

**IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA
ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE
PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE PANELES
SOLARES**

**JOSÉ MAURICIO TOSCANO VEGA
SEBASTIÁN ENRIQUE MACIAS BERTEL**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL MONTERÍA
2022**

**IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA
ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE
PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE PANELES
SOLARES**

**JOSÉ MAURICIO TOSCANO VEGA
SEBASTIÁN ENRIQUE MACIAS BERTEL**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Asesor

FABIAN ALONSO LARA VARGAS
Ingeniero electrónico

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL MONTERÍA
2022**

DEDICATORIAS.

José Mauricio Toscano

Este logro es para Dios, por su ayuda y darme la oportunidad de sacar adelante a mi familia y luego continuar con mis estudios.

A mi padre Álvaro Toscano, por enseñarme que en la vida las cosas se consiguen con esfuerzo y dedicación, que ellos solo aportan la salida, el resto lo aprendemos con nuestro día a día, pero el siempre mirándonos para desde cerca y aconsejarnos de la mejor manera, a mi madre Clara Vega por su ayuda y dedicación en este camino largo de mi carrera, por estar siempre aconsejándome que continuara que nunca desfalleciera.

A mi esposa Luz Stella y mi hijo José Mauricio, quienes siempre son el impulso y motor por el que este barco navega, por su ayuda y consejos en los momentos difíciles, por estar siempre pendiente que todo marche bien.

Sebastián Enrique Macías Bertel

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda. Agradecimientos a mi madre Claudia Estella Bertel Contreras por darme todo, Que en paz descanse, a mis Tíos Oliverio Gómez y Claudia Ruiz por ser mi base en una etapa difícil de mi vida, y Geraldine Oviedo y Camila Llorente me apoyaron en estos dos últimos años.

AGRADECIMIENTOS.

A la ingeniera Claudia Milena Serpa, su esfuerzo día a día por hacernos ingenieros capaces de pensar y transmitir nuestro conocimiento, usó una herramienta como base fundamental. la investigación y dedicación constante. Gracias por su gran ayuda en nuestra formación y en este trabajo de investigación, Dios la bendiga a usted y a toda su familia.

A la ingeniera Ana Milena, Agradecemos inmensamente su labor, como Ingeniera docente, es una persona con mucho conocimiento y lo mejor es la forma como lo transmite a sus estudiantes y quien lo necesite, un gran carisma, conducta intachable es una persona que sabe escucharnos y ayudarnos. Dios la bendiga a ella y su familia.

A nuestro director, el ingeniero Fabian Lara Vargas. Persona con grandes conocimientos transmisibles, por dedicarnos tiempo a esta ardua tarea de investigación, a siempre dar su mejor recomendación.

Al ingeniero Jorge Ardila, un gran ser humano como amigo docente, persona que siempre busca que el conocimiento se entienda y comprenda de la mejor manera posible, es una persona que motiva a seguir para adelante. Dios lo bendiga siempre en todo momento junto con su familia.

Al ingeniero Richar Crasford. por su paciencia, por comprendernos, por escucharnos y brindarnos el mejor consejo, por ser un amigo. Su conocimiento además de ser muy ingenioso es el complemento que necesita todo ser humano para el camino de la vida. y qué decir de cómo lo transmite !!!, siempre busca la mejor manera de hacerse entender.

Al ingeniero Francisco Barreiro Pinto por su gran ayuda en la formación como ingenieros, gracias por buscar impartir el conocimiento de la mejor manera y hacernos comprender, por su paciencia y colaboración.

