



# UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

## GESTIÓN DE BIBLIOTECAS

### CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

Neiva, 06 de noviembre de 2024

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad NEIVA

El (Los) suscrito(s):

JHONATHAN ALEXIS SERRATO VALDERRAMA, con C.C. No. 1075225220

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

Titulado: **CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PIRANÓMETRO CON CHIP DE ESTADO SÓLIDO.** Presentado y aprobado en el año 2024/09/25 como requisito para optar al título de **FÍSICO**;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permite la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

## **TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PIRANÓMETRO CON CHIP DE ESTADO SÓLIDO**

## AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SERRATO VALDERRAMA	JHONATHAN ALEXIS

## DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primer y Segundo Apellido	Primer y Segundo Nombre
LOSADA MEDINA	ARMANDO

## **ASESOR (ES):**

Primer y Segundo Apellido	Primer y Segundo Nombre
LOSADA MEDINA	ARMANDO

## **PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Físico**

## **FACULTAD:** Ciencias Exactas y Naturales

## **PROGRAMA O POSGRADO: Física**

TIRO DE ILUSTRA

ANO DE PRESENTACION: 2024 NUMERO DE PAGINAS: 47

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas\_x\_ Fotografías\_x\_ Grabaciones en discos\_ Ilustraciones en general\_x\_ Grabados\_  
Láminas\_ Litografías\_ Mapas\_ Música impresa\_ Planos\_ Retratos\_ Sin ilustraciones\_ Tablas  
o Cuadros\_x\_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
--------	--------------	---------	---	----------	------	--------	--------

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: No

**MATERIAL ANEXO:** No

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

Español	Inglés	Español	Inglés
1. chip de estado sólidos	_____	6. termopila	_____
2. radiación solar	_____	7. calibración	_____
3. medición	_____	8. comparación	_____
4. electrónica	_____	9.	_____
5. registros de datos	_____	10.	_____

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

La ciudad de Neiva-Huila está ubicada en la posición geográfica 2°55'38.3"N 75°16'54.8"W con una altura de 442 m.s.n.m (NEIVA-Google Maps), con una radiación media multianual entre los 3.5 kWh/m<sup>2</sup> a 5kWh/m<sup>2</sup> (atlas-IDEAM) siendo una de las ciudades del país con la menor variación de radiación solar a lo largo del año en el territorio nacional. Esta característica particular despierta la curiosidad de las personas sobre el potencial solar para su aprovechamiento en la producción de energía eléctrica local aislada o de inyección a red, sin olvidar las repercusiones en la agronomía (radiación PAR) y en la salud de las personas (índice UV). Por eso, es importante establecer el recurso solar para proyectos de energías renovables atendiendo la floreciente necesidad de estas tecnologías en el país.

Este prototipo estará compuesto principalmente por un sensor de estado sólido, el circuito integrado (IC) Si1145 el cual está constituido por un sensor de proximidad infrarroja, luz ambiental y con un algoritmo para la estimación del índice ultravioleta (UV), todo encapsulado con una interfaz digital a protocolo de Circuitos Inter-Integrados (I2C). Los sensores están sustentados en una serie de fotodiodos de diferentes áreas activas y con sensibilidad a diferentes longitudes de onda, los cuales están conectados a una lógica de conversores análogos digitales (ADC) que permiten ajustar múltiples características a la hora de tomar la medición(Silicon Laboratories Inc.).



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The city of Neiva-Huila is located in the geographical position 2°55'38.3"N 75°16'54.8"W with an altitude of 442 m.a.s.l. (NEIVA-Google Maps), with an average multiannual radiation between 3.5 kWh/m<sup>2</sup> to 5kWh/m<sup>2</sup> (atlas-IDEAM) being one of the cities in the country with the lowest variation of solar radiation throughout the year in the national territory. This particular characteristic arouses people's curiosity about the solar potential to be used in the production of isolated local electricity or injection into the grid, without forgetting the repercussions on agronomy (PAR radiation) and on people's health (UV index). Therefore, it is important to establish the solar resource for renewable energy projects in response to the burgeoning need for these technologies in the country.

This prototype will be composed mainly of a solid-state sensor, the Si1145 integrated circuit (IC) which is constituted by an infrared proximity sensor, ambient light and an algorithm for the estimation of the ultraviolet (UV) index, all encapsulated with a digital interface to the Inter-Integrated Circuits (I2C) protocol. The sensors are supported by a series of photodiodes from different active areas and with sensitivity to different wavelengths, which are connected to a logic of analog digital converters (ADCs) that allow multiple characteristics to be adjusted when taking the measurement (Silicon Laboratories Inc.).

By means of the algorithm proposed by the manufacturer of the IC and with which it is intended to be developed, it is expected to be able to take full advantage of the versatility of this device, obtaining in addition to the photometric magnitudes (in luxes and UV index), estimating the infrared solar radiation and the visible solar radiation (in W/m<sup>2</sup>).

To read and control the sensor, the I2C interface with microcontroller will be used, the ATMEGA 328PU integrated circuit under the ARDUINO development environment which will manage the information coming from the sensor and thus be able to read the radiation and other variables of interest. The unit will have all the necessary components for its proper operation that guarantees continuous data capture such as: screen, keyboard, memory, main power supply and an auxiliary power supply.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Jurado: DANIEL SUESCUN DIAS

Firma:

Nombre Jurado: FERNAND DIAS FRANCO

Firma:

# **CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN PIRANÓMETRO CON CHIP DE ESTADO SÓLIDO**

Presentado por:  
**JHONATHAN A SERRATO VALDERRAMA**  
Código: 20152141983

Universidad Surcolombiana  
Facultad ciencias exactas y naturales  
Neiva-Huila  
Colombia  
2024

## Tabla de contenido

<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	3
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	5
<b>INFORMACIÓN DE PROPUESTA .....</b>	6
<b>RESUMEN .....</b>	7
<b>ANTECEDENTES .....</b>	9
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	12
<b>OBJETIVOS.....</b>	14
<b>Objetivo general: .....</b>	14
<b>Objetivos específicos:.....</b>	14
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	15
<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:.....</b>	46
<b>FINANCIACIÓN Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....</b>	47
<b>BIBLIOGRAFÍAS .....</b>	48

# INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sensor SQ-100x-SS .....	11
Figura 2 respuesta espectral del sensor SQ-100X-SS .....	11
Figura 3 Esquema de la estación CENEGAA Interior .....	11
Figura 4 Esquema de la estación CENEGAA exterior .....	11
Figura 5 Gráfica de la variación solar promedio Anual (elaboración propia con datos de: NASA/POWER CERES. 2023) .....	12
Figura 6 Ondas electromagnéticas .....	15
Figura 7 El espectro electromagnético. (Sears – Zemansky, 2009, P. 1095) .....	16
Figura 8 Distribución de la radiación solar. (UNET, 2016) .....	17
Figura 9 Fotografía de un piranómetro (fuente: <a href="https://senovant.com/productos/meteorologia/piranometros-meteorologia/piranometro-fotovoltaico-con-modbus-2/">https://senovant.com/productos/meteorologia/piranometros-meteorologia/piranometro-fotovoltaico-con-modbus-2/</a> ) .....	18
Figura 10 Estructura interna del piranómetro (fuente: <a href="https://learningdata.hubiberiaagrotech.eu/sensores-de-radiacion">https://learningdata.hubiberiaagrotech.eu/sensores-de-radiacion</a> ) .....	18
Figura 11 Fotografía de un pirhelímetro (fuente: <a href="https://senovant.com/productos/meteorologia/piranometros-meteorologia/medidor-de-radiacion-solar/">https://senovant.com/productos/meteorologia/piranometros-meteorologia/medidor-de-radiacion-solar/</a> ).	19
Figura 12Esquemático y fotografía del sensor (Silicon. Laboratories-2022) .....	20
Figura 13 Distribución de pines (store-usa.arduino.cc) .....	22
Figura 14 Diagrama de bloques del sensor SI1145 .....	25
Figura 15Prototipo del sensor montado en protoboard .....	25
Figura 16 Circuito esquemático .....	26
Figura 17 Diseño circuito impreso.....	27
Figura 18 Fabricación del Diseño PCB de la placa de circuito impreso -PCB-, en el programa LABCENTER PROTEUS; en representación 3D de la tarjeta pCB.....	27
Figura 19 Impresión en acetato para luego pasarlo a la tarjeta PCB.....	28
Figura 20 Impresión de la tarjeta PCB sobre la cara de cobre virgen de la baquelita (imagen de la izq.). Circuito impreso recién fabricado luego del fijarlo con químico (imagen de la der.....	28
Figura 21 Montaje de los elementos electrónicos y conexiones en la tarjeta PCB .....	29
Figura 22 Montaje del circuito y baterías en cajas de PVC.....	30
Figura 23 Comprobación y desempeño del circuito.....	30
Figura 24 Proceso de calibración del sensor en modo luxómetro .....	31
Figura 25 Proceso de calibración preliminar del sensor para la estimación de radiación solar .....	32
Figura 26 Preparación y disposición de los sensores frente a la lámpara halógena. ....	33

Figura 27 Modelo de referencia: termopila de laboratorio (kipp & zonen CA2) (izq)	Lampara Halógena de 120V y	34
300W @ 3200K (der) .....		
Figura 28 Montaje de la sección exterior (izq) e interior (der) del cuarto oscuro.	.....	34
Figura 29 Regresión de potencia para la obtención de la ecuación de conversión del sensor Si1145. ....	35	
Figura 30 Respuesta del sensor Si1145 en comparación con el equipo radiómetro (termopila) en condiciones de		
laboratorio con lampara halógena, elaboración propia. ....	35	
Figura 31 Montaje de los sensores en la azotea de laboratorios de ciencias exactas de la Universidad		
Surcolombiana. ....	36	
Figura 32Disposición de los sensores en la azotea en función de la hora. ....	37	
Figura 33 Condiciones de la bóveda celeste durante el día de la medición.....	38	
Figura 34 Adquisición de datos. ....	39	
Figura 35 Muestreo de la radiación global del radiómetro y el sensor Si1145 durante 6 horas. ....	39	
Figura 36 . Dispersión de los datos de radiación global del radiómetro junto con el sensor Si1145 durante 6		
horas. ....	40	
Figura 37 Dispersión de los datos de radiación global del radiómetro con el sensor Si1145 durante el medio día		
de 11:45 -13:40. ....	41	
Figura 38 Medidas de la radiación global en el transcurso del medio día de 11:45-13:40. ....	41	
Figura 39 Presentación final del prototipo. ....	42	

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Descripción de pines del ATmega 328P .....	21
Tabla 2 . Interpretación de los valores típico de MAPE .....	40
Tabla 3 Cronograma .....	46
Tabla 4 Costo Estimado Total del Proyecto .....	47

## **INDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1 Algoritmo del fabricante para ajuste de medidas del luxómetro. ....	31
Ecuación 2 Calibración para la medición de radiación solar, elaboración propia .....	33
Ecuación 3 Factor de conversión del sensor Si1145 .....	35

# INFORMACIÓN DE PROPUESTA

<b>Título de la propuesta de trabajo de grado:</b>	Construcción Y Calibración De Un Piranómetro Con Chip De Estado Sólido.
<b>Tipo de investigación:</b>	Experimental
<b>Grupo de investigación:</b>	FIASUR
<b>Asesor:</b>	Armando Losada Medina
<b>Faculta-programa:</b>	Ciencias Exactas y Naturales- Física
<b>Lugar:</b>	Universidad Surcolombiana
<b>Duración del proyecto:</b>	6 meses
<b>Palabras claves:</b>	Radiación Solar, Medición, Piranómetro, sensores de estado sólido, Electrónica, Registro de datos

## **RESUMEN**

La ciudad de Neiva-Huila está ubicada en la posición geográfica 2°55'38.3"N 75°16'54.8"W con una altura de 442 m.s.n.m (NEIVA-Google Maps), con una radiación media multianual entre los 3.5 kWh/m<sup>2</sup> a 5kWh/m<sup>2</sup> (atlas-IDEAM) siendo una de las ciudades del país con la menor variación de radiación solar a lo largo del año en el territorio nacional. Esta característica particular despierta la curiosidad de las personas sobre el potencial solar para su aprovechamiento en la producción de energía eléctrica local aislada o de inyección a red, sin olvidar las repercusiones en la agronomía (radiación PAR) y en la salud de las personas (índice UV). Por eso, es importante establecer el recurso solar para proyectos de energías renovables atendiendo la floreciente necesidad de estas tecnologías en el país.

El propósito de este trabajo es poder desarrollar un instrumento de medición solar, llamado piranómetro a través de un circuito integrado o chip que se encuentra en el mercado nacional de bajo costo, con el fin de desarrollar un dispositivo radiométrico de diseño y construcción local para aplicarlo en la producción de energía solar, meteorológico o en el campo de la medicina ya que se sabe que la radiación a ciertas horas del día es nociva para la piel.

Este prototipo estará compuesto principalmente por un sensor de estado sólido, el circuito integrado (IC) Si1145 el cual está constituido por un sensor de proximidad infrarroja, luz ambiental y con un algoritmo para la estimación del índice ultravioleta (UV), todo encapsulado con una interfaz digital a protocolo de Circuitos Inter-Integrados (I<sub>2</sub>C). Los sensores están sustentados en una serie de fotodiodos de diferentes áreas activas y con sensibilidad a diferentes longitudes de onda, los cuales están conectados a una lógica de conversores análogos digitales (ADC) que permiten ajustar múltiples características a la hora de tomar la medición (Silicon Laboratories Inc.).

Mediante el algoritmo propuesto por el fabricante del IC y con el que se pretende desarrollar, se espera poder aprovechar al máximo la versatilidad de este dispositivo, obteniendo además de las magnitudes fotométricas (en luxes e índice UV), estimar la radiación solar infrarroja y la radiación solar visible (en W/m<sup>2</sup>).

Para realizar la lectura y control del sensor, se usará la interfaz I<sub>2</sub>C con microcontrolador, el circuito integrado ATMEGA 328PU bajo el entorno de desarrollo ARDUINO el cual administrará la información proveniente del sensor y así poder leer la radiación y demás variables de interés. La unidad contará con todos los componentes necesarios para su adecuada operación que garantice una captura continua de datos tales como: pantalla, teclado, memoria, fuente de alimentación principal y una fuente de alimentación auxiliar.

Este piranómetro será el primer dispositivo para la cuantificación de la radiación global de un conjunto de otros sensores necesarios para realizar un estudio más riguroso del recurso solar, la radiación solar como la directa, difusa y reflejada se realiza con instrumentos dedicados a estas magnitudes, sin embargo, no serán objeto de interés en el presente trabajo.

El objetivo primordial en este reto comprende el desarrollo y la fabricación del Piranómetro con materia prima disponible en el territorio nacional, que permita una respuesta aproximada a su homólogo basado en termopilas de alta tecnología y por ende con un valor económico que está fuera del alcance de los presupuestos de pequeños centros de investigación, como los semilleros de investigación y así apoyar al desarrollo de herramientas que permitan cuantificar nuestros recursos naturales.

## ANTECEDENTES

En Neiva la intensa radiación se ha incrementado debido a la destrucción del medio ambiente por cultivos agrícolas intensivos y los mega proyectos energéticos causando que la barrera verde se esté recortando, pero a su vez el bosque seco esté aumentando, a eso se le suma la contaminación ambiental por la actividad humana diaria ocasiona que cada año aumente la radiación solar en la ciudad Neiva.

La radiación solar es un fenómeno físico natural que se presenta a nivel global, su magnitud suele ser constante en el espacio con un valor alrededor de  $1.367,0\text{W/m}^2$ , al pasar por la atmósfera, sufre una atenuación por efecto de la interacción con el campo magnético, la atmósfera y demás partículas suspendidas en el aire terrestre, por ende las condiciones climatológicas de la tierra tales como la presión atmosférica, humedad relativa, temperatura entre otras ajustan aún más el valor de la radiación solar en una determinada zona.

En consecuencia, la implicación de múltiples variables atmosféricas desencadena una incertidumbre en torno a la intensidad y la direccionalidad de la radiación solar, por eso a pesar de tener la misma fuente de radiación (el sol), se experimenta distintas condiciones de luz en distintas partes del planeta o incluso en una misma ciudad, esto es lo que se conoce como microclimas, en consecuencia, ha suscitado un especial interés en estudios en la área de la física aplicada en torno al diseño e implementación de sensores que miden la intensidad y el espectro de luz (radiación solar), motivando a nuevos estudios en el área de la meteorología como el que se hizo en la universidad Silpakorn (Tailandia), (K Tohsing et al, 2019). Proponen el diseño de un piranómetro de bajo costo confiable para medir irradiancia solar de banda ancha, como detector se utiliza un fototransistor BPX43-4 que tiene una respuesta espectral en el rango aproximado entre 450nm a 1100nm, este sistema está controlado por un microprocesador Arduino pro mini ATmega328P (5v,16MHZ) este piranómetro lo comparan con uno comercial el (Kipp&Zonen, Modelo CM21) mostrando concordancia en la irradiancia global obtenida por el prototipo versus el estándar o comercial. El estudio se realizó en el Physikalisch Meteorologisches Observatorium Davos/World Radiation Center, suiza (Davos) es el ente de calibración y observación mundial de meteorología.

