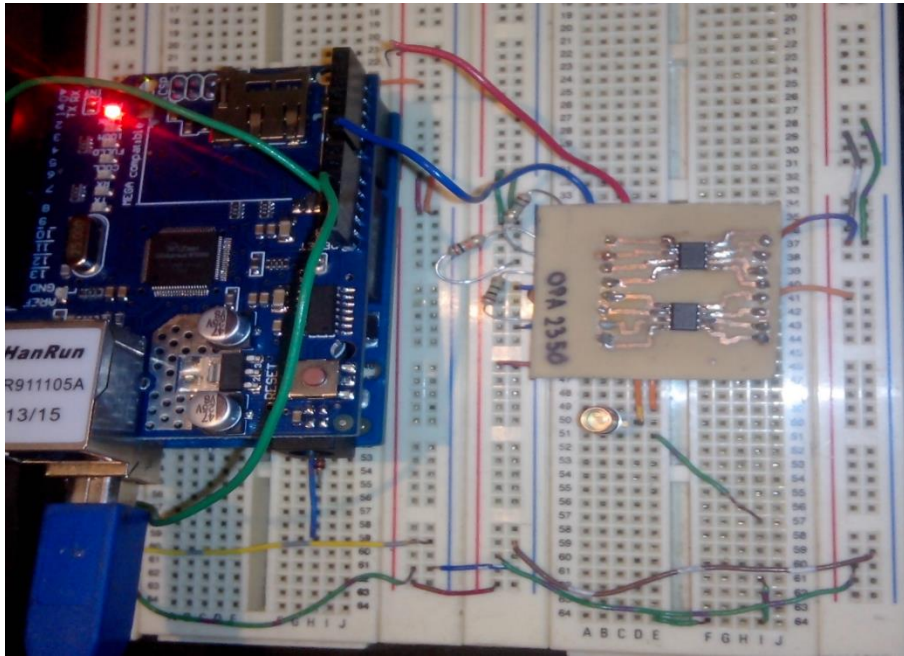


Figura 2.24 Circuito en *Protoboard*

## 2.2.10 CIRCUITO EN TARJETA FENÓLICA Y ESTUCHE

Después de realizar pruebas corroborando que el circuito funcionaba en la *protoboard*. Se procedió a desarrollar el circuito impreso (Figura 2.25 y Figura 2.26) con el objetivo de que el instrumento pueda ser transportado sin ningún inconveniente.

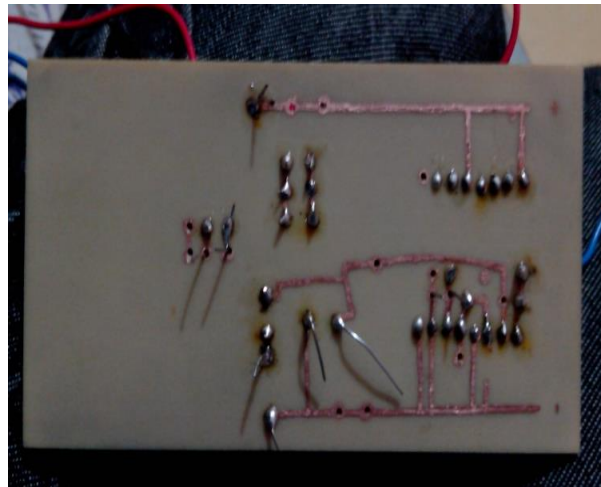


Figura 2.25 y 2.26 Disposición del circuito en tableta fenólica.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

Para finalizar se realizó un estuche en acrílico para contener el circuito y tarjetas necesarias para el buen funcionamiento del sensor UV-A (Figura 2.27).

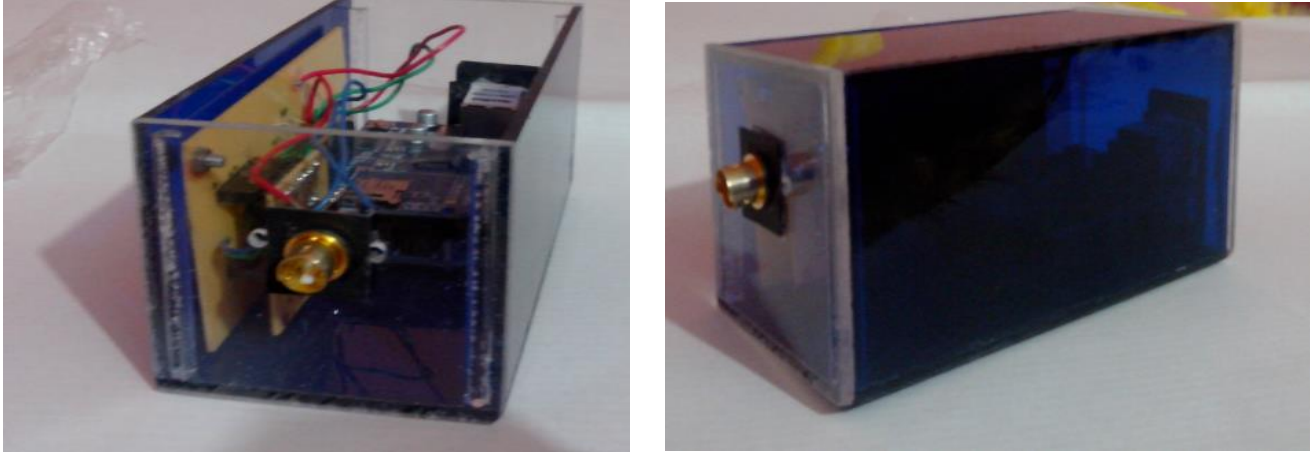


Figura 2.27 Circuito contenido en estuche.

### Capítulo 3. Caracterización y programación Radiómetro UV

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN

Es de vital importancia que el dispositivo de radiación UV entregue mediciones confiables, por tal motivo se realizó su caracterización utilizando un radiómetro de primera clase. Para poder lograr esto se realizaron mediciones en un día despejado con el radiómetro Eppley instalado en la Estación Radiométrica del IINGEN, con la finalidad de poder obtener una relación entre el voltaje del sensor y la radiación UV ( $W/m^2$ ).

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

A continuación se muestra el código del programa que se desarrolló para obtener el voltaje:

```
//Código 1
//Programa para medir el voltaje entregado por el sensor UV-A con cálculo de media
int analogPin0 = 0; // pin utilizado para leer los valores del sensor
int NumMedidas = 10000; // número de mediciones a realizar
void setup()
{
  // Abre puerto serial y lo configura a 9600 bps
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int val0 = analogRead(analogPin0); // se declara una variable para almacenar la lectura del pin0
  float tot0 = tot0 + (float)val0; // variable que almacena la suma de las mediciones

  delay(6000); // la toma de mediciones se hace cada 6 segundos

  float voltaje0=(tot0*4.8828125/(float)NumMedidas); //se suman los valores obtenidos del pin
  analógico 0 en el tiempo determinado y se divide por el número total de medidas.

  Serial.print(voltaje0); muestra por serial la media del voltaje
  Serial.print(" volt\n"); // imprime en serial la leyenda volt
```

Es importante hacer notar que para la toma de mediciones se realizó un promedio de los valores medidos. Esto porque, como ya se comentó, Arduino UNO es un instrumento que interacciona con el entorno y a través de sus entradas analógicas se puede utilizar para

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

tomar medidas de diversas magnitudes físicas, transformándolas en voltaje. Estas entradas utilizan por defecto como valor de referencia 5 volts.

El problema surge a la hora de convertir estas entradas analógicas en valores de voltaje. Como el microcontrolador tiene una resolución de 10 bits, sólo proporcionará 1024 valores posibles de voltaje entre 0 y 5 volts, proporcionando a la salida medidas con ruido de difícil interpretación física. Para mejorar esta resolución se pueden utilizar dos técnicas, ya sea durante la toma de los datos o en su tratamiento posterior.

Las medidas de voltajes entre 0 y 5 volts proporcionan valores con una resolución de 4.8828125mV (5V/1024bits). Para evitar que el salto entre dos medidas de valores consecutivos sea demasiado grande, se puede recurrir al aumento del número de medidas. Así, la lectura de un dato determinado vendrá dado por la media aritmética de todas las medidas realizadas por Arduino en un intervalo temporal de tiempo determinado.