LISTA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
1. INTRODUCCIÓN.	16
2. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE	18
2.1 ENERGÍA.	18
2.2 ENERGÍA RADIANTE	19
2.3 ENERGÍA TÉRMICA	19
2.4 POSICIÓN DE LA TIERRA CON RESPECTO AL SOL.	20
2.5 FLUJO ENERGÉTICO	21
2.6 ENERGÍA SOLAR	21
2.7 PANELES SOLARES	21
2.8 NORMA IEC-EN 61724	22
	6

2.9	SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR	25
2.10	SENSOR DE TEMPERATURA.	26
2.11	CONTROLADOR NI-USB-6008 DAQ	27
2.12	SENSOR DE CORRIENTE ACS71	27
2.13	SENSOR DE VOLTAJE FZ04	28
2.14	MODULO REGULADOR DE CARGA MPPT 5A YH11087A	29
3.	METODOLOGÍA	29
3.1	FASE 1: ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO.	29
3.2	FASE 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO:	32
3.3	FASE 3: SINCRONIZACIÓN DEL PROTOTIPO CON EL SOFTWARE LABVIEW:	34
3.4	FASE 4: PRUEBAS Y ANÁLISIS	36
3.5	FASE 5: CREACIÓN DE PÁGINA WEB PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS:	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	39
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:	48
6.	BIBLIOGRAFÍA	54
7.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geometría solar Fuente: Censolar	20
Figura 2. Sensor de radiación solar (Righini, 2012)	25
Figura 3. Sensor de temperatura.	26
Figura 4. NI-DAQ 6008 Controlador ni-usb-6008 DAQ (Halvorsen, 2017)	27
Figura 5. Sensor de corriente (Acs-712)	28
Figura 6. Sensor de voltaje (Fz-0430)	28
Figura 7. Sensor regulador de carga (Mppt 5A)	29
Figura 8. Programa para modelar una onda senoidal Fuente: propia.	32
Figura 9. Prototipo final Fuente: propia.	33
Figura 10. Soporte para el módulo fotovoltaico Fuente: propia.	34
Figura 11. Interfaz del programa Fuente: propia.	35
Figura 12. Programación de los sensores en un mismo script Fuente: propia.	35
Figura 13. Grafica voltaje vs tiempo Fuente: propia.	36
Figura 14. Voltaje pico con su respectiva hora del día Fuente: propia.	37
Figura 15. Programación de las páginas web Fuente: propia.	38
Figura 16. Página web para visualizar las gráficas y descargar archivo de Excel Fuente: propia.	38
Figura 17. Página web principal Fuente: propia.	39
Figura 18. Sensor de temperatura instalado en la estructura Fuente: Propia.	40
Figura 19. Sensor de radiación instalado en la estructura. Fuente: Propia	41
Figura 20. Diagrama eléctrico para medición de voltaje y corriente. Fuente: Propia	41
Figura 21. Tabulación datos obtenidos. Fuente: Propia	42
Figura 22. Grafica de corriente vs temperatura. Fuente: Propia	46

Figura 23. Grafica de Voltaje vs temperatura. Fuente: Propia	47
Figura 24. Celda monocristalina. Fuente: Voltaika	51
Figura 25. Celda policristalina. Fuente: Sfe-solar.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia del panel solar de silicio seleccionado para la prueba Fuente: Propia	44
Tabla 2. Primera trama de datos escogida para el análisis Fuente: Propia	45
Tabla 3. Segunda trama de datos escogida para el análisis Fuente: Propia	45
Tabla 4. trama de datos de máxima radiación Fuente: Propia	47
Tabla 5. Eficiencia en una trama de datos con viento solar vs sin viento solar Fuente: Propia	49
Tabla 6. Trama de datos con viento solar Fuente: Propia	49
Tabla 7. Trama de datos con ausencia de viento solar Fuente: Propia	50

RESUMEN

En este trabajo de grado, se desarrolló un módulo de adquisición de datos para determinar el rendimiento de módulos fotovoltaicos de diferentes fabricantes en tiempo real. Se utilizó una red de sensores, cuya plataforma de adquisición de datos es en LabVIEW ® junto con un controlador NIDAQ-6008 de la National Instrument, para la medición de temperatura y la correspondiente medida de voltaje (V), potencia (W) y Corriente eléctrica (I), teniendo en cuenta la orientación e inclinación relativa del módulo respecto al sol.