De la misma forma se han hecho estudios en la parametrización de los piranómetros hechos con chip de bajo costo. (*Rizqy Nugraha & Adriansyah, 2022*), tiene como objetivo crear un sistema de medición de los diferentes parámetros de radiación solar como la: directa, reflejada y global usando un sistema de registro de datos web donde la información llegue en tiempo real a una base de datos donde posteriormente se recopilada tanto en un pc como en un celular inteligente para que pueda ser comparada y analizada. Del mismo modo se ha hecho investigación a nivel nacional sobre la construcción y diseño de instrumentos de medición solar como: diseño y construcción de un medidor de radiación infrarroja de onda larga (Serrano, Otálora & Chacón, 2020), en este trabajo utilizan sensores de radiación infrarroja, el MLX9061 junto con

un amplificador buffer y un cable blindado cuatro hilos que es el encargado de llevar los datos, los elementos utilizados son de bajo coste y de fácil acceso con lo cual diseñaron y construyeron un piranómetro económico en comparación a los que venden certificados o estandarizados por la organización meteorológica mundial (OMM), que es la encargada de dar los parámetros y los avales de la instrumentación de meteorológica.

En cuanto a lo local, se ha hecho trabajo de investigación sobre el diseño y la construcción de elementos de medición ambiental como el: diseño de instrumentación para el monitoreo de instalaciones solares fotovoltaicas (Losada & Sánchez, 2012), esta investigación aborda la implementación de sensores para el diagnóstico de una instalación solar y las características atmosféricas que afectan a la misma, el instrumento está compuesto por 3 elementos o secciones: la primera, es una estación de medición que trabaja en exteriores y es alimentada con paneles solares, la segunda es una terminal de interacción con el usuario donde se graban los datos, y por último un programa de administración, el cual permitirá el registro y visualización de los datos (Losada & Sánchez, 2012).

La instrumentación certificada es bastante costosa, por eso es importante construir aparatos de bajo coste y de buen acercamiento a las lecturas de los aparatos certificados por la (OMM) por ello es importante tener un parámetro de media certificados, es de ahí la importancia de trabajar junto a la estación del Centro de Investigación en Ciencias y Recursos GeoAgroAmbientales CENIGAA o en ensayos experimentales con lámparas de laboratorio, según su disponibilidad, que dará el parámetro de calibración respecto a las tomas que esté haciendo al piranómetro diseñado y construido con el chip seleccionado.

La estación de CENIGAA está compuesta por un señor SQ-100x-SS de radiación solar, además consta con otros elementos de media como pluviómetros, barómetro, anemómetro. Estos elementos van conectados a una tarjeta electrónica compuesta por cuatro chips que trabajan a 16 bits y son los encargados de procesar las mediciones que hacen los diferentes sensores, el proceso de archivo de datos se hace por medio de una tarjeta micro SD donde guarda datos y también de forma electrónica los trasmite. Es autónoma cuenta con panel solar y batería. La estación está en la coordenadas latitud: 3.063960° con longitud: -75.371778° (estación Ecopetrol Neiva).

## Características Estación CENEGAA:



Figura 1 Sensor SQ-100x-SS

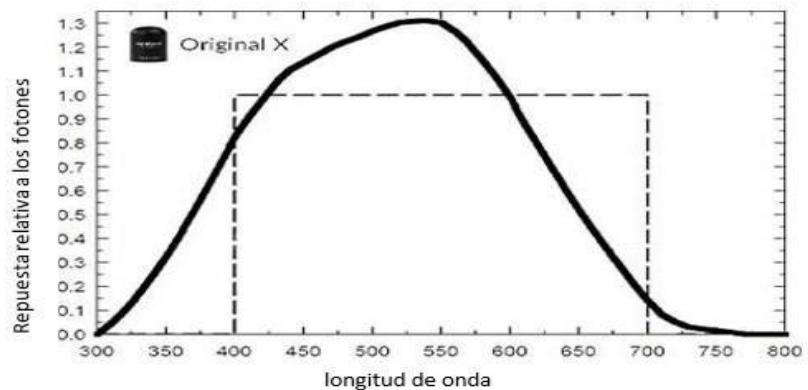


Figura 2 respuesta espectral del sensor SQ-100X- SS



Figura 4 Esquema de la estación CENIGAA exterior



Figura 3 Esquema de la estación CENIGAA Interior

## JUSTIFICACIÓN

Neiva por posición geográfica, recibe una radiación solar media anual muy estable a lo largo del año, unos  $7\text{ kWh/m}^2$  en promedio (ver figura 5), sin embargo, la calidad de la misma es cuestionada (se desconoce variabilidad diaria, dispersión, valores mínimos, valores máximos etc), por ello es importante prestar especial interés en desarrollar dispositivos de bajo costo que permita cuantificar la cantidad de radiación incidente en función del tiempo. Es relevante tener datos de la radiación, ya que sirven para proyectos de energías renovables a futuro.

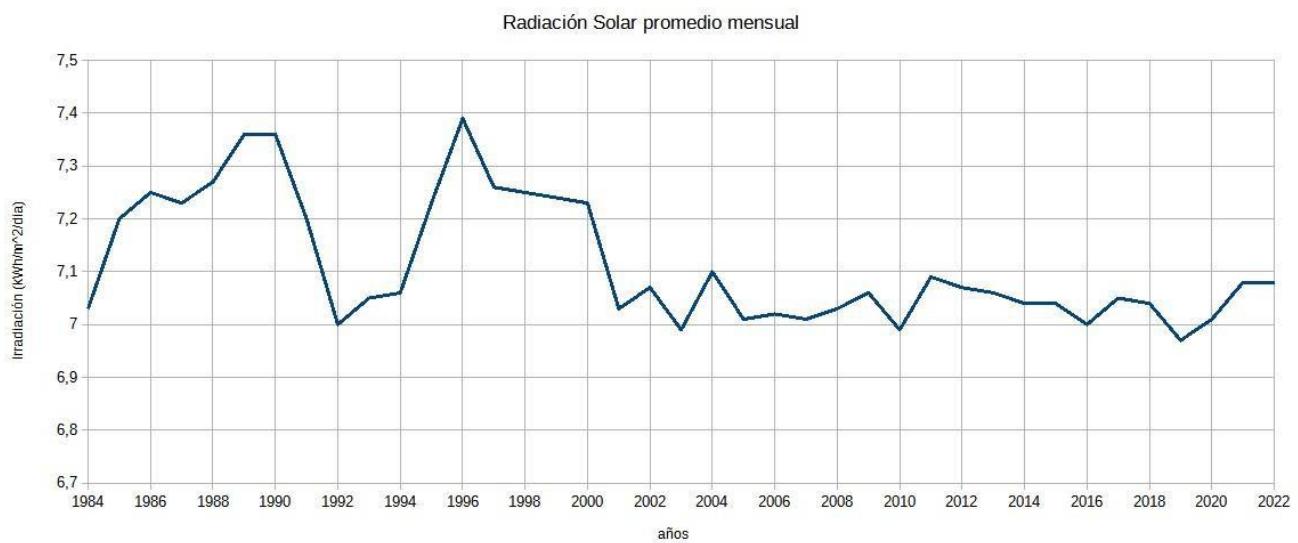


Figura 5 Gráfica de la variación solar promedio Anual (elaboración propia con datos de: NASA/POWER CERES. 2023)

Sobre el monitoreo de la radiación solar se debe tener en cuenta los diferentes estudios que se han hecho sobre la misma, como el estimado de los aerosoles o nubosidad que se presenta en ciertas áreas o zonas donde se van hacer muestreos de radiación solar. Estas variables o factores se deben tener en cuenta, (Lindfors et al.,2013). Profundidad óptica efectiva del aerosol a partir de mediciones de piranómetro de la radiación solar superficial (radiación global) en Salónica Grecia, hacen un mapeo de los aerosoles tanto naturales como los que se generan por actividad humana, usan un método de comparación con dos tipos de elementos de medición solar, el fotómetro que es el encargado de medir cuanta luz incide sobre la columna de vapor de agua, y los piranómetro que miden la cantidad de radiación solar superficial, al tener estas dos mediciones las comparan y logran hacer un diagrama de dispersión de la profundidad óptica logrando llegar a estimar la carga atmosférica de la zona de estudio para tener cuanta disponibilidad habrá de la radiación solar.

La radiación como punto de partida de este estudio, se basa en la utilización de chip o sensores de bajo costo, con el fin de minimizar gastos en la adquisición de equipo para el uso de la meteorología, por eso se busca tener una propuesta viable tanto en lo económico como en lo operacional y es de suma importancia buscar experiencias sobre el uso de este tipo de chip de bajo costo, donde hallan desarrollado un sistema de medición fiable y

económico. Como experiencia se encontró un estudio qué onda en la fabricación de este tipo de elemento, como se hizo (*da Rocha et al., 2021*), elabora sistema de medición de radiación solar superficial basado en fotodiodos de silicio (Si) con un rango espectral entre 300 nm y 1400 nm, incorporando tecnología de Internet de las Cosas (IoT) con un costo estimado de USD 200. El sistema propuesto puede proporcionar niveles instantáneos de radiación solar en superficie, conectividad a redes inalámbricas y un sistema web exclusivo para el seguimiento de datos. A modo de comparación, los resultados se contrastaron con los proporcionados por una estación meteorológica. A partir de estas experiencias se partirá el desarrollo del piranómetro propuesto en este trabajo.

Este estudio tiene como finalidad diseñar y construir un piranómetro con chip de bajo costo, para la obtención de datos de la radiación solar. Se calibrará de manera preliminar de forma experimental en laboratorio, (*Saputro et al., 2022*) comparación del método de calibración de piranómetros para interiores y exteriores en Yakarta.) utilizan piranómetros en cuartos de poca luz para ser irradiados con luz artificial (bombilla incandescente para utilizarlo como método de referencia o respuesta del sensor.

Al tener un patrón de referencia inicial, se procederá a comparar los datos de la radiación solar con una de las estaciones meteorológicas del CENIGAA, con esta estación ya establecida, se comparará la precisión del instrumento que se están utilizando, realizar los ajustes necesarios para acercarse a las mediciones de aparatos radiométricos certificados y calibrados, al tener estas comparaciones se obtendrá que tan preciso sea el chip Si1145.

En cuanto a los piranómetros que se encuentran en el mercado, varían su valor según el fabricante o el distribuidor, podemos encontrar en estos vendedores los siguientes valores: en Didácticas Electrónicas I+D, tienen el modelo de Piranómetro RK200-03 con un valor de \$3.074.618,47, en Amazon está el PMA2144 Digital clase II que cuesta \$5.218,527,00, o el distribuidor español alfa- omega con el modelo LPPYRA03 que cuesta \$4.956,380. Según lo visto los piranómetros tienen un costo bastante elevado, sin embargo, los valores expuestos no contemplan el resto de equipos necesarios para su correcto funcionamiento (adaptadores de señal, sistema de registro, procesamiento de datos, fuente de alimentación y soporte) por eso es necesario diseñar piranómetros económicos y de fácil acceso con el fin de tener un homólogo que tengas las mismas prestaciones y características a los que se venden de forma comercial.

Al desarrollo ese tipo de tecnología de bajo costo, es posible llevarlo a que se replique en los diferentes ámbitos de la vida diaria como, en la agricultura, la energía solar y salud, porque al tener este tipo de instrumento les dará información en tiempo real y les brindara una herramienta para tomar acciones o posibles métodos de protección en cuanto a la magnitud de la radiación solar que estará presente y a la que es expuesto los cultivos y las personas.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo general:**

Diseñar y construir un piranómetro a partir de sensores de estado sólido.

## **Objetivos específicos:**

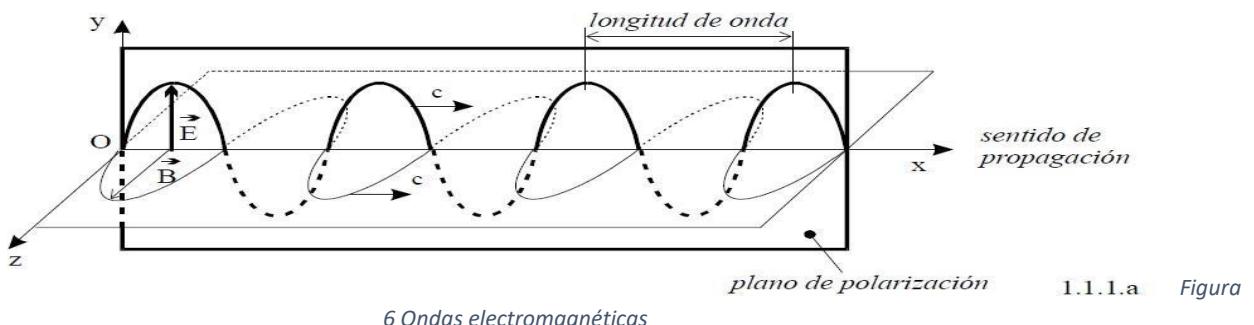
1. Desarrollar una revisión bibliográfica de las características de un piranómetro.
2. Implementar y programar el sensor SI1145 para la detección de la radiación solar.
3. Medir y comparar los datos obtenidos a partir del prototipo con los datos de una de las estaciones de Investigación CENIGAA para evaluar las ventajas y limitaciones del dispositivo.
4. <sup>1</sup>Medir y comparar los datos obtenidos a partir del prototipo sensor de estado sólido Si1145 con los datos de un radiómetro (termopila) Kipp&Zone CA2 disponible en los laboratorios de la universidad, en condiciones controladas y externas)

---

<sup>1</sup> Nuevo objetivo propuesto por imposibilidad logística de lograr el objetivo 3, para más información, dirigirse a la página 32.

## MARCO TEÓRICO

Desde los trabajos teóricos de James Clerk Maxwell, publicados en 1864, se sabe que la energía es susceptible de propagarse en el espacio, sin ningún medio material como soporte bajo la forma de ondas, llamadas *ondas electromagnéticas* (oem).



Por medio de estas ondas electromagnéticas, una parte de la energía emitida por el sol puede llegar hasta la Tierra y mantener así la vida que se ha desarrollado. Para los físicos, una oem es un campo eléctrico y un campo magnético sinusoidales perpendiculares entre sí, que se propagan a la misma velocidad  $c$ : ( $2,99776 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ), según una dirección que es a su vez ortogonal a las direcciones de los vectores que definen ambos campos (ver figura 6-1.1.1.a). El plano que contiene el campo eléctrico se llama *plano de polarización* de la oem. Las propiedades que manifiestan estas oem cuando interactúan con el medio atravesado, dependen de la frecuencia  $v$  de vibración de sus campos y, por tanto, de su *longitud de onda* en ese medio,  $\lambda = c/v$ . (De La Casiniére, Cachorro & Victoria, 2008).

Independientemente, las distribuciones espectrales de la radiación solar y la terrestre apenas se superponen, en las medidas y cálculos, ambas radiaciones pueden tratarse como frecuencias por separado. En meteorología la suma de las dos clases de radiaciones se denomina radiación total. (ORGANIZACIÓN MUNDIAL METEOROLOGIA. -OMM-SEXTA EDICION -1996).

La luz es la radiación que resulta visible al ojo humano. El intervalo espectral de la radiación visible se define por el rendimiento luminoso espectral para un observador corriente, según esta definición el 99% de la radiación visible está comprendida entre 400nm y 730nm. La radiación cuya longitud de onda es inferior a 400nm se denomina ultravioleta, y la de longitud de onda superior a 730nm, infrarroja. (ORGANIZACIÓN MUNDIAL METEOROLOGIA. -OMMSEXTA EDICION -1996).

A modo de ejemplo, las oem de origen solar cubren un rango que alcanza desde el Angström ( $10^{-10} \text{ m}$ ), hasta los 10 km ( $10^4 \text{ m}$ ). Sin embargo, más del 99,8% de la potencia irradiada por este astro está concentrada en una banda estrecha (desde  $0,25 \mu\text{m}$  hasta  $25 \mu\text{m}$ ), y casi el 50% de la banda corresponde únicamente a las oem *visibles*, es decir, [ $0,38 \mu\text{m}$  -  $0,76 \mu\text{m}$ ]. Siguiendo los criterios de la *Comisión Internationale de l'Eclairage* (CIE), se distinguen, de forma convencional, las bandas siguientes: (*La radiación solar en el sistema tierra-atmósfera. Universidad de Valladolid. La Casiniére, Revilla, Victoria. 2008*).

