

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAEN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE PIRANÓMETRO PARA
MEDIR LA RADIACIÓN SOLAR

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores: Bachiller: Cristhian Paúl Febre Martínez

Bachiller: Edan Chanta Santos

Asesor: Dr. Freddi Roland, Rodríguez Ordoñez

Asesor externo: Lic. Francisco García Roque

JAÉN-PERÚ, AGOSTO, 2022



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 15 de Noviembre del año 2022, siendo las 14:30 horas, se reunieron de manera **presencial**, los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Ing. Lenin Franchescoletth Núñez Pintado

Secretario: Mg. Ing. Walter Linder Cabrera Torres

Vocal: Dra. Zedith Nancy Garrido Campaña, para evaluar la Sustentación del:

- () Informe de Plan de Trabajo de Investigación
(x) informe Final de Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado“ DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE PIRANOMETRO
PARA MEDIR LA RADIACION SOLAR
presentado por Cristhian Paúl Febre Martínez y
Edan Chanta Santos, de la Escuela
Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (x) Aprobar () Desaprobar (x) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | (13) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 15 :20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmado su participación con la suscripción de la presente.

Secretario de Jurado Evaluador

Presidente de Jurado Evaluador

Vocal de Jurado Evaluador



Bach. Cristhian Paúl Febre Martínez
Tesista



Bach. Edan Chanta Santos
Tesista



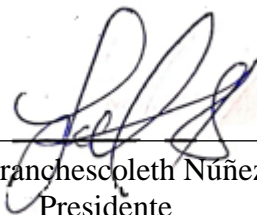
Asesor Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez



Lic. Francisco García Roque
Asesor

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE MECÁNICO
ELECTRICISTA**

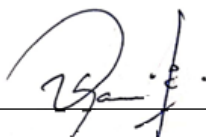
Aprobado por el siguiente jurado:



Mg. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado
Presidente



Mg. Walter Linder Cabrera Torres
Secretario



Dra. Zadith Nancy Garrido Campaña
Vocal

ÍNDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 Antecedentes de la investigación.....	11
1.1.1 A nivel internacional.	11
1.1.2 A nivel nacional	13
1.2 Problemática.....	14
1.2.1 Formulación del problema	16
1.3 Justificación	16
1.3.1 Justificación económica.....	16
1.3.2 Justificación social.....	17
1.3.3 Justificación ambiental	17
1.3.4 Justificación tecnológica.....	18
1.4 Hipótesis.....	18
II. OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo general.....	19
2.2 Objetivos específicos	19
III. MATERIAL Y MÉTODOS	20
3.1 Objeto de estudio.....	20
3.2 Ubicación geográfica del área de estudio.	20
3.3 Materiales	22
3.3.1 Diseño del prototipo de piranómetro.....	22
3.3.2 Construcción de un prototipo de piranómetro	22

2

3.3.3	Evaluar el prototipo de piranómetro para medir la radiación solar	22
3.4	Tipo de Investigación	23
3.5	Diseño de investigación	23
3.6	Línea de investigación	23
3.7	Fuentes de información.....	23
3.8	Métodos	23
3.9	Técnicas	24
3.10	Procedimientos	24
3.10.1	Diseño del prototipo de piranómetro	24
3.10.2	Construcción de un prototipo de piranómetro	26
3.10.3	Evaluación del prototipo de piranómetro	27
3.11	Metodología utilizada	28
3.11.1	Instalación del prototipo y piranómetro Modelo CMP3	28
IV.	RESULTADOS	30
4.1	Diseño del prototipo de piranómetro	30
4.1.1	Diseño de la termopila.....	30
4.1.2	Diseño de la cubierta.....	31
4.1.3	Diseño del registrador	32
4.2	Acondicionamiento de señal del diagrama eléctrico del registrador datos. .	34
4.2.1	Etapa de alimentación de energía	34
4.2.2	Etapa de acondicionamiento de señal	34
4.2.3	Puerto de comunicaciones	34
4.2.4	Reloj de tiempo real	34
4.3	Construcción del prototipo de piranómetro.....	35
4.4	Evaluación del prototipo de piranómetro	36

4.4.1	Métodos estadísticos de integración.....	36
	Método de integración.....	37
4.4.2	Registro de datos	38
4.4.1	Datos del prototipo de piranómetro y el piranómetro de la Universidad Nacional de Jaén.	39
4.4.2	Comparación de datos del prototipo de piranómetro y el piranómetro de la Universidad Nacional de Jaén.	42
4.4.3	Presupuesto para el desarrollo implementado.....	49
4.4.4	Correlación.....	50
4.4.5	Dispersión y recta de regresión	51
V.	DISCUSIÓN.....	52
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
6.1	CONCLUSIONES.....	54
6.2	RECOMENDACIONES.....	56
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	AGRADECIMIENTO.....	58
	DEDICATORIA	59
	ANEXO.....	60






ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos del prototipo de piranómetro en milivoltios y del piranómetro modelo CPM3 en W/m^2	38
Tabla 2. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-16/08/2022	39
Tabla 3. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-01/09/2022	40
Tabla 4. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-02/09/2022	41
Tabla 5. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-16/08/2022	48
Tabla 6. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-01/09/2022	48
Tabla 7. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-02/09/2022	49
Tabla 8. Presupuesto.....	49
Tabla 8. Prueba de normalidad.....	50
Tabla 9. Análisis de la relación existente entre los datos del piranómetro modelo CPM3 y los datos del prototipo de piranómetro.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Jaén	21
Figura 2. Diseño interno del prototipo de piranómetro	26
Figura 3. Modelo del prototipo de piranómetro	27
Figura 4. Instalación del prototipo y piranómetro Modelo CMP3.....	28
Figura 5. Diagrama de bloques para la instalación del equipo.....	29
Figura 6. Diseño de la parte interna del prototipo de piranómetro donde puede observarse las 48 termocuplas.	31
Figura 7. Diseño de la cubierta del prototipo de piranómetro.....	32
Figura 8. Diseño del registrador de datos.....	33
Figura 9. Estructura final del prototipo de piranómetro	35
Figura 10. Diagrama de bloques para medir la radiación solar.....	36
Figura 11. Descripción del área que se desea determinar bajo una curva cualquiera	37
Figura 12. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 16/08/2022	42
Figura 13 . Variación temporal de la radiación solar-Jaén 01/09/2022	43
Figura 14. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 02/09/2022	44
Figura 15. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 16/08/2022	45
Figura 16. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 01/09/2022	46
Figura 17. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 02/09/2022	47
Figura 18. Dispersión y recta de regresión	51

6

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: CARTA S/N-2022 solicitando servicios -UNPRG	61
Anexo B: CARTA S/N-2022 solicitando acceso a la estación meteorológica de la UNJ	62
Anexo C: Prototipo de piranómetro y registrador de datos	63
Anexo D: Estación meteorológica principal Fundo “El Cienego”	64
Anexo E: Instalando el piranómetro Modelo CMP3	64
Anexo F: Calibration certificate - Pyranometer	65
Anexo G: Registrador de datos-UNPRG	66
Anexo H: Tesistas y asesores	67
Anexo I: Códigos de programación	68
Anexo J: Manual del Usuario	71
Anexo K: Diagrama mecánica del prototipo de piranametro.	79
Anexo L: Diagrama del circuito del registrador de datos para el prototipo de piranametro.	80
Anexo M: Diagrama eléctrico del registrador de datos para el prototipo de piranómetro.	81
Anexo N: Circuito desarrollado para implementar el registrador de datos del prototipo de piranametro.	82



7



RESUMEN

El objetivo de esta investigación es desarrollar un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar, esto surgió debido a la falta de instrumentos para medir esta magnitud en diferentes espacios del Perú, el cual es un problema al no tener una data que permita seleccionar plantas fotovoltaicas o el aprovechamiento de las energías renovables; ante esto se formuló la siguiente hipótesis: Si se desarrolla un prototipo de piranómetro, entonces se logrará medir la radiación solar. Este estudio pertenece a: enfoque cuantitativo, nivel aplicativo, tipo básico, diseño experimental, para concretarlo se utilizaron diversos materiales afines a cada etapa de la investigación. El procedimiento en la investigación consistió en el diseño del prototipo de piranómetro constituido de 48 termocuplas de cobre-Constantán; una vez diseñado se construyó montando cada una de las partes, así mismo para la evaluación se registró información en milivoltios (mV) en el prototipo de piranómetro, luego se convirtió W/m^2 y se comparó con los valores registrados simultáneamente con el piranómetro Modelo CMP3 disponible en la estación meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque. Finalmente, una vez diseñado, construido y evaluado, se determinó una correlación alta y significativa entre los dos equipos.

Palabras clave: Radiación solar, prototipo, piranómetro.



ABSTRACT

The objective of this research is to develop a prototype pyranometer to measure solar radiation, this arose due to the lack of instruments to measure this magnitude in different areas of Peru, which is a problem because there is no data to select photovoltaic plants or the use of renewable energies; the following hypothesis was formulated: If a prototype pyranometer is developed, then it will be possible to measure solar radiation. This study belongs to: quantitative approach, applicative level, basic type, experimental design, to make it concrete, different materials related to each stage of the research were used. The procedure in the investigation consisted in the design of the pyranometer prototype made up of 48 copper-Constantan thermocouples; once designed, it was built by assembling each of the parts, likewise for the evaluation, information was recorded in millivolts (mV) in the pyranometer prototype, then W/m^2 was converted and compared with the values recorded simultaneously with the pyranometer Model CMP3 available at the meteorological station of the Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo - Lambayeque. Finally, once designed, built and evaluated, a high and significant correlation between the two equipments was determined.

Key words: Solar radiation, prototype, pyranometer.



I. INTRODUCCIÓN

La radiación solar es un recurso natural indispensable en la tierra para la vida de los seres vivos, ya que es la responsable de las variaciones espaciales y temporales del clima y ejerce una influencia significativa sobre el ambiente. La importancia que juega este recurso para la existencia de los seres vivos en la tierra, motiva tener conocimiento de manera precisa sobre la intensidad de la radiación solar que incide en una determinada área de la tierra.

Los egresados de las universidades están en la obligación de aportar con acciones concretas, para conocer los fenómenos existentes en los diferentes espacios de la tierra. Pero existe una resistencia muy elevada al realizar estudios sobre los diferentes problemas inmersos en el entorno, por un lado, las universidades tienen reglamentos bien estructurados que motivan a realizar investigaciones; pero al momento que un egresado necesita de un asesoramiento no existe investigadores con el tiempo suficiente que orienten con conocimientos a seguir con la investigación.

El Perú es un país que está situado entre la línea ecuatorial y el trópico de capricornio en la zona tropical, razón por la cual su geografía tiene diferentes características, recibiendo dosis de radiación solar muy variados, por ello la presente investigación es esencial para desarrollar un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar de los diferentes puntos del país y principalmente de la región Cajamarca, el cual puede ser utilizada por las autoridades nacionales, locales y las organizaciones no gubernamentales que estén interesados en conocer la intensidad de la radiación solar de un espacio o tiempo. Este trabajo puede servir de punto de partida para la implementación de proyectos que funcionan aprovechando la energía solar.

La investigación está estructurada de la siguiente manera: En el apartado I, está la introducción en donde se puntualiza los antecedentes, problema, formulación del problema, justificación y objetivos en relación de las variables de estudio.



En el apartado II, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de una manera clara, el cual ha permitido dar una respuesta final al problema.

En el apartado III se redacta de manera detallada en donde se precisa el objeto de estudio, la ubicación en donde se desarrolló el prototipo, el registro de datos, el marco metodológico, diseño y nivel de investigación, así como, las técnicas y los métodos de recolección de datos y, finalmente, el tratamiento de datos para la calibración del prototipo.

En el apartado IV y V. Se dan a conocer los resultados y discusión de resultados respectivamente. Finalmente, En el apartado VI se presentan las conclusiones y recomendaciones.

Ante la necesidad de equipos para registrar de manera precisa la intensidad de la radiación solar e impulsar el desarrollo de proyectos que utilicen el recurso solar, se ha creído conveniente desarrollar un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar de manera precisa de un determinado punto y tiempo.

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1 A nivel internacional.

Bolzi et al., (2016), realizó una investigación denominado *primer prototipo de radiómetro fotovoltaico sumergible de bajo costo desarrollados en la CNEA*; cuyo objetivo fue el diseño y fabricación de un sensor solar fotovoltaico de silicio monocristalino y el soporte para un radiómetro fotovoltaico sumergible apto para uso en distintos medios acuáticos. El diseño se planteó de acuerdo a la señal del sensor debido a su atenuación al ser sumergido, así como la adaptación de las dimensiones. Se presentan los cálculos para el diseño, elaboración y caracterización del sensor de silicio, así como el diseño del soporte con las características necesarias para ser sumergido en distintos ecosistemas. El prototipo desarrollado fue contrastado (dentro y fuera del agua) con un piranómetro Kipp & Zonen y se realizaron ensayos de hermeticidad a profundidades equivalentes a 60 m. Los resultados muestran un buen comportamiento del instrumento sometido a presiones

equivalentes a distintas profundidades y cumplió con las especificaciones planteadas originalmente. Por último, se presentan calibraciones antes y después de los ensayos.

Vera et al., (2016); ejecutó una investigación denominada *desarrollo de un medidor portátil de irradiancia, par, temperatura y humedad*, cuyo objetivo fue el diseño, implementación y contrastación de un medidor portátil de irradiancia, PAR, temperatura y humedad, así como de todos los componentes que forman parte del sistema. El instrumento ha sido desarrollado en el Grupo en Energías Renovables (GER) de la Universidad Nacional del Nordeste. El mismo contiene sensores digitales que le permiten medir la temperatura ambiente, humedad relativa y sensores analógicos para determinar el valor de la irradiancia y PAR. Es portable, posee una autonomía de 5 (cinco) días, una pantalla para mostrar las variables medidas y es capaz de registrar datos en una tarjeta SD cumpliendo con la función de datalogger. Conjuntamente se ha desarrollado un software para la lectura y representación en un display de las magnitudes medidas en función del tiempo. En esta etapa de la investigación se cuenta con un prototipo funcional contrastado en etapa de pruebas experimentales finales.

López Mendoza et al., (2015), ejecutó el trabajo de investigación denominado *Prototipo de medición solar "Piranómetro" v1.2*, en donde planteó que la cantidad de horas pico de insolación reduce 40% el costo en paneles solares en SFV y el desconocimiento de la irradiación e insolación ocasiona un mal dimensionamiento de SFV, y trae como consecuencia gastos y no satisface la necesidad energética. Es por ello que con la propuesta del "piranómetro" v1.2, se mide la irradiancia, insolación y temperatura, esto para abatir los costos en SFV y satisfacer las necesidades de energía sustentable en la región. Con el objeto de determinar la factibilidad de sistemas solares fotovoltaicos (SFV) en la región del Valle del Mezquital realizaron mediciones desde el 2013 y mencionaron que en la región si es factible la instalación de prototipos en una escala mayor.



Chico et al.,(2009), ejecutó la investigación denominado *Desarrollo de Sistema de Medición y Evaluación del Potencial de Radiación Solar Usando Instrumentación Virtual*, en donde se dieron detalles del diseño y la implementación de un sistema de alta tecnología con facilidades para medir, adquirir y evaluar la radiación solar global. El piranómetro para obtener la radiación fue construido usando un fotodiodo de Si como sensor y el sistema de adquisición y procesamiento de datos fue elaborado usando instrumentación virtual y el paquete LabView 7.1. Previo a la puesta en operación del sistema de adquisición, para calibrar el piranómetro utilizaron como referencia el piranómetro CM3 de la firma Kipp&Zonnen que es un dispositivo tipo termopila certificado mediante la norma ISO 9060 de 1990. El sistema se puso en operación en noviembre de 2006 y hasta la fecha ha funcionado ininterrumpidamente y en forma confiable.