Dado que hay diferentes fabricantes, y el desempeño de cada panel solar (el cual fue escogido por ser el de uso más frecuente, debido a su bajo precio) está directamente relacionado con las condiciones medioambientales de la zona en que es instalado, las características eléctricas de desempeño de cada panel varían según la región en que se ubique y mantiene una relación directa con el fabricante. Debido a lo anterior, en este trabajo de grado se propone un sistema de medición que permita la caracterización eléctrica de paneles solares en tiempo real, teniendo en cuenta características meteorológicas del ambiente, como la temperatura y radiación solar, de tal forma, que se pueda obtener información real del desempeño de dicho sitio.

Con la finalidad de lograr modificar el prototipo de caracterización de módulos fotovoltaicos solares ya construido para la Facultad de Ingeniería Electrónica (que se encuentra en el laboratorio de control digital), se buscará intervenir el prototipo actual de caracterización para con tecnología de ámbito industrial LabVIEW ® y NI para la

operación de sensores de corriente, voltaje y temperatura, esto con la intención de crear un prototipo portátil de menor tamaño; y, posteriormente, analizar la base de datos obtenida y comparar los valores de temperatura con valores de la estación de IDEAM más cercana, debido a que es necesario ampliar información respecto al tema de interés, promediando, a la vez, los datos de la región, y posteriormente, comparar valores de radiación, potencia y eficiencia con los reportados por los fabricantes y los tomados en la práctica de los módulos fotovoltaicos. Este prototipo se usó para determinar las características eléctricas de diferentes fabricantes de paneles solares bajo las condiciones medioambientales de la ciudad de Montería, de tal forma que se pudiera establecer qué módulos presentan una mayor eficiencia.

ABSTRACT

In this degree work, a data acquisition platform (Ni-usb-6008 DAQ Controller) will be developed; to determine the performance of photovoltaic modules from different manufacturers in real time. A network of sensors will be used, whose data acquisition platform will be in “LabVIEW®” and National Instrument (NI) cards, for the measurement of temperature and humidity, and the corresponding measurement of voltage (V), power (W) and Electric current (I) considering the relative orientation of the module with respect to the sun.

This prototype device will be used to determine the electrical characteristics of different manufacturers of solar panels at least two under the environmental conditions in Monteria, in such a way that it can establish which modules have the highest efficiency.

Net world energy consumption will go from 13.3 trillion kilowatt hours in 2001 to 23 trillion in 2025. This 73% increase in energy consumption contrasts with a predicted growth of the world economy of 54% in the same period. (Breceda M, 2007)

That is why high energy consumption will bring with it what is known as "alternative energy", which consists of different ways of permeating the exponential growth of environmental problems related to energy sources, and giving way to production of sustainable energy. Since there are different manufacturers, and the performance of each solar panel is directly related to the environmental conditions of the area in which it is installed, the electrical performance characteristics of each panel deviate as reported in the data sheet (datasheet) by the manufacturer. That is why, in this degree project, a

measurement system is proposed that allows the electrical characterization of solar panels in real time, considering meteorological characteristics of the environment, such as temperature and solar radiation; in such a way that real information on the performance of said site can be obtained.

In order to modify the existing prototype of characterization of solar photovoltaic modules, already built for the Faculty of Electronic Engineering, the current prototype of characterization will be intervened with LabVIEW® and NI industrial technology for the operation of current sensors , voltage and temperature; to subsequently analyze the database obtained and compare the temperature values with the values of the closest IDEAM station and, with this, compare radiation, power and efficiency values with those theoretically estimated, and those reported by the manufacturers of photovoltaic modules.