En este caso se observa cómo se suman los valores obtenidos a la salida del pinAN0 y posteriormente se dividen por el número total de medidas tomadas en el intervalo de tiempo considerado.

A continuación se muestran los valores obtenidos entre el radiómetro Eppley (W/m<sup>2</sup>) y el propuesto (Volt):

hora	W/m2 (Eppley)	Volt (tesis)
11:10	23.11	0.37
11:15	22.14	0.36
11:20	26	0.42
11:25	26.82	0.43
11:30	27.64	0.44
11:35	28.62	0.46
11.:40	27.98	0.45

**Tabla 5. Caracterización**

Con lo anterior se pudo establecer un factor de multiplicación, para obtener las mediciones de radiación UV (W/m<sup>2</sup>):

$$F= 62.28$$

Al contar con este factor se modificó el código el cual se muestra a continuación:

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

```
//Código 2
// Programa que muestra el voltaje e índice UV por puerto serial cada 5 minutos
int analogPin0 = 0; // el pin a utilizar es el analógico 0

int NumMedidas = 10000; // número de medidas a realizar

void setup()
{
  // Abre puerto serial y lo configura a 9600 bps
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int val0 = analogRead(analogPin0); // variable que almacena las lecturas del pin0
  float tot0 = tot0 + (float)val0; // almacena suma de mediciones
  float f= 62.28; // factor obtenido de la caracterización
  delay(300000); // intervalo de 5 minutos para la toma de las mediciones

  float voltajemedias=(tot0*4.8828125/(float)NumMedidas); // se convierte valor a voltaje y se calcula la media
  float UV= voltajemedias*f; // variable UV en el cual se multiplica el voltaje por el factor
  Serial.print(voltajemedias); // imprime por serial la media de voltaje
  Serial.print("volt\n"); // imprime por serial la leyenda volt
  Serial.print(UV); // manda indice uv por puerto serial
  Serial.print(" W/m2 \n"); // imprime la leyenda W/m2
```

Las principales diferencias es que se agregó una variable f que tiene un valor de 62.28, el cual es el factor por el cual hay que multiplicar para obtener las mediciones en unidades [W/m<sup>2</sup>]. Y la variable UV que almacena la multiplicación del voltaje por el factor.



## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

Con este código de programa se realizaron por algunos días mediciones del índice UV.

### 3.2 TABLAS DE MEDICIONES DE ÍNDICE UV

Cabe mencionar que estas mediciones se realizaron con el sensor a la intemperie sin contar con algún tipo de contenedor o cristal que lo protegiera. Así también el cálculo del Índice UV (IUUV) se calcula utilizando la siguiente formula:

$$IUUV = 0.25 * (\text{radiación UV en } \frac{W}{m^2})$$

Hora del día	W/m2	IUV
11:40	25.39	6
11:45	24.02	6
11:50	28.46	7
11:55	23.17	6
12:00	23.78	6
12:05	28.22	7
12:10	27.86	7
12:15	26.37	7
12:20	28.16	7
12:25	30.78	8
12:30	29.16	7
12:35	30.38	8
12:40	29.1	7
12:45	29.41	7
12:50	28.71	7
12:55	28.56	7
13:00	28.49	7
13:05	27.19	7
13:10	26.49	7

Tabla 6. Radiación UV e Índice UV de 11:40 AM a 1:10 PM.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

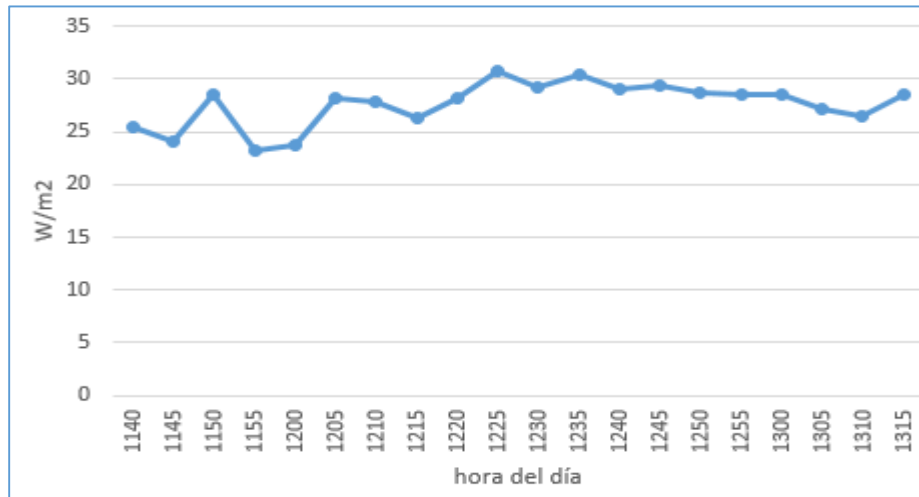


Figura 3.1 Gráfica de radiación UV [W/m<sup>2</sup>] cada 5 minutos.

Hora del día	W/m <sup>2</sup>	IUV
11:15	29.89	7
11:2	30.14	8
11:25	30.68	8
11:3	30.17	8
11:35	30.08	8
11:4	29.38	7
11:45	29.25	7
11:5	30.99	8
11:55	28.8	7
12:00	29.47	7
12:05	30.56	8
12:10	29.22	7
12:15	29.28	7
12:20	29.41	7
12:25	29.13	7
12:30	29.95	7
12:35	30.2	8
12:40	29.28	7
12:45	29.95	7
12:50	30.84	8
12:55	28.52	7
13:00	28.49	7
13:05	29.71	7
13:10	27.64	7
13:15	28.43	7

Tabla 7. Radiación UV e Índice UV de 11:15 AM a 1:15 PM.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV



Figura 3.2 Gráfica de radiación UV [W/m<sup>2</sup>] cada 5 minutos

Hora del día	W/m <sup>2</sup>	IUV
10:40	15.54	4
10:45	27.98	7
10:5	18.88	5
10:55	26.88	7
11:10	23.11	6
11:15	22.14	6
11:20	26	7
11:25	26.82	7
11:3	27.64	7
11:35	28.62	7
11:4	27.98	7
11:45	25.12	6
11:50	27.37	7
11:55	28.4	7
12:00	26.64	7

Tabla 8. Radiación UV e Índice UV de 10:40 AM a 12:00 PM.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

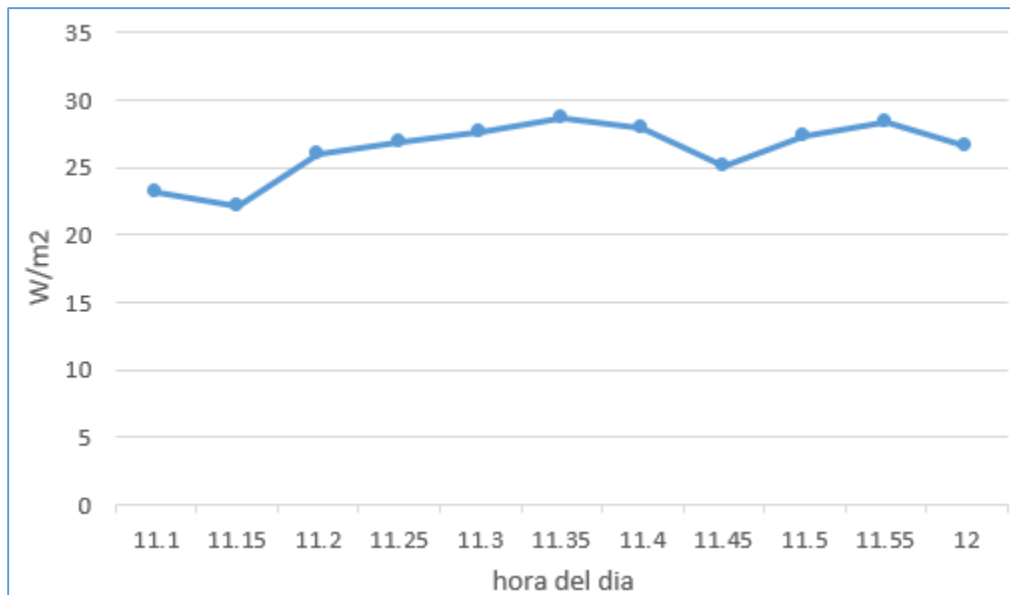


Figura 3.3 Gráfica de radiación UV [W/m<sup>2</sup>] cada 5 minutos.