1.1.2 A nivel nacional

Sánchez Poma, (2018), realizó la tesis denominado *Diseño y construcción de medidor de radiación con seguimiento solar y registrador de datos*, cuyo objetivo fue diseñar un medidor de radiación solar a partir de la captación de rayos solares por una celda fotovoltaica, su transformación a niveles de radiación, la simulación del diseño y construcción del mismo. En donde se pretendió que sea útil para diferentes propósitos como la evaluación de la idoneidad de posibles ubicaciones para centrales solares. Este modelo permite al usuario evaluar fácilmente los valores de radiación en cualquier ubicación y estimar la generación de energía solar teniendo en cuenta el nivel de radiación. La radiación solar se calcula primero para condiciones de cielo despejado, considerando los diferentes componentes de la radiación: haz, radiación difusa y reflejada. El movimiento diurno y estacional de la tierra afecta la intensidad de la radiación en los sistemas solares. Se presenta un sistema de seguimiento solar para compensar estos movimientos, manteniendo la mejor orientación relativa al sol. Se encontró que el dispositivo de rastreo solar más eficiente y más popular estaba en forma de tipos de eje polar y azimut / elevación. En este trabajo se ha utilizado el sistema de rastreo en elevación, mediante un motor paso a paso y manejado por microcontrolador que recibe las ondas de radiación a través




de un panel fotovoltaico y convertido a señales digitales en el circuito de control, los datos que se obtienen en intervalos de tiempo se almacenan en una tarjeta de memoria para ser procesados en diferentes aplicaciones.

1.2 Problemática

El costo de los instrumentos meteorológicos utilizados para obtener de manera precisa la radiación solar que incide en la superficie de la tierra tiene un costo muy elevado. Existen posibilidades de parte de las instituciones del estado de adquirir nuevos instrumentos meteorológicos; sin embargo, éstas aún no han sido atendidas. Entonces, una cuestión previa consiste en interrogar: ¿Qué deben considerar los egresados de la carrera de ingeniería Mecánica Eléctrica de las universidades para medir la incidencia de la radiación solar en la mayor cantidad de área o espacio de la superficie terrestre?

Una primera razón, es respondida por el anhelo de obtener información precisa de la radiación solar, lo cual sería un sueño de todas las instituciones públicas dedicadas a la investigación tecnológica. De hacerse realidad, el proyecto de desarrollar o construir prototipos de piranómetro y a partir de ello se podrá medir la incidencia de la radiación solar en la mayor cantidad de espacio o área de la superficie terrestre con gran éxito. Así, muchos investigadores o instituciones dedicados a este rubro, contarán con información de primera mano para plantear proyectos en el futuro. Sería muy importante que se utilizaran estos datos para generar proyectos en la producción de energías limpias que permitan disminuir significativamente la utilización de energías convencionales.

Para la investigación en curso se han revisado algunas referencias importantes. En el contexto internacional, los estudios han señalado que el nuevo sistema hace que los instrumentos meteorológicos utilizados para obtener de manera precisa la radiación solar que incide en la superficie de la tierra, se le dio relativamente poca importancia a la precisión, el cual resultaban afectados por errores importantes y variables a través del tiempo debido al inadecuado mantenimiento que se presentaba al instrumental (si bien lo



disponible hace más de tres décadas no permitía una muy buena calidad de la información), a los que deben agregarse los introducidos en el procesamiento de los registros de papel utilizados (Grossi Gallegos, 2001).

Esto significa una nueva posibilidad de contar con una herramienta capaz de obtener el comportamiento diario y mensual de la radiación solar sobre la superficie terrestre en diferentes áreas de la provincia de Jaén y del país en donde no se dispone con esta información de manera detallada y exacta. La investigación, a desarrollar aquí, garantizará que la información de manera detallada y precisa para el diseño de numerosas aplicaciones de sistemas energéticos, como la fotovoltaica, solar térmica, entre otros. El tema del estudio es el desarrollo de prototipos de piranómetro para la determinación de la radiación solar directa y difusa que incide sobre una área o espacio de la superficie terrestre ya que sus diferentes naturalezas físicas determinan cómo se proyectan sobre el área de estudio.

En consecuencia, se observa que no se cuenta con instrumentos que permitan registrar de manera detallada y precisa la incidencia de la radiación solar, el cual sea utilizado en procesos tecnológicos que permitan el planteamiento de nuevos otros proyectos en donde se utilicen las energías renovables como es la solar. Por otro lado, tampoco se han identificado estudios que centren sus análisis, discusión y propuestas sobre el modo como se puede utilizar la radiación solar. Sin embargo, un problema grave es que hay energías convencionales, lo cual genera problemas diversos como la contaminación del ambiente. A ello se suma el problema de que las energías convencionales se están agotando, por lo tanto, hay una necesidad muy importante que atender con cierta urgencia.

Descrito el problema de este modo, una cuestión importante que resolver es la utilización de la energía proveniente del sol, el cual se puede utilizar al tener un registro de manera precisa y detallada de la incidencia de la radiación solar; pero solo registrar la incidencia de la radiación solar generaría un gasto adicional e innecesario, por lo tanto, es importante que esta información sea una base de datos que sirva para proponer nuevos proyectos que utilicen esta información.

Four handwritten signatures are displayed horizontally at the bottom of the page. From left to right: the first is a dense, black signature; the second is a blue signature with a large, sweeping flourish; the third is a blue signature consisting of several vertical strokes; and the fourth is a blue signature that appears to be 'Elm'.

En efecto, ello conduce a pensar en un prototipo de piranómetro para resolver las necesidades de la falta de información de la radiación solar para proponer nuevos proyectos. Queda graficado entonces el problema real del desarrollo de prototipo de piranómetro en relación a la posibilidad de solucionar problemas de falta de información de la radiación solar.

1.2.1 Formulación del problema

La interrogante que se deriva de lo planteado es la siguiente:

¿Será posible el desarrollo de un prototipo de piranómetro que permita medir la radiación solar?

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación económica

En vista que contar con una data de la radiación solar de un espacio o determinada área es de gran importancia para su uso posterior en proyectos en donde se utilice la energía proveniente del sol. Los prototipos de piranómetro para determinar la incidencia de la radiación solar de una determinada área ofrecen una gran oportunidad interesante para utilizar esta información en proyectos en donde exista aplicaciones de sistemas energéticos, como la fotovoltaica, solar térmica, entre otros.

En principio, cabe señalar que desarrollar prototipos de piranómetro no es tedioso. Porque no solo es de fácil desarrollo, sino también que los materiales a utilizar son accesibles en el mercado. Según algunos estudios, la incidencia de la radiación solar de un espacio o área se puede determinar obteniendo la temperatura ambiente y aplicando algunos softwares. En consecuencia, el desarrollo de un prototipo de piranómetro es más económico y cumple la misma función que un piranómetro adquirido de un fabricante.



1.3.2 Justificación social

El Perú es un país que recibe radiaciones muy variados, debido a que está situado a diferentes altitudes, por ello el desarrollo y la evaluación de un prototipo de piranómetro pretende que la mayor cantidad de personas de nuestro país cuenten con información de los valores reales de la radiación solar de un determinado espacio o lugar. Contar con una data de la radiación solar es trascendental para la sociedad, no solo a nivel particular, sino también gubernamental e incluso empresarial puesto que permitirá estudiar una serie de acciones encaminados a buscar nuevas energías, que reemplacen a las energías convencionales.

El contar con una data de la radiación solar, permitirá a las diferentes autoridades, especialmente los de la salud dar a conocer con mayor precisión sobre los efectos en la salud de las personas generados por la radiación solar, teniendo en cuenta la multidimensionalidad de la misma. Por otro lado, se tendrá información de primera mano, para implementar estudios que minimicen los impactos negativos sobre el ambiente y así poder seguir manteniendo la existencia del ser humano.

1.3.3 Justificación ambiental

En la ciudad de Jaén falta registro histórico de la incidencia de la radiación solar. Aquí interesa dar razones sobre el por qué y para qué del desarrollo de un prototipo de piranómetro. Se ha demostrada, que una data de la incidencia de la radiación solar en un espacio o área determinado, contribuyen de forma decisiva en los investigadores, proponiendo proyectos que aprovechen esta información. Los estudios han demostrado que los combustibles convencionales generan emisiones que contaminan al ambiente.

Debido a que es necesario trabajar para reducir las emisiones de CO₂, es importante contar con una data de la incidencia de la radiación solar en la superficie terrestre. Porque contar con información de la radiación solar de diferentes espacios de la superficie terrestre ayudará a proponer proyectos que nos permitan reducir la contaminación del ambiente. Por



tanto, la decisión a favor del desarrollo de un prototipo puede ser un paso importante y correcto para ayudar a reducir la contaminación en el ambiente.

Con el uso de un concepto de energía renovable, el desarrollo de un prototipo de piranómetro nos permitirá contar con una data de la radiación solar para aprovechar la información en plantear proyectos que permitan reducir otros tipos de generación de energía que son perjudiciales para el ambiente, sino que también reduce los contaminantes generados por combustibles fósiles.

1.3.4 Justificación tecnológica

Uno de los motivos que nos llevó a desarrollar un prototipo de piranómetro, fue la falta en las instituciones públicas del estado peruano de equipos tecnológicos para medir la radiación solar de manera preciso de los diferentes espacios o áreas de la superficie de nuestro país, con el cual pretendemos, ayudar a obtener esta información en una data, así como generar motivación a seguir indagando sobre nuevos proyectos que necesiten como base la magnitud de la radiación solar para ser ejecutados.

1.4 Hipótesis

Si se desarrolla un prototipo de piranómetro, entonces se logrará medir la radiación solar.

Four handwritten signatures are displayed at the bottom of the page. From left to right: a black signature, a blue signature, a blue signature, and a black signature.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de piranómetro para medir la radiación solar.
- Construir el prototipo de piranómetro para medir la radiación solar.
- Evaluar el prototipo de piranómetro propuesto con los piranómetros de mercado para medir la radiación solar.



III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Objeto de estudio

Desarrollo de un prototipo de piranómetro para medir el comportamiento de la radiación solar de un determinado espacio.

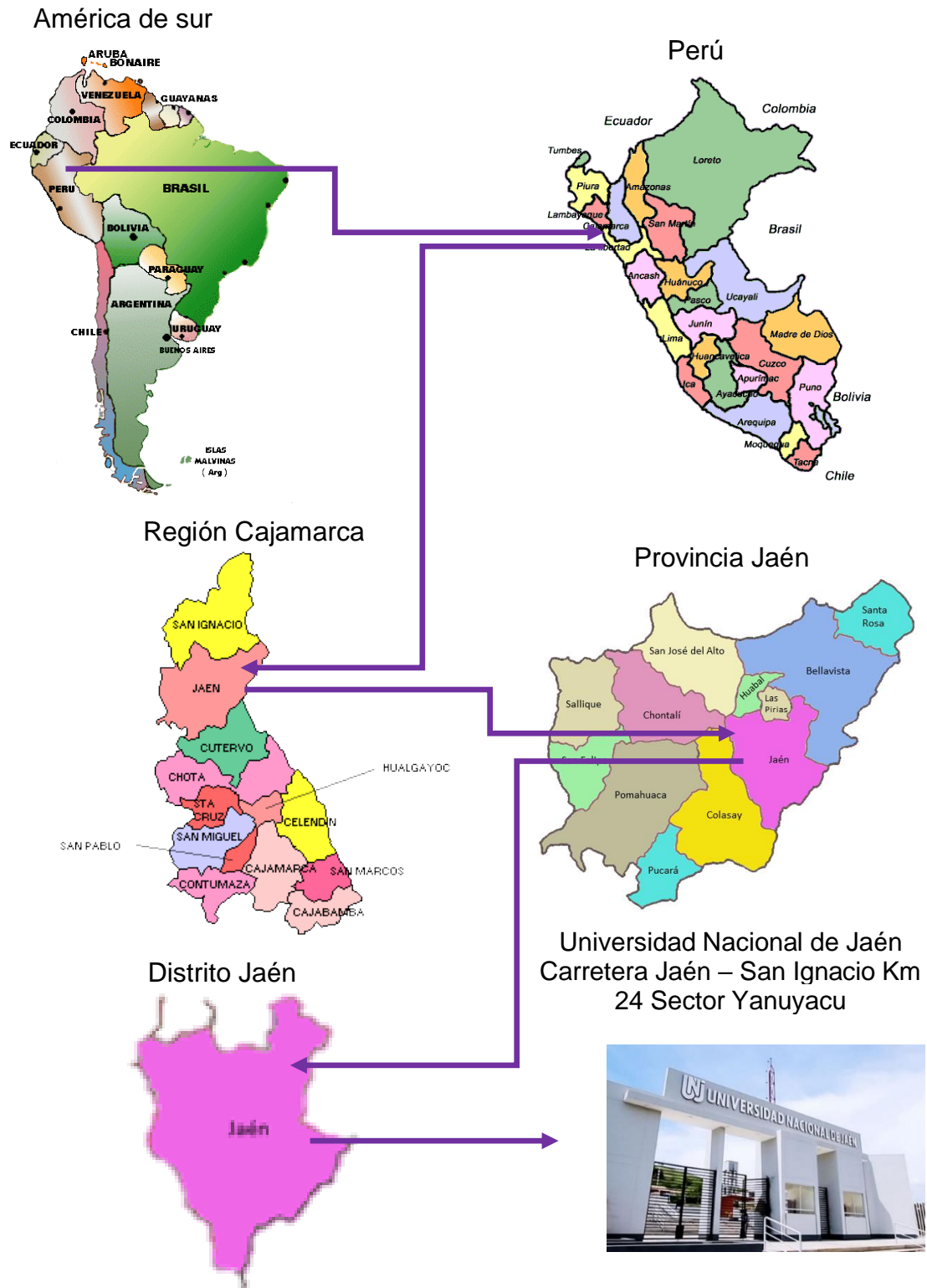
3.2 Ubicación geográfica del área de estudio.

El proyecto se realizó en las instalaciones de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), el cual se encuentra ubicado en la Carretera Jaén – San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu - Jaén – Cajamarca – Perú, a una latitud de 729 m s. n. m. entre los 5°15" y los 6°4" de latitud sur; y entre los 78°33" y los 79°38" de longitud Oeste, aproximadamente.

La provincia de Jaén tiene una superficie de 5,232. 57 km² y representa el 15.7% de la superficie de la región Cajamarca; así mismo cuenta con una diversidad de microclimas debido a su conformación geográfica, y su temperatura oscila entre 8.5°C y 36°C; registrándose temperaturas medias y altas en los meses de octubre a diciembre.



Figura 1. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Jaén



Fuente: Mapa geográfico del lugar del proyecto. Adaptado a partir de

3.3 Materiales

Para cristalizar esta investigación se necesitaron diferentes materiales que fueron adquiridos por los tesistas con el apoyo de los asesores, los cuales a continuación, se presentan de manera detallada la lista de todos los materiales que fueron utilizados para cada etapa del proyecto.