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente, el cambio de siglo y las nuevas tecnologías emergentes han llevado a cabo, junto a otros factores cambios drásticos en la sociedad, siendo estos los causantes de traer la llamada “Sociedad de la información y del conocimiento”. La interconexión y nuevas tecnologías de comunicación han posibilitado que algunas problemáticas tengan mayor visibilidad, como lo es el consumo de energía y la problemática ambiental que esto conlleva. Pero ¿por qué se da esto?, dado a la alta demanda de energía que ha traído consigo el avance de la tecnología, en el caso del municipio de Montería, al año 2019 “El consumo total de energía eléctrica y combustibles en el municipio es de 1.399 [GWh/año], de los cuales un 39% corresponde a combustibles para el transporte, un 16% a combustibles de uso térmico y un 45% a electricidad. En términos sectoriales, se observa que los principales sectores consumidores son el residencial y privado, con respectivamente 49% y 46% del total, mientras que el sector público representa el 5% del consumo” (Ciudad energética, 2019, p.8). Los países, empresas tanto públicas como privadas, han tratado de suplir de cualquier manera esa demanda, en algunas ocasiones mediante la utilización de métodos que no son amigables con el medio ambiente y a su vez no promueven un desarrollo sostenible. Siendo conscientes de lo anterior, como medida para la mitigación de dicho problema, ha sido posible recurrir a energías alternativas, esto debido a que no solo significan la reducción de gastos a nivel económico de los consumidores, sino que implica la disminución de explotación de recursos naturales. Con los avances que ha propiciado la ciencia es posible, al día de hoy, reconocer la importancia de estas y, así, realizar un cambio positivo en la manera de hacer uso de

ellas. Debido a la creciente demanda de energía, tanto para la industria como para uso doméstico, el desarrollo de fuentes de energía renovable, en especial de las celdas solares, a causa entre otras, de los adelantos tecnológicos que han podido abaratar su coste, es uno de los campos de acción de la ciencia que más ha evolucionado y ha presentado resultados promisorios en los últimos años (Torres, 2014).

Es importante mencionar que el consumo mundial neto de energía pasa de 13.3 billones de kilowatt hora en 2001 a 23 billones en el 2025. Este incremento de 73% en el consumo de energía contrasta con una predicción de crecimiento de la economía mundial de 54% en el mismo periodo. (Breceda M, 2007). Es por esto que, el alto consumo de energía y la necesidad de contribuir al cuidado del medio ambiente, traerá consigo lo que se conoce como “energías alternativas”, las cuales consisten en distintas formas de permear el crecimiento exponencial de la problemática ambiental relacionada con las fuentes de energía, y dar paso a una producción de energía sustentable.

La energía solar, obtenida a través de celdas o paneles solares, es una de este tipo de energías alternativas de las que es posible hacer uso para disminuir el daño ambiental propiciado por los procesos de elaboración para energías no sustentables, como lo son la emisión de gases de efecto invernadero, degradación de ecosistema, desplazamientos forzosos de comunidades, cambios en el uso del suelo, pérdida de biodiversidad, entre otros impactos. (Alfonso, 2019, p.9). El hecho de que una opción como esta exista trae consigo oportunidades para disminuir la contaminación ambiental, reducir el impacto de esta en el cambio climático, etc. Sin embargo, es necesario resaltar que en muchos lugares del mundo no es posible la utilización de estas debido a la poca o desactualizada información meteorológica a la que se puede acceder sobre ellos, es decir, aunque existen

datos reales y/o actuales respecto a condiciones climáticas de estos, resultan ser imprecisos y están sujetas a correcciones, las cuales significan un factor principal a conocer, para su correcto uso y funcionamiento, según la referencia bibliográfica (Torres, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior y la importancia de relacionar los datos meteorológicos con los datos de producción de un sistema fotovoltaico, se posibilitó la construcción de un prototipo caracterizador de paneles solares, que permitiese conocer la producción de energía solar fotovoltaica de un sitio en particular en consonancia con datos meteorológicos de la zona a medir en la zona.