Hora del día	W/m <sup>2</sup>	IUV
07:32	0.61	0
07:36	0.61	0
07:41	0.63	0
07:46	0.63	0
07:51	0.64	0
07:56	0.6	0
08:01	0.63	0
08:06	2.1	1
08:11	4.9	1
08:16	0.33	0
08:21	0.49	0
08:26	3.92	1
08:31	4.23	1
08:36	9.58	2
08:41	3.62	1
08:46	4.32	1
08:51	4.29	1
08:56	8.64	2
09:01	10.4	3
09:06	10.46	3
09:11	9.58	2
09:16	15.36	4

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

09:21	11.28	3
09:26	25.67	6
09:31	2.77	1
09:36	10.95	3
09:41	11.5	3
09:46	19.25	5
09:51	10.92	3
09:56	18.61	5
10:01	17.94	4
10:06	19.86	5
10:11	13.41	3
10:16	18.92	5
10:21	21.83	5
10:26	22.84	6
10:31	24.48	6
10:36	25.15	6
10:41	27.73	7
10:46	29.8	7
10:51	24.48	6
10:56	27.34	7
11:01	27.16	7
11:06	19.77	5
11:12	28.86	7
11:17	26.52	7
11:21	29.92	7
11:26	25.7	6
11:31	26.49	7
11:36	22.66	6
11:41	28.52	7
11:46	22.99	6
11:51	26.49	7
11:56	24.36	6
12:01	25.24	6
12:06	28.89	7
12:11	24.66	6
12:16	27.25	7
12:21	24.3	6
12:26	24.6	6
12:31	29.56	7
12:36	29.19	7
12:41	29.8	7
12:46	30.14	8
12:51	21.29	5
12:56	26.06	7
13:01	23.45	6
13:07	27.76	7

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

13:12	26.09	7
13:17	29.83	7
13:22	26.3	7
13:27	27.86	7
13:31	24.91	6
13:36	29.92	7
13:41	27.43	7
13:46	25.21	6
13:51	26.03	7
13:56	30.9	8
14:01	25.33	6
14:06	25.57	6
14:11	26.55	7
14:16	26.88	7
14:21	26.06	7
14:26	22.99	6
14:31	22.5	6
14:36	22.59	6
14:41	27.13	7
14:46	26.06	7
14:51	25	6
14:56	21.14	5
15:02	25.67	6
15:07	25.54	6
15:12	20.01	5
15:17	16.48	4
15:22	20.71	5
15:27	18.7	5
15:32	12.65	3
15:36	12.44	3
15:41	13.53	3
15:46	15.17	4
15:51	15.05	4
15:56	10.98	3
16:01	12.22	3
16:06	12.1	3
16:11	13.02	3
16:16	15.03	4
16:21	5.57	1
16:26	4.87	1
16:31	6.93	2
16:36	7.94	2
16:41	7.93	2
16:46	4.32	1
16:51	8.18	2
16:56	9.52	2

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

17:02	13.35	3
17:07	5.93	1
17:12	9.18	2
17:17	5.63	1
17:22	7.42	2
17:27	4.17	1
17:32	2.55	1
17:37	0.49	0
17:41	1.58	0
17:46	1.9	0
17:51	0.49	0
17:56	1.46	0
18:01	1.34	0
18:06	1.79	0
18:11	1.58	0
18:16	0.24	0
18:21	2.03	1
18:26	2.62	1
18:31	0.33	0
18:36	1.31	0
18:41	0	0
18:46	1.2	0
18:51	0.33	0
18:56	0	0
19:02	0	0
19:07	0.09	0
19:12	1.67	0
19:17	1.61	0
19:22	1.51	0
19:27	1.3	0
19:32	0.24	0
19:37	0.22	0
19:42	0.97	0
19:47	0.24	0
19:51	0.23	0
19:56	0.91	0
20:01	0.55	0
20:06	0.3	0
20:11	0	0
20:16	0	0
20:21	0.3	0
20:26	0.3	0
20:31	0	0
20:36	0	0
20:41	0	0
20:46	0	0

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

20:51	0	0
20:56	0.09	0
21:02	0.3	0
21:07	0.06	0
21:12	0.06	0
21:17	0.06	0
21:22	0.06	0
21:27	0.43	0
21:32	0	0
21:37	0.76	0
21:42	0	0
21:47	0	0

Tabla 9. Radiación UV e Índice UV de 07:32 AM a 09:47 PM.

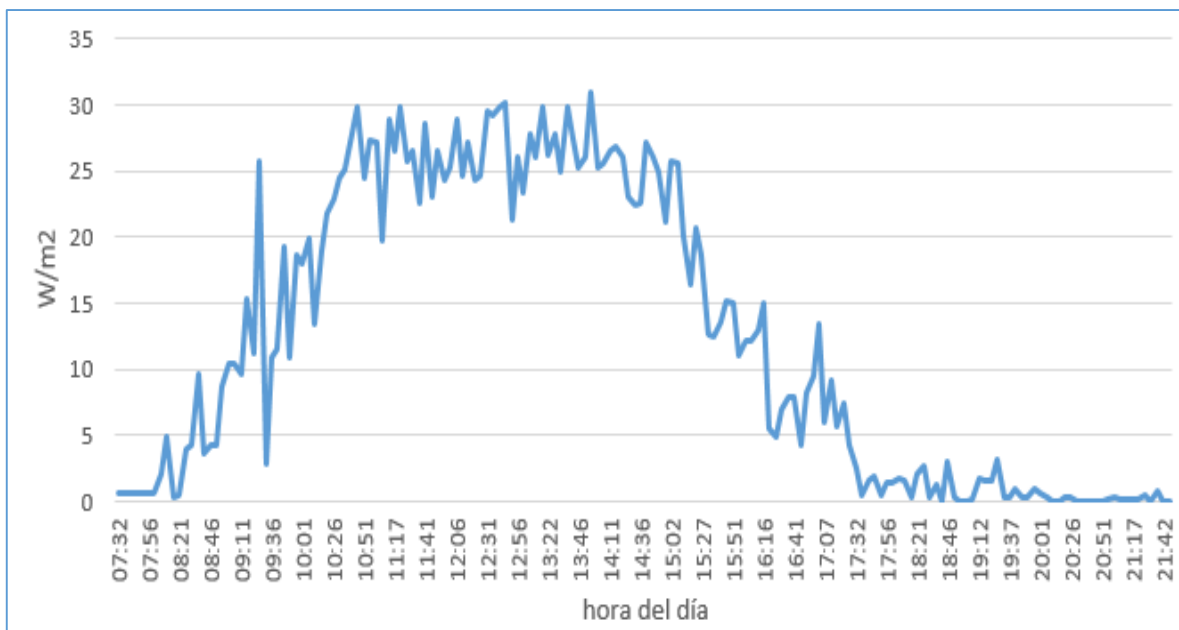


Figura 3.4 Gráfica de radiación UV [W/m<sup>2</sup>] cada 5 minutos.



## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

Posteriormente se tomó una muestra de datos comparándolos con los arrojados por el Radiómetro Eppley y el propuesto en esta tesis, para así realizar la siguiente tabla:

hora	Tesis [W/m <sup>2</sup> ]	Radiómetro Eppley [W/m <sup>2</sup> ]	% error
12:15	28.46	28.22	-0.92
12:20	27.89	26.96	-3.45
12:35	28.98	28.07	-3.24
12:40	28.68	28.07	-2.17
12:45	28.31	28.07	-0.86
12:50	28.83	28.07	-2.71
13:00	27.9	28.07	0.61

Tabla 10. Comparación de Radiación UV entre Radiómetro Eppley y Tesis con %e.