$\mu\text{m } 0,280$	$0,315\mu\text{m UV-de tipo A}$
$\mu\text{m } 0,315$	$0,380 \mu\text{m UV- de tipo B}$
$\mu\text{m } 0,380$	$0,490 \mu\text{m UV- de tipo C}$
$\mu\text{m } 0,380$	$0,439 \mu\text{m Violeta (máximo: } 0,412 \mu\text{m)}$
$\mu\text{m } 0,439$	$0,498 \mu\text{m Azul (máximo: } 0,470 \mu\text{m)}$
$\mu\text{m } 0,498$	$0,568 \mu\text{m Verde (máximo: } 0,515 \mu\text{m)}$
$\mu\text{m } 0,56$	$0,592 \mu\text{m Amarillo (máximo: } 0,577 \mu\text{m)}$
$\mu\text{m } 0,592$	$0,631 \mu\text{m Anaranjado (máximo: } 0,600 \mu\text{m)}$
$\mu\text{m } 0,631$	$0,760 \mu\text{m Rojo (máximo: } 0,673 \mu\text{m)}$
$\mu\text{m } 0,76$	$25,0 \mu\text{m Infrarrojo}$

Pero dentro del espectro electromagnético se encuentran muchas más distribuciones de ondas. Como se muestra en la *Figura 7*

### **Espectro magnético:**

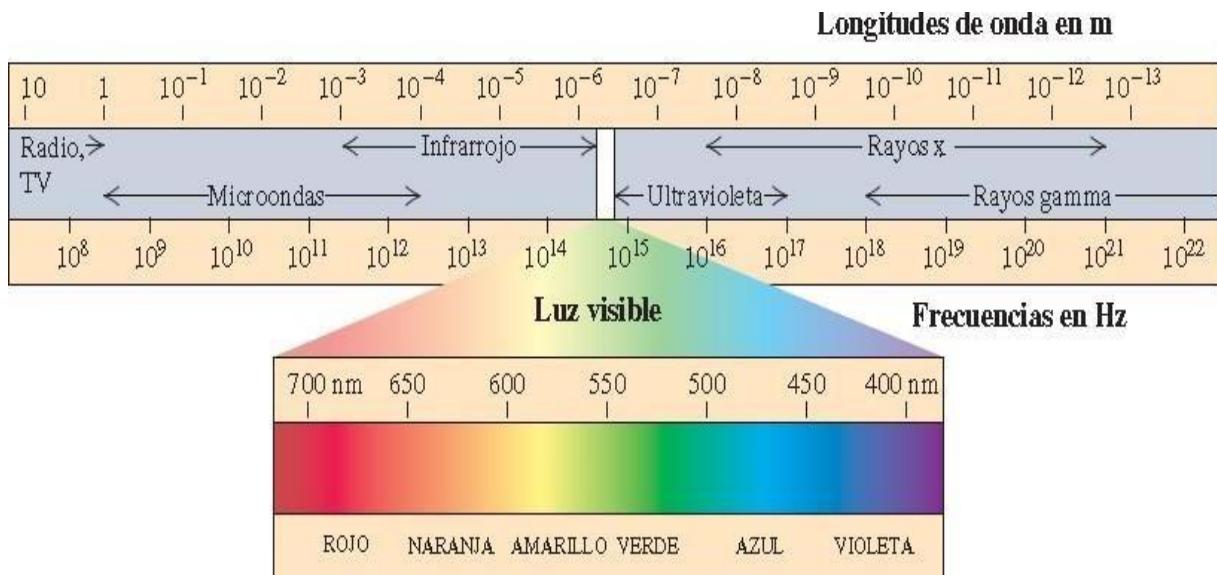


Figura 7 El espectro electromagnético. (Sears – Zemansky, 2009, P. 1095)

### **Tipo de radiación**

La irradiancia absoluta o radiación global (cuyo símbolo es  $G$ ) es aquella que se encuentra dentro de nuestra atmósfera y llega a la superficie terrestre, pero está condicionada por dos factores de distinta naturaleza:

- Factores astronómicos: estos son determinados por la trayectoria entre el sol y la tierra, su posición y de las coordenadas geográficas del lugar de interés (latitud y longitud). Determina la trayectoria de la radiación a través de la atmósfera y el ángulo en que inciden los rayos solares. (Losada & Sánchez, 2012)

- Factores climáticos: La radiación solar máxima no será la misma para cada sitio a una altura y ubicación específica. El clima juega un importante factor, ya que este atenuará la misma. Las nubes, la cantidad de vapor de agua, el ozono, los aerosoles, entre otros residen en la atmósfera y son responsables de esta atenuación, que ocurre principalmente por fenómenos como la absorción, reflexión y difusión de la radiación. (Losada & Sánchez, 2012)

Estos factores hacen que la radiación global se derive en otras clases de radiación como las que se nombran en la *Figura 7*:

- Radiación directa: símbolo (I) es la que llega a la tierra directamente en línea con el disco solar, sin ninguna obstrucción, desviación o atenuación, su unidad es el  $\text{W/m}^2$  (Losada & Sánchez, 2012).
- Radiación difusa: símbolo (D) originada por los efectos de dispersión de las componentes de la atmósfera, incluidas las nubes, al igual que la radiación directa comparten la misma unidad de medida. (Losada & Sánchez, 2012).
- Radiación reflejada: símbolo (R) radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo, similarmente posee la misma unidad de medida a las dos anteriores.

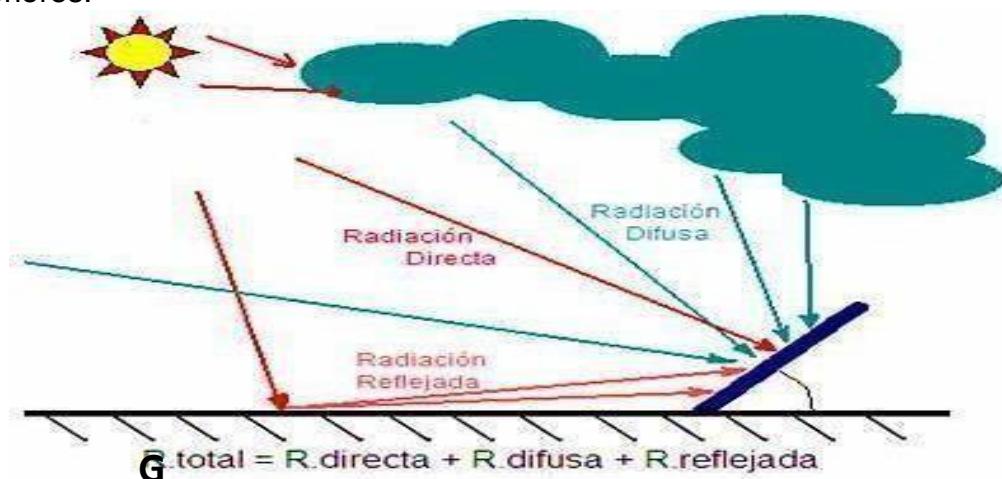


Figura 8 Distribución de la radiación solar. (UNET, 2016)

Por lo visto se puede concluir que la radiación global (total) es la sumatoria de la radiación directa, difusa y reflejada, de acuerdo como lo enseña la (*Figura: 8*), por eso es importante tener el registro de estas magnitudes para así tener un estimado más cercano al efecto de la radiación total o global. Adicional, la proporción de las componentes I, D y R con respecto a G, aportan información importante a la hora de seleccionar la mejor tecnología solar y comprender ciertos fenómenos climatológicos entre otros estudios.

En meteorología y estudio Solar, dependiendo de la clase de componente que se deseé registrar y medir se deberá seleccionar los instrumentos y accesorios adecuados para su respectiva cuantificación:

Piranómetro: este instrumento solo es usado para la medición de la radiación global, radiación sobre una superficie inclinada y radiación reflejada (*Figura: 9*) este instrumento viene encapsulado y compuesto como se muestra en la (*figura 10*), Para registrar la radiación global se dispone el piranómetro sobre un plano a un ángulo sólido de  $2\pi$  estereoradianes sobre una superficie horizontal. Para medir la radiación reflejada es puesto en una posición invertida a dos metros de altura con respecto a la superficie.



Figura 9 Fotografía de un piranómetro

(fuente:<https://sensovant.com/productos/meteorologia/piranometrosmeteorologia/piranometro-fotovoltaico-con-modbus-2/>)

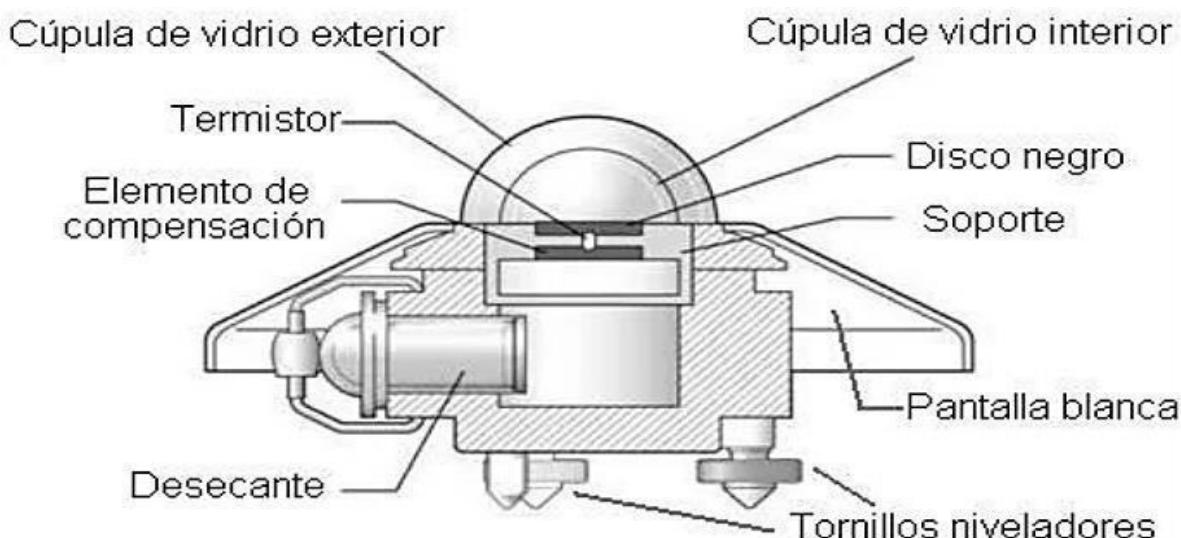


Figura 10 Estructura interna del piranómetro (fuente: <https://learningdata.hubiberiaagrotech.eu/sensores-de-radiacion>)

## **Pirhelímetro**

El Pirhelímetro (figura 11) es un instrumento de medición solar que se emplea con la finalidad de poder determinar la radiación de forma directa, se hace por medio de una ventana o un Angulo sólido para poder determinar la radiación directa, luz (radiación) incide sobre una termopila generando una serie de procesos para convertí el calor en una señal eléctrica que es registrada y convertida en un parámetro físico que se expresa como w/m<sup>2</sup>, asociado a cuanta incidencia de radiación está recibiendo en una superficie o vatios por metro cuadrado.



Figura 11 Fotografía de un pirhelímetro (fuente:

<https://senovant.com/productos/meteorologia/piranometrosmeteorologia/medidor-de-radiacion-solar/> )

## **Chip de estado sólido.**

Un chip de estado sólido o circuito integrado (CI) es un pequeño dispositivo que contiene miles de transistores miniaturizados. Las modernas computadoras y otros milagros electrónicos han sido posibles gracias a los circuitos integrados. (Malvino & Bates-2007).

## **Sensor**

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida traducible que es función de la variable medida. (Nuñez Perez-2010).

## **El Sensor de Luz ambiente SI1145**

El Si1145 (figura 12 esquemático, fotografía) es un detector de proximidad de reflectancia óptica activa, índice UV y sensor de luz ambiental cuyo estado operativo se controla mediante registros de memoria accesibles a través del Interfaz I<sup>2</sup>C. El microcontrolador como se muestra en la (tabla 1), es un administrador o host puede ordenar al Si1145 que inicie la detección de proximidad a pedido o la detección de luz ambiental. El host también puede colocar el Si1145 en un estado de funcionamiento autónomo donde realiza mediciones a intervalos establecidos y generar interrupciones al administrador después de que se completa cada medición. Esto da como resultado un ahorro de energía general del sistema que permite que el administrador funcione durante más tiempo en su estado de suspensión en lugar de consultar frecuentemente el Si1145. (Copyright © 2022 by Silicon Laboratories)

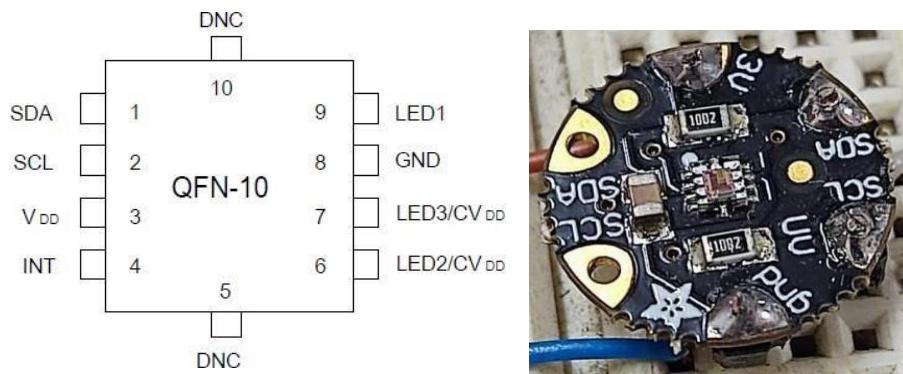


Figura 12 Esquemático y fotografía del sensor (Silicon. Laboratories-2022)

## Descripción de pines

Pin	Nombre	Tipo	Descripción
1	SDA	Bidireccional	Bus de datos I <sup>2</sup> C.
2	SCL	Entrada	Bus de reloj I <sup>2</sup> C.
3	VDD	Poder	Fuente de alimentación.
4	INT	Bidireccional	Salida de interrupción. Pin de salida de interrupción de drenaje abierto. Debe estar en el nivel lógico alto durante la secuencia de encendido.
5	DNC	No aplica	No se conecta. Este pin está conectado eléctricamente a un nodo interno del Si1145. Debería permanecer desconectado.
6	LED2/C V1 DD	Salida	LED2 Salida/Conectar a V DD.1 Sumidero de corriente constante programable, normalmente conectado al cátodo de un LED infrarrojo. Conéctese directamente a VDD cuando no esté en uso.

7	LED3/C V2 DD	Salida	LED3 Salida/Conectar a V DD.2 Sumidero de corriente constante programable, normalmente conectado al cátodo de un LED infrarrojo. Si $V_{LED} < (VDD + 0,5 \text{ V})$ , Se necesita una resistencia pull-up de $47 \text{ k}\Omega$ LED3 a VDD para un funcionamiento adecuado. Conéctese directamente a VDD cuando no está en uso.
8	GND	Poder	Tierra. Voltaje de referencia.
9	LED1	Salida	Salida LED1. Sumidero de corriente constante programable, normalmente conectado al cátodo de un LED infrarrojo.
10	DNC	No aplica	No conectar Este pin está conectado eléctricamente a un nodo interno Si1145. Debería permanecer desconectado.

Tabla 1 Descripción de pines del ATmega 328P

Las entradas y salidas de este chip están conectadas a una tarjeta de desarrollo Arduino el cual se encargará de leer y ejecutar cada lectura que haga el sensor Si1145.

## ARDUINO UNO.

Arduino diseña, fabrica y da soporte a dispositivos electrónicos y software, lo que permite a las personas de todo el mundo acceder fácilmente a tecnologías avanzadas que interactúan con el mundo físico. Nuestros productos son directos, simples y potentes, listos para satisfacer las necesidades de los usuarios, desde estudiantes hasta creadores y desarrolladores profesionales.

Según lo especificado por el fabricante de la placa (figura 13 distribución de pines) de desarrollo Arduino UNO dice que: Arduino UNO es una placa de desarrollo microcontrolador basada en el IC ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), 6 entradas analógicas (ADC), conectado a un resonador cerámico de 16 MHz (CSTCE16M0V53-R0), con una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal de programación ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar la operación del microcontrolador simplemente conectándolo a una computadora con un cable USB o encenderlo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar (Arduino-2023).