2. MARCO TEÓRICO / ESTADO DEL ARTE

2.1 ENERGÍA.

La definición abstracta de energía, como una magnitud física derivada, se aleja, al menos en apariencia, del significado que a este concepto se le suele evidenciar en la vida cotidiana. Sin pretender una rigurosa descripción de dicho término, que finalizaría inevitablemente a un formulismo matemático que quizá, en lugar de aclarar, termina por desorientar. Partiendo de que este conoce el significado físico del trabajo (como magnitud asociada a una fuerza o movimiento), es viable limitarse a apuntar aquí que la energía es la magnitud que mide la capacidad, que en un momento determinado posee un ente físico para producir trabajo, esto es para hacer posible que entren en juego unas fuerzas, las cuales, al desplazar los puntos sobre lo que realizan un trabajo físico. (Teran, 2015)

2.2 ENERGÍA RADIANTE

Existen entes físicos que carecen de materia. Tal es el caso de la radiación electromecánica, la cual podría describir de forma simplificada como una perturbación que puede afectar a zonas relativamente extensas del espacio físico que habitamos, variando continuamente y de forma oscilante sus características (de ahí el nombre de ondas electromagnéticas). Estas ondas electromagnéticas también poseen energía, como lo demuestra el hecho de poder ejercer diversas acciones sobre cuerpos que se encuentran en su zona de influencia. (Teran, 2015)

2.3 ENERGÍA TÉRMICA

La energía térmica o calórica, coloquialmente conocida con el nombre de calor, es una forma particular de la energía, Está relacionada con el movimiento, relativamente caótico, de las partículas que componen los cuerpos materiales. Para evaluar la cantidad de energía térmica que un cuerpo puede ser capaz de transferir a otro, se introduce el concepto de temperatura, que es la magnitud asociada a cada estado de un cuerpo tal que la igualdad de esta para dos cuerpos es condición necesaria y suficiente para que entre ellos no se produzca de forma natural a través de energía térmica. El calor se manifiesta, pues únicamente cuando existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos, es decir, una diferencia de su nivel térmico. (Teran, 2015) La transformación de la radiación solar en calor, se denomina energía solar térmica, consiste en transformar la potencia solar para producir agua caliente destinada al consumo doméstico e industrial, calentamiento de piscinas y a la utilización en la parte sanitaria. El calor también es una fuente para la producción de energía mecánica, mediante un ciclo termodinámico y a través de un

alternador o captador solar, diseñado especialmente para la producción de agua caliente.
(Martinez, 2010)

2.4 POSICIÓN DE LA TIERRA CON RESPECTO AL SOL.

Incluso más significativa (debido a su importancia en la recopilación de datos precisos) que la cantidad absoluta de energía recibida es la inclinación con que las ondas de radiación (es decir los rayos del sol) inciden sobre una superficie, ya que esto hará que la energía se reparta en un área extensa, variando en cuanto a la intensidad.

Debido a la inclinación del eje de rotación de la tierra con respecto al plano de su órbita alrededor del sol y a su forma esférica, un mismo punto de superficie terrestre recibe los rayos con una inclinación diferente, según la época del año, y, por lo tanto, la energía efectiva que incide en un metro cuadrado de superficie horizontalmente varía considerablemente. (Teran, 2015, p.8)