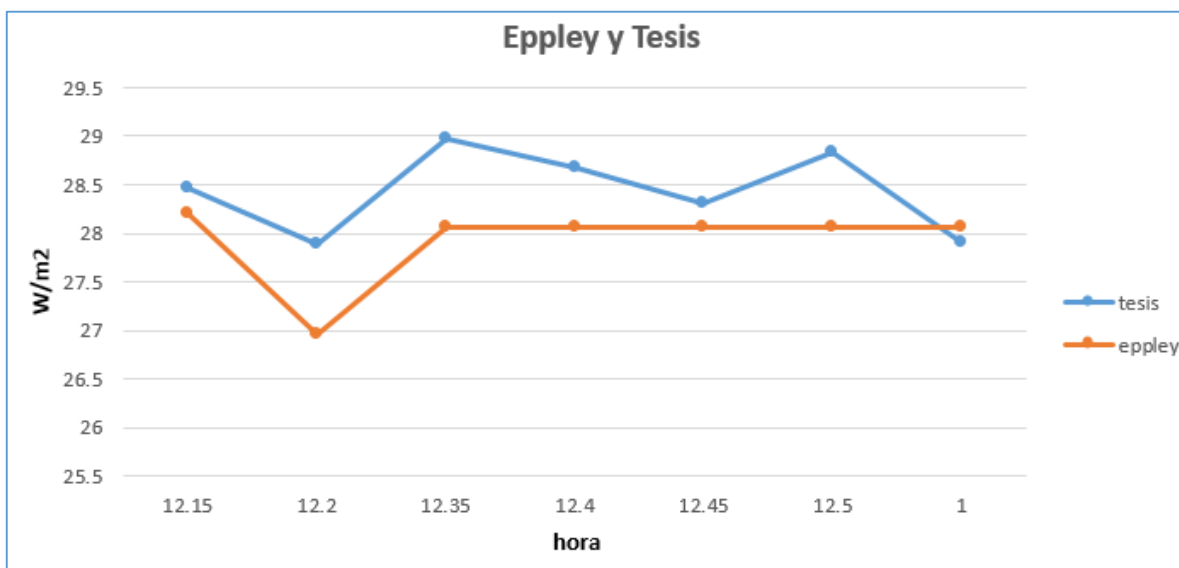


Figura 3.5 Comparación entre radiómetro Eppley y tesis.

En la Tabla 10 y figura 3.5 se observa que los valores obtenidos por el “Radiómetro Tesis” y el Radiómetro Eppley son muy aproximados teniendo un porcentaje de error aceptable menor a 10%.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

### 3.3 PROGRAMACIÓN

Se realizó un código final en el cual se hace la comunicación de Arduino con la tarjeta *Ethernet Shield* el cual se muestra a continuación:

```
//Programa para medir UV Ethernet
#include <Ethernet.h> // Incluye la librería Ethernet
#include <SPI.h> // librería para comunicarse Arduino con Ethernet Shield
// Identificador Ethernet único (mac)
//Configuración mac e IP
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // dirección mac
byte ip[] = { 192, 168, 1, 2 }; // Dirección IP asignada al Arduino Ethernet Shield
EthernetServer server(80); // Inicia la librería Ethernet server con el puerto 80 (por defecto el puerto HTTP).
String HTTP_req; //Almacena la petición http
int analogPin0 = 0; // el pin a utilizar es el analógico 0
int NumMedidas = 10000; // número de medidas a realizar
//Función principal
void setup() {
  Ethernet.begin(mac, ip); //Inicializa librería y configuraciones de red
  server.begin(); //Inicia conexión con el servidor
  Serial.begin(9600); // Inicia el puerto serie
}
//Función cíclica
void loop() {
  int val0 = analogRead(analogPin0); // variable que almacena las lecturas del pin0
  float tot0 = tot0 + (float)val0; // almacena suma de mediciones
  float f= 62.28; // factor obtenido de la caracterización
```

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

```
delay(5000); // intervalo de 5 segundos para la toma de las mediciones

float voltajemedia=(tot0*4.8828125/(float)NumMedidas); // calculo de la media de voltaje

float UV= voltajemedia*f; // factor que multiplica

Serial.print(UV); // manda medición uv en w/m2 por puerto serial

Serial.print("\n"); // da un salto de linea

EthernetClient client = server.available(); // Escucha a los clientes entrantes

if (client) { // Si un cliente se conecta al servidor

boolean current_line_is_blank = true; //Una petición http termina con una línea en blanco y envía
respuesta a servidor

while (client.connected()) { // Repite mientras existe clientes conectados:

if (client.available()) { // datos de los clientes disponibles para leer

char c = client.read(); // Leer 1 byte (carácter) desde el cliente

// Si hemos llegado al final de la línea (recibió una nueva línea
// Carácter) y la línea está en blanco, la petición http ha terminado,

// Para que podamos enviarle una respuesta

if (c == '\n' && current_line_is_blank) { //Se envía la respuesta a una petición de un cliente cuando ha
finalizado la petición:

}

client.println("HTTP/1.1 200 OK");

client.println("Content-Type: text/html"); // Tipo de contenido (texto en formato html

client.println("Connection: close"); // La conexión se cierra después de la terminación de la respuesta

client.println("Refresh:5"); // Actualizar la página automáticamente cada 5 seg.

client.println();
```

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

```
client.println("<!DOCTYPE HTML>"); // Tipo de documento.

    client.println("<html>"); // Etiqueta html inicio del documento.

    client.println("<head>"); // Etiqueta de código html que contiene la información global del
documento

    client.println("<title>Radiometro UV Page</title>"); // Visualiza el título en la página web

    client.println("</head>"); // Se cierra etiqueta <head>

    client.println("<body>"); // Disposicion del cuerpo del documento

    client.println("<CENTER><h1>Radiometro UV</h1></CENTER>"); // Titulo que se muestra en la
página centrado

    client.println("<CENTER><H2><p>Facultad de Ingenieria </p></H2></CENTER>"); // Subtitulo que
se muestra en la página web

    client.println("<CENTER><div id='CmdLogo' ><img id='Logo' alt='' src=' http://materiahdh.fi-
a.unam.mx/img/logounam.JPG' /></div></CENTER>"); // Descarga el logo de una página de internet

    client.println("<h3>Radiación UV en W/m2 :</h3>"); //Se visualiza en pantalla

    int IUV= UV*.025; // se declara una variable entera para el cálculo de IUV

    client.print(IUV); // imprime la Lectura de UV en w/m2 en página web

client.println("<br />");

client.println("<br />"); //salto de línea en código html

client.println("<h3>El IUV es :</h3>"); //Se visualiza en pantalla

client.print(IUV);// MAnda el valor de IUV
```

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

```
break;
if (c == '\n') { // Cada una de las líneas de texto recibido del cliente termina con \r\n
current_line_is_blank = true; // La petición a terminado, se responderá a dicha petición en el siguiente
ciclo.
} else if (c != '\r') { // Si el carácter no es un retorno de carro (la petición no ha terminado).
current_line_is_blank = false; // Seguimos escuchando la petición
}
}
}
}
// Damos un tiempo al servidor web para recibir los datos
delay(1); //Retardo de un 1 ms(milisegundo)
client.stop(); // cierra la conexión
}
```

Este código consta de tres partes importantes:

- 1.- Configuración Mac e IP
- 2.- Lectura del sensor y;
- 3.- Código HTML

En esta parte se crea la interfaz de la página web (Figura 3.6) que muestra los valores de radiación UV [W/m<sup>2</sup>] e IUUV a través del navegador de internet.

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV



Figura 3.6 Interfaz Web

## 3.4 MEJORAS AL RADIÓMETRO

Como se planea utilizar el dispositivo a la intemperie se tuvo que realizar un estuche o contenedor para poder proteger de la lluvia y el polvo al sensor UV-A. Por tal motivo el material que se escogió provisionalmente para este contenedor fue de polietileno de alta densidad. Siendo este material capaz de soportar las inclemencias ambientales (Figura 3.7 y Figura 3.8).



Figura 3.7 Estuche contenedor de sensor UV-A



Figura 3.8 Sensor UV-A con cubierta de vidrio.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

### 3.4.1 ALMACENAMIENTO DE DATOS EN EXCEL

Teniendo la necesidad de poder tener disponibles los valores para una futura consulta se propone realizar este almacenamiento a través de Excel, incorporando para cada medición la hora y fecha.

Esta tarea se realiza guardando en primer lugar los valores de radiación UV-A en un archivo de texto, para poder realizar esta captura se utiliza el software libre RealTerm que es capaz de capturar los datos que son mandados a través del puerto serie.

Posteriormente se importan los datos del archivo de texto a Excel donde es necesario utilizar un macro para poder insertar la hora y fecha de las mediciones.