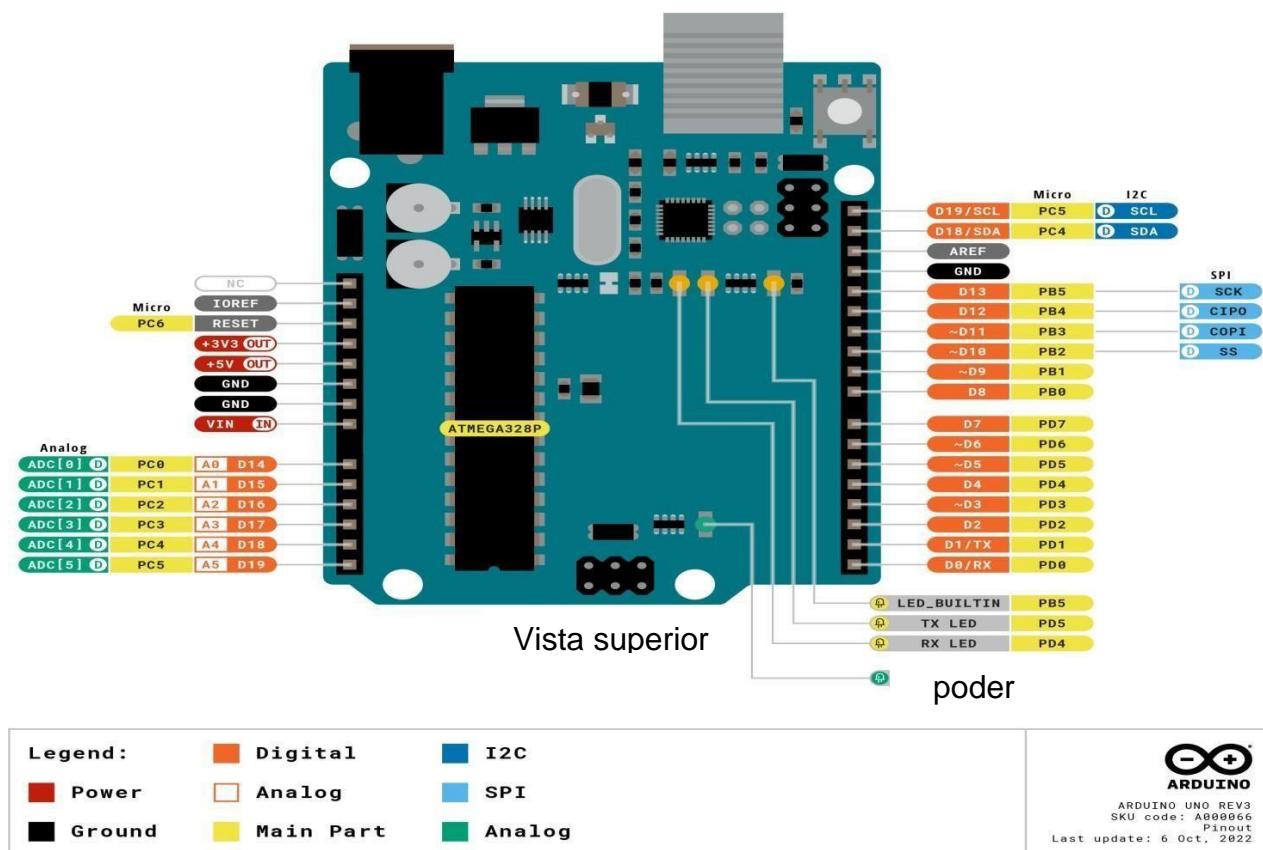


Figura 13 Distribución de pines (store-usa.arduino.cc)

## EL MICROCONTROLADOR ATmega328P

El Atmel® ATmega328P es un microcontrolador CMOS de 8 bits de bajo consumo basado en la arquitectura RISC mejorada AVR®. Al ejecutar poderosas instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATmega328P logra rendimientos cercanos a 1 MIPS por MHz, lo que permite al diseñador del sistema optimizar el consumo de energía en comparación con la velocidad de procesamiento. (Atmel Corporation, 2015).

### CARACTERÍSTICAS:

- Microcontrolador AVR® de 8 bits de bajo consumo y alto rendimiento
- Arquitectura RISC avanzada
  - 131 potentes instrucciones: la mayoría de las ejecuciones de un solo ciclo de reloj
  - 32x8 registros de trabajo de propósito general (equivalente a la cache de una computadora personal)
  - Funcionamiento totalmente estático

- Rendimiento de hasta 16 MIPS a 16 MHz
  - Multiplicador de 2 ciclos en chip
- Segmentos de memoria no volátil de alta duración
  - 32Kbytes de memoria de programa flash autoprogramable en el sistema
  - EEPROM de 1Kbytes
  - SRAM interna de 2 Kbytes
  - Ciclos de Lectura/Escritura: 10.000 en flash/100.000 en EEPROM
  - Sección de código de arranque opcional con bits de bloqueo independientes
    - Programación en el sistema mediante un programa de arranque en el chip
    - Operación real de lectura mientras escribe
  - Bloqueo de programación para la seguridad del software
- Funciones periféricas
  - Dos temporizadores/contadores de 8 bits con preescalador independiente y modo de comparación
  - Un temporizador/contador de 16 bits con preescalador independiente, modo de comparación y modo captura.
  - Contador en tiempo real con oscilador separado
  - Seis canales PWM
  - ADC de 8 canales y 10 bits en paquete TQFP y QFN/MLF
    - Medición de temperatura
  - USART serie programable
  - Interfaz serie SPI maestro/esclavo
  - Interfaz serie de 2 hilos orientada a bytes (compatible con Philips I<sup>2</sup>C)
  - Temporizador de vigilancia programable con oscilador en chip independiente
  - Comparador analógico en chip
  - Interrupción y activación en el cambio de pin
- Funciones especiales del microcontrolador
  - Restablecimiento de encendido y detección de apagón programable
  - Oscilador calibrado interno
- Fuentes de interrupción externas e internas
  - Seis modos de suspensión: inactivo, reducción de ruido ADC, ahorro de energía, apagado, espera y espera extendida
- Pines E/S y paquetes
  - 23 líneas de E/S programables
  - TQFP de 32 derivaciones y QFN/MLF de 32 almohadillas
- Voltaje de funcionamiento:
  - 2,7 V a 5,5 V para ATmega328P
- Rango de temperatura automotriz: -40 °C a +125 °C
  - Grado de velocidad:
    - 0 a 8 MHz a 2,7 a 5,5 V (rango de temperatura automotriz: -40 °C a +125 °C)

- 0 a 16 MHz a 4,5 a 5,5 V (rango de temperatura automotriz: -40 °C a +125 °C)
- Bajo consumo de energía
  - Modo activo: 1,5 mA a 3 V - 4 MHz
  - Modo de apagado: 1 µA a 3 V

## METODOLOGÍA

Se partió por un esquema teórico/experimental, el cual inició con una revisión bibliográfica, posteriormente se evaluaron las características de los elementos encontrados en función de los objetivos planteados y la revisión de la bibliografía teórica. Posteriormente, se evaluó las propuestas iniciales siguiendo el procedimiento:

- 1. SELECCIÓN Y OPERACIÓN DEL SENSOR:** Luego de una exhaustiva búsqueda de sensores y componentes electrónicos disponibles en el mercado nacional, se selecciona el SI1145 por una buena relación costo beneficio, al mismo tiempo de cumplir con las características de un sensor de radiación solar, para implementarlo se utilizó el programa *LABCENTER PROTEUS* para simular las señales así como se muestra en la (figura 14 diagrama de bloques del sensor) en la que trabaja tanto de entra como de salida las cuales permiten que el sistema adquiera datos.

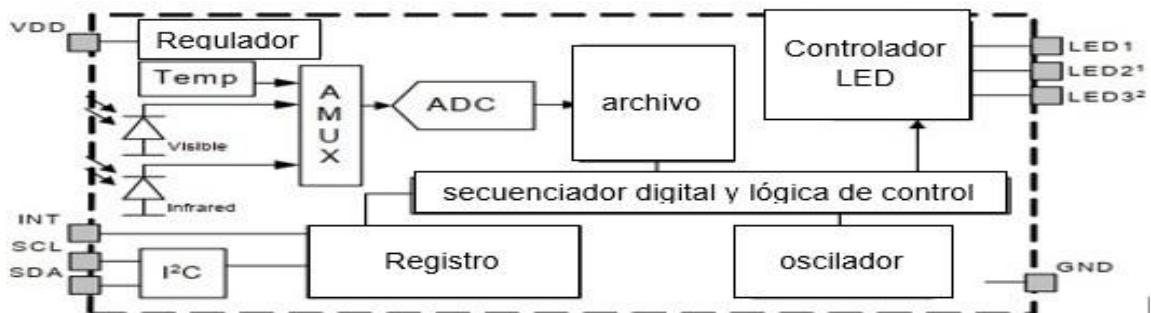


Figura 14 Diagrama de bloques del sensor SI1145

- 2. DISEÑO DEL PROTOTIPO:** Para satisfacer las necesidades energéticas del prototipo, dada su naturaleza altamente electrónica, se utilizó el programa de simulación electrónica *NI. MULTISIM*, que proporcionó un entorno seguro y “económico” para el diseño de la fuente de energía del dispositivo, la cual deberá cumplir los siguientes requerimientos:



Figura 15 Prototipo del sensor montado en protoboard

- Alta eficiencia energética (baja emisión de calor).
- Compatibilidad con cualquier fuente de corriente eléctrica (F.V. Solar, Eólica, batería externa, adaptador AC/DC) a partir de los 12Vdc, para recargar las baterías internas y sostener la operación 24 horas continuas.
- Generar tensión de 3.3Vdc y 5Vdc estable por más de 24 horas a partir de un sistema de almacenamiento interno (baterías de respaldo).

Dada la naturaleza del simulador, se detectaron y corrigieron posibles pérdidas de energía llegando a un esquema inicial con el cual realizar un montaje preliminar (en protoboard).

En cuanto a la simulación de los componentes digitales se realizó con el software *LABCENTER PROTEUS*, en el cual se verificó el desarrollo de la programación, interconexión con la parte analógica simulada en *NI MULTISIM* y posterior diseño de la placa de circuitos como se ilustra en la (figura15 donde se monta el sensor en protoboard para probar la electrónica) para luego ser impreso -PCB- integrando todos los elementos básicos del Arduino UNO, junto con la electrónica y sensórica necesaria para crear una unidad altamente independiente.

A continuación, se presenta el proceso de desarrollo de circuito esquemático y PCB, de una versión ajustada del diseño original de Arduino en función de las necesidades del proyecto:

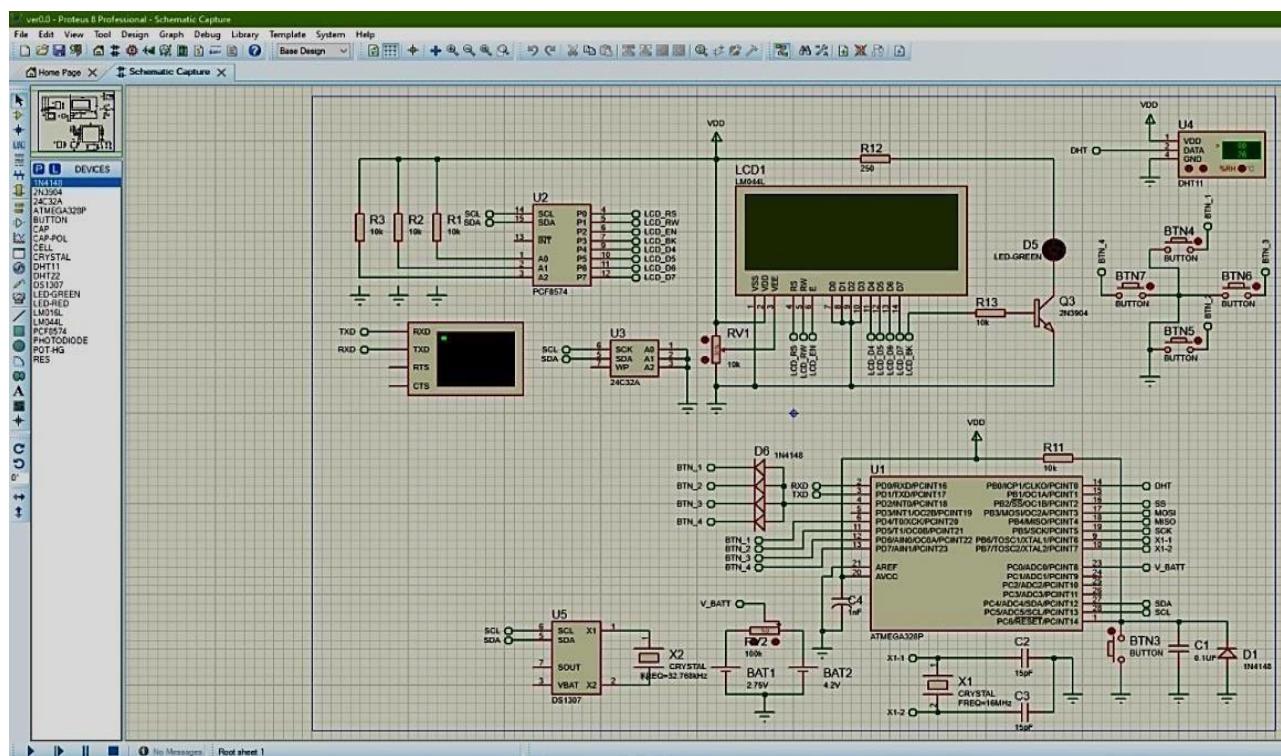


Figura 16 Circuito esquemático

Se utilizo el programa LABCENTER PROEUS como se muestra en la (figura 16 donde se expone el circuito esquemático); y se recrean las conexiones de los elementos electrónicos que se van a incorporar al circuito base del Arduino.

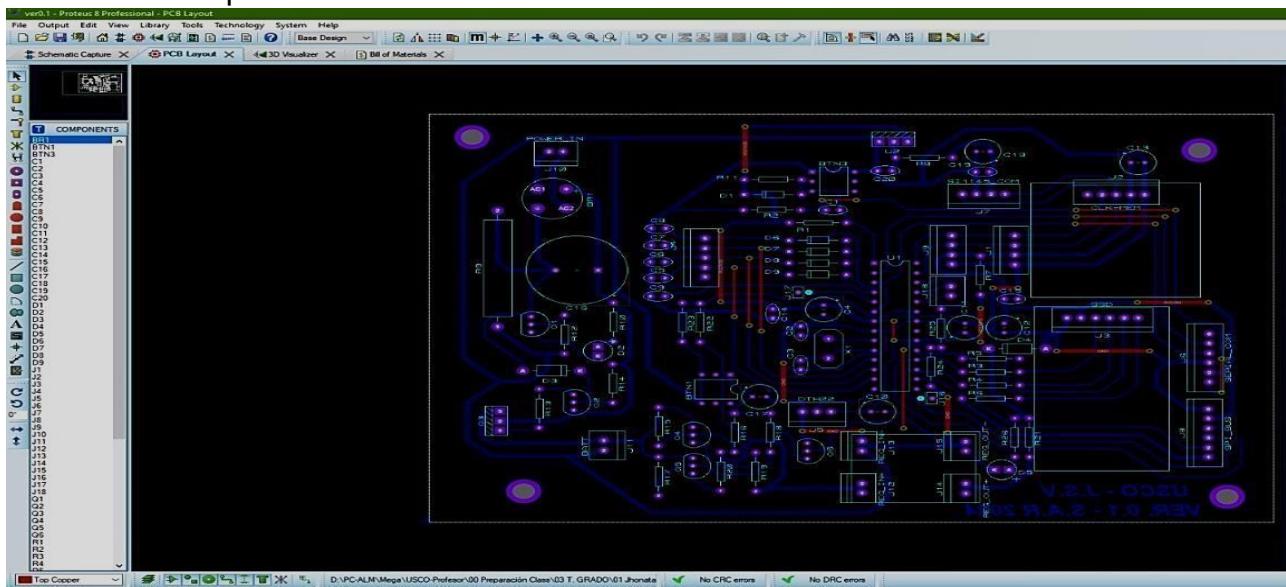


Figura 17 Diseño del circuito impreso

Diseño de la placa de circuito impreso -PCB-, se hizo con el programa *LABCENTER PROEUS*; como se ilustra en la (figura 17 diseño del circuito impreso) muestra las conexiones entre la arquitectura principal del sistema (Arduino modificado), sensores y líneas de alimentación. Este diseño se imprime sobre un acetato para la fabricación del PCB sobre una tarjeta virgen de baquelita y cobre.

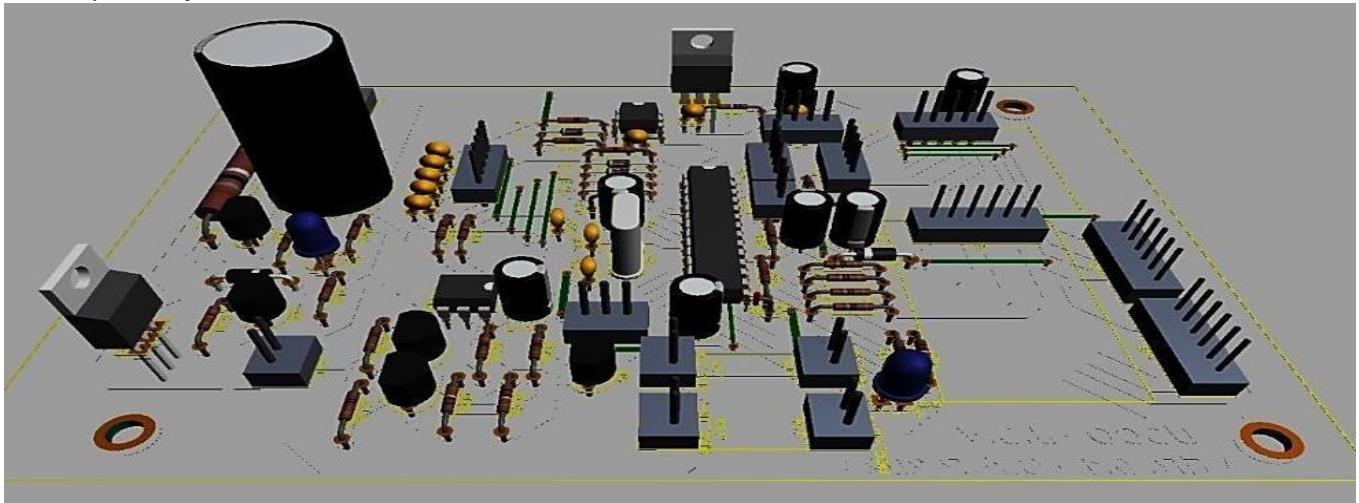


Figura 18 Fabricación del Diseño PCB y representación en 3D de la tarjeta pcb.