3.3.1 Diseño del prototipo de piranómetro

- Laptop
- Software de diseño AutoCAD

3.3.2 Construcción de un prototipo de piranómetro

- Placa de Baquelita
- Cable de cobre de diámetros 0.1 mm
- Pistola de soldar
- Estaño para soldar
- Pasta para soldar
- Cable de Constantán
- Tubo de aluminio de 3 cm de diámetro
- Cable de conexión
- Cubierta de vidrio
- Esmalte de color negro mate.
- Tubo PVC de dos pulgadas
- Tubo de acero inoxidable de 2 pulgadas

3.3.3 Evaluar el prototipo de piranómetro para medir la radiación solar

- Registrador de datos modelo DA18K, marca SIAP+Micros
- Laptop
- Piranómetro Estándar Modelo CMP3, marca KIPP&ZONEN
- Multímetro Digital
- Programa estadístico SPSS



3.4 Tipo de Investigación

Es de nivel aplicativo, porque se ha diseñado, construido y comparado un prototipo de piranómetro para la mediación de la radiación solar de manera precisa de los diferentes espacios o áreas de la superficie de nuestro país, con el cual se podría contar con una data de un registro actualizado. Para obtener una información con un error mínimo, la comparación es evaluada con ayuda de la estadística.

3.5 Diseño de investigación

La investigación es no experimental, el diseño es lineal:

M-----Ox-----Oy

Dónde: M, es el registro de datos de radiación solar, el subíndice x en O indica la observación en la variable dependiente (radiación solar) y el subíndice y en O, señala el prototipo de piranómetro ya desarrollado.

3.6 Línea de investigación

Energías alternativas

3.7 Fuentes de información

Con la finalidad de lograr con el diseño y construcción del prototipo de piranómetro se recorrió a diferentes fuentes de información, específicamente, libros, tesis de grado, artículos científicos, entre otros; además para la evaluación, se registró datos de voltaje con el prototipo de piranómetro y simultáneamente se registró datos con el piranómetro Modelo CMP3 disponible en la estación meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo-Lambayeque.

3.8 Métodos

Los principales métodos que se utilizaron en la investigación fueron: análisis, síntesis, deductivo, inductivo, descriptivo, estadístico, entre otros, los cuales permitió justificar de manera detallada cada uno de las actividades a realizar en la ejecución de proyecto, desde la preparación,



documentación, análisis y presentación de resultados de cada uno de los objetivos específicos.

3.9 Técnicas

A continuación, se detalla de manera precisa las técnicas utilizadas para el diseño, construcción y evaluación del prototipo de piranómetro que permite medir la radiación solar.

Para cumplir con los objetivos se realizó una revisión exhaustiva de las diferentes fuentes de información, se identificó los materiales a utilizar, se esquematiza el estado de arte, se adquirió los materiales, se construyó el prototipo de piranómetro y finalmente se realizó el contraste de los datos del prototipo de piranómetro con el piranómetro Modelo CMP3, así mismo con la finalidad de obtener la eficiencia del prototipo de piranómetro se solicitó a la jefa de la Unidad de Posgrado de la Universidad Nacional de Jaén la data de radiación solar de la estación meteorológica de la UNJ y así poder comparar las datas de ambos equipos.

3.10 Procedimientos

3.10.1 Diseño del prototipo de piranómetro

Antes de realizar el esbozo se realizó una revisión exhaustiva de las diferentes fuentes de información, específicamente con información técnica de los fabricantes de piranómetro, tales como en la página web de EKO (2022), KIPP&ZONEN (2022), LICOR (2022), entre otros, con las cuales se determinó de la existencia de 2 tipos de piranómetros comerciales, basados en los principios de:

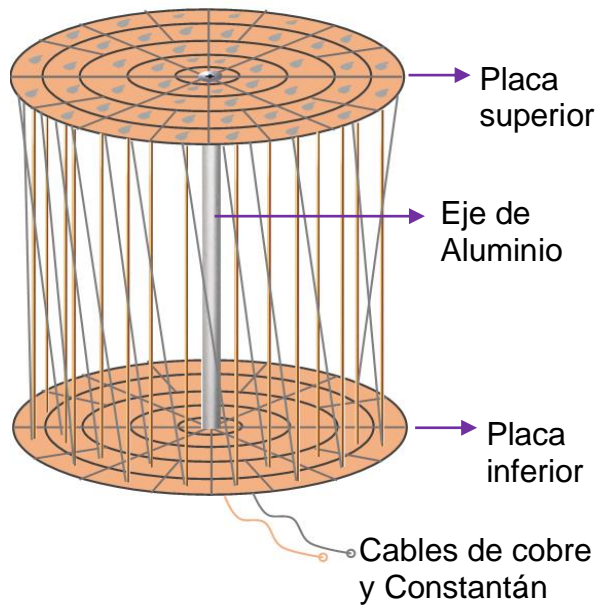
- Semiconductor, cuyo elemento sensible está conformado por un fotodiodo (ECURED, 2022), el cual está constituido por una unión PN el cual se comporta como una célula fotovoltaica, la cual genera una corriente eléctrica en respuesta a la incidencia de luz y parte del espectro infrarrojo, por esta razón los piranómetros basados en elemento semiconductor, tienen una respuesta en un menor espectro de longitudes de onda de la radiación solar en comparación con los basados en termopila

(ECURED, 2022). Sin embargo, estos tipos son también aceptados según las recomendaciones de la organización meteorológica mundial (Innova, 2014)

- Efecto Seebeck (2022), el cual establece que en la unión de dos metales diferentes que están sometidos a una diferencia de temperatura, se genera una fuerza electromotriz (diferencia de potencial) la cual es proporcional a la diferencia de temperatura, esto es el principio en que se basan las termocuplas. Por tanto, este principio permite generar una señal eléctrica entre la superficie caliente que absorbe la radiación solar, de color opaco, que hace la función de cuerpo negro y una superficie fría que se mantiene a temperatura ambiente. La señal que genera cada par es del orden de los microvoltios/C, motivo por el cual se construyen arreglos de termocuplas asociadas en serie denominada termopila con el objeto de multiplicar la pequeña señal producida por cada par. Existen en el mercado diferentes tipos de termocuplas, clasificadas según su rango de temperatura de trabajo, siendo las más utilizadas para mediciones de laboratorios el tipo T, conformadas por uniones de cobre-Constantán. Ambos materiales se encuentran disponibles comercialmente en diferentes calibres por tanto es viable construir termópilas} con este tipo de termocuplas, razón por el cual se decidió por este modelo, quedando tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 2. *Diseño interno del prototipo de piranómetro*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 02 se muestra el diseño interno del prototipo de piranómetro, el cual está conformado de un circuito de 48 termocuplas de cobre Constantán, en donde se generará un termo voltaje producido entre las puntas calientes (Placa superior) y las puntas que se encuentran a temperatura ambiente (Placa base). Esto permitirá tener valores de voltaje el cual serán registrados en una tarjeta de adquisición de datos y luego almacenado en una laptop para el análisis respectivo.

3.10.2 Construcción de un prototipo de piranómetro

Adquirido los materiales, esquematizado el estado de arte y diseñado el prototipo de piranómetro en el software de diseño AutoCAD, se procedió a la construcción, para lo cual se utilizó para la base de la cubierta externa una tubería estándar de aluminio de alta presión con un espesor necesario para trabajar en torno y así mismo las puntas calientes (placa superior) fue protegido por una cubierta de vidrio dimensionada de un foco transparente al visible o infrarrojo, quedando tal como se muestra en la siguiente figura.

Se muestran cuatro firmas manuscritas. La primera es en negro y parece ser 'Antonio'. Las otras tres son en azul y son más abstractas, posiblemente representando a los autores o colaboradores del proyecto.

Figura 3. *Modelo del prototipo de piranómetro*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 03 se observa de manera precisa la construcción del prototipo de piranómetro, para el cual se utilizó materiales de acuerdo a la geometría del prototipo, construido el circuito de 48 termocuplas de cobre Constantán, en donde se generará un termovoltaje producido entre las puntas calientes (Placa superior) y las puntas que se encuentran a temperatura ambiente (Placa base), se procedió a protegerlo en la parte lateral con un tubo de acero inoxidable de 2 pulgadas, en la parte inferior se colocó tapa de aluminio con aberturas, el cual permite la ventilación del circuito y la salida del cable de conexión con la tarjeta de adquisición de datos, en la parte superior se colocó un anillo de acero inoxidable, en donde se empotró la cubierta de vidrio que protege a la placa superior expuesta a los rayos del sol.

3.10.3 Evaluación del prototipo de piranómetro

Para evaluar el prototipo de piranómetro, se solicitó al Jefe de la estación meteorológica de la UNPRG mediante carta S/N de fecha 14 de enero de 2022 (Anexo A), gestionar a quien corresponda el acceso a la estación meteorológica

Se muestran cuatro firmas manuscritas. La primera es en negro y parece ser 'Antonio'. Las otras tres son en azul y son más abstractas, posiblemente representando a otros miembros del equipo o autoridades involucradas en la evaluación.

principal Fundo “El Ciénego” de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque (Anexo D), para el servicio de comparación de datos del prototipo con el piranómetro Modelo CMP3 (Anexo E) y calibration certificate (Anexo F) disponible en dicha estación, además nos comprometimos a sufragar el costo que demande el servicio, por otro lado para determinar la eficiencia del prototipo de piranómetro se solicitó a la jefe de la unidad de Posgrado de la Universidad Nacional de Jaén nos proporcione la data de tres días de radiación solar.

3.11 Metodología utilizada

3.11.1 Instalación del prototipo y piranómetro Modelo CMP3

Para realizar el contraste de los datos del prototipo de piranómetro y el piranómetro Modelo CMP3, se instaló dichos piranómetros en el techo de la caseta de la estación meteorológica principal Fundo “El Ciénego” el día 12 de febrero del 2022, el cual estaba libre de sombra u obstáculos, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4. *Instalación del prototipo y piranómetro Modelo CMP3*

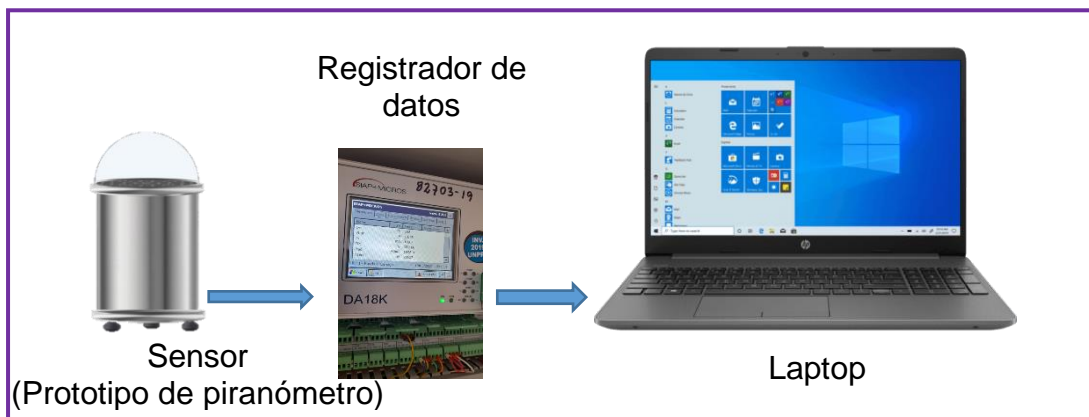


Fuente: Fotografía propia

Integración del sistema

Instalado el prototipo de piranómetro y el piranómetro modelo CMP3 en el techo de la caseta de la estación meteorológica principal Fundo “El Ciénego”, se procedió a realizar la integración del sistema, específicamente conectar el prototipo de piranómetro y el piranómetro modelo CMP3 al registrador de datos con código 82703-19 y luego descargar los datos hacia una laptop, tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 5. Diagrama de bloques para la instalación del equipo



Fuente: Elaboración propia.

Registro de datos

Integrado el sistema, el día 12 de febrero del 2022 en la estación meteorológica principal Fundo “El Ciénego”, de propiedad de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la UNPRG, se procedió por espacio de cinco horas (8: 30 a.m. - 1: 30 p.m.) y con intervalos de tiempo cada 5 minutos, el registro de datos en milivoltios (mV) del prototipo de piranómetro y los datos registrados en watt entre metros cuadrados (W/m^2) del piranómetro modelo CPM3, los cuales fueron almacenados en un registrador de datos (Anexo G) y finalmente fueron descargados en una laptop HP Intel Core i5. Una vez descargado los datos del prototipo de piranómetro y del piranómetro modelo CPM3 a la laptop, con la ayuda del programa SPSS versión 23, se realizó el procesamiento de los datos, el cual nos permitió realizar un análisis detallado, específicamente al determinar de los datos, el máximo valor, el promedio, el diagrama de dispersión, correlación, la prueba de normalidad y áreas bajo la curva (energía solar), los cuales aparecen en los resultados en tablas y gráficos.

IV. RESULTADOS

En este apartado se detalla de manera ordenada las actividades realizadas, para llegar a los resultados de cada uno de los objetivos específicos.

4.1 Diseño del prototipo de piranómetro

Para diseñar el prototipo de piranómetro se tuvo en cuenta que la radiación solar es absorbida por una superficie negra, en la cual existe termopares conectados en serie y luego esto es convertido en energía eléctrica, que genera una fuerza electromotriz en milivoltios, que da lugar que se acople el ruido, por lo que es necesario usar un convertidor analógico digital de alta resolución con lo que se logra un sistema de medición de irradiancia solar y que permitió el almacenamiento de datos.

Por otro lado, la radiación solar que incide sobre la superficie terrestre depende de factores como: la latitud, altitud, la posición del sol, las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión en la capa terrestre, además estos factores varían en el tiempo.

La diferencia de potencial eléctrico es proporcional al valor instantánea de la radiación incidente y la ecuación que relaciona estas magnitudes es:

$$I_r = a + b\Delta V$$

Donde:

I_r valor instantáneo de la radiación incidente

a, b constantes características del sensor

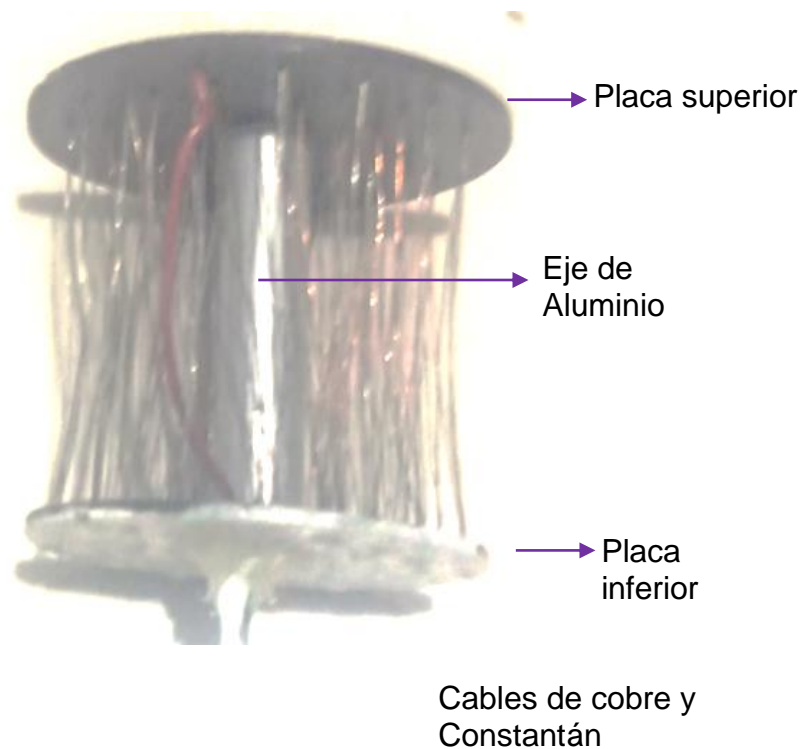
ΔV diferencia de potencial generada en el sensor o prototipo

4.1.1 Diseño de la termopila

El diseño de la termopila consta de un eje de aluminio de 6.5 cm de altura, dos placas de baquelita de 6.2 cm de diámetro y además utilizó cables de cobre y Constantán con el cual se formó termopares, al unirlos sus extremos y estos al ser conectarlos en serie se convierten en una termopila, el cual transfiere la radiación emitida por el sol a una salida de tensión en el rango de decenas o cientos de milivoltios al ser calentados o enfriados de

acuerdo a la intensidad de la radiación solar, quedando tal como se muestra en la siguiente figura.