El macro realizado es el siguiente:

```
Private Sub Worksheet_Change(ByVal Target As Range)
    If Not Application.Intersect(Target, Range("A:A")) Is Nothing Then
        Range("B" & Target.Row) = Date
        Range("C" & Target.Row) = Format(Now, "hh:mm")
    End If
End Sub
```

El código anterior tiene como finalidad guardar la fecha y hora a la que se introduce un valor en cada celda del rango de la columna A mostrando automáticamente la fecha en la columna B y la hora en la C.

En la siguiente imagen (Figura 3.9) se muestra la interfaz para almacenamiento de datos en Excel; así también una segunda (Figura 3.10) donde se observan los datos medidos por el radiómetro:

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

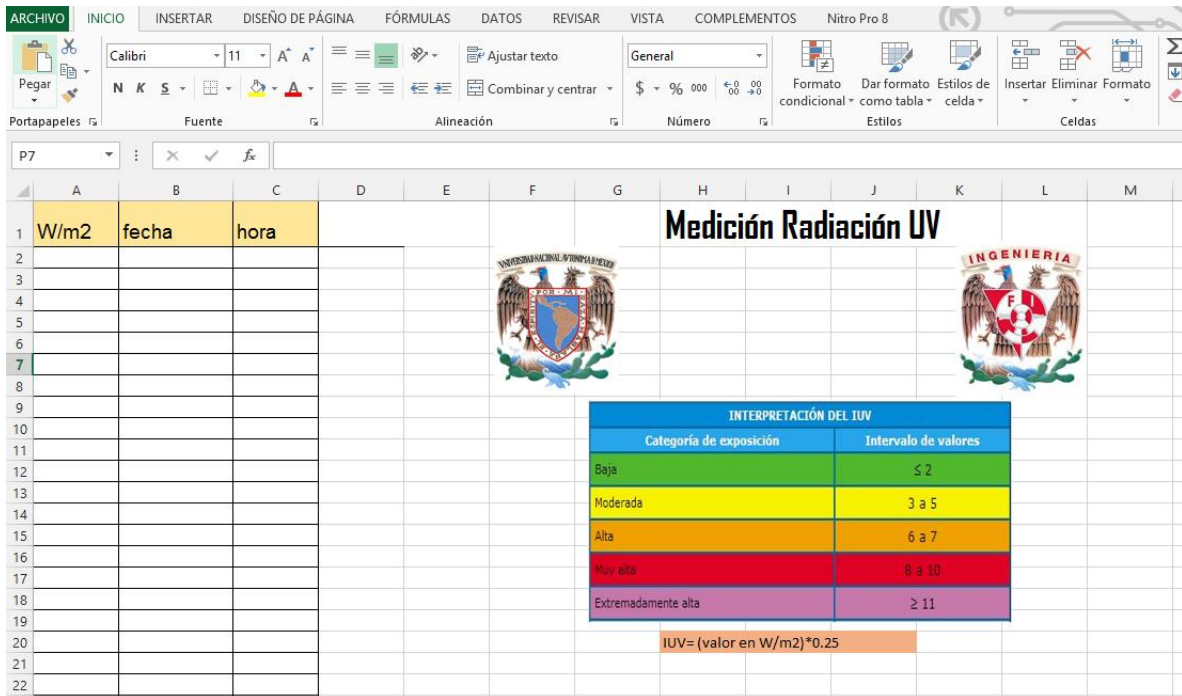


Figura 3.9 Interfaz en Excel.

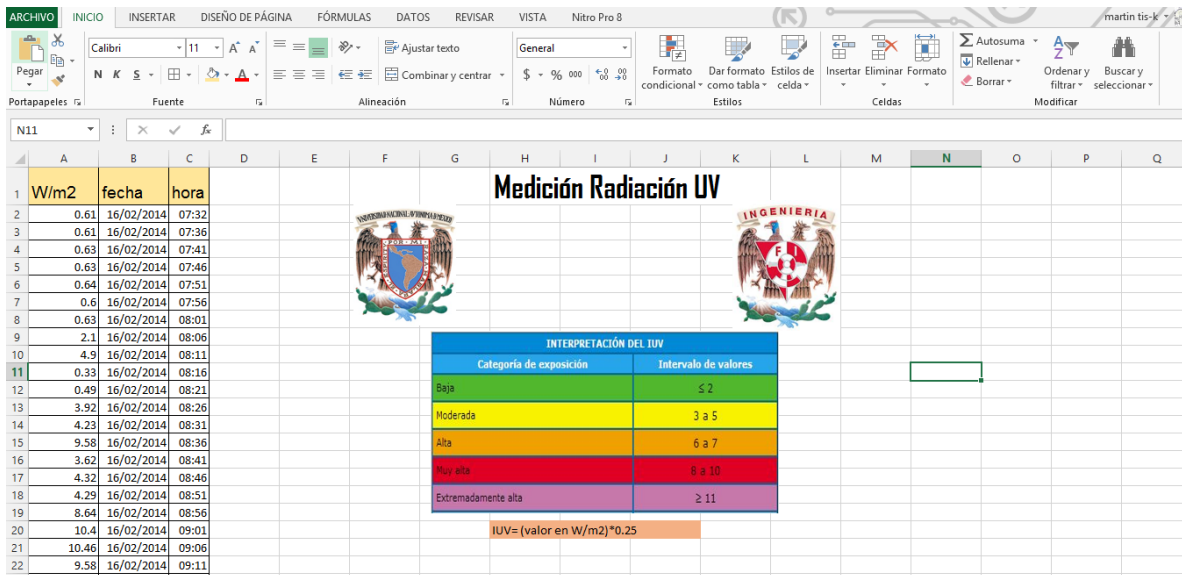


Figura 3.10 Almacenamiento de datos Excel



## **Capítulo 4. Costos, conclusiones y recomendaciones.**

### **4.1 COSTOS**

<b>Material</b>	<b>Precio en pesos mexicanos</b>
Arduino Uno	\$522
Ethernet Shield	\$406
Sensor UV-A	\$1576
Amplificador Operacional OPA 2350	\$73.54
Otros	\$150
Acrílico (estuche)	\$70
	TOTAL \$ 2,797

**Tabla 11. Costos**

El precio total del radiómetro es de \$2,797 pesos mexicanos, este precio, es bastante accesible en comparación a otros dispositivos que tienen características similares.

### **4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

A través de la realización de este trabajo de tesis, se realizó una investigación de los efectos nocivos y benéficos de la radiación UV en nuestro planeta, así como, se identificaron algunos los dispositivos que existen en el mercado para la medición de este tipo de radiación, encontrando que todos son de manufactura extranjera. Dado que en México es de vital importancia la medición y caracterización del recurso solar, principalmente el espectro UV, se originó la idea de desarrollar un Radiómetro UV portable de bajo costo, esta razón aunada con los conocimientos que se adquirieron en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, derivó que se lograra desarrollar un dispositivo funcional a un bajo costo.

En el ámbito de características generales, el radiómetro trabaja en un rango espectral de 300 a 360 nm y cuenta con una resolución de 0.001 mW/cm<sup>2</sup> soportando una temperatura máxima de 80°C, así como la exactitud en las mediciones es buena, debido a que cada resultado es el promedio de las mediciones generadas cada 5 minutos.

La tarjeta Arduino Uno brindó la posibilidad de realizar la comunicación remota de una manera sencilla ya que al tratarse de software libre, el sistema puede crecer tanto como lo requiera la aplicación que desarrolle el usuario.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

Al hacer un análisis de los datos medidos en diferentes días, se puede decir que para la época de invierno, entre las 11 de la mañana y las 2 de la tarde, se obtienen índices ultravioleta máximos de entre 7 y 8; siendo estos ubicados en muy altos. Estos índices van disminuyendo en el transcurso del día, hasta alrededor de las 6 de la tarde, en donde el índice ultravioleta es de 0. Por estas razones, la población en general, dependiendo de su tipo de piel, debe extremar precauciones y dar un seguimiento a los horarios, donde haya índices ultravioleta que puedan provocar enfermedades a corto y largo plazo.

Al comparar los resultados con el Radiómetro Eppley del IINGEN (Instituto de Ingeniería), se observó que sus mediciones fueron muy similares, teniendo un porcentaje de error muy bajo. Por lo tanto, se cumplieron los objetivos establecidos, ya que se obtuvo el Radiómetro físicamente, y se logró que funcionara adecuadamente.