Construcción de la placa de circuito y representación en 3D mediante el programa LABCENTER PROTEUS como se muestra en la (figura 18 fabricación del diseño en pcb)

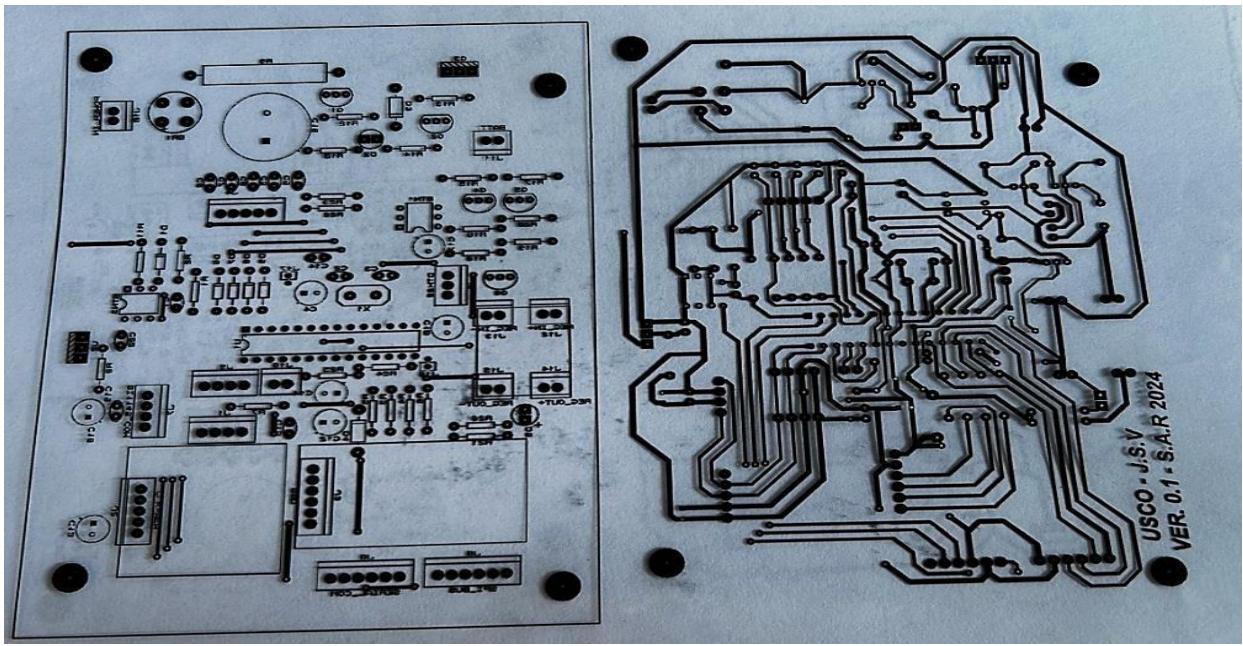


Figura 19 Impresión en acetato para luego pasarlo a la tarjeta PCB

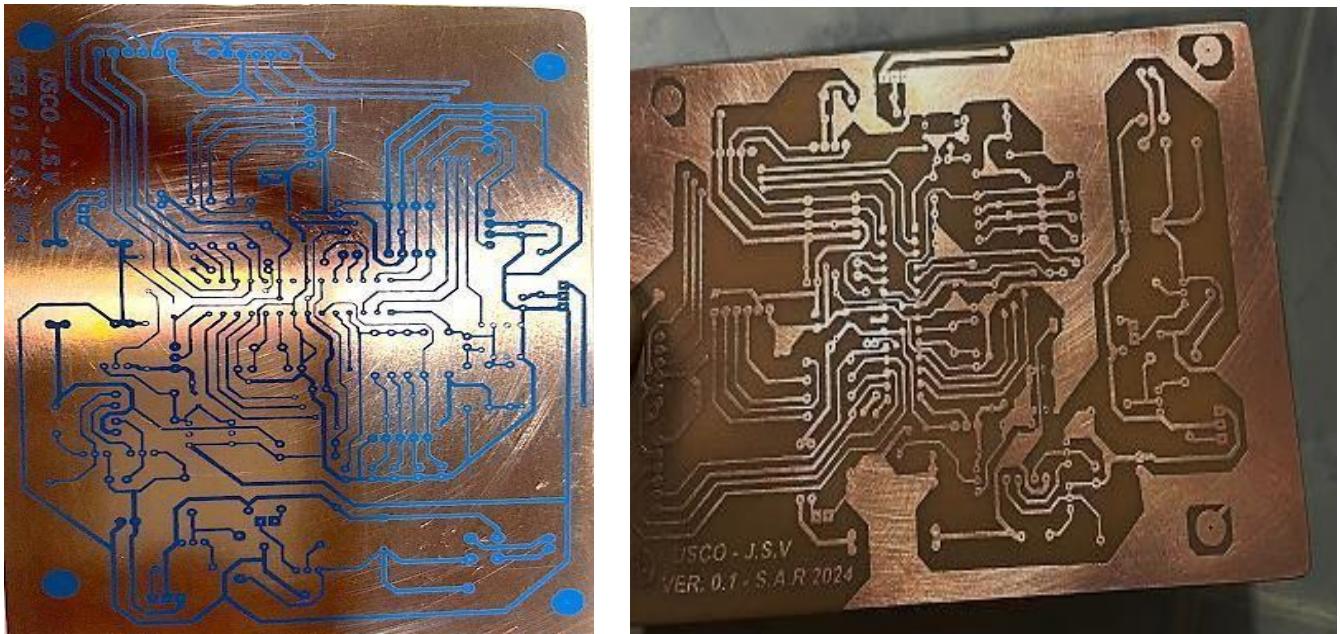


Figura 20 Impresión de la tarjeta PCB sobre la cara de cobre virgen de la baquelita (imagen de la izquierda.). Circuito impreso recién fabricado luego del fijarlo con químico (imagen de la derecha).

Mediante la impresión en acetato se hace el traslado a la tarjeta PCB donde se fija el esquema de las conexiones de los elementos electrónicos y su disposición como se representa en la (figura 19, 20 representación en acetato y tarjeta PCB).

**3. ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN:** se definió el diseño del prototipo y posterior diseño del PCB, se procedió con el ensamble de las piezas de manera permanente, se seleccionó los materiales electrónicos como el corte y soldado de cables, resistencias, interconexión de sensores adicionales, instalación de la memoria de almacenamiento -MicroSD Card-, ensamblaje de las fuentes de alimentación, programación de microcontrolador (Arduino) y todo lo necesario para que la unidad funcione adecuadamente.



Figura 21 Montaje de los elementos electrónicos y conexiones en la tarjeta PCB

Este sistema se manejó bajo el concepto modular que cada uno de sus componentes se pueda conectar o desconectar según las necesidades que se presente al momento de utilizar el dispositivo.

Para darle una adecuada terminación que faculte al sistema entrar en operación en el medio ambiente exterior, se implementó cajillas plásticas de PVC para instalaciones eléctricas exteriores, de esta manera se protege la delicada electrónica del proyecto.

Se hizo una prueba punto a punto con el fin de comprobar que cada elemento tuviera la una distribución de corriente y voltaje de este modo se verifica que cada elemento esté funcionando correctamente como se observa en la (figura 21) se hizo el montaje de elementos electrónicos y se verificó conexiones a la fuente de poder.



Figura 22 Montaje del circuito y baterías en cajas de PVC.

Como se observa en la (figura 22) se acoplan dos cajas, una para el circuito principal y la segunda para la interconexión con los sensores y almacenamiento de baterías, de esta manera se evita el daño al circuito en caso de una falla en las baterías (derrames de electrolito, sobre temperaturas, etc) a su vez proporciona de forma sencilla accesibilidad al usuario para la gestión de la unidad (instalación y configuración). La caja superior es la principal, donde se encuentra la tarjeta PCB totalmente ensamblada y verifica que cada uno de sus componentes estén en total sintonía con el microcontrolador (ATMega 328PU, Arduino), adicionalmente se le proporcionó un blindaje electromagnético por medio de una capa de aluminio a modo de jaula de Faraday, de esta manera se evita que interferencias electromagnéticas exteriores afecten las operaciones del microcontrolador.

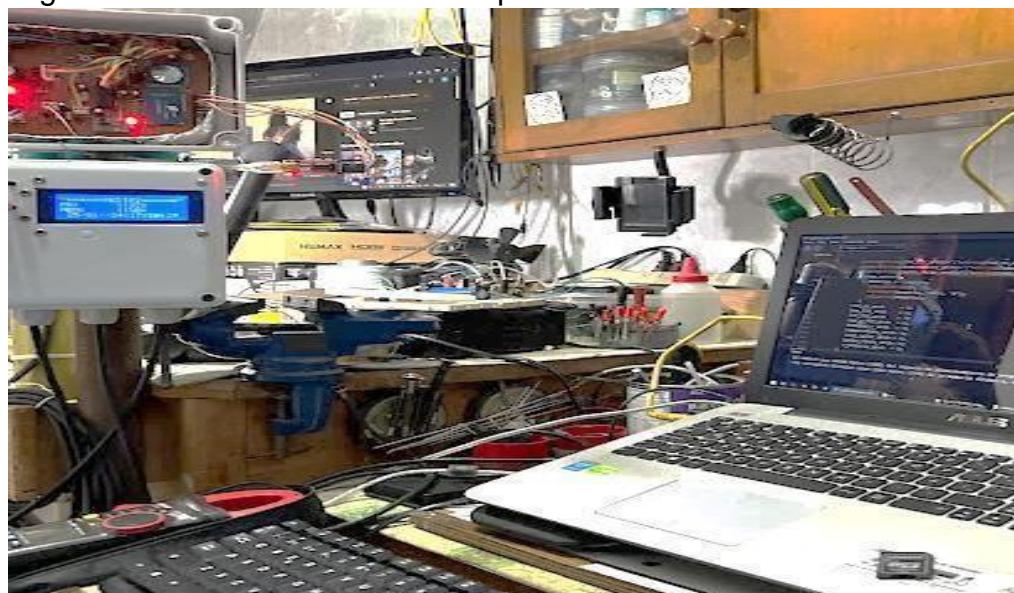


Figura 23 Comprobación y desempeño del circuito

El enfoque general del diseño del sistema fue bajo el concepto, de hacer cambios sencillos de piezas para mantenimientos o actualizaciones, además, se trabajó con código abierto (Arduino-IDE) con el fin de hacerle actualizaciones al momento de calibrar el sensor, estos cambios de código se hacen por un puerto USB fijo conectado a un convertidor USB/SERIE a un computador donde se verifica como se está comportando el procesado y desde luego el sensor SI1145 esto se hace como muestra en la (figura 23) donde se le está haciendo ajuste a nivel de código para las lecturas de radiación además de su comportamiento en general.

**4. CALIBRACIÓN PRELIMINAR:** se llevan a cabo ensayos en laboratorio, el primero consistió en someter al sensor Si1145 junto con un luxómetro bajo la influencia de una lámpara led tipo “luz día” para ajustar su sensibilidad bajo el algoritmo del fabricante para la estimación de los luxes, mediante la ecuación (1) se registró el valor binario de cada sensor con el fin de darle los primeros ajustes al sensor luego de ser sometido a la luz.

$$Luxes = \{[LSVA - LSVO] * G_{LSVA} + [LSIRA - LSIRO] * G_{LSIRA}\} * G_C \quad (1)$$

Donde:

LSVA: Luz solar visible Ambiente

LSVO: Luz solar visible Oscura

$G_{LSVA}$ : Factor de ganancia de la LSVA

LSIRA: Luz solar infrarroja Ambiente

LSIRO: Luz solar infrarroja Oscura

$G_{LSIRA}$ : Factor de ganancia de la LSIRO



Figura 24 Proceso de calibración del sensor en modo luxómetro



Figura 25 Proceso de calibración preliminar del sensor para la estimación de radiación solar.

Se realizó calibración mediante la técnica de cuarto oscuro representada en la Figura 24 como es nombrada en el artículo: (Saputro et al, 2022). Comparación del método de calibración de piranómetro para interiores y exteriores en Yakarta). Se utilizó un luxómetro como método de comparación con el sensor SI1145, con el fin de mirar la respuesta del sensor en cuanto a la medición de la magnitud y de la eficiencia de la programación de la *Ecuación (1)* del fabricante.

Posteriormente se procedió a hacer una prueba a luz ambiente real Figura 25 y someter a comparación los valores obtenidos del sensor SI1145 sin procesar comparándolos con los valores de potencia eléctrica de un panel solar pequeño ya caracterizado.

\*\*\*Inicialmente se tenía la intención de realizar la calibración del sensor Si1145 mediante la comparación con las mediciones de una estación meteorología profesional bajo el control del CENIGAA en la reserva “La Tribuna” para evaluar las ventajas y limitaciones del dispositivo. Desafortunadamente por problemas ajenos del autor y a una aparente falta de comunicación entre las instituciones, no fue posible realizar dicha labor, por lo que se optó por una calibración en los laboratorios de la universidad, usando el radiómetro de la Figura 27 disponible para el objetivo general de la propuesta.

**5. CALIBRACIÓN FINAL:** se desarrolló en el laboratorio mediante un radiómetro junto a una lámpara halógena, se situó de frente a los sensores debido a que la lámpara está de forma horizontal (figura 26).



Figura 26 Preparación y disposición de los sensores frente a la lámpara halógena.

Se configuró su ubicación en forma de un triángulo equilátero para asegurar que la radiación generada por la lámpara fuera homogénea tanto para el sensor como para el radiómetro. En cada vértice están distanciados por 15cm entre cada elemento y asegura las mismas condiciones de operación.

Posteriormente se compararon las medidas de cada sensor, después de hacer el análisis correspondiente a los datos, como:

- Normalización de los valores digitales del sensor Si1145 en función de la radiación máxima registrada.
- Distribución porcentual en función de la radiación atmosférica según los estudios meteorológicos proporcionados por el IDEAM.

$$Rad_{norm} = \left( \frac{LSVA}{615,88} \right) * 0.47 + \left( \frac{LSIRA}{9406,05} \right) * 0.46 + \left( \frac{LSUVA}{275,21} \right) * 0.070 \quad (2)$$

Donde:

$Rad_{norm}$ : Radiación normalizada (0-1) adimensional.

$LSVA_{BIN}$ : Binario de radiación visible ambiente registrado por el sensor Si1145.

$LSIRA_{BIN}$ : Binario de radiación infrarroja ambiente registrado por el sensor Si1145.

$LSUVA_{BIN}$ : Binario de radiación ultravioleta ambiente registrado por el sensor Si1145.

En el proceso de calibración del sensor Si1145 se logró llegar a un método de calibración propio (2) bajo las condiciones medio ambientales de la ciudad de Neiva.

Los valores 0.47, 0.46 y 0.072 corresponde al porcentaje de presencia sobre la atmósfera en Colombia según lo establecido por el IDEAM, los valores 615.88, 9406.5 y 275.21 corresponden a los valores máximos promedios registrados por el sensor Si1145 durante los experimentos para obtener la ecuación de calibración.



Figura 27 Modelo de referencia: termopila de laboratorio (kipp & zonen CA2) (izq) Lampara Halógena de 120V y 300W @ 3200K (der)

Para llevar a cabo el proceso descrito en el inciso *Ecuación 2. Calibración final:* se desarrolla un montaje de cuarto oscuro consistente en un encerramiento por medio de cortinas oscuras como se observa en la figura 28 con el fin de evitar perturbaciones del medio exterior ya que los sensores son bastante sensibles a las emisiones de radiación visible del medio ambiente (luz, calor) controlando potenciales lecturas erróneas.