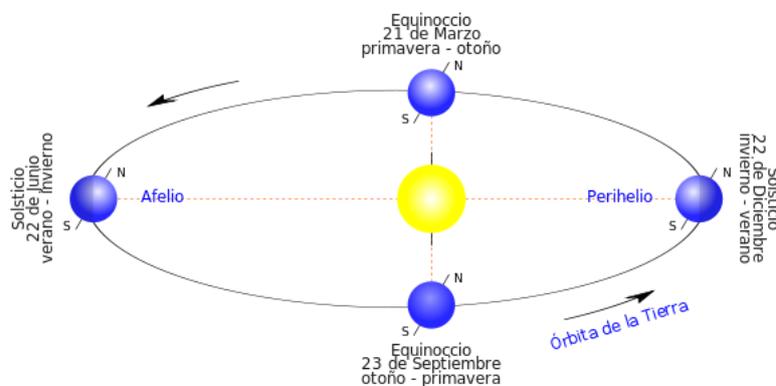


Figura 1. Geometría solar Fuente: Censolar

2.5 FLUJO ENERGÉTICO

Cada fotón posee una cantidad de energía pequeñísima, pero al considerar la suma de las energías de todos los fotones que inciden, por ejemplo, en un minuto sobre la superficie del tejado de una vivienda, se obtiene una suma considerable de energía, dado el elevadísimo número de fotones que se encuentran en un haz de radiación solar. Al suelo la potencia radiante que llega, aun en días favorables (cielo totalmente libre de nubes y con aire limpio) no supera los 1000w/m^2 (siendo este el tope máximo de energía que es posible percibir), está siempre medida sobre una superficie perpendicular a la trayectoria de los rayos solares, esto quiere decir que el efecto atenuante de la atmosfera desvía considerablemente mucho de los fotones incidentes. (Teran, 2015)

2.6 ENERGÍA SOLAR

La energía solar puede ser una fuente importante de energía y es utilizada por un sistema fotovoltaico. De forma que ha contribuido significativamente al suministro de energía sostenible, este tipo de energía solar se ha convertido en una tecnología emergente atractiva debido a varias ventajas, tales como: mantenimiento fácil, costo reducido de paneles solares e instalación simple (V. Ahmed C., 2013)

2.7 PANELES SOLARES

Es un medio físico constituido por un grupo de celdas de silicio interconectas entre sí para dar una tensión y corriente deseada, en el cual incide la radiación solar directa o indirectamente sobre su superficie plana, provocando el calentamiento y salto de electrones de una capa a la otra. Este proceso genera una corriente eléctrica que circula por el cableado que estos poseen hasta el medio final o consumidor. (Delascar, 2014)

2.8 NORMA IEC-EN 61724

Esta norma, la cual es de carácter internacional, define las clases de monitoreo del desempeño de sistemas fotovoltaico (PV). En ella se plantea que la matriz puede incluir tanto sistemas de eje fijo como de seguimiento, así como placa plana para concentrador de sistemas. Por otra parte, la electrónica a nivel de módulo, si está presente, puede ser un componente del sistema de monitoreo, sin cargas locales, almacenamiento de energía o fuentes auxiliares.

Los propósitos de un sistema de monitoreo de desempeño son diversos y pueden incluir lo siguiente:

1. Identificación de tendencias de rendimiento en un sistema fotovoltaico individual. Basados en medición de variables como la temperatura y el viento que pueda tener el lugar de ejecución, son factores determinantes para el rendimiento de las celdas de silicio.
2. Localización de posibles fallas en un sistema FV. El polvo concentrado en la parte superior de las celdas ocasiona una disminución de la potencia generada, altas temperatura producen daños irreversibles en la celda y ocasionan la pérdida total de potencia
3. Comparación del rendimiento del sistema fotovoltaico con las expectativas y garantías de diseño. Por ser un diseño que solo realizará un monitoreo por un tiempo estimado en un lugar específico donde será posible una instalación fotovoltaica, se estima su producción y eficiencia de energía basados en los reportes entregados día a día

4. Comparación de sistemas fotovoltaicos de diferentes configuraciones. Fundamentalmente se tiene en cuenta la ubicación geográfica del lugar, junto con su latitud, para de esta manera realizar las diferentes inclinaciones y orientaciones y se obtiene la adecuada para la obtención de energía.
5. Comparación de sistemas fotovoltaicos en diferentes ubicaciones. Se pretende buscar y dar a conocer la mejor posición de los módulos solares para obtener una producción de energía deseada.

Dentro de la norma IEC-EN 61724, cabe considerar lo siguiente: La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), es una organización mundial para la estandarización que comprende todos los comités electrotécnicos nacionales (comités nacionales de IEC). La Norma Internacional (IEC 61724-1), ha sido preparada por el comité técnico 82 de IEC: sistemas de energía solar fotovoltaica. Esta primera edición, cancela y reemplaza la primera edición de (IEC 61724), publicada en 1998. Esta edición, (junto con IEC TS 61724-2: 2016 e IEC TS 61724-3: 2016) incluye los siguientes cambios técnicos significativos con respecto a IEC 61724 ahora está escrito con múltiples partes, este documento es (IEC 61724-1), aborda monitoreo del sistema fotovoltaico. (IEC TS 61724-2) e (IEC TS 61724-3) consideran el rendimiento análisis basado en los datos de monitoreo.