Figura 6. *Diseño de la parte interna del prototipo de piranómetro donde puede observarse las 48 termocuplas.*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 06, se representa el diseño de la estructura del prototipo de piranómetro, en el cual está dimensionado cada uno de las partes, quedando el diseño del circuito constituido de 48 termocuplas de cobre Constantán, la cual permitirá generar un termovoltaje en la placa superior al ser expuesto a los rayos del sol, además para separar la placa superior, de la placa inferior de la termocupla y fijar la estructura, se usó un eje de aluminio.

4.1.2 Diseño de la cubierta

Diseñado la termopila, se procedió al diseño de la base de la cubierta con una tubería estándar de aluminio de alta presión con un espesor necesario para trabajar en torno, además la placa superior expuesta al sol se cubrió con una pintura negra mate de alta temperatura y luego fue protegido

por una cubierta de vidrio dimensionada de un foco transparente al visible o infrarrojo con una longitud de onda del orden de los nanómetros, quedando tal como se muestra en la figura 07.

Figura 7. *Diseño de la cubierta del prototipo de piranómetro*



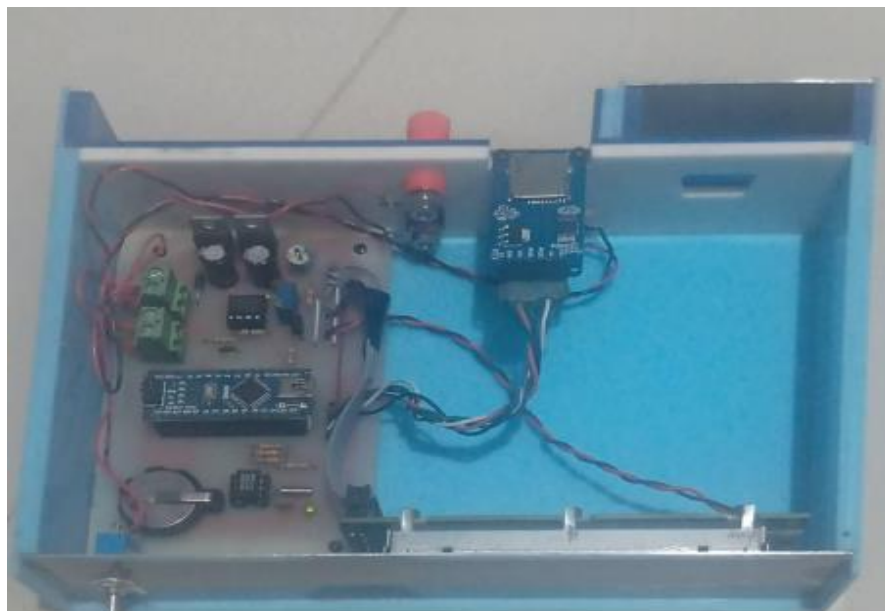
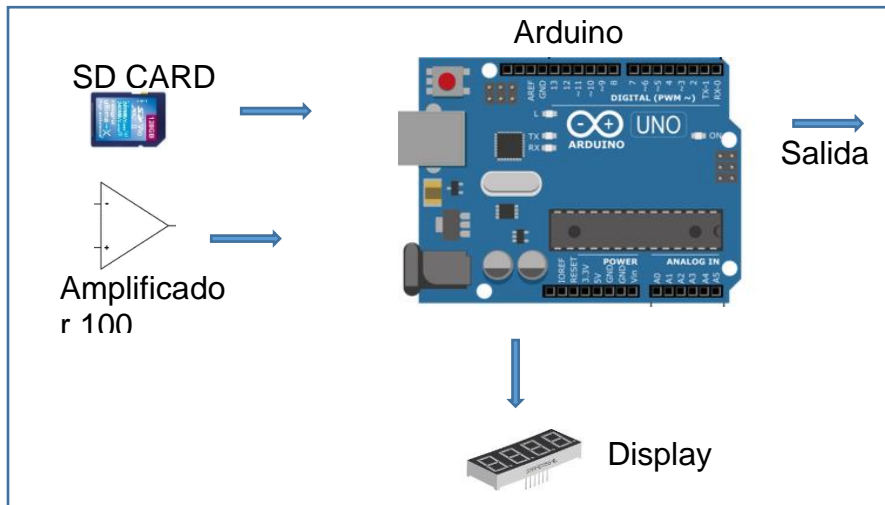
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Diseño del registrador

En el diseño del registrador de datos se han utilizado recursos de hardware libre, basándose en una tarjeta Arduino como elemento central. Según el diagrama de bloques indicado en la figura 08, en la cual ha incluido una etapa de acondicionamiento de la señal del sensor para amplificar en un factor de 100, a fin de ser digitalizada por el conversor A/D interno de microcontrolador del Arduino



Figura 8. Diseño del registrador de datos



Fuente: Elaboración propia

En la figura 08. Se observa el procedimiento como los datos digitalizados son convertidos a unidades de ingeniería (W/m^2) luego de incluir códigos de programación (Anexo I) los resultados de la Inter comparación del prototipo con un referente debidamente calibrado. Además, los datos adquiridos son almacenados en una tarjeta de memoria removible tipo SD card. A la vez que en el display se visualizan los valores instantáneos de la radiación solar.

4.2 Acondicionamiento de señal del diagrama eléctrico del registrador de datos.

La señal del prototipo de piranómetro es demasiado pequeña y fue necesario amplificarla para que la señal de salida o almacenada en CD sea la adecuada, para esto es necesario explicar el diagrama eléctrico del registrado de datos (Anexo M), los procesos de acondicionamiento de la señal de acuerdo a lo siguiente.

4.2.1 Etapa de alimentación de energía

Conformada por los circuitos integrados reguladores de voltaje 7809, 7805 y el doblador de tensión ICL7660, que genera -5V para la alimentación negativa del amplificador operacional AD620.

4.2.2 Etapa de acondicionamiento de señal

Conformada por el circuito integrado AD620, el cual es un amplificador de instrumentación que se encarga de ampliar la señal del sensor en un factor de 100, a fin de que el convertidor análogo – digital integrado en el microcontrolador del Arduino, pueda digitalizar la señal, ya que esta es muy pequeña y no puede ser detectada por el convertidor directamente. En esta etapa también se usa el circuito integrado LM358, el cual es un amplificador operacional doble, del cual se usa la primera unidad como seguidor de voltaje a la salida del amplificador de instrumentación. En tanto que la segunda unidad de este circuito integrado se usa para ajustar el offset de la etapa de amplificación del AD620.

4.2.3 Puerto de comunicaciones

Incluye el circuito integrado MAX232, como opción para la compatibilidad con la norma RS232.

4.2.4 Reloj de tiempo real

Conformado por el circuito integrado DS1302 que permite implementar el reloj calendario del sistema, con soporte de batería de respaldo para los



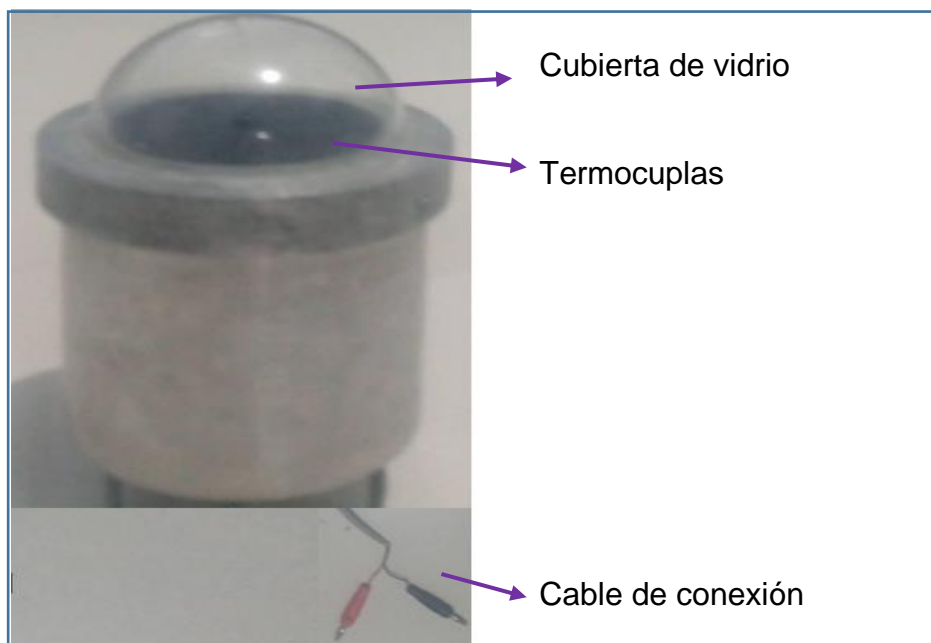
periodos de apagado del equipo, en los cuales se conserva la hora y fecha actualizadas.

Control de encendido de la luz de fondo de la pantalla LCD: mediante el transistor BC548 el cual opera como interruptor activando el LED de iluminación posterior de la pantalla LCD, durante la visualización de datos.

4.3 Construcción del prototipo de piranómetro

Una vez diseñado la parte interna, se construyó toda la estructura del prototipo de piranómetro con capacidad para medir la radiación solar, y luego se procedió a protegerlo la parte lateral con un tubo de acero inoxidable de 2 pulgadas, la parte inferior con una tapa de aluminio con aberturas, el cual permite la ventilación del circuito y salida del cable de conexión hacia la tarjeta de adquisición de datos, en la parte superior se colocó un anillo de acero inoxidable, en donde se empotró la cubierta de vidrio que protege a la placa superior expuesta a los rayos del sol. Finalmente, la placa superior del circuito o termocupla se pintó de color negro mate, el cual no deja que se refleje los rayos del sol. Esto puede observarse en la figura que se muestra a continuación.

Figura 9. Estructura final del prototipo de piranómetro

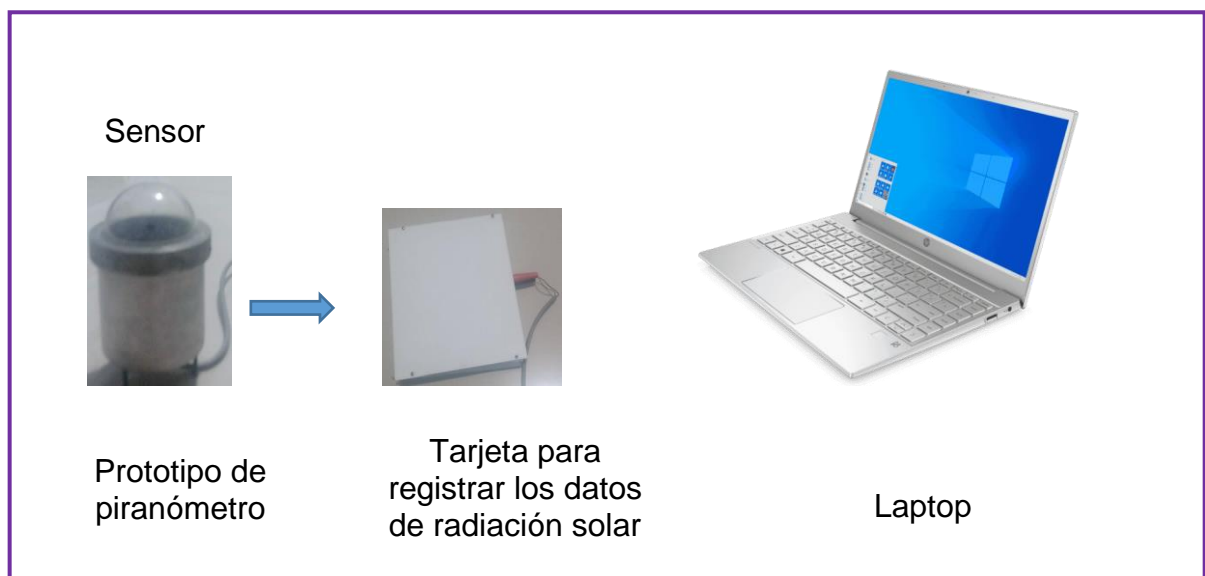


Fuente: Elaboración propia

Se muestran cuatro firmas manuscritas en la parte inferior de la página.

En la figura 09, se muestra la estructura final del prototipo de piranómetro, para lo cual el circuito constituido de 48 termocuplas de cobre Constantán, fue protegido de acuerdo a lo indicado líneas arriba, una vez elaborado el prototipo se procedió a realizar el diagrama (anexo k) y posterior implementación (Anexo L) del registrador de datos, quedando el diagrama de bloque para evaluar la radiación solar de acuerdo a lo mostrado en la figura siguiente.

Figura 10. Diagrama de bloques para medir la radiación solar.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10, se muestra el diagrama de bloque para obtener la radiación solar, en el cual se puede apreciar la conexión del prototipo de piranómetro con la tarjeta de almacenamiento de los datos de la radiación solar y finalmente esto es descargado a una laptop.

Diagrama eléctrico del registrador de datos para el prototipo de piranómetro.

4.4 Evaluación del prototipo de piranómetro

4.4.1 Métodos estadísticos de integración

Promedio

Valor representativo de tendencia central empleado en la descripción de las distribuciones de frecuencias, para la data de esta investigación sirve debido a que los valores de la radiación solar son altos y

bajos (Mitacc, 2017), la más usada es:

Media Aritmética – Datos no agrupados

Para el conjunto de datos $r_1 + r_2 + r_3 \dots \dots r_n$ de la radiación solar, su media aritmética se define como:

$$\bar{r} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 \dots \dots r_n}{n} = \sum_{i=1}^n r_j$$

Método de integración

Para determinar la energía solar se define el área bajo la curva de datos de la intensidad solar obtenida del patrón y del prototipo de piranómetro en una región plana “R” el cual fue realizado a través de una suma de tipo especial.