Cabe mencionar que la conexión a través de internet, solamente se logró realizar a nivel de red local, proponiendo en este caso, si se desea ver desde fuera de la red, una conexión remota con la computadora.

Por otra parte, en el aspecto del costo, se logró que el radiómetro tuviera un precio competitivo, y, aunque en el mercado se pueden encontrar dispositivos con precios parecidos, éstos no cuentan con almacenamiento o con algún tipo de conexión remota.

Personalmente es un orgullo poder haber realizado un instrumento funcional y el primero como tal, cien por ciento mexicano, que pueda servir para poder estudiar el comportamiento que tiene la radiación UV en nuestro País; así, también permitirá escribir un artículo para el congreso Iberoamericano que se realizará en el estado de Querétaro en octubre 2014.

En general, me gustó realizar este proyecto de tesis porque pude aprender cosas nuevas que no tenía idea que existían, así también me hizo tener más cuidado conmigo mismo del tiempo que permanezco expuesto a la radiación solar.

Finalmente, al ser un dispositivo experimental, se le pueden hacer mejoras para un futuro. Principalmente en el contenedor del sensor, ya que al ser expuesto a temperaturas elevadas y constantes, puede llegar a tener repercusiones en el buen funcionamiento del sensor UV. Por estas razones se debe realizar una investigación de materiales adecuados del que pueda estar manufacturado dicho contenedor, así como realizar un buen aislamiento del mismo que lo proteja de las inclemencias del clima.

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

## Referencias

- 1 Quiñones L.A., Almanza R., "Modeling Ultraviolet radiation for the Mexican conditions".ISES Solar World Congress, 2013.
- 2 Randy Russell, " Windows to the Universe: Radiation Ultraviolet (UV)". National Earth Science Teachers Association ,2010.
- 3 Echarri Prim Luis, "Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente", Libro electrónico [en línea].Disponible en la web:  
<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>
- 4 Otero R. Alberto, "Medio ambiente y educación: Capacitación en educación Ambiental para Docentes", ediciones novedades educativas, págs. 91-92, 2001.
- 5 Häder Donat-Peter J., "Sun protection in man", Elsevire Comprehensive Series in Photosciences, pág. 3, 2001.
- 6 "Las radiaciones ultravioletas y la salud humana", Organización Mundial de la Salud, Nota descriptiva No. 305, 2009.
- 7 Roldán Arjona Juan Manuel, "Efectos de la radiación en el organismo", pág. 17, 2010.
- 8 Riveros Reciné Tatiana Dr., "Efectos de la radiación ultravioleta en el ser humano: aspectos clínicos", Comisión de Fotobiología de SOCHDERM Clínica Alemana de Santiago ,2010.
- 9 Horacio E. Zagarese y Walter R. Cravero , "Efectos de la Radiación Ultravioleta sobre los Ecosistemas Acuáticos", Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy, Volumen 8-No.45 Marzo/Abril ,1998.
- 10 Tecnología Ultravioleta, [en línea]. Disponible en la web: [www.wordpress.com](http://www.wordpress.com)
- 11 Opsytec Dr. Grobel, [en línea]. Disponible en la web: <http://www.uv-groebel.com/>
- 12 OKI SEMICONDUCTOR, UV Sensor ML8511 [en línea]. Disponible en la web :  
<http://www.oki.com/>
- 13 Apogee, Ultraviolet Sensor SU-100, [en línea]. Disponible en la web :  
[www.apogeeinstruments.com](http://www.apogeeinstruments.com)
- 14 Solar Light Co., Inc., "A comparison of Spectroradiometers to Radiometers for UV Radiation Measurements" , págs. 35-36.

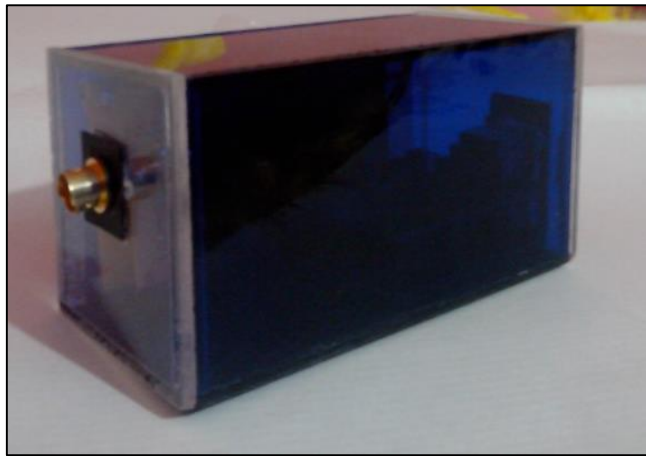
## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

- 15 Vignola Frank, Joseph Michalsky , Stoffel Thomas, “Solar and Infrared Radiation Measurements”, págs. 45-55, 2012.
- 16 PCE Instrument, Medidor de radiación UVA-UVB PCE-UV34, [en línea]. Disponible en la web: <http://www.pce-iberica.es/>
- 17 Magnaflux, Radiómetro UV, [en línea]. Disponible en la web: <http://mx.magnaflux.com>
- 18 Representaciones Adendorf, Medidor de radiación Ultravioleta MED-UV-01, [en línea]. Disponible en la web: <http://www.adendorf.net/>
- 19 Quiñones L.A, “Transmitancia de la Radiación Ultravioleta en diferentes medios para su aplicación en proyectos de Energía Solar”, Tesis Licenciatura, FI-UNAM 2009.
- 20 SVTA, UVA Photodetector datasheet, [en línea]. Disponible en la web: <http://www.svta.com/>
- 21 BURR-BROWN, OPA 2350 datasheet, [en línea]. Disponible en la web: <http://www.ti.com/product/opa2350>
- 22 Arduino, Arduino uno, [en línea]. Disponible en la web: <http://arduino.cc/>
- 23 Arduino, Ethernet Shield, [en línea]. Disponible en la web: <http://arduino.cc/>
- 24 Scitec instruments, Sensor UV SG01S-HT datasheet, [en línea]. Disponible en la web: <http://www.scitec.uk.com/uvphotodiodes>

❖ **ANEXOS**

**Manual de Operación  
(Guía del Usuario)  
Radiómetro UV**



➤ **Configuración inicial del equipo (Windows 7)**

- 1.- Conecte el radiómetro con el cable USB y espere a que Windows inicie el proceso de instalación, después de unos minutos aparecerá un mensaje de error, debido a la ausencia de los controladores necesarios.
- 2.- Copie la carpeta Arduino 1.0.5 que está dentro del cd al escritorio de su equipo.
- 3.- Acceda al icono "Equipo" y seleccionar la opción "Administrar".
- 4.- Se abrirá una ventana. Elija la opción "administrador de dispositivos", mire debajo de los puertos (COM & LPT) o en otros dispositivos, debe aparecer Arduino UNO.
- 5.- De Clic derecho en "Arduino UNO " y elija la opción de actualizar software del controlador.
- 6.- Después elija la opción buscar software de controlador en el equipo y seleccione la carpeta guardada en el escritorio mencionada en el paso 2.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

7.- Busque la carpeta drivers y selecciónela (sólo la carpeta drivers no la FTDI que se encuentra interna), sigue la instalación de manera normal.

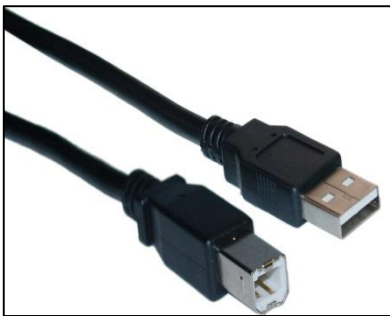
8.- Ahora ya está listo el equipo para trabajar con el radiómetro.