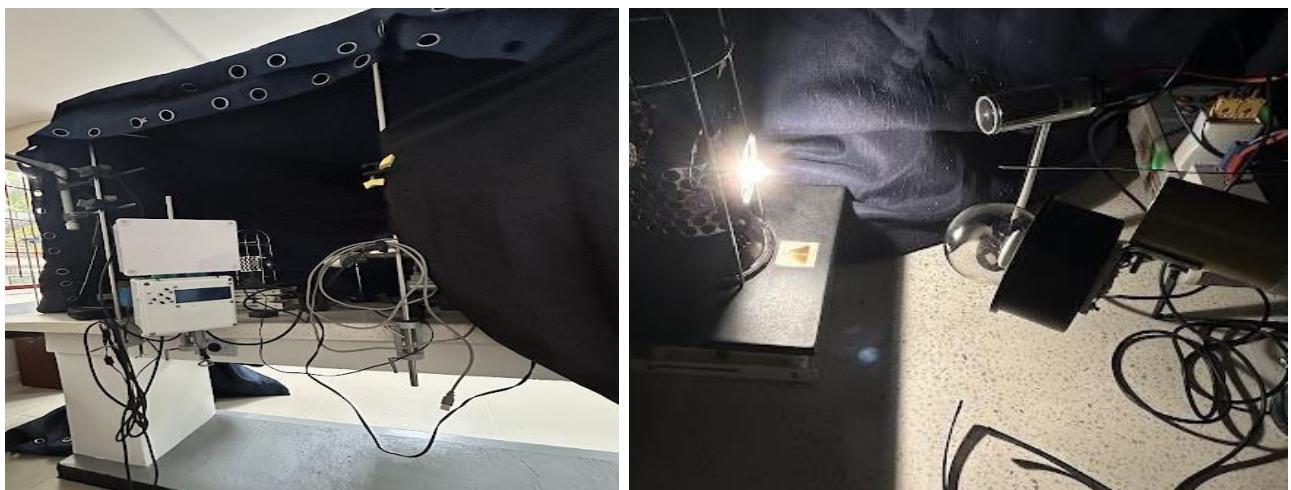


Figura 28 Montaje de la sección exterior (izq) e interior (der) del cuarto oscuro.

Se desarrolló una serie de pruebas con una lámpara halógena para determinar la sensibilidad del sensor Si1145 en contraste al radiómetro con el propósito de ver el funcionamiento a nivel de código; empezando a partir de un nivel de potencia lumínica alta hasta el mínimo y posteriormente desde el nivel bajo hasta la máxima iluminación de la lámpara, este procedimiento permite simular cuando el cielo se encuentre nublado o despejado totalmente.

$$Rad_{solar} \left( \frac{W}{m^2} \right) = 1074 * Rad_{norm}^{0.6} \quad (3)$$

Al finalizar los experimentos se logra llegar al Factor de conversión del sensor Si1145 ecuación (3) que corresponde a la ecuación de calibración para la estimación de radiación solar a través del sensor Si1145 en condiciones controladas.

La forma de la ecuación se obtuvo por una regresión de potencia entre los valores de la radiación normalizada y los valores de radiación del radiómetro como se observa en la (figura 29, 30)

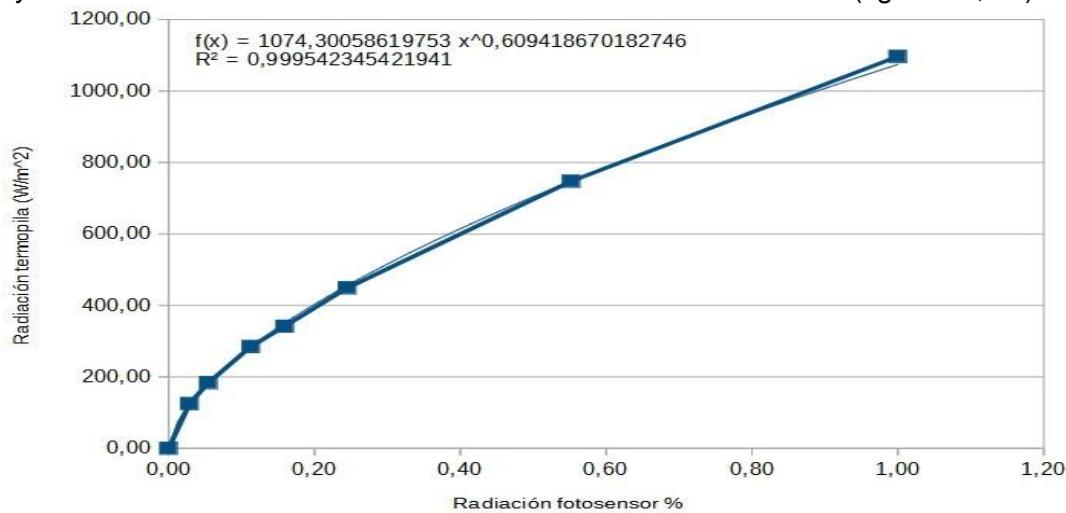


Figura 29 Regresión de potencia para la obtención de la ecuación de conversión del sensor Si1145.

Al observar la *Ecuación (3)*. con respecto a los valores obtenidos de la regresión se observa una reducción en el número de cifras significativas, esto se realiza con la finalidad de ahorrar costo computacional en el microcontrolador seleccionado.

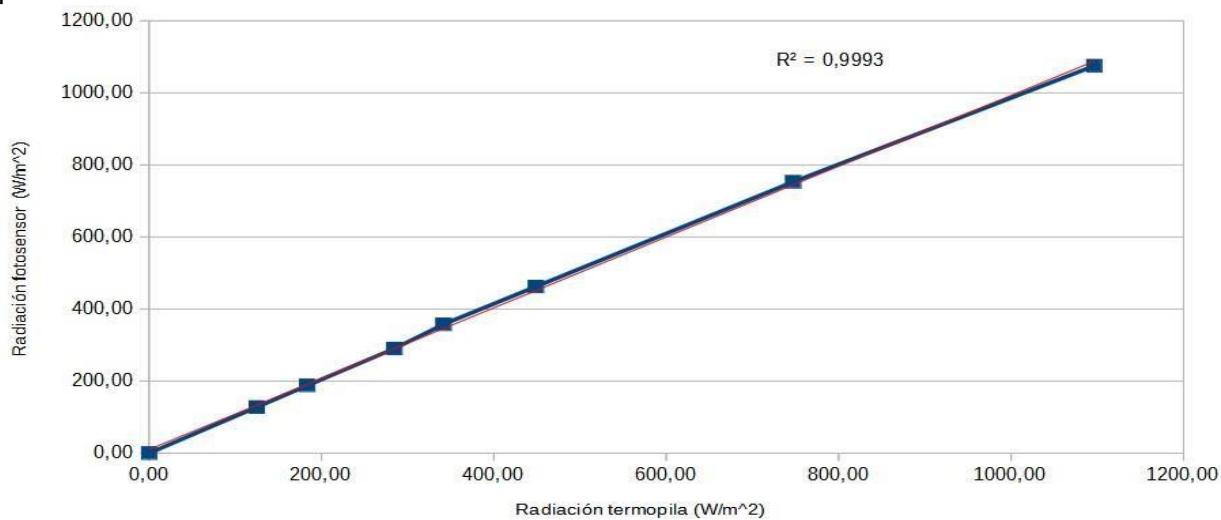


Figura 30 Respuesta del sensor Si1145 en comparación con el equipo radiómetro (termopila) en condiciones de laboratorio con lámpara halógena, elaboración propia.

Posteriormente se aplica la desviación estándar para demostrar la convergencia de los valores y encontrar la incertidumbre entre las medias del sensor y el radiómetro tal como se muestra en la figura 30; realizando el modelo de análisis de datos como lo planteo en el artículo (Nugraha & Adriansyah, 2022) donde comparan los datos mediante una regresión lineal simple para determinar la correlación entre cada equipo.

El resultado de la *Figura 30*, muestra un valor de  $R^2 = 0,9993$  lo que representa un valor de correlación de 0,99% mostrando una fuerte correlación entre las dos mediciones al momento de registrar la magnitud que la lámpara halógena emite.

Al tener el factor de conversión el sensor Si1145, se llevó a cabo una prueba de la radiación solar en ambiente exterior el día 20 de marzo del 2024 (*Figura 31*), durante 6 horas junto al radiómetro (termopila) con el fin de tener un muestreo real y el registro de los diferentes cambios ambientales de la radiación solar que se presentan durante este lapso de tiempo.



*Figura 31 Montaje de los sensores en la azotea de laboratorios de ciencias exactas de la Universidad Surcolombiana.*

Se realizó en la azotea para que no tuviera ninguna interferencia en cuanto a radiaciones reflejada por parte de ventanas o edificios contiguos.

Posteriormente, se instaló el sensor Si1145 horizontalmente junto al radiómetro (termopila), se situó a la misma altura, para que no tuviera ninguna interferencia en cuanto a radiaciones reflejada por parte de ventanas o edificios contiguos. El experimento de la toma de datos tuvo una duración alrededor de 6 horas, a partir de las 11:50 hasta las 18:20.



Figura 32 Disposición de los sensores en la azotea en función de la hora.

En el transcurso de la toma de datos con el radiómetro se hicieron cambio de ángulo cada 30 minutos debido a su sensibilidad angular de  $20^\circ$  en su ventanilla, con la esperanza de igualar la sensibilidad angular de un piranómetro la cual es de  $180^\circ$ . El ajuste se realizó por medio de una nuez junto a una barrilla que funcionaba como pivoté permitiendo el ajuste de ángulo, como si se tratase de un reloj solar, con el fin de hacerle seguimiento al sol para generar un mapeo de la radiación global durante las 6 horas que duró el experimento como se observa en la Figura 31.

El diseño en el que se montó el sensor Si1145 fue sobre un piranómetro debido a que en la literatura se encontró un paralelismo con él al artículo: (Tohsing et al., 2019). Se observó que gran parte de los estudios sobre la radiación solar, los realizan bajo este tipo de dispositivos radiométricos por su alta versatilidad al momento de medir radiación solar. Es por esto que se buscó hacer un paralelo con el artículo (Nugraha & Adriansyah, 2021), donde usan un solo sensor para medir los diferentes tipos de radiación solar, de manera que el sensor Si1145 se podrá utilizar tanto como elemento de una sola medida o como un instrumento multipropósito al momento de programarlo, ya que posee una serie de sensores como un sensor de proximidad infrarroja, índice ultravioleta (UV) y luz ambiental de baja potencia, con lo cual es una buena herramienta para proporcionar varios datos solares. Para este estudio se buscó

previamente el tiempo climatológico adecuado, con el fin de encontrar el cielo despejado debido que para la fecha de los días del mes de marzo de 2024 se presentaban lluvias intermitentes. Se utilizó el tiempo meteorológico del IDEAM junto con software meteorológico en aplicaciones móviles tales como: "The Weather Channel" en Android MIUI 13.03 y "Clima" en IOS 17.4, de esta manera se determinó el día de la toma de datos, el cual tuviera el mínimo de probabilidad de lluvia (por debajo del 10%), esto se realizó por cuestiones previas de estudio (Lindfors et al, 2013), donde hacen un estudio sobre los aerosoles (nubes, polución, por actividad humana, polvo, vapor de agua) que se presentan al momento de medir radiación solar. Estas condiciones son de suma importancia para la medición de la radiación superficial, la cual sirve para cuantificar la carga de aerosoles atmosféricos donde se está realizando el estudio. Acorde a lo planteado en el artículo, se utilizó el tiempo meteorológico como método de estadística para elegir el día propicio para toma de la radiación solar como el que se observa en la *Figura 33*.



*Figura 33 Condiciones de la bóveda celeste durante el día de la medición.*

Adicional a lo anterior y no menos importante, las condiciones del equipo patrón (Radiómetro) no están previstas para trabajo a intemperie, por lo que fue imperativo que el día fuera completamente despejado y sin precipitaciones, de lo contrario la integridad física y funcional de la termopila, Cassy Lab, computadores y demás herramientas estarían comprometidas.



Figura 34 Adquisición de datos.

La extracción de datos se hizo en tiempo real tanto del sensor Si1145 en su memoria micro SD, como con el radiómetro conectado al CassyLab y al computador por puerto USB. En la siguiente sección se entrará en detalles el Análisis de resultados.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS:

La información recolectada por los dos dispositivos, se hicieron bajo condiciones de cielos totalmente despejado para estimar que tan cercano está el sensor Si1145 de estado sólido a la sensibilidad del radiómetro (termopila) como método de calibración.

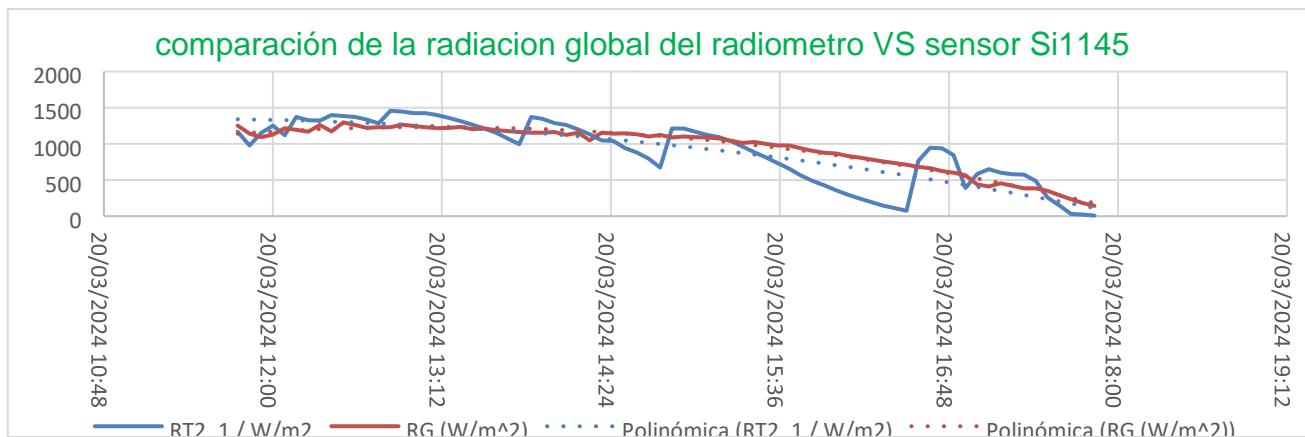


Figura 35 Muestreo de la radiación global del radiómetro y el sensor Si1145 durante 6 horas.

En la Figura 35, muestra la medición de la radiación global por un lapso de tiempo de 6 horas por parte del radiómetro (termopila) junto a el sensor Si1145 como método de calibración.

Para el análisis de los datos se va utilizar el método del error porcentual absoluto medio (MAPE). El MAPE se emplea como cálculo estadístico para evaluar la precisión de los datos del sensor Si1145 a prueba sobre un porcentaje de error, es decir que si el porcentaje es bastante bajo indica que el sensor tiene una buena sensibilidad para medir radiación solar. Para interpretar este tipo de datos se presenta en la Tabla 2 de valor típico del MAPE donde se denomina la eficiencia según el porcentaje que arrojen los datos.

Interpretación de los valores típico de MAPE	
Valor MAPE	Interpretación
<10%	Muy buena
10-20%	Buena
20-50%	regular
>50%	Malo

Tabla 2. Interpretación de los valores típico de MAPE

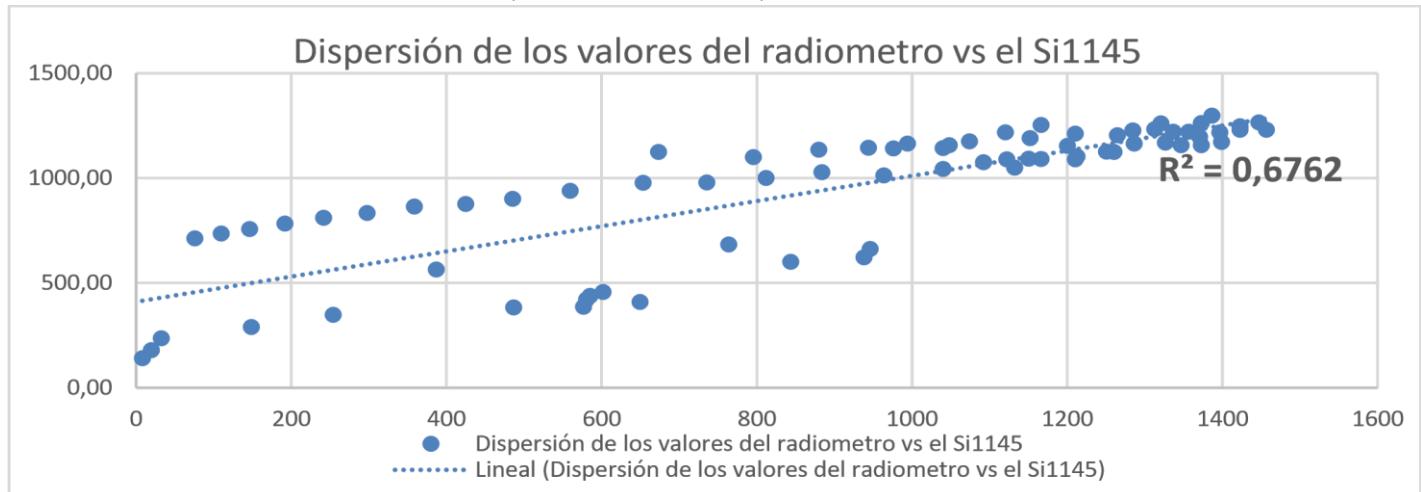


Figura 36. Dispersión de los datos de radiación global del radiómetro junto con el sensor Si1145 durante 6 horas.

En la Figura 36, se contrasta las mediciones de la radiación global por parte del sensor Si1145 con el radiómetro (termopila), dando un valor de  $R^2= 0,6762$ , lo que representa una correlación  $R= 0,82$ , lo que equivale a un 82%, indicando que ahí una fuerte correlación entre estas dos variables. Adicionalmente se utilizó como método de análisis el MAPE en la medición de la radiación global para el sensor Si1145.