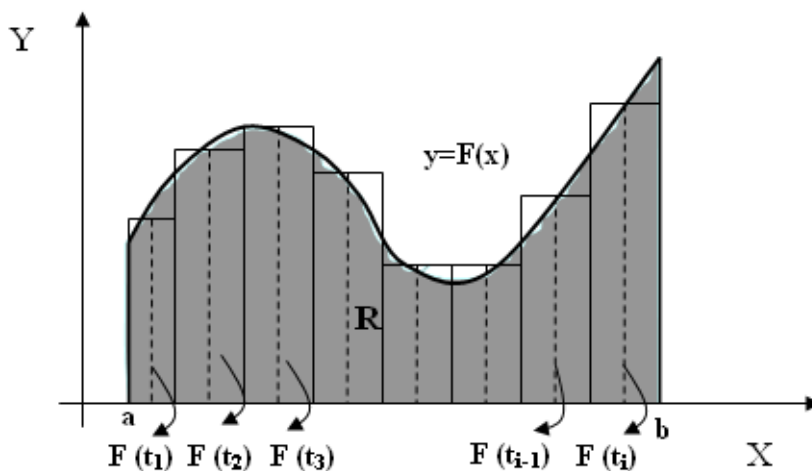
Supóngase que F es una función cuyo dominio es el intervalo cerrado [a; b] y que tiene la propiedad de que $F(x) \geq 0$. El área del i-ésimo rectángulo es:

$$F(t_i) \cdot \Delta x_i$$

y la suma:

$$R = \sum_{i=1}^n F(t_i) \cdot \Delta x_i$$

Figura 11. Descripción del área que se desea determinar bajo una curva cualquiera



Fuente: Elaboración teniendo como base el libro de Mitacc, 2017

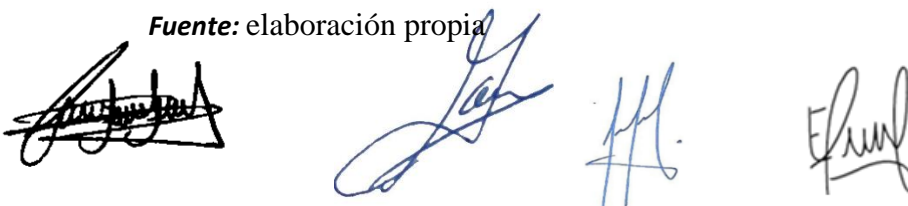
4.4.2 Registro de datos

El día 12 de febrero del 2022, se registró por espacio de cinco horas (8: 30 a.m. -1: 30 p.m.) y con intervalos de tiempo cada 5 minutos, los datos en milivoltios del prototipo de piranómetro y los datos registrados en W/m^2 del piranómetro modelo CPM3, el cual se descargó a una laptop y con la ayuda del programa SPSS versión 23 se procesó los 59 datos, los cuales se muestra dividido en cuatro columnas en la siguiente tabla.

Tabla 1. Datos del prototipo de piranómetro en milivoltios y del piranómetro modelo CPM3 en W/m^2

HORA	Rad(W/m^2)	Vsen(mV)	HORA	Rad(W/m^2)	Vsen(mV)
08:40:00	188.1	3307	11:10:00	836.2	14699
08:45:00	194.5	3398	11:15:00	911.5	14287
08:50:00	200.3	3512	11:20:00	661.8	10915
08:55:00	206	3586	11:25:00	575.4	10118
09:00:00	223.1	3827	11:30:00	552.5	9840
09:05:00	234	4053	11:35:00	497	8906
09:10:00	245.5	4274	11:40:00	477.5	8247
09:15:00	260.8	4547	11:45:00	518.3	8848
09:20:00	256.4	4528	11:50:00	508.2	8802
09:25:00	257.9	4538	11:55:00	401.8	7272
09:30:00	291	5136	12:00:00	500.9	8540
09:35:00	342.6	5985	12:05:00	750.4	11602
09:40:00	437.9	7576	12:10:00	755.2	13285
09:45:00	474.2	8454	12:15:00	698	12560
09:50:00	521.4	9187	12:20:00	624	11440
09:55:00	542.5	10369	12:25:00	554.2	9851
10:00:00	544.1	9315	12:30:00	596.4	9758
10:05:00	455.2	8113	12:35:00	602.9	10951
10:10:00	462.7	8130	12:40:00	1230.7	21890
10:15:00	512.8	9018	12:45:00	1153.8	21803
10:20:00	639.2	11285	12:50:00	1099.8	21006
10:25:00	636.9	11642	12:55:00	1081.1	20070
10:30:00	746.1	12510	13:00:00	1098.9	20527
10:35:00	668.9	11842	13:05:00	1080.8	20221
10:40:00	586.3	10738	13:10:00	1182.7	21804
10:45:00	592	9903	13:15:00	804.3	16147
10:50:00	595.6	10310	13:20:00	1147.1	16685
10:55:00	743	12490	13:25:00	935	17127
11:00:00	1063.8	18829	13:30:00	1126.5	21032
11:05:00	908.4	16225			

Fuente: elaboración propia



En la tabla 1, Se muestra el registro de los datos en milivoltios del prototipo de piranómetro y los datos registrados en W/m^2 del piranómetro modelo CPM3, en donde los máximos valores registrados son $21870 \mu V$ y $1230.7 W/m^2$ respectivamente, además se muestra los promedios, en donde el prototipo de piranómetro tiene $11099.32 \mu V$ y el piranómetro modelo CPM3 de $627.01 W/m^2$; al observar que los valores máximos del prototipo de piranómetro y del piranómetro modelo CPM3 fueron registrados en el mismo momento, además existe una relación directa entre los datos de ambos equipos.

4.4.1 Datos del prototipo de piranómetro y el piranómetro de la Universidad Nacional de Jaén.

Con la finalidad de asegurar la confiabilidad del prototipo de piranómetro, se realizó una comparación del registro de datos del piranómetro de la Universidad Nacional de Jaén (Patrón de medida) y el prototipo de piranómetros, el cual fue registrado cada media hora para ambos equipos el 16 de agosto, el 01 y 02 de setiembre, tal como se muestra en la tabla 2, tabla 3 y tabla 4.

Tabla 2. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-16/08/2022

Hora	Radiación Solar (W/m^2)		Error de los datos (%)	Temperatura
	Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ	Prototipo de piranómetro		
07:30:00	169	158	-6.5	23.1
08:00:00	279	337	20.8	25
08:30:00	413	431	4.4	26.3
09:00:00	520	576	10.8	27.5
09:30:00	617	646	4.7	28.3
10:00:00	707	676	-4.4	29.6
10:30:00	779	770	-1.2	30.3
11:00:00	835	827	-1.0	30.8
11:30:00	870	870	0.0	31.9
12:00:00	891	910	2.1	31.9
12:30:00	911	924	1.4	32.6
13:00:00	902	913	1.2	33
13:30:00	884	867	-1.9	33.7
14:00:00	858	838	-2.3	33.9

14:30:00	795	759	-4.5	34.2
15:00:00	714	703	-1.5	34.1
15:30:00	633	587	-7.3	34.3
16:00:00	536	518	-3.4	34.6
16:30:00	434	470	8.3	34.1
17:00:00	318	298	-6.3	33.5
17:30:00	200	199	-0.5	31.8
Promedio	631.67	632.24	0.62	31.17
Intensidad máxima	911	924		34.6
Energía Solar	23.88	23.90		

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-01/09/2022

Hora	Radiación Solar (W/m2)		Error de los datos (%)	Temperatura
	Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ	Prototipo de piranómetro		
09:30:00	636	625	-1.7	29.1
10:00:00	719	738	2.6	28.9
10:30:00	795	803	1.0	28.9
11:00:00	851	840	-1.3	28.9
11:30:00	877	897	2.3	28.9
12:00:00	911	905	-0.7	28.9
12:30:00	912	905	-0.8	28.9
13:00:00	916	940	2.6	28.9
13:30:00	889	902	1.5	28.9
14:00:00	849	840	-1.1	28.9
14:30:00	779	784	0.6	29.1
15:00:00	705	687	-2.6	29.1
15:30:00	585	560	-4.3	29.2
16:00:00	506	487	-3.8	29.2
16:30:00	403	388	-3.7	29.3
17:00:00	276	275	-0.4	29.4
Promedio	725.56	723.50	-0.60	29.03
Intensidad máxima	916	940		29.4
Energía Solar	20.90	20.84		

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-02/09/2022

Hora	Radiación Solar (W/m2)		Error de los datos (%)	Temperatura
	Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ	Prototipo de piranómetro		
08:30:00	397	380	-4.3	29.5
09:00:00	469	477	1.7	29.5
09:30:00	740	733	-0.9	29.5
10:00:00	643	633	-1.6	29.4
10:30:00	856	832	-2.8	29.4
11:00:00	842	851	1.1	29.4
11:30:00	881	897	1.8	29.4
12:00:00	911	943	3.5	29.4
12:30:00	1007	964	-4.3	29.4
13:00:00	1065	1042	-2.2	29.4
13:30:00	933	905	-3.0	29.4
14:00:00	872	848	-2.8	29.4
14:30:00	807	821	1.7	29.5
15:00:00	715	695	-2.8	29.5
15:30:00	624	614	-1.6	29.6
16:00:00	513	544	6.0	29.6
Promedio	767.19	761.19	-0.64	29.46
Intensidad máxima	1065	1042		29.6
Energía Solar	22.10	21.92		

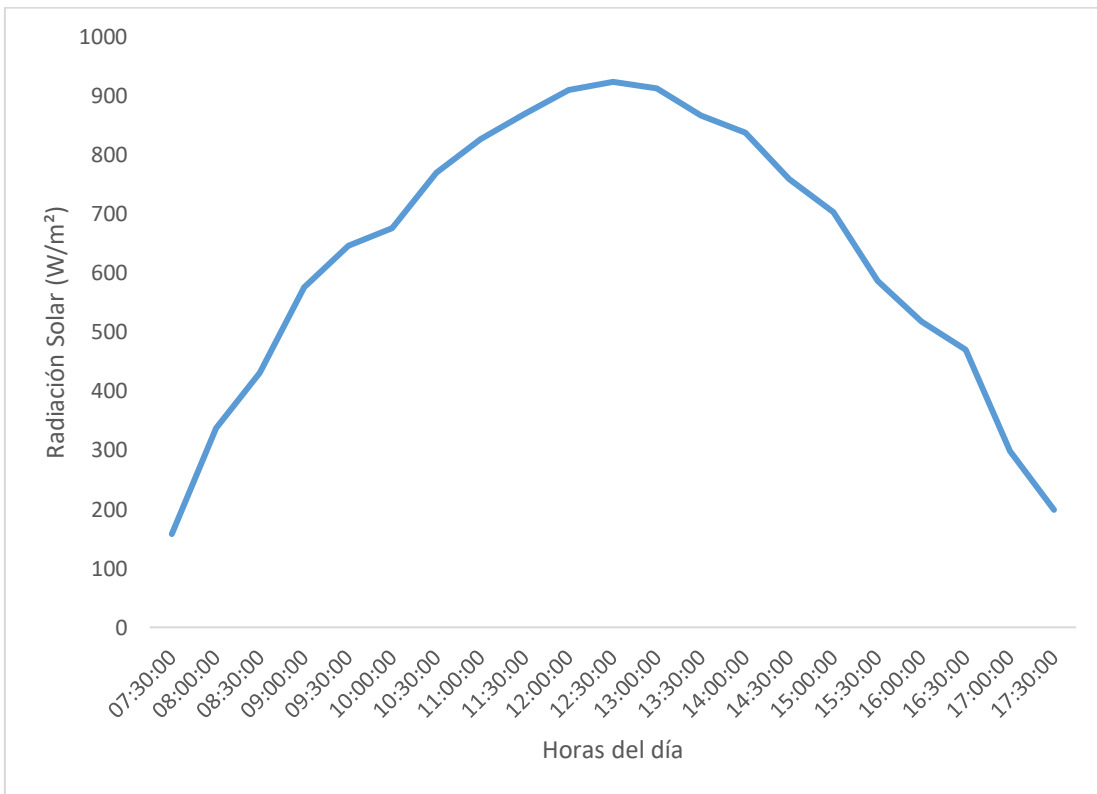
Fuente: elaboración propia

En las tablas 2, 3 y 4 Se muestran los datos de radiación solar obtenidos con el piranómetro de la estación meteorológica MACCARD-UNJ y el prototipo de piranómetros; así como el error de los datos en porcentaje y temperatura.

4.4.2 Comparación de datos del prototipo de piranómetro y el piranómetro de la Universidad Nacional de Jaén.

Datos del prototipo de piranómetro

Figura 12. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 16/08/2022



Fuente: Elaborado a partir de la data registrado con el prototipo de piranómetro

La figura 11 muestra la variación temporal de la radiación solar en el transcurso de un día despejado (16/08/2022), para la provincia de Jaén, donde se observó que la energía solar fue de 23.90 MJ/m², una intensidad máxima de 924 W/m² a las 12:30 p.m. y una intensidad promedio de 632.24 W/m². El área bajo la curva nos da la energía solar, antes de encontrar el área se procedió a la corrección de los valores en los extremos.

Figura 13 . Variación temporal de la radiación solar-Jaén 01/09/2022



Fuente: Elaborado a partir de la data registrado con el prototipo de piranómetro

La figura 13 muestra la variación temporal de la radiación solar en el transcurso de un día despejado (01/09/2022), para la provincia de Jaén, donde se observó que la energía solar fue de 20.84 MJ/m², una intensidad máxima de 940 W/m² a la 13:00 p.m. y una intensidad promedio de 723.50 W/m². El área bajo la curva nos da la energía solar, antes de encontrar el área se procedió a la corrección de los valores en los extremos.

Figura 14. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 02/09/2022

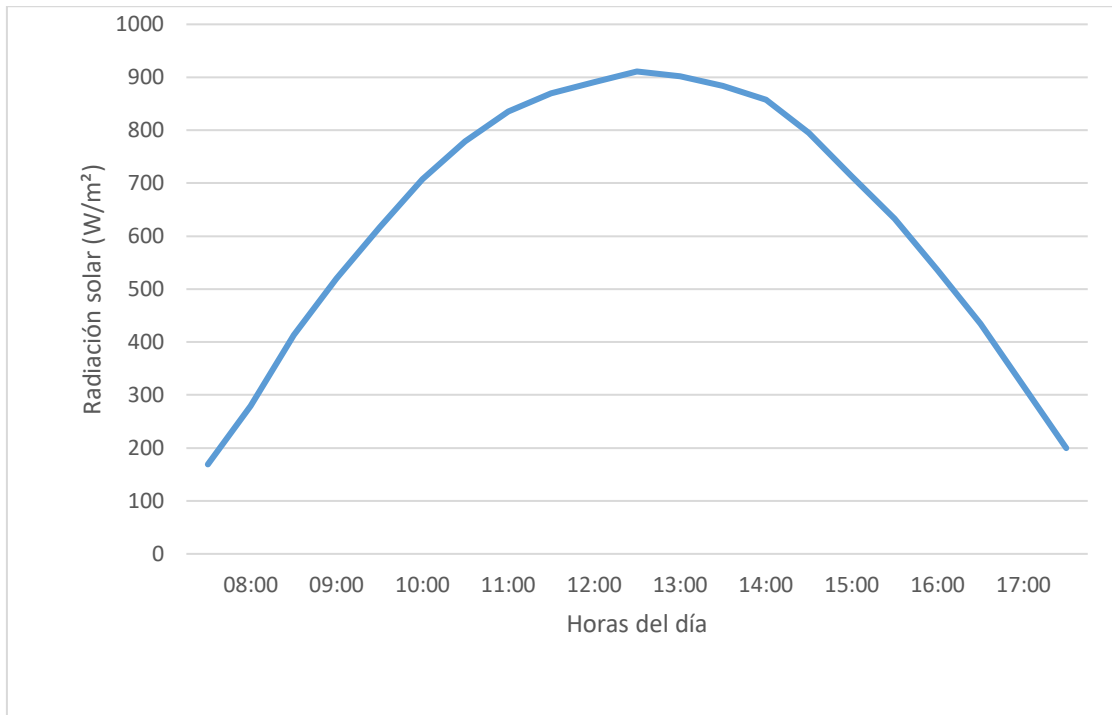


Fuente: Elaborado a partir de la data registrado con el prototipo de piranómetro

La figura 14 muestra la variación temporal de la radiación solar en el transcurso de un día con presencia de nubes de manera espontánea (02/09/2022), para la provincia de Jaén, donde se observó que la energía solar fue de 21.92 MJ/m², una intensidad máxima de 1042 W/m² a la 13:00 p.m. y una intensidad promedio de 761.17 W/m². El área bajo la curva nos da la energía solar, antes de encontrar el área se procedió a la corrección de los valores en los extremos.