**Este radiómetro cuenta con tres posibles conexiones:**

- ✓ Vía página web (sin almacenamiento de datos).
- ✓ Aplicación Excel (con almacenamiento de datos).
- ✓ Doble

### ➤ **Conexión Vía Pagina Web (Red Local)**

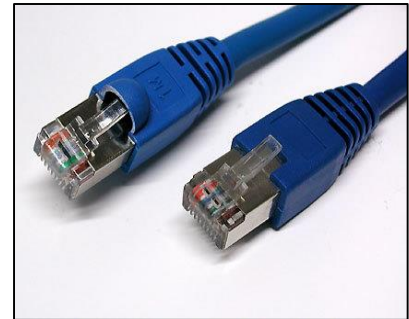
Para realizar esta conexión se requieren lo siguiente:



**Cable USB (impresora).**



**Modem (con acceso a internet)**



**Cable Ethernet**

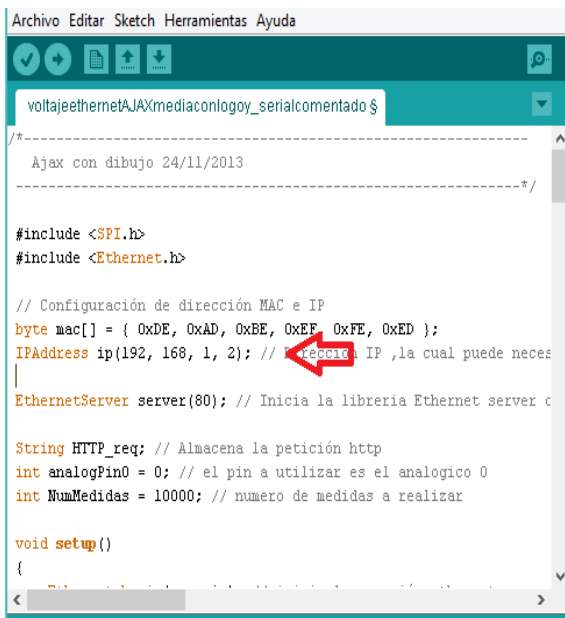


**Computadora o Laptop.**

**Instrucciones:**

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

- 1.- Conecte el Radiómetro con el cable USB y abra la terminal Arduino que se encuentra dentro de la carpeta que copió anteriormente al escritorio.
- 2.- En la nueva ventana seleccione la pestaña Archivo y luego Abrir....
- 3.- Abrir la carpeta UV que está en el cd y seleccione el archivo que se encuentra dentro.
- 4.- Configurar el código del dispositivo si así lo requiere, con la dirección IP de la red (imagen 1 y 2).



```
Archivo Editar Sketch Herramientas Ayuda
voltajeethernetAJAXmediaconlogoy_serialcomentado $
/*
  Ajax con dibujo 24/11/2013
  -----*/

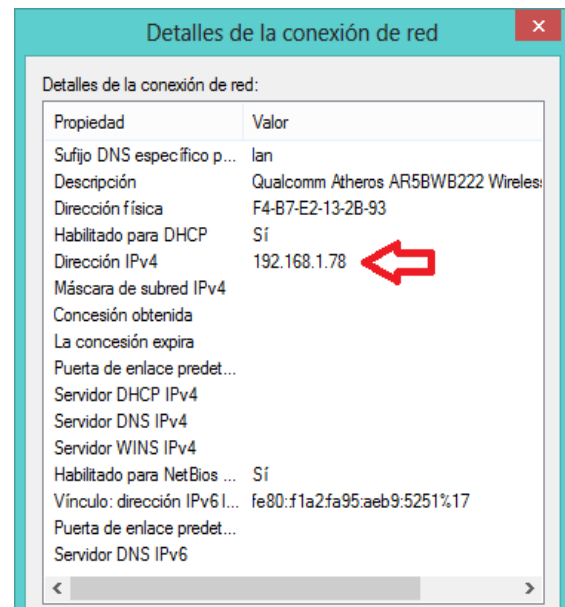
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

// Configuración de dirección MAC e IP
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddress ip(192, 168, 1, 2); // Dirección IP ,la cual puede neces
EthernetServer server(80); // Inicia la libreria Ethernet server c

String HTTP_req; // Almacena la petición http
int analogPin0 = 0; // el pin a utilizar es el analogico 0
int NumMedidas = 10000; // numero de medidas a realizar

void setup()
{
```

Imagen 1



Propiedad	Valor
Sufijo DNS específico p...	lan
Descripción	Qualcomm Atheros AR5BWB222 Wireles
Dirección física	F4-B7-E2-13-2B-93
Habilitado para DHCP	Sí
Dirección IPv4	192.168.1.78
Máscara de subred IPv4	
Concesión obtenida	
La concesión expira	
Puerta de enlace predet...	
Servidor DHCP IPv4	
Servidor DNS IPv4	
Servidor WINS IPv4	
Habilitado para NetBios ...	Sí
Vínculo: dirección IPv6l...	fe80:f1a2fa95:aeb9:5251%17
Puerta de enlace predet...	
Servidor DNS IPv6	

Imagen 2

\*Utilizar la dirección IP de su red tal como aparece. Cambie solamente el último dígito(X) por cualquiera (en este caso 192.168.1.X).

- 5.- Cargar el código dando clic izquierdo en el icono en forma de flecha y conectar los cables correspondientes (imagen 3).

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

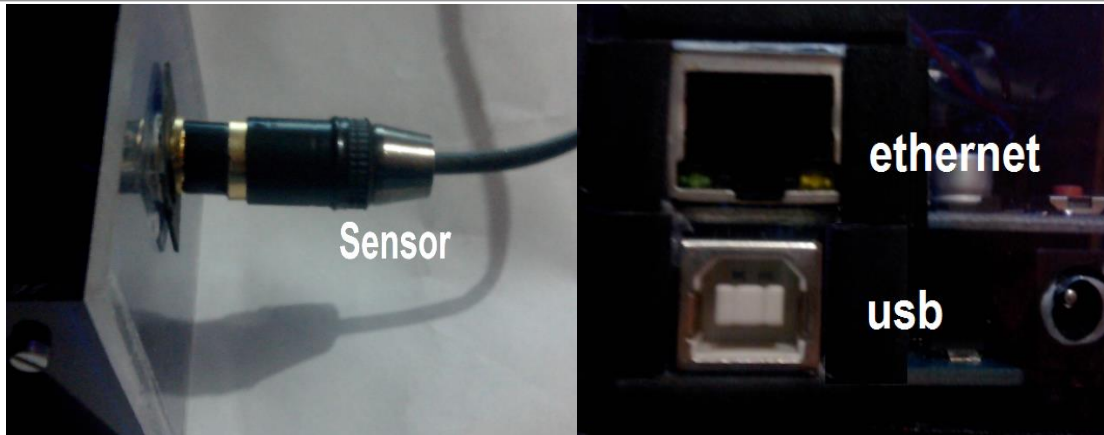


Imagen 3

- 6.- Conectar el cable Ethernet al modem y al Radiómetro.
- 7.- Esperar a que enciendan focos de conexión en el dispositivo.
- 8.- Abrir el navegador de la computadora (o cualquier otro dispositivo dentro de la red) y colocar en la barra de direcciones la dirección IP que se estableció al dispositivo (si no fue modificado colocar 192.168.1.2).



Imagen 4

- 9.- Se mostrara en el navegador la medición de radiación UV e IUV (Imagen 4).
- \* Recordar que esta es una conexión de red local y no podrá ser vista desde fuera de la red.



## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

### ➤ Conexión con aplicación Excel (No requiere cable Ethernet)

#### Instrucciones:

1.- Conectar solamente el sensor y el cable USB del radiómetro a la computadora.

2.- Lo primero que tenemos que hacer es instalar Realterm 2.0.0.70 que se encuentra dentro del cd y posteriormente configurarlo.

\*Igualmente puede descargar Realterm libremente desde internet:

“[http://es.sourceforge.jp/projects/sfnet\\_realterm/releases/](http://es.sourceforge.jp/projects/sfnet_realterm/releases/)“

3.-En la pestaña Port, establecemos los baudios a 9600, definimos el puerto al que está conectado Arduino, y luego le damos clic en el botón Change (imagen 5).

4.-En la pestaña Capture, examinamos en dónde queremos guardar el archivo, que por defecto este programa crea para guardar los datos (imagen 6).



Imagen 5

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV



Imagen 6

5.- Una vez seleccionada la ubicación del archivo de texto se da clic en el botón Start Overwrite logrando así que se almacenen los datos en el archivo creado (imagen 7).