El valor MAPE de la medición de la Figura 36, de la radiación global por parte del sensor a prueba da un resultado de cálculo de 58,8% lo que significa que el equipo tiene un criterio malo o insuficiente para la medición de la radiación global. Esto se deriva por la

disponibilidad del radiómetro ya que es un equipo de posición fija, y al tener una sensibilidad angular de  $20^{\circ}$  en su ventanilla de entrada, hace que fluctúe la linealidad en el registro de la radiación global a medida que el sol cambia la posición. Sin embargo, al analizar la figura 37, del muestreo de las 6 horas se logra evidenciar que en el intervalo de tiempo que va desde las 11:45AM a 1:40PM, muestra una relación en los datos de la radiación global por parte de los dos sensores como se detalla en la *Figura 37*.

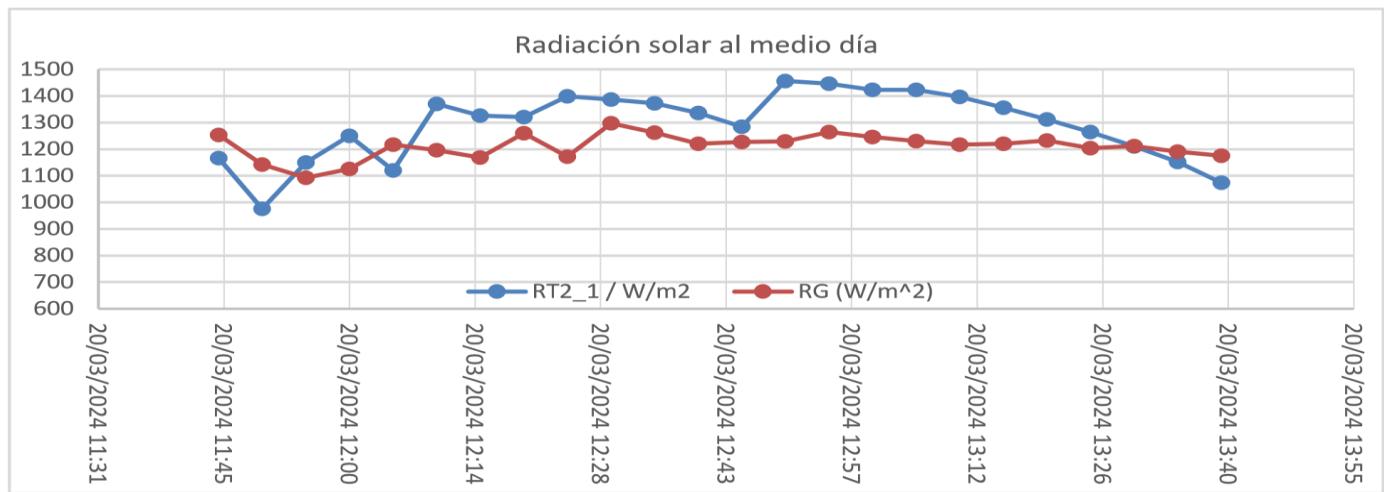


Figura 37 Dispersión de los datos de radiación global del radiómetro junto con el sensor Si1145 durante 11:45Am - 13:40Pm

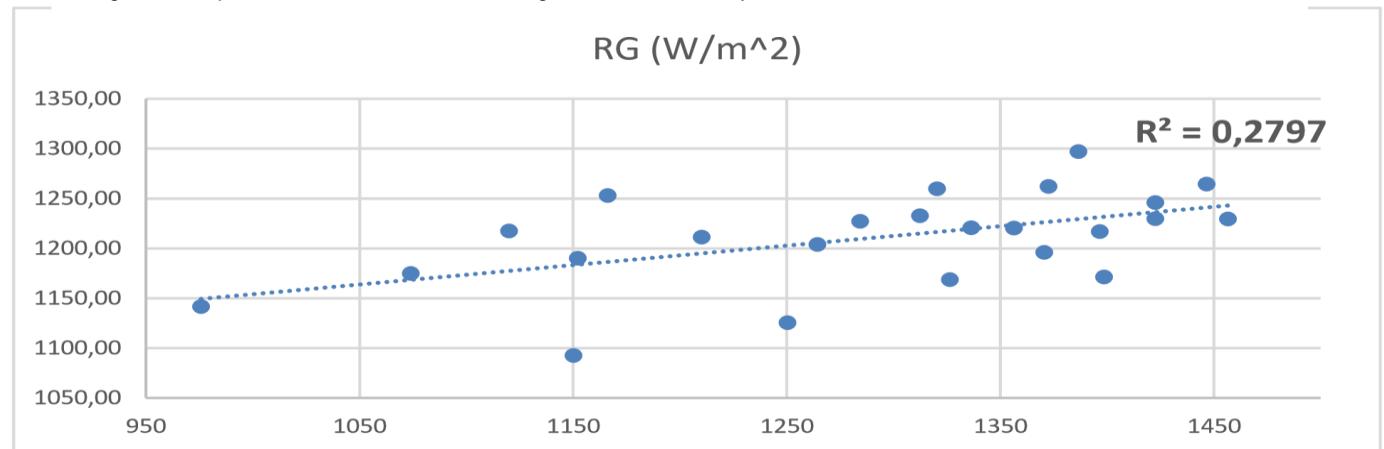


Figura 38 Dispersión de los datos de radiación global del radiómetro junto con el sensor Si1145 durante 11:45-13:40.

Al analizar la Figura 38 aplicándole la dispersión y el MAPE durante este lapso de tiempo (11:45Am - 13:40Pm) en que se registró la radiación global de los dos sensores, se obtiene un coeficiente de determinación de  $R^2= 0,2797$  lo que significa una correlación de  $R= 0,53$  es decir que tienen un 53% de correlación entre las dos variables, y al aplicarle el método MAPE para analizar los datos resultantes de este intervalo, da un valor de 9,6% lo que significa según la Tabla 2, el criterio es muy bueno o adecuado para la medición de la radiación.

## TERMINADO:

Con base a lo obtenido se puede decir que el sensor Si1145 es un buen elemento para la estimación de radiación solar, puesto que al tener algunas dificultades al momento de patronearlo con una radiómetro (termopila) de posición fija al momento de comparar datos durante las 6 horas de muestreo solo mostro una sección de concordancia al comparar datos mostrando una buena relación al medir radiación global, demostrando la versatilidad de los sensores de estado sólido al programarlos para la estimación de la radiación solar, en consecuencia con lo obtenido tanto en laboratorio como en ambiente exterior se puede decir que el chip Si1145 es ideal para la estimación de la radiación solar.



Figura 39 Presentación final del prototipo.

Como se ilustra en la figura 39 es el producto final después de hacerle todas las pruebas correspondientes en términos de durabilidad al momento de estar expuesto a la intemperie, desde luego a la electrónica fue sometida a prueba de alta y baja energía con el fin de medir como registraba y mide al estar bajo estrés eléctrico, dando como resultado un buen instrumento de medición solar que puede ser utilizado en el campo de la meteorología.

## CONCLUSIONES

- Este trabajo propuso el uso de sensores de estado sólido para ayudar a facilitar el acceso a instrumentos como los piranómetros basados en termopilas, los cuales son de difícil acceso a pequeños investigadores por temas logísticos y económicos. A pesar de las limitaciones conocidas (espectrales), la selección de un sensor sensible a 3 rangos espectrales como el Si1145 y de una plataforma de desarrollo popular como la arquitectura de Arduino UNO - ATMEGA328PU- permitió el desarrollo de este dispositivo que se aproxima a una respuesta similar a su equivalente profesional comercial (Radiómetro).
- Durante la fase de desarrollo y calibración, se creó una metodología de calibración en el laboratorio con lámpara halógena, se analizó la sensibilidad del sensor Si1145 ante los diferentes estímulos luz, al tener ya una sensibilidad determinada se le aplicó al sensor de estado sólido la radiación global exterior y posteriormente se registró. El método desarrollado ofrece una herramienta de medición para la radiación global, la cual durante los experimentos arrojó un valor  $R = 0,82$  y un MAPE de puntuación de 58,8% en un intervalo de 6 horas, lo que representa un criterio malo para la medición de cualquier variable física, pero durante el intervalo del medio día da un valor de correlación  $R = 0,53$  y un MAPE de 9,6% representando un mejor comportamiento como instrumento de medida confiable. Estos resultados son originados por la limitación del instrumento patrón, al ser una termopila para laboratorio de uso interior y tener una ventanilla cuya óptica la limita a un ángulo sensible de 20°. Aun así, los resultados son prometedores para continuar con el perfeccionamiento en la óptica del sensor de estado sólido.
- La metodología ideada durante la calibración del dispositivo, facilita ajustes rápidos en las variables de la *Ecuación (2)*. Factor de conversión del sensor Si1145, al ser este un dispositivo electrónico digital, el cual, al estar auto compensado térmicamente, solo es necesario aplicar los ajustes a nivel de firmware, que al estar en entorno Arduino, es de fácil acceso y aplicación.
- Las dificultades encontradas durante el experimento en el exterior, revela la necesidad de contar con un piranómetro certificado, que facilite la labor de calibración, ya que como se demostró con los experimentos de la termopila de laboratorio, es posible ajustar el sensor de estado sólido a la respuesta del instrumento de referencia.

## TRABAJOS FUTUROS

- Gestionar la adquisición del instrumento patrón (piranómetro) de la calidad y prestaciones necesarias para una adecuada calibración en el ambiente exterior.
- A partir del patrón de calidad, ajustar los coeficientes de la *Ecuación (2)*. Factor de conversión del sensor Si1145 para mejorar la precisión del dispositivo.
- Verificar la sensibilidad angular con un piranómetro real.
- Para aumentar las prestaciones del equipo, se puede migrar a una tecnología de 32 bits a una mayor frecuencia de trabajo, agregando un mejor desempeño en el cálculo (mayor presión y estadística), registro.

## **ANEXOS**

- Manual del usuario Piranómetro con chip de estado sólido.

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES:

Actividad/Mes	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	X	X	X			
BÚSQUEDA Y MONTAJE DE LAS PARTES ELECTRÓNICAS DEL SENSOR.		X	X			
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PIRANÓMETRO.			X	X	X	
CALIBRACIÓN DEL SENSOR.				X	X	
COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.				X	X	X
PRESNTAR MANUAL E INFORME FINAL.					X	X

Tabla 3 Cronograma.

En el transcurso de la construcción del piranómetro con chip de estado sólido se realizó el paso a paso como esta demarcado en la Tabla 3, donde especifica el tiempo y obra a realizar.

## FINANCIACIÓN Y PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Para la financiación del proyecto se realizó con recursos propios, se buscó los materiales acordes al presupuesto de \$1.250.000 para materiales.

Actividad	Monto
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	\$ 365.000
BÚSQUEDA Y MONTAJE DE LAS PARTES ELECTRÓNICA DEL SENSOR.	\$ 50.000
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PIRANÓMETRO.	\$ 307.000
CALIBRACIÓN DEL SENSOR.	\$ 150.000
COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.	\$ 50.000
INFORME FINAL.	\$ 11.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 933.000</b>

Tabla 4 Costo Estimado Total del Proyecto

Los valores de la Tabla 4 corresponden a los 6 meses que se va demorar el proyecto.

# BIBLIOGRAFÍAS.

Álvaro B. da Rocha, Eisenhawer de M. Fernández, Carlos A. C. dos Santos, Júlio M. T. Diniz, Wanderley F. A. Junior .2021. Artícul: Desarrollo de un sistema de medición de radiación solar superficial en tiempo real basado en Internet de las cosas (IoT).

Armando Losada Medina, Félix Alejandro Sánchez Bonilla, (Universidad Surcolombiana 2012). Tesis. Diseño de instrumentación para el monitoreo de instalaciones solares fotovoltaicas.

A. V. Lindfors, N. Kouremeti, A. Arola, S. Kazadzis, A. F. Bais, and A. Laaksonen-2013. Artículo: Effective aerosol optical depth from pyranometer measurements of surface solar radiation (global radiation) at Thessaloniki, Greece.

Albert Malvino, David J. Bates. 2007, P. 174. Principios de Electrónica 7 edición.

Arduino - home. (s. f.) 2023. <https://www.arduino.cc/>  
URL: <https://www.arduino.cc/en/about>

Atmel Corporation (DATASHEET) -Rev.: 7810D–AVR–01/15- Microchip Technology Inc. Data Sheet Complete DS40002061A.

URL: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-AutomotiveMicrocontrollersATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-AutomotiveMicrocontrollersATmega328P_Datasheet.pdf) (2015)  
URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-PDSDS40002061A.pdf> (2018)

Bernardo Núñez Pérez. 2010 P. 23. Instrumentación Electrónica en Laboratorio de FISICA 1 edición.

Chiron De La Casiniére, Alain Cachorro Revilla, Revilla Victoria E. (2008). la radiación solar en el sistema tierra-atmósfera. Universidad de Valladolid.

Copyright © 2022 by Silicon. Laboratories. PROXIMITY/UV/AMBIENT LIGHT SENSOR IC WITH I 2C INTERFACE.

David H.Sliney. (1998). Encyclopaedia of Occupational Safety and Health. Non- ionising Radiation.

IDEAM (2023). - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. URL: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>

K Tohsing, D Phaisathit, S Pattarapanitchai, I Masiri, S Buntoung, O Aumporn and R Wattan. 2019. Artículo: *A development of a low-cost pyranometer for measuring broadband solar radiation.* P.1380. Journal of Physics: Conference Series

OMM (2023). - ORGANIZACIÓN MUNDIAL METEOROLÓGICA.

URL: [https://public.wmo.int/es/b%C3%BAqueda-avanzada?search\\_api\\_views\\_fulltext=de%20Instrumentos%20y%20Metodos%20de%20Observaci6n%20Meteorol6gicos%20](https://public.wmo.int/es/b%C3%BAqueda-avanzada?search_api_views_fulltext=de%20Instrumentos%20y%20Metodos%20de%20Observaci6n%20Meteorol6gicos%20)

ORGANIZACIÓN MUNDIAL METEOROLÓGICA. -OMM-SEXTA EDICION -1996.

Muchamad Rizqy Nugraha, Andi Adriansyah (-2022). *A Desarrollo de un Sistema de sensores de radiación Solar con piranómetro.* International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) .

R D Saputro, D Handoko, Q A Nugraha, A Sail, I S Lukito -2022. Comparación del método de calibración de piranómetro para interiores y exteriores en Yakarta.

Sears – Zemansky, 2009, P. 1095. Física General, Física Universitaria vol2

Serrano Franco Cristian, Otálora Porras Yuber & Chacón Cardona Cesar Alexander. (2020). Tesis. Diseño y construcción de un medidor de radiación infrarroja de onda larga.

Tohsing K, Phaisathit D, Pattarapanitchai S, Masiri I, Buntoung S, O Aumporn y R Wattan. (2019). Desarrollo de un piranómetro de bajo coste para medir la radiación solar de banda ancha. Journal of Physics: Conference Series

Weather Spark .Base de datos climatológicos en tiempo real. (2023).

Universidad Nacional Experimental del Táchira, Distribución de la radiación solar– Imagen recuperada- (UNET, 2016). URL: [http://www.unet.edu.ve/~energias/energia\\_sola\\_mas\\_calculos.htm](http://www.unet.edu.ve/~energias/energia_sola_mas_calculos.htm)

Sensor solar SQ-100X-SS. (DATASHEET)

URL: <https://www.apogeeinstruments.com/sq-100x-ss-original-quantum-sensor/>

Diagrama de pines (store-use.arduino.cc)

URL:<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>.

Gráfica de la variación solar promedio Anual. <https://power.larc.nasa.gov/>

Termopila de laboratorio (kipp & zonen CA2)

URL:[Improved accuracy for the CA 2 Laboratory Thermopile - Kipp & Zonen \(kippzonen.com\)](http://Improved accuracy for the CA 2 Laboratory Thermopile - Kipp & Zonen (kippzonen.com))

Lampara halógena.

URL: [64514 300W 120V 20/CS 1/SKU | OSRAM PIA](http://64514 300W 120V 20/CS 1/SKU | OSRAM PIA)



## MANUAL DEL USUARIO

PIRANOMETRO CON CHIP DE ESTADO SOLIDO

JHONATHAN ALEXIS SERRATO VALDERRAMA

UNIVERSIDA SURCOLOMBIANA

FACULTA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA DE FÍSICA

NEIVA

2024

## Tabla de contenido

<b>Apariencia física y accesorios.....</b>	<b>2</b>
<b>Precauciones generales.....</b>	<b>7</b>
<b>Garantía.....</b>	<b>7</b>
<b>Instalación.....</b>	<b>8</b>
<b>Ejecución y configuración del módulo.....</b>	<b>9</b>



APARENCIA FISICA Y ACCESORIOS



*Ilustración 1 Montaje del Piranómetro*

**Señor usuario:**

En este manual se encuentra información acerca del funcionamiento e instalación del Piranómetro que acaba de adquirir; el cual está conformado por:

- El módulo o unidad de registro y control
- Sensor solar
- Sensor de temperatura y humedad
- Cargador
- Manual del usuario



*Ilustración 2. sensor solar.*



*Ilustración 3. sensor de temperatura y humedad.*





Ilustración 4. Unidad de registro y control: el módulo superior es el de registro y el módulo inferior es el de baterías.