Datos del piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ

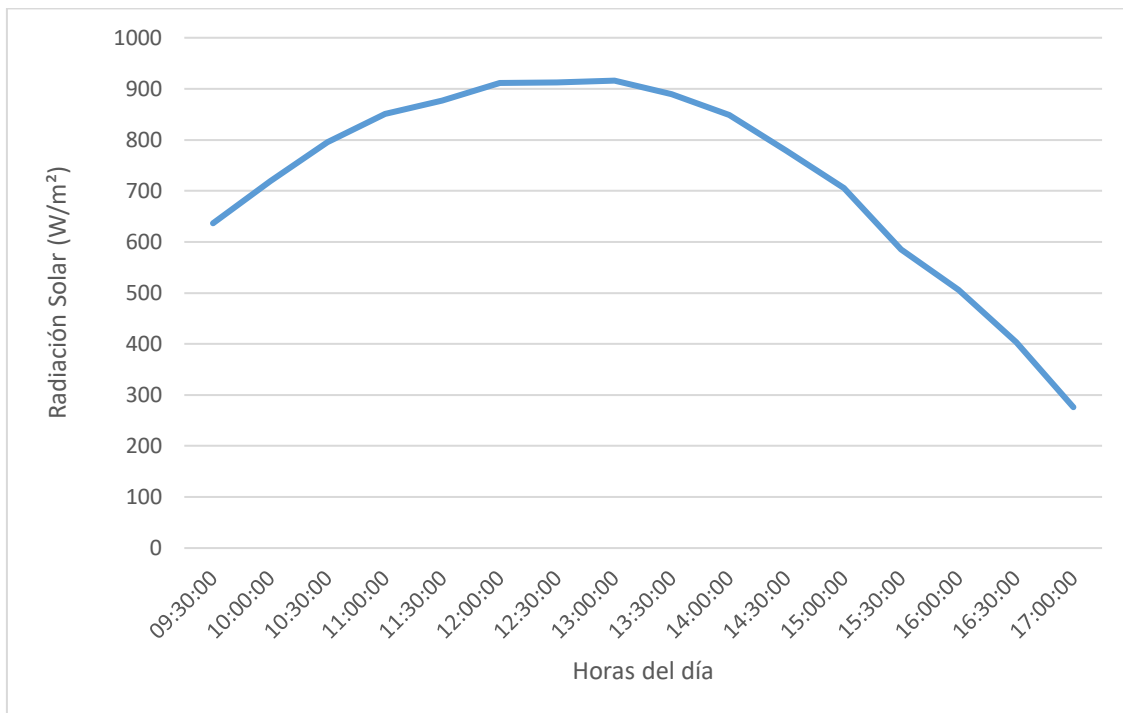
Figura 15. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 16/08/2022



Fuente: Elaborado a partir de la data registrado con el piranómetro de la UNJ

La figura 15 muestra la variación temporal de la radiación solar en el transcurso de un día despejado (16/08/2022), para la provincia de Jaén, donde se observó que la energía solar fue de 23.88 MJ/m², una intensidad máxima de 911 W/m² a las 12:30 p.m. y una intensidad promedio de 631.67 W/m². El área bajo la curva nos da la energía solar, antes de encontrar el área se procedió a la corrección de los valores en los extremos.

Figura 16. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 01/09/2022



Fuente: Elaborado a partir de la data registrado con el piranómetro de la UNJ

La figura 16 muestra la variación temporal de la radiación solar en el transcurso de un día despejado (01/09/2022), para la provincia de Jaén, donde se observó que la energía solar fue de 20.90 MJ/m², una intensidad máxima de 916 W/m² a la 13:00 p.m. y una intensidad promedia de 725.56 W/m². El área bajo la curva nos da la energía solar, antes de encontrar el área se procedió a la corrección de los valores en los extremos

Figura 17. Variación temporal de la radiación solar-Jaén 02/09/2022



Fuente: Elaborado a partir de la data registrado con el piranómetro de la UNJ

La figura 17 muestra la variación temporal de la radiación solar en el transcurso de un día con presencia de nubes de manera espontánea (02/09/2022), para la provincia de Jaén, donde se observó que la energía solar fue de 22.10 MJ/m², una intensidad máxima de 1065 W/m² a la 13:00 p.m. y una intensidad promedio de 767.19 W/m². El área bajo la curva nos da la energía solar, antes de encontrar el área se procedió a la corrección de los valores en los extremos

Datos del prototipo de piranómetro y el piranómetro de la Universidad Nacional de Jaén.

A continuación, se presenta el promedio, intensidad máxima y la energía solar del Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ y Prototipo de piranómetro, en donde se puede visualizar de manera clara la similitud de los datos de ambos equipos, así mismo se debe precisar que el promedio se determinó de la data registrado por ambos equipos cada media hora, la intensidad máxima es el valor máximo registrado por equipos el cual se dio a las 12:30:00 y la energía solar se determinó teniendo en cuenta los siguiente:

$$\text{Energía solar} = \frac{\text{suma de los datos registrados} \times 30 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos}}{10^6}$$

Tabla 5. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-16/08/2022

	Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ	Prototipo de piranómetro	Hora
Promedio	631.67 W/m ²	632.24 W/m ²	
Intensidad máxima	911 W/m ²	924 W/m ²	12:30:00
Energía Solar	23.877 MJ/m ²	23.899 MJ/m ²	

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-01/09/2022

	Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ	Prototipo de piranómetro	Hora
Promedio	725.56 W/m ²	723.50 W/m ²	
Intensidad máxima	916 W/m ²	940 W/m ²	13:00:00
Energía Solar	20.90 MJ/m ²	20.84 MJ/m ²	

Fuente: elaboración propia



Tabla 7. Datos del prototipo de piranómetro y Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ-02/09/2022

	Piranómetro de la estación meteorológica MACCARD – UNJ	Prototipo de piranómetro	Hora
Promedio	767.19 W/m ²	761.19 W/m ²	
Intensidad máxima	1065 W/m ²	1042 W/m ²	13:00:00
Energía Solar	22.10 MJ/m ²	21.92 MJ/m ²	

Fuente: elaboración propia

4.4.3 Presupuesto para el desarrollo implementado

Para las diferentes etapas de ejecución del proyecto, como son el diseño, construcción y calibración, el presupuesto total se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 8. Presupuesto

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
Bienes				436
Cable de constantan	Rolla	1	100	100
Alambre de cobre	Rolla	1	100	100
Pistola de soldar	Unidad	1	30	30
Estaño para soldar	Rollo	1	15	15
Placa de Baquelita	Unidad	1	30	30
Pasta para soldar	Unidad	1	10	10
Foco incandescente	Docena	6	08	48
Tubo de media pulgada	Metros	1	08	08
Socet de memoria	Unidad	1	33	33
Reloj de tiempo real	Unidad	1	32	32
Arduino	Unidad	1	30	30
Servicios				860
Refrigerios	Unidad	25	12	300
Costo por calibración -UNPRG	Día	1	300	300
Pasaje regional	Unidad	6	30	180
Pasaje local	Unidad	40	3	80
Total				1296

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9. Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Rad	,111	59	,070	,939	59	,005
Vsen	,123	59	,026	,928	59	,002

Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración según datos de contrastación

Como el número de datos registrados cada 5 min es 59, se utiliza la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov^a (se utiliza porque el número de datos es mayor a 50) y el valor del sig para esta prueba es menor que 0.05 se tiene una distribución no paramétrica, por tanto, las pruebas de correlación se realizaron con Rho de Spearman.

4.4.4 Correlación

Tabla 10. Análisis de la relación existente entre los datos del piranómetro modelo CPM3 y los datos del prototipo de piranómetro

			Rad	Vsen
Rho de Spearman	de	Coeficiente de correlación	1,000	,992**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	59	59
	Vsen	Coeficiente de correlación	,992**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		N	59	59

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

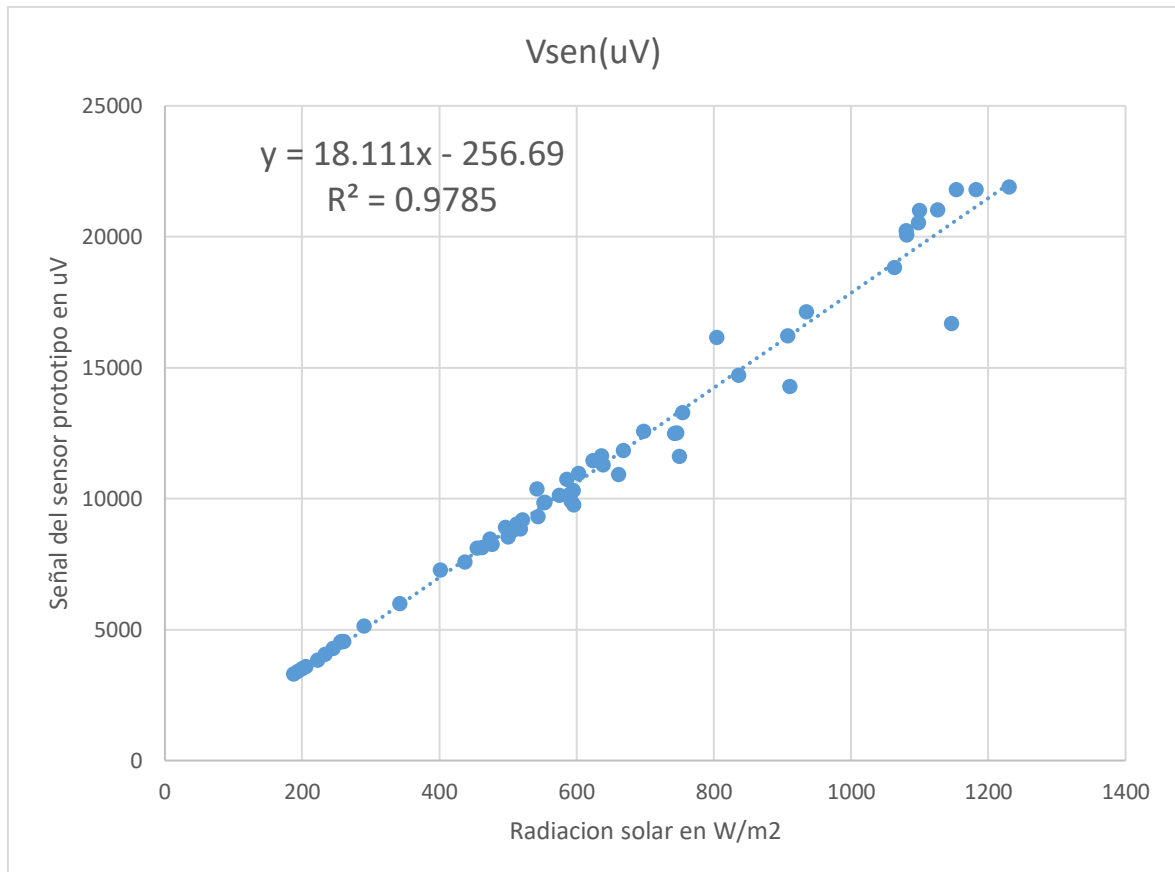
Fuente: Elaboración según datos registrados de los equipos por los investigadores

En la tabla 10 se muestra la relación existente entre los datos del piranómetro modelo CPM3 y los datos del prototipo de piranómetro, en donde se evidencia una correlación alta (Coeficiente de correlación 0,992) y significativa (Sig 0,00059); esto quiere decir que existe una relación alta entre los datos del piranómetro modelo CPM3 y los datos del prototipo de piranómetro y es significativa.

4.4.5 Dispersión y recta de regresión

Teniendo la seguridad de la significancia y la relación directa entre los datos registrados por ambos equipos, se determinó la dispersión y recta de regresión.

Figura 18. Dispersión y recta de regresión



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18, se muestra la correlación entre los datos del piranómetro modelo CPM3 y los datos del prototipo de piranómetro es alta con un nivel de confianza del 95%, esto se debe que los puntos en el diagrama de esparcimiento la mayoría están sobre la recta de regresión. Además, los valores registrados por ambos equipos tienen una relación lineal positiva, esto quiere decir que ambos valores crecen o decrece en forma parecida, así mismo de la ecuación se observa que valor 18.111 uV/w/m^2 es la pendiente de la recta, en tanto que la constante es el valor de desajuste o diferencia entre los ceros de ambos sensores.

V. DISCUSIÓN

La variabilidad en la superficie terrestre de la intensidad de la radiación solar, es importante conocerlo de manera precisa en cada punto del territorio terrestre, de no ser así se puede sobredimensionar o subdimensionar la ejecución de los proyectos que aprovechen la radiación solar y además es un problema que día a día se hace más común en la población, y aqueja a muchas personas en todo el mundo, que conjuntamente con los efectos que esta trae sobre la salud se hace un problema de gran interés para todos los investigadores en las diferentes áreas en donde se aproveche la energía solar.

Esta investigación denominada diseño de un prototipo de piranómetro constituido de una termopila de modelo comercial, en el cual se genera un termovoltaje en el rango de decenas o cientos de milivoltios en la placa expuesto al sol, su construcción está protegida de manera adecuada y avalado su funcionamiento con pruebas estadísticas los cuales permiten asegurar el cumplimiento satisfactorio de condiciones para medir la radiación solar en cualquier espacio geográfico del país con un nivel de confianza del 95%, estos resultados coinciden con los hallazgos de Chico et al.,(2009), quienes ejecutaron la investigación denominado *Desarrollo de un Sistema de Medición y Evaluación del Potencial de Radiación Solar Usando Instrumentación Virtual*, en donde se diseñó y la implemento un sistema de alta tecnología con facilidades para medir, adquirir y evaluar la radiación solar global quienes obtuvieron un nivel de confianza del 95%, esto fue verificado en los resultados en donde se evidencia los datos registrados con el sistema de medición y patrón de medida para comparar los resultados no sobrepasaron del 5% . Por otro lado López Mendoza et al., (2015), trabajaron una investigación denominado *Prototipo de medición solar "Piranómetro" v1.2*, quienes concluyeron que es factible el desarrollo de prototipos en una escala mayor que tengan un nivel de confianza mayor al 95%, las mediciones que se obtuvieron de la data al realizarlo con el prototipo no sobre pasa los valores del 6% con relación al patrón medida utilizada por investigador . Así como también Sánchez Poma, (2018), en su tesis cuyo objetivo fue diseñar un medidor de radiación solar a partir de la captación de rayos solares por una celda fotovoltaica, su transformación a



niveles de radiación, la simulación del diseño y construcción del mismo, en la cual los datos que se obtuvieron en intervalos de tiempo se almacenaron en una tarjeta de memoria para ser procesados con diferentes herramientas tecnológicas cumplen con condiciones básicas de un equipo de fábrica y con un nivel de confianza que supera el 95%, en este utilizaron una celda fotovoltaica es cual se diferencia de esta investigación.




VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- El diseño del estado de arte de la termopila como modelo comercial para el principio de funcionamiento del prototipo de piranómetro está constituido con cables de cobre y Constantán, al unirlos sus extremos crea termopares y estos al ser conectados en serie forman un circuito de 48 termocuplas, el cual permite generar un termovoltaje en el rango de decenas o cientos de milivoltios en la placa expuesto al sol. Se decidió por modelo comercial denominado termopila, debido a que tiene un mayor rango de longitud de onda y es el más simple de construir.
- La construcción de la parte interna prototipo de piranómetro está constituida por un circuito de 48 termocuplas, el cual la parte lateral está protegida con un tubo de acero inoxidable de 2 pulgadas, la base de la cubierta externa con una tubería estándar de aluminio de alta presión con un espesor necesario para trabajar en torno y así mismo las puntas calientes (placa superior) fue protegido por una cubierta de vidrio dimensionada de un foco transparente al visible o infrarrojo
- La evaluación se realizó comparando el registro de datos, sobre una misma superficie, en el mismo instante y periodo de tiempo, en milivoltios (mV) del prototipo de piranómetro y los datos registrados en watt entre metros cuadrados (W/m^2) del piranómetro modelo CPM3, al cual se realizó pruebas estadísticas, que permitió asegurar que el prototipo cumple satisfactoriamente las condiciones como equipo para la medición de la radiación solar y además es adaptable para ser utilizado en cualquier espacio geográfico del planeta tierra.