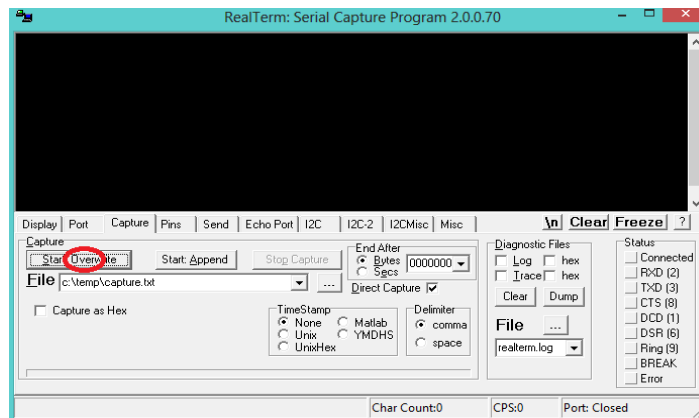


Imagen 7

6.- Después de haber realizado la configuración, abrimos la aplicación de Excel.

\*Para este caso se utilizó Excel 2013.

7.-Damos clic en la pestaña Datos y después se selecciona la pestaña "Desde Texto" (imagen 8).

# DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

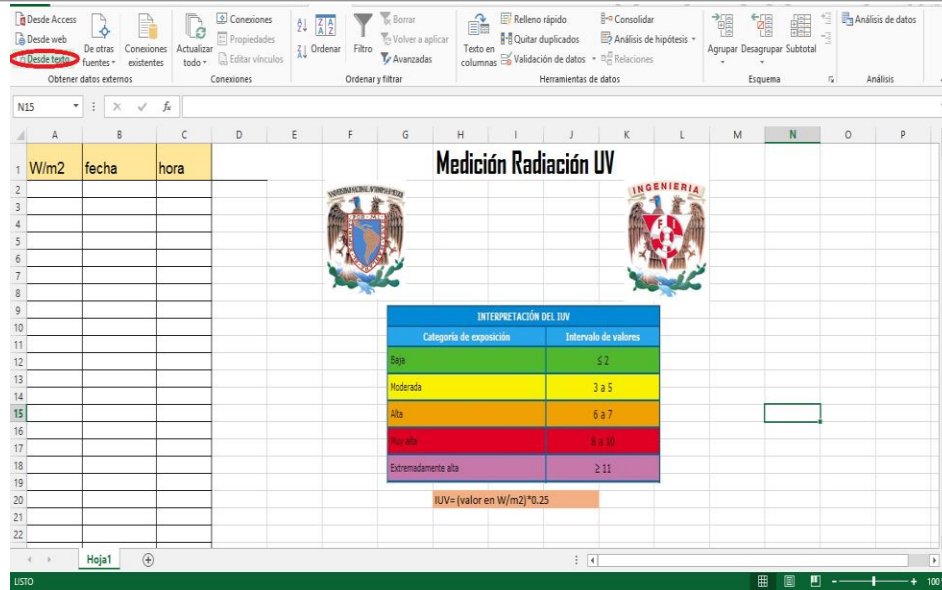


Imagen 8

8.- Escogemos el archivo creado por RealTerm, se abre una ventana, le damos a finalizar (imagen 9).

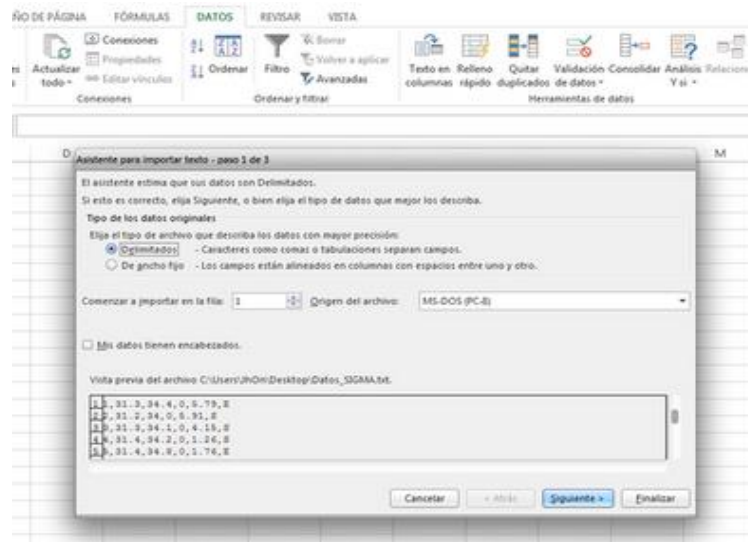


Imagen 9

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

9.- Se mostrará una nueva ventana, dar clic derecho en la opción propiedades y dentro de esta deseleccionar “solicitar el nombre del archivo al actualizar” y “Ajustar el ancho de la columna”. Seleccionamos “Actualizar cada” colocando el valor de 1 minuto (Imagen 10) y posteriormente aceptar los cambios.

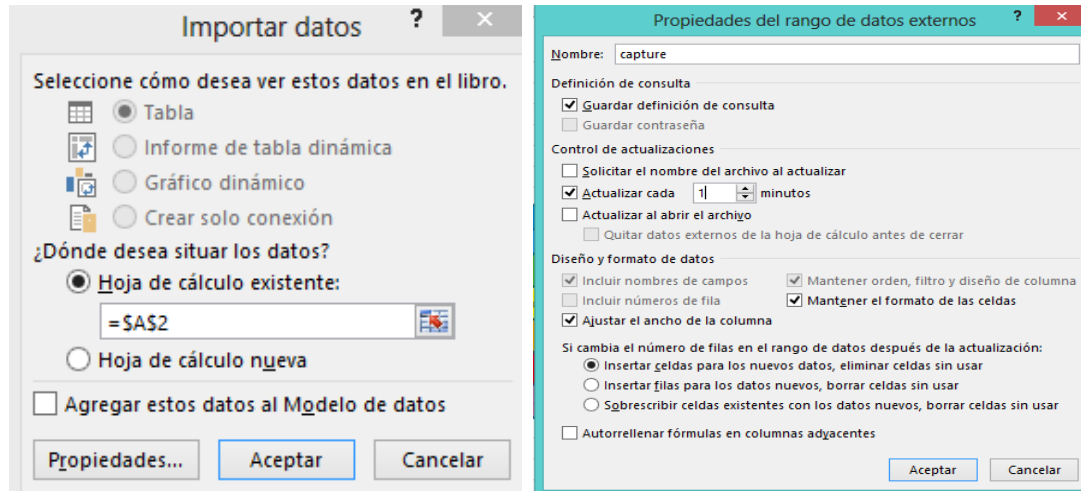


Imagen 10

10.- Después de un periodo de aproximadamente 5 minutos, se empezaran a mostrar las mediciones de radiación UV, la fecha y hora.

### ➤ **Conexión Doble.**

- 1.- Realizar ambas conexiones tal como se describió anteriormente.
- 2.- Usted dispondrá de ambas funciones al mismo tiempo.

## DISEÑO DE UN RADIÓMETRO ULTRAVIOLETA, PARA SU APLICACIÓN EN MODELOS DE RADIACIÓN UV

---

### NOTAS ADICIONALES.

- ❖ En caso de que se requiera acceder al dispositivo fuera de la red local se propone la siguiente solución:

#### **Establecer una conexión remota con la computadora donde está conectado el radiómetro.**

- **Acceso remoto con LogMeIn.**

LogMeIn es una aplicación gratuita que te permite manejar ordenadores a distancia a través de un simple acceso a su Sitio Web (<https://secure.logmein.com/MX/>), el programa es muy fácil de usar y le permitirá manejar el PC a un modo tal que parecerá que está tras el teclado.

#### **Pasos a seguir:**

1.- Lo primero que se necesita para poder utilizarlo es una Cuenta, si no la tiene, cree una, o si ya la tiene, acceda a su cuenta con su e-mail y contraseña en el Sitio de LogMeIn. Al ingresar a su Sitio Privado con su correo y contraseña tendrá dos opciones: agregar un nuevo PC o conectarse a uno existente.

#### **Agregar un Nuevo PC a LogMeIn:**

1.-Hacer clic sobre la Opción “Añadir un Computador” en el Panel de Usuario. El sistema le pedirá que escoja el tipo de producto a utilizar que, en este caso, será el servicio gratuito de LogMeIn, marque la Casilla de “Instalar LogMeIn Free en este Computador” y presione continuar.

2.- Se iniciara un proceso de descarga del instalador

3.-Siga los pasos que se le indican hasta finalizar la instalación.

4.- Dentro de la página de LogMeIn aparecerá el nombre del equipo al cual podrá acceder remotamente haciendo clic sobre él.