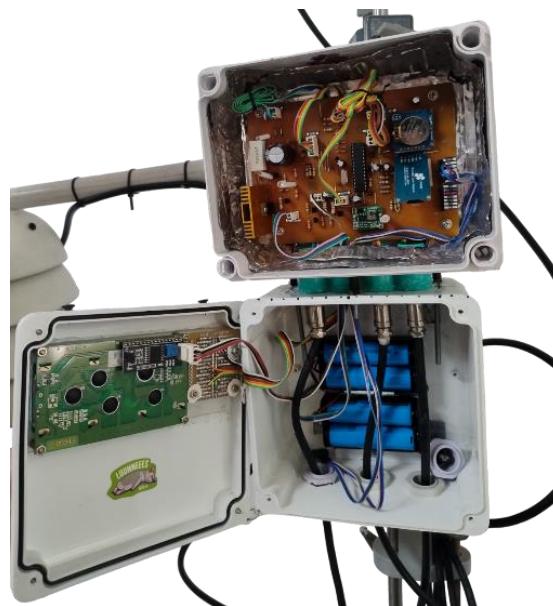


Ilustración 5. Secciones del módulo de Registro.

**Fuente reguladora  
de energía (□)**

**Procesador y  
regulador de 5  
voltios (■)**

**Conectores (○)**

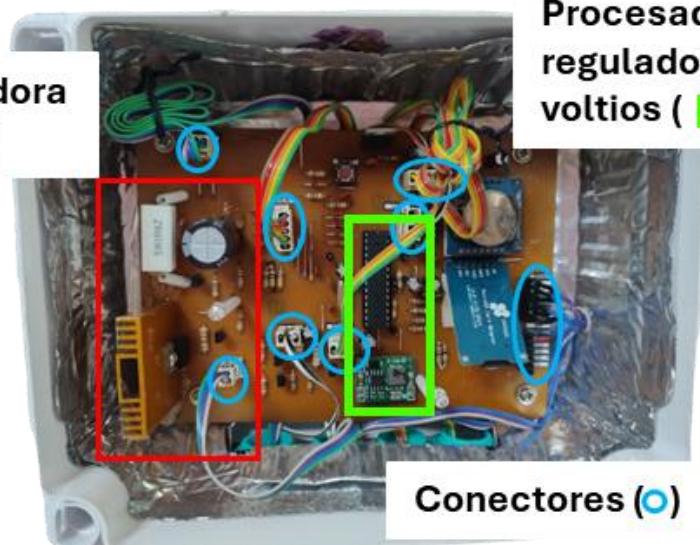




Ilustración 6. Componentes más destacados del módulo de registro.

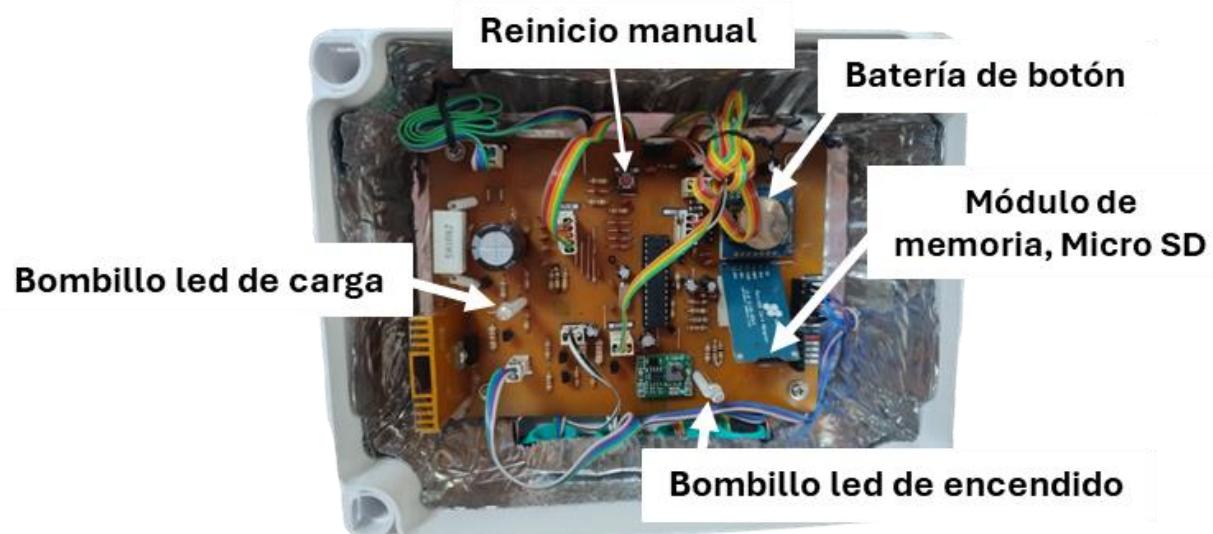
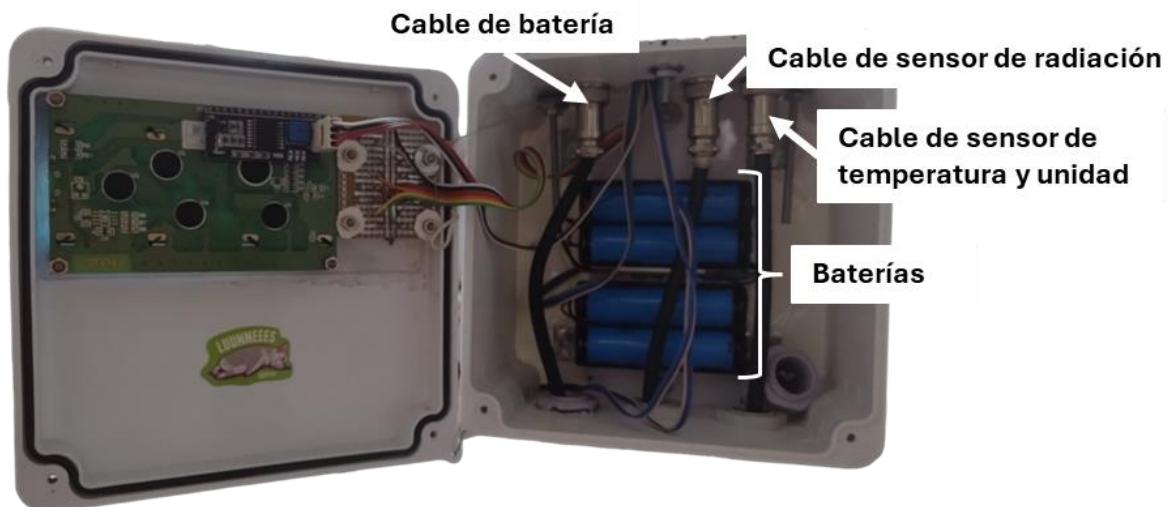


Ilustración 7. Exterior del módulo de baterías; pantalla y centro de control.





Ilustración 8. Interior del módulo de baterías.





### **PRECAUSIONES GENERALES**

Antes de operar el piranómetro, es fundamental que lea y comprenda detenidamente el manual de usuario. El correcto manejo del equipo garantiza que pueda aprovechar al máximo las funcionalidades del equipo, evitando al mismo tiempo el riesgo de accidentes. Para esto tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. **instalación y funcionamiento:** No subestime la complejidad de instalar y operar este equipo. Es imprescindible la intervención de personal cualificado, con el equipamiento adecuado y buenos conocimientos de medidas de seguridad y sistemas eléctricos. La responsabilidad por los daños resultantes de una instalación o uso incorrectos recae enteramente en el usuario y no serán cubiertos por la garantía
2. **Acceso restringido:** Sólo personal autorizado y capacitado debe manipular el piranómetro.
3. **Entorno de uso:** Evite utilizar el dispositivo cerca del agua o en ambientes con alta humedad en el momento de la instalación.
4. **Manejo cuidadoso:** Proteja el equipo de impactos y vibraciones que puedan comprometer su integridad.
5. **Cuidado con los sensores:** Los sensores son extremadamente delicados. Evite colocar objetos pesados sobre el piranómetro o someterlo a caídas, ya que cualquier daño no estará cubierto por la garantía.
6. **Protección del dispositivo:** Asegúrese de colocar la tapa protectora cuando finalice el proceso de instalación y configuración.
7. **Instalación Eléctrica:** Verifica que tu sistema eléctrico esté en óptimas condiciones y cumpla con todas las normas técnicas aplicables.
8. **Capacidad del equipo:** No sobrecargue el dispositivo más allá de sus capacidades especificadas. Por favor revise atentamente las especificaciones técnicas.
9. **Recordatorios de seguridad:** Este manual contiene recordatorios adicionales para su seguridad y satisfacción al utilizar el piranómetro.
10. Evite que los cables de los sensores queden en un lugar expuesto a ser pisoteados o donde puedan sufrir daños.

La seguridad y la eficiencia de tu dispositivo son nuestra prioridad. Siga estas recomendaciones para garantizar una experiencia segura y productiva.

### **GARANTÍA**

Para que el fabricante se haga responsable de la garantía el usuario debe tener en cuenta las siguientes condiciones:

- No se asume responsabilidad por daños resultantes de un manejo inadecuado del equipo.
- No se deben exceder las capacidades especificadas, ni instalar cargas mayores a las permitidas.
- Los equipos deben instalarse en sistemas eléctricos que cumplan con la normativa técnica y consideren las especificaciones vigentes del equipo.
- No se cubren los daños causados por problemas en el suministro de energía, ya sean causados por el proveedor del servicio, fenómenos naturales o fallas en instalaciones cercanas.



- Las reparaciones deben ser realizadas únicamente por personal especializado.
- Es imprescindible leer y comprender el manual para la correcta instalación y uso del equipo.

## INSTALACIÓN

### **Montaje del equipo**

Debe prestar atención a las características del lugar donde se va a instalar el equipo. Es fundamental que los sensores (sensor solar y sensor de temperatura y humedad) se sitúen a dos metros de altura y que no haya obstáculos que generen sombra a lo largo del día y del año, considerando que la posición del sol varía con el tiempo.

La unidad debe estar firmemente anclada y atornillada a un poste sólido, que a su vez debe estar bien asegurado al suelo para resistir las inclemencias del clima. Si el lugar es muy despejado, se recomienda instalar un pararrayos (no incluido en el equipo) para guiar las descargas eléctricas de forma segura. Este pararrayos debe colocarse a una distancia segura de la unidad, ya que si se coloca en el mismo poste, el efecto del campo eléctrico podría ser lo suficientemente fuerte como para dañar la unidad.

### **Módulo de baterías**

Se inicia el proceso abriendo el módulo de baterías, aflojando los cuatro tornillos de las esquinas. Despues, se lleva a cabo la instalación y revisión de las conexiones de la siguiente manera:

**Porta baterías:** Por razones de seguridad, la unidad se suministra sin las baterías instaladas. Es necesario instalarlas antes de conectar los cables de batería y los sensores, asegurándose de respetar la polaridad correcta para evitar posibles daños severos. Es importante tener en cuenta que el fabricante no cubrirá la garantía por daños causados por una instalación incorrecta.

**Cables:** Se debe verificar que los cables de la batería, el sensor de radiación y el sensor de temperatura y humedad estén conectados correctamente. Si estas conexiones no están adecuadamente acopladas, la unidad mostrará un error.

**Cable de batería:** Es crucial garantizar que el dispositivo esté conectado a una fuente de 12V a 14V como máximo, respetando la polaridad correcta. Conectar el cable al revés puede provocar daños graves, y el fabricante no cubrirá la garantía por errores de instalación.

Una vez completadas estas etapas, se procede a cerrar el módulo de baterías, asegurando los cuatro tornillos correspondientes.

### **Módulo de registro**

Antes de iniciar la unidad, es crucial verificar el aspecto físico en busca de signos de óxido o corrosión, especialmente alrededor de la batería de botón. Esta cuenta con una cubierta de aluminio la cual crea un efecto de jaula de Faraday para proteger a la unidad de la radiación electromagnética tanto interna como externa. Además, es necesario asegurarse de que todos los conectores estén correctamente colocados en su posición correspondiente, con la referencia adecuada que se encuentra tanto en el conector como en la tarjeta.



En cuanto a la memoria, es imprescindible garantizar la instalación de la tarjeta Micro SD, ya que esta versión de la unidad no arrancará si la memoria no está presente o está instalada incorrectamente. Se recomienda utilizar memorias de alta calidad, aproximadamente 2GB, para garantizar una mayor compatibilidad. Para instalarla, simplemente empuje la tarjeta por el lado de los contactos visibles hasta que haga clic en su lugar.

Una vez que se haya completado la revisión del módulo y se hayan seguido todas las instrucciones de instalación, se procede a cerrar el módulo teniendo cuidado con la posición de la tapa ya que esta cuenta con dos orificios para lograr observar la luz que genera el led de encendido o de cargando, finalmente se puede iniciar la unidad con confianza.

### **EJECUCIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO**

La ejecución y configuración del módulo se lleva a cabo de la siguiente manera:

#### **Encendido de la Unidad:**

Para iniciar la unidad, se presiona el botón de encendido. Esto dará inicio a la secuencia de arranque y verificación, y el LED de encendido se iluminará. Si todo está correcto, se mostrarán los títulos de la institución fabricante, la fecha de la versión y los autores del dispositivo, hasta llegar al primer menú (MEDR1). Para cambiar entre menús, se debe presionar el botón de avance de menú.

#### **Primer Menú (MEDR1):**

En este menú se encuentran las siguientes variables de medición directa:

- RG: Radiación global
- LX: Luces
- Ir: Radiación infrarroja
- Uv: Radiación ultravioleta
- Ta: Temperatura ambiente
- Hr: Humedad relativa

#### **Segundo Menú (MEDR2):**

Aquí se encuentran las siguientes variables adicionales, las cuales son obtenidas mediante ecuaciones, por lo tanto, son mediciones indirectas:

- PR: Punto de rocío
- IC: Índice de calor
- MEM: Memoria utilizada (en kilobytes)
- %B: Porcentaje de batería
- Fecha (dd/mm/aa)

- Hora (hh:min:seg)

#### Tercer Menú (CONFIGURAR):

Para ingresar al menú de configuración, se utilizan los botones de aumento o disminución de variables. Al presionar el botón de aumento, aparecerá un cursor que permite seleccionar el submenú deseado. Para ingresar a un submenú, se coloca el cursor donde se desea y se oprime el botón de avanzar menú. Las opciones de configuración incluyen:

- Configuración de tiempo: Se sugiere introducir valores coherentes con el día, mes y año correspondientes, ya que el algoritmo no puede identificar límites de días en algunos meses, ajustará el valor de forma aleatoria dentro de la memoria del dispositivo, creando una fecha inserta. Para configurar la hora, se utiliza el formato militar (24 horas). Para cambiar los valores, se utilizan los botones de avance o retroceso de variable y se guarda la configuración con el botón de avanzar menú.
- Configuración de tiempo de operación (T. operación): Hace referencia al período en el que la pantalla estará encendida cuando no se esté utilizando. Se puede configurar desde 1 minuto hasta 20 minutos. Entre menor sea el tiempo, mayor será el rendimiento de la batería. Para cambiar la variable, se utilizan los botones de avance o retroceso de variable y para guardar la configuración, el botón de avanzar menú.
- Configuración de muestra: Permite promediar y registrar datos cada ciertos minutos, con un límite de 1 a 60 minutos. De igual manera, para cambiar la variable, se utilizan los botones de avance o retroceso de variable y para guardar la configuración, el botón de avanzar menú.
- Restaurar (reset de software): Reinicia los valores de configuración a los de fábrica, con el riesgo de perder datos de la memoria. Antes de realizar este proceso, se mostrarán advertencias. Se utilizan los botones de avance o retroceso de variable para cambiar la opción y se guarda con el botón de avanzar menú.
- Reset de hardware: Reinicia el sistema sin cambiar ni eliminar ninguna configuración o dato, dejando la unidad apagada. Se realiza al oprimir el botón de reseteo manual dentro del módulo de registro.

#### Cuarto Menú (APAGAR):

Es necesario que el equipo se encuentre apagado al insertar o retirar la memoria para evitar la pérdida de información, daño de formato o daño sobre la memoria. Se selecciona con los botones de avance o retroceso de variable si se desea apagar o no el dispositivo y para seleccionar, se utiliza el botón de avanzar menú. Si se avanza, volverá al primer menú; si se retrocede, solo se permitirá llegar hasta el primer menú.

Si se avanza volverá al primer menu pero si retrocede el sistema solo le permitira llegar hasta el primer menú. Una vez termindado la configuracion del modulo se recomienda intalar la tapa de protección para evitar la manipulacion del modulo de personas externas asi como para



UNIVERSIDAD

**SURCOLOMBIANA**

desviar la radiacion solar y el agua de la pantalla para prolongar la vida util del dispositivo, de igual manera se coloca el empaque para evitar posible filtraciones en el modulo.