- El registro de datos de la radiación solar por el prototipo de piranómetro hacia el microcontrolador se va realizando cada 5 minutos durante el día.
- La placa superior del prototipo de piranómetro está protegida por una cúpula hemisférica de vidrio de foco el cual asegura que el ángulo de incidencia de la radiación del haz sea siempre normal a la superficie del domo.
- Los datos obtenidos por el prototipo de piranómetro se almacenan en una memoria SD, para luego ser descargados en una laptop a una hoja Excel para graficar el comportamiento de la radiación solar diaria y realizar el análisis respectivo.
- La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre depende de los siguientes factores: latitud, altitud, posición del sol, sombra generada por las nubes, cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión en la capa terrestre, así estos factores varían durante el día y a lo largo del año.



6.2 RECOMENDACIONES

- El prototipo de piranómetro para ser utilizado debe estar ubicado en un lugar libre de obstáculos que no lo provoquen sombra alguna, quiere decir que tiene que estar posicionado de manera que los rayos solares traten de dar directo sobre él.
- La Universidad Nacional de Jaén debe adquirir equipos que permitan a los investigadores que los puedan utilizar como patrones de medida en las calibraciones de prototipos a construir para diversas mediciones.
- Es necesario construir prototipos de piranómetro para medir la radiación solar, debido que actualmente las tablas o mapas de radiación solar se elaboran a partir de mediciones vía satélite o bien a partir de los datos obtenidos en estaciones meteorológicas, por lo que no se cuenta con información precisa de una zona específica, al no tener información precisa se puede sobredimensionar o subdimensionar la ejecución de los proyectos que aprovechen la radiación solar.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolzi, C., Tamasi, M., & Cadena, C. (2016). Primer prototipo de radiómetro fotovoltaico sumergible de bajo costo desarrollados en la CNEA. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 37, 49–54.
- Chico, F., Aristizabal, J. A., & Gordillo, G. (2009). Desarrollo de Sistema de Medición y Evaluación del Potencial de Radiación Solar Usando Instrumentación Virtual. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 41(9), 1689–1699.
- ECURED. (2022). *Fotodiodo*. <https://www.ecured.cu/Fotodiodo>.
- Efecto Seebeck. (2022). *ECURED*. https://www.ecured.cu/Efecto_Seebeck.
- EKO logo. (2022, April 20). *MS-80S Albedómetro inteligente*. <https://eko-eu.com/es/>.
- Grossi Gallegos, H. (2001). Medición de la radiación solar en la superficie de la Tierra: instrumental y errores asociados. *Universidad Nacional de Luján, April 2001*, 15 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2873.4328>
- Innova, G. (2014). *Informe de la Organización Meteorológica Mundial sobre el clima*.
- KIPP&ZONEN. (2022). *Instrumentos Solares*. <https://www.kippzonen.es/>.
- LICOR. (2022). *Impacting Lives Since*. <https://www.licor.com/>.
- López Mendoza, I., Pioquinto Beltrán, D., Gómez Gutiérrez, A. D., Gutiérrez Montero, D., Demillón Pascual, R., & Trejo Montufar, A. (2015). Prototipo de medición solar “ Piranómetro ” v1 . 2. *Copyright 2015 Academia Journals*, 7(1), 1309–1314.
- Mitacc, M. (2017). *Tópicos de estadística descriptiva y probabilidad* (Printed (ed.); Segunda).
- Sánchez Poma, R. W. (2018). Diseño y construcción de medidor de radiación con seguimiento solar y registrador de datos. *Universidad Nacional Del Centro Del Perú*, 0(0), 1–144.
- Vera, L., Cuestas, C., Firman, A., Cáceres, M., & Busso, A. (2016). Desarrollo de un medidor portátil de irradiancia, par, temperatura y humedad. *Acta de La XXXIX Reunión de Trabajo de La Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4(1), 8–231.

AGRADECIMIENTO

A Dios por habernos iluminado en todas las circunstancias de la investigación, a nuestros padres por darnos las fuerzas para seguir adelante, y a todos aquellos seres que con su tiempo, palabras, entusiasmo e ideas han hecho realidad esta investigación y de manera especial al Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez y Lic. Francisco García Roque por su apoyo constante a cada uno de ellos.



DEDICATORIA

Cristhian Paúl Febre Martínez

Esta investigación va dedicada a todo ese mar humano interesado en hacer investigaciones en beneficio de la sociedad actual, a mi hijo Jhadiel Kennedy Febre Cunaique, a mi esposa Alicia Stefanny Cunaique Alberca, a mis padres por su apoyo en los momentos más difíciles de mi vida y por darme las fuerzas para seguir adelante.

Edan Chanta Santos

Este trabajo va dirigido a diversos investigadores del país y del mundo, en tanto ellos serán los que mejor juzguen y contribuyan a repasar el contenido, estructura y resultados de la investigación. En especial a mis padres y mi hermano Raúl Chanta Santos.



ANEXO

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized name with a horizontal line through it.A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, flowing initial letter followed by a few strokes.A handwritten signature in blue ink, consisting of several vertical and diagonal strokes.A handwritten signature in black ink, consisting of a few simple, connected strokes.

Anexo A: CARTA S/N-2022 solicitando servicios -UNPRG



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

LEY DE CREACIÓN N° 29304
UNIVERSIDAD LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 002-2018-SUNEDU/CD



“ Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional ”

CARTA S/N-2022

Jaén, 14 de enero de 2022

Señor:

M.Sc Guillermo Uceda Pisfil

Jefe de la estación meteorológica de la UNPRG

Presente.

Reciba un cordial saludo en la oportunidad de informarle que somos los tesisistas Cristhian Paul Febre Martínez y Edan Chanta Santos egresados de la carrera profesional Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén, quienes presentamos un proyecto de tesis denominada “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE PIRANÓMETRO PARA MEDIR LA RADIACIÓN SOLAR”, el cual fue aprobado con resolución de Vicepresidencia de Investigación N° 653-2021-UNJ, de fecha 13 de setiembre del 2021, asesorado por el Dr. Freddi Roland Rodriguez Ordoñez (Asesor interno) y M.sc Francisco Garcia Roque (Asesor Externo), en tal sentido, solicitamos gestionar el acceso a la estación meteorológica de la UNPRG y el servicio de intercomparación del prototipo de solarimetro con el sensor de radiación solar disponible en dicha estación, para los días viernes 21 y sábado 22 de enero, asimismo nos comprometemos a sufragar el costo que demande el servicio.

Sin otro particular a que hacer referencia y agradeciendo su atención, se suscriben

Atentamente,

Cristhian Paul Febre Martínez
Tesisista

Edan Chanta Santos
Tesisista

Anexo B: CARTA S/N-2022 solicitando acceso a la estación meteorológica de la UNJ

Jaén 12 de agosto del 2022

Carta S/N -2022 –DCBA – UNJ

Mg. Candy Lizbeth Ocaña Zúñiga

Jefa de la Unidad de Posgrado



Asunto: SOLICITUD ACCESO A LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA UNJ

Presente. -

Tenemos el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente, y a la vez solicitarle acceso a la estación meteorológica de la UNJ los días 15 y 16 de agosto, para comparar datos del piranómetro existente en la estación con el PROTOTIPO DE PIRANÓMETRO PARA MEDIR LA RADIACIÓN SOLAR diseñado y construido por nosotros como testistas, egresados de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Jaén y asesorados por el Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez, con la finalidad de levantar una de las observaciones realizadas por un miembro de jurado Evaluador.

Sin otra particularidad y seguro de contar con su atención al presente, hacemos propicia la oportunidad de expresarle las muestras de muestra especial consideración y estima personal.

Atentamente

Bach. Cristian Paul Febre Martínez

Bach. Edan Chanta Santos

Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez

Anexo C: Prototipo de piranómetro y registrador de datos




Anexo D: Estación meteorológica principal Fundo “El Cienego”
Universidad Nacional Pedro Ruiz –Lambayeque



Anexo E: Instalando el piranómetro Modelo CMP3



Anexo F: Calibration certificate - Pyranometer

 Kipp & Zonen <small>SINCE 1919</small>	Kipp & Zonen B.V. DeWeerthpark 26, JA28 891 Delft P.O. Box 507 3400 AA Delft The Netherlands
	T +31 (0)15 2755 210 F +31 (0)15 2620 331 E info@kippzonen.com www.kippzonen.com
CALIBRATION CERTIFICATE PYRANOMETER	
PYRANOMETER MODEL	: CMP 3
SERIAL NUMBER	: 071451
SENSITIVITY at normal incidence on horizontal pyranometer	: 12.17 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
IMPEDANCE	: 33 Ohm
CALIBRATION PROCEDURE	: The indoor calibration procedure is based on a side-by-side comparison with a reference pyranometer under an artificial sun led by an AC voltage stabiliser. It embodies a 150 W Metal-Halide high-pressure gas discharge lamp. Behind the lamp is a reflector with a diameter of 16.2 cm. The reflector is 1 m above the pyranometers producing a vertical beam. The reference and test pyranometers are mounted horizontally on a table, which can rotate. The irradiance at the pyranometers is approximately 500 W/m^2 . During the calibration procedure the reference and test pyranometer are interchanged to correct for any non-homogeneity of the beam. The dark offsets of both pyranometers are measured before and after the interchange and taken into account.
REFERENCE PYRANOMETER	: Kipp & Zonen CMP 3 sn010193 active from 01/01/2007.
hierarchy of traceability	: This pyranometer was compared with the sun and sky radiation as source under mainly clear sky conditions using the "continuous sun-and-shade method". The readings are referred to the World Radiometric Reference (WRR) as stated in the WMO Technical Regulations. The measurements were performed in Davos (latitude: 46.1143°, longitude: -9.8458°, altitude: 1586 m above sea level).
	The inclination of the receiver surfaces versus their horizontal position were set to 0.0 degrees, the instrument signal wire to the north. During the comparisons, the instrument received global radiation intensities from 642 to 978 with a mean of 817 W/m^2 . The angle between the solar beam and the normal of the receiver surface varied from 25.5 to 50° with a mean of 39.3 degrees. The instrument temperature ranged from +11.0 to +27.1 with a mean of +20.8 °C. The sensitivity calculation and the single measurements deviation (n) are based on 1309 individual measurements. The obtained sensitivity value and its expanded uncertainty (95% level of confidence) are valid for similar conditions and are $14.51 \pm 0.54 \mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ (but is corrected by Kipp & Zonen to 14.86 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$. See "correction applied" below). Dates of measurements: 2006 July 16-19, 24, 25, 27; Aug. 15, 18, 23, 25, 31; Sept. 1, 4, 5, 12.
	Global radiation data were calculated from the direct solar radiation as measured with the absolute cavity pyrheliometer PMO2 (member of the WSG, WRR-Factor: 0.998618, based on the last International Pyrheliometer Comparison IPC-2005) and from the diffuse radiation as measured with a continuous disk shaded pyranometer Kipp & Zonen CM 22 sn020059 with sensitivity 8.91 (ventilated with heated air, instrument-wire to the north).
correction applied	: +2.4 % This correction was necessary to correct for the mean directional errors of the reference CMP 3 in Davos. This error is estimated at Kipp & Zonen measuring the cosine error for the mean angle of incidence at azimuth 5-30° and 5+30°. The reference CMP 3 now measures the vertical directed beam of the indoor calibration facility more correctly.
IN CHARGE OF TEST	: F. de Wit Date October 05, 2007 Kipp & Zonen, Delft, Holland
Notice	The calibration certificate supplied with the instrument is valid from the date of shipment to the customer. Even though the calibration certificate is dated relative to manufacture or recalibration the instrument does not undergo any sensitivity changes when kept in the original packing. From the moment the instrument is taken from its packaging and exposed to irradiance the sensitivity will deviate with time. See also the "non-stability performance (max. sensitivity change / year) given in the radiometer specification list.



Anexo G: Registrador de datos-UNPRG



Anexo H: Tesistas y asesores



Anexo I: Códigos de programación

//inclusión de librerías para las funciones básicas de los componentes de la placa

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <virtuabotixRTC.h>
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#include <SD.h>
```

//Definicion de variables globales

```
File logFile;
```

```
//Crear el objeto LCD con los números correspondientes (rs, en, d4, d5, d6, d7)
```

```
LiquidCrystal lcd(A4, A5, A0, A1, A2, A3);
```

```
virtuabotixRTC myRTC(2,3,4);// SCLK->2, I/O->3, CE->4
```

```
int ch6=0,aa,mm,dd,hh,ii,ss,resto,buff[10],m=0,suma=0;
```

```
float rad=0.0;
```

```
String cadena="",mx="";
```

```
const int Treg=300;//cada 5 minutos
```

//Configuracion de los recursos integrados en el microcontrador: puerto de comunicaciones, salidas, display LCD. Conexión con el módulo de memoria.

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(8,OUTPUT);
```

```
  pinMode(9,OUTPUT);
```

```
  lcd.begin(20,2);
```

```
  digitalWrite(8,HIGH);
```

```
  if (!SD.begin(10))Serial.println("Error al iniciar SD");
```

```
  ch6=analogRead(A6);
```

```
  for(m=0;m<10;m++){buff[m]=ch6;}
```

```
}
```

//Bucle principal del programa del microcontrolador

```
void loop() {
```

```
for(m=0;m<9;m++){buff[m]=buff[m+1];}//Desplazamiento del buffer de datos
```

```
buff[9]=analogRead(A6);//lectura de la entrada analógica donde esta conectado el sensor
```

```
suma=0;for(m=0;m<10;m++){suma=suma+buff[m];}
```

```
ch6=(int)(suma/10);// promedio móvil de 10 datos
```

```
rad=1117.68937-2.69354*ch6;//Ecuacion de regresión, considerando la ganancia del amplificador de señal A=100
```

```
if(rad<0.0) rad=0.0;
```

```
myRTC.updateTime();// lectura del reloj de tiempo real
```

```
aa=myRTC.year;mm=myRTC.month;dd=myRTC.dayofmonth;
```

```
hh=myRTC.hours;ii=myRTC.minutes;ss=myRTC.seconds;
```

```
cadena="";
```

```
// Conversion de los resultados binarios a formato texto, para ser guardados en el archivo de datos.
```

```
if(dd<10)cadena+="0";cadena+=String(dd);cadena+=""/;
```

```
if(mm<10)cadena+="0";cadena+=String(mm);cadena+=""/;cadena+=String(aa);cadena+=" ";
```

```
if(hh<10)cadena+="0";cadena+=String(hh);cadena+=":";
```

```
if(ii<10)cadena+="0";cadena+=String(ii);cadena+=":";
```

```
if(ss<10)cadena+="0";cadena+=String(ss);
```

```
// escritura de la hora, fecha y dato en la pantalla LCD
```

```
lcd.clear();lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print(cadena);
```

```
cadena+=" " ;cadena+=String(rad,0);
```

```
Serial.println(cadena);
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("Rad = ");lcd.print(rad,0);lcd.print(" W/m2 " );lcd.print(mx);
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
delay(500);
```

```
digitalWrite(9,LOW);
```

```
delay(500);
```

```
resto=(int)((ii*60+ss)%300);
```

```
if(resto==0){  
  //Escritura del archivo de datos en la SD card  
  logFile=SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);  
  if(logFile){logFile.println(cadena);logFile.close();mx="Ok";}  
  else{Serial.println("Error al abrir el archivo");mx=" X";}  
}
```



Anexo J: Manual del Usuario

Manual de Usuario



Autores: Cristhian Paúl Febre Martínez

Edan Chanta Santos

JAÉN-PERÚ, AGOSTO, 2022

1. INTRODUCCIÓN

Estimado lector, gracias por revisar esta información, el cual es importante para entender el uso adecuado de prototipo de piranómetro, realizado por Cristhian Paúl Febre Martínez y Edan Chanta Santos en calidad de tesistas, asesorados por el Dr. Freddi Roland Rodríguez Ordoñez y Lic. Francisco Gracia Roque.