Se definen los métodos de monitoreo que se basan en la medición de la irradiancia, temperatura del módulo, viento solar y la mediciones de tensión e intensidad, fundamentales para la obtención de la eficiencia del sistema fotovoltaico

Se indican las medidas requeridas para cada clase de sistema de monitoreo, junto con el número requerido y precisión de los sensores del sistema fotovoltaico.

Se proporcionan opciones para la medición de irradiancia basada en satélites.

Se introduce la medición de suciedad.

Se incluyen recomendaciones y notas explicativas, que fundamentan la utilización y medición en las diferentes instalaciones que se pueden ajustar a esta norma con el fin de la obtención de resultados para su posterior análisis y dictamen de la eficiencia de dicho modulo o estación solar fotovoltaica.

Alcance de la norma IEC 61724

Dentro de la norma IEC 61724 se describe el equipo, los métodos y la terminología para el rendimiento, monitoreo y análisis de sistemas fotovoltaicos (PV). Aborda sensores, instalación y precisión para el equipo de monitoreo, además de la adquisición de datos de parámetros medidos y controles de calidad, lineamientos calculados y métricas de rendimiento. La norma se fundamenta en el monitoreo de los factores que más afectan la producción de energía como la irradiancia, la temperatura ambiente, la temperatura del módulo, la tensión, intensidad y la medición de viento en zonas con potencial eólico. De esta manera se requiere la utilización de sensores e instrumentos adecuados para la medición de parámetros antes mencionados.

2.9 SENSOR DE RADIACIÓN SOLAR

Un piranómetro es un instrumento para medir la radiación solar a una superficie determinada, es decir, es un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar en toda su extensión. Para el desarrollo y fabricación de esta herramienta se usará el piranómetro de referencia CMP11 el cual tiene como función medir la radiación solar por medio de una termopila de alta calidad, que, a su vez, se encuentra protegida por dos cúpulas de vidrio. Esta cuenta con un rango espectral de medición es de 285 a 2800 nm, lo que la hace ideal para aplicaciones bajo la luz solar natural, cubiertas de plantas, en invernaderos o edificios, he invertido funciona para medir la radiación solar reflejada. (Termomed, 2021)



Figura 2. Sensor de radiación solar (Righini, 2012) Fuente:

<https://www.termomed.net/sensores-y-recambios-para-estaciones-davis-instruments/sensor-de-radiacion-solar>

2.10 SENSOR DE TEMPERATURA.

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1 °C. Su rango de medición abarca desde -55 °C hasta 150 °C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10 mV. La baja impedancia de salida. Su salida lineal y su precisa calibración hace posible que esté integrado sea instalado fácilmente en un circuito de control. (Texas Instruement incorporated, 1999)

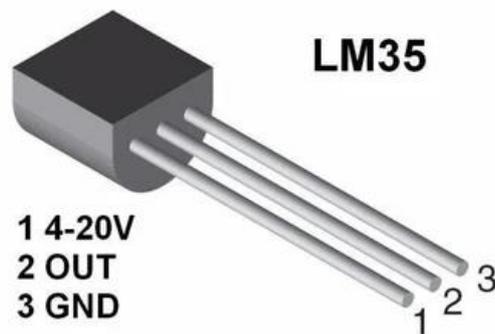


Figura 3. Sensor de temperatura. Fuente:

<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>

2.11 CONTROLADOR NI-USB-6008 DAQ

El USB-6008 es un dispositivo DAQ multifunción de bajo costo. Ofrece E/S analógicas, E/S digitales y un contador de 32 bits. El USB-6008 brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. El dispositivo tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para fácil portabilidad. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6008 con conectividad de terminal de tornillo. (National Instrument, 2017)