El prototipo de piranómetro es de alta calidad diseñado para la mediación de la radiación solar sobre una superficie plana, este manual da información relacionada con el registro de datos.

2. Componentes principales del prototipo de piranómetro.

- Cable de cobre y Constantán
- Cubierta de vidrio
- Termopar
- Tornillo de nivelado
- Conector



75



Modelo del prototipo de *piranómetro*



Fuente: Elaboración propia.

3. Instalación

Se deben cumplir de manera detallada los siguientes pasos para conseguir un rendimiento óptimo del prototipo de piranómetro.

- Debe estar libre de obstáculos
- Se debe asegurar con una superficie fija.
- El cable eléctrico no debe estar expuesto al sol, para minimizar el calentamiento de las conexiones eléctricas.
- La nivelación de la placa superior debe estar horizontal.

Instalación del prototipo de piranómetro



Fuente: Fotografía propio de los Investigadores.

4. Registro de datos

Una vez instalado el prototipo de piranómetro se sigue la secuencia que a continuación se detalla para registrar los todos.

a. Secuencia

- Una vez instalado el prototipo de piranómetro los terminales se conectan a un multímetro digital con la finalidad de verificar el funcionamiento y calibración del sensor, tal como se muestra en la siguiente figura.

77



- Registrado la fuerza electromotriz en milivoltios, por ser un valor pequeño se usa un convertidor analógico digital de alta resolución con lo que se logra convertir a unidades de radiación solar, que, para el prototipo de piranómetro, se determinó la ecuación de calibración siguiente.

$$y = 18.111x - 256.69$$

Donde:

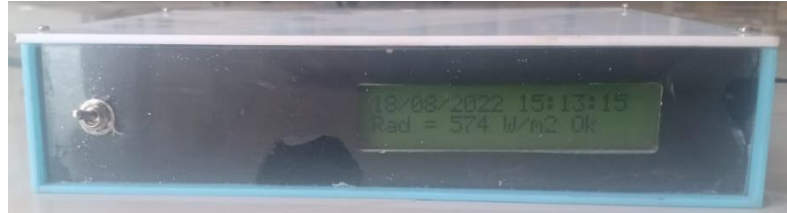
y : Valor instantáneo de la intensidad de la radiación solar

x : Diferencia de potencial generada en el prototipo de piranómetro
18.111 y 256.69: Constantes características del prototipo de piranómetro

- Se conecta el prototipo de piranómetro a la tarjeta de almacenamiento de los datos de radiación solar cada 5 minutos, tal como se muestra a continuación.



- Registrado los datos se retira la memoria SDcard, para luego almacenarlo el archivo de datos en formato de texto y luego se convierte a una hoja de cálculo de Excel.

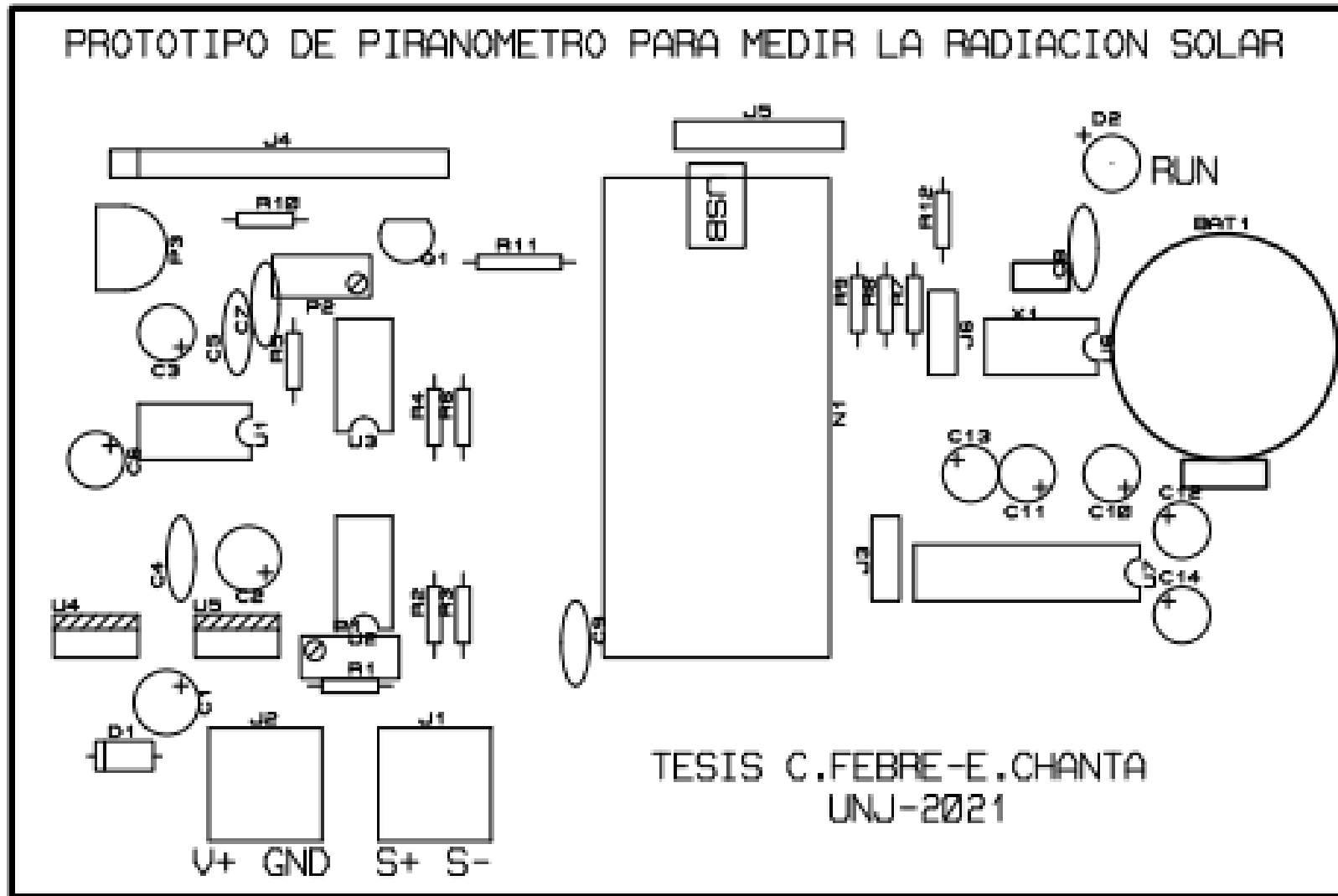


- Los datos de la hoja de cálculo Excel es analizado de una manera detallada en tablas y gráficos

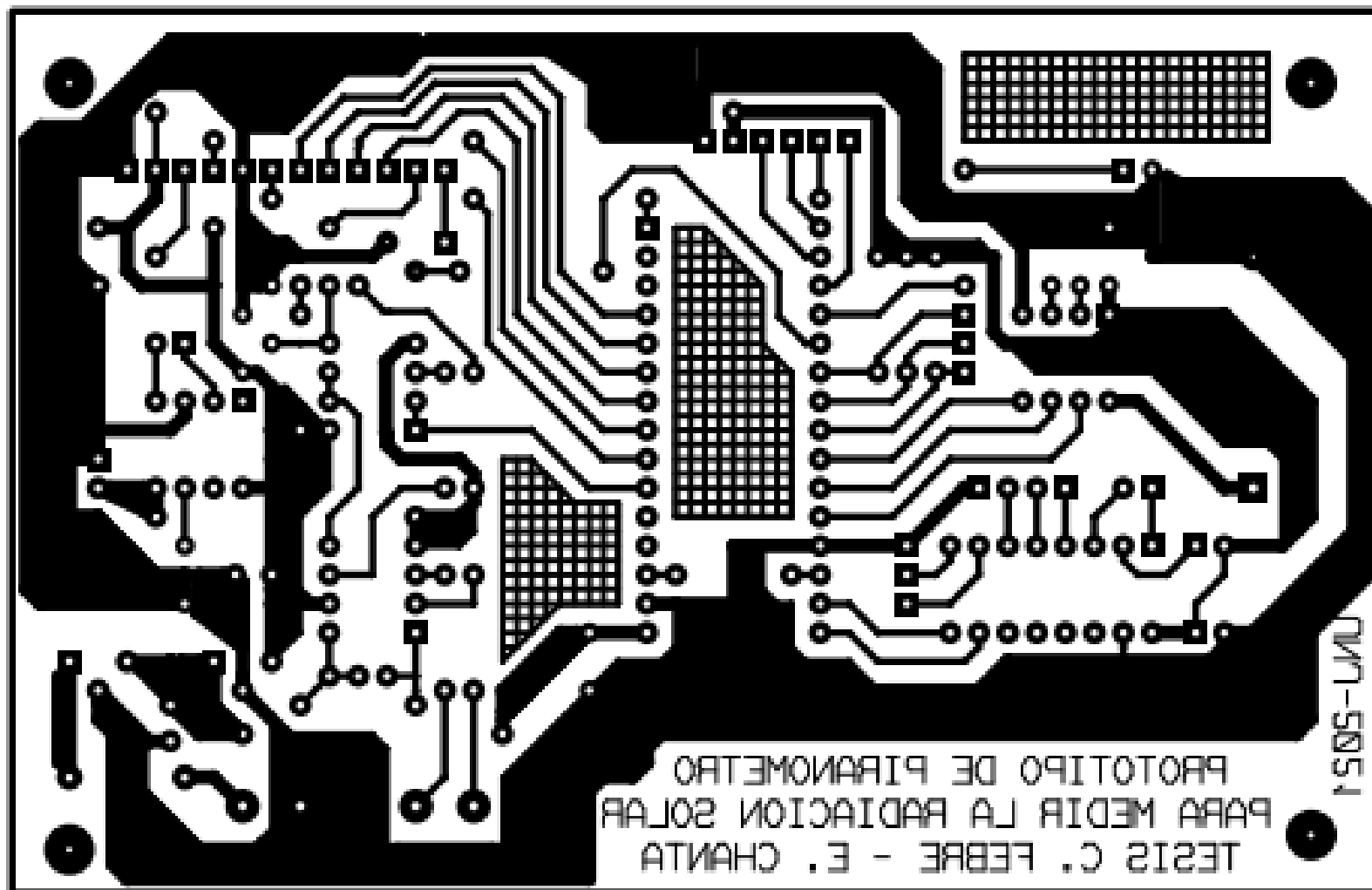
5. Análisis de datos

Los datos obtenidos por el prototipo de piranómetro se almacenan en una memoria SD, para luego ser descargados en una laptop a una hoja Excel para graficar el comportamiento de la radiación solar diaria y realizar el análisis respectivo.

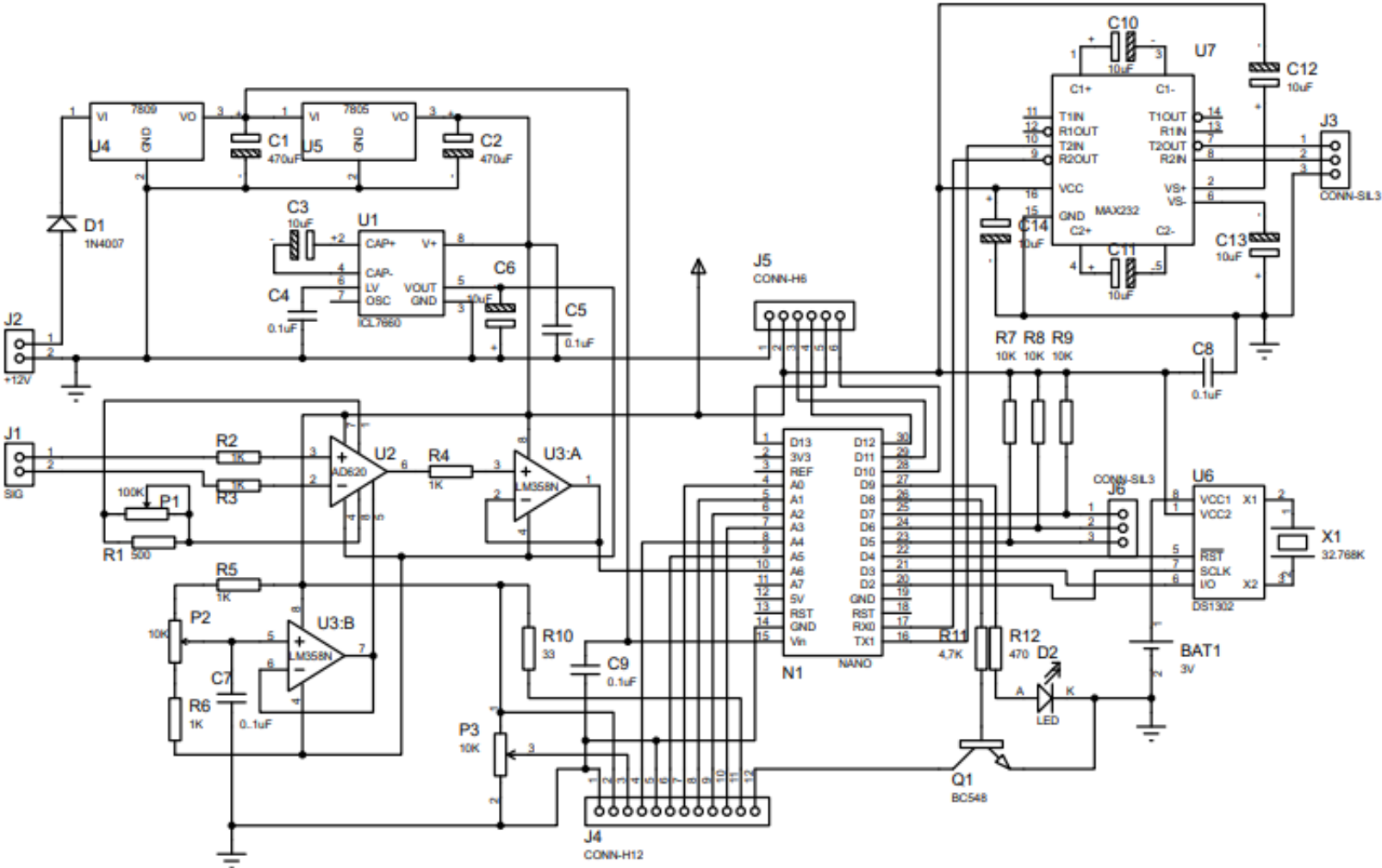
Anexo K: Diagrama mecánico del prototipo de piranometro.



Anexo L: Diagrama del circuito del registrador de datos para el prototipo de piranometro.



Anexo M: Diagrama eléctrico del registrador de datos para el prototipo de piranómetro.








Anexo N: Circuito desarrollado para implementar el registrador de datos del prototipo de piranometro.