Figura 4. NI-DAQ 6008 Controlador ni-usb-6008 DAQ (Halvorsen, 2017) Fuente:

<https://forums.ni.com/t5/Academia-en-Latinoamerica>

2.12 SENSOR DE CORRIENTE ACS71

Permite medir corriente DC o AC utilizando el efecto por diferencia de las mediciones de corriente con resistencias Shunt, en los sensores por efecto Hall la carga está aislada del sensor, lo que es útil en sistemas donde se requiere de aislamiento eléctrico además de no disipar energía (pérdidas por efecto Joule). El sensor compensa las desviaciones por temperatura gracias a un circuito interno. (Garcia, 2015)

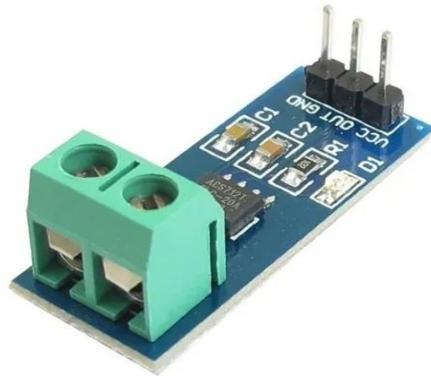


Figura 5. Sensor de corriente (Acs-712) Fuente:

<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-de-corriente-ac712>

2.13 SENSOR DE VOLTAJE FZ04

El módulo sensor de voltaje, está basado en un divisor de resistencia para reducir la tensión, de modo que vaya a una entrada analógica de una placa Arduino, PIC o similar. Puede medir el valor de la tensión después de la reducción y luego calcular por software el valor de la tensión a ser medida. (ferretronica , 2021)

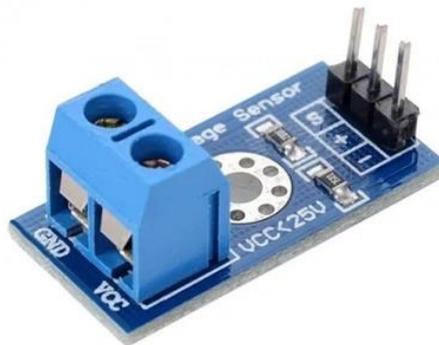


Figura 6. Sensor de voltaje (Fz-0430) Fuente:

<https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-voltaje-fz0430-0v-25v>

2.14 MODULO REGULADOR DE CARGA MPPT 5A YH11087A

Módulo regulador de panel solar con MPPT cargador de batería voltaje constante y corriente constante. Tiene un display para la visualización de parámetros. (ssdielect, 2021)



Figura 7. Sensor regulador de carga (Mppt 5A) Fuente;

<https://ssdielect.com/cb/magnitudes-electricas-1/2398-mppt-5a-yh1108.html>

3. METODOLOGÍA

3.1 FASE 1: ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO.

Como primera parte de este proyecto de grado, se estudiaron los diferentes conceptos que son necesarios tener presentes al momento de realizar cualquier trabajo con módulos fotovoltaicos, a partir de nuestros estudios y los estudiados en el artículo de Resource-Efficient Technologies creamos una plataforma virtual que monitorea en tiempo real un panel fotovoltaico, obteniendo parámetros eléctricos para su caracterización y posterior cálculo de eficiencia, estos parámetros se visualizan en el panel frontal del software

LabVIEW. considerado como plataforma robusta para este tipo de proyectos, una vez verificada esta alternativa y como parte continua del anterior trabajo de grado se procede con la adquisición del controlador NI-DAQ 6008, el cual es suministrado por la universidad Pontificia Bolivariana, los sensores de radiación, voltaje, corriente y temperatura son adquiridos por compra propia.

Según el artículo Virtual lab based real-time data acquisition, measurement and monitoring platform for solar photovoltaic module (2017), donde Kumar *et al*, afirman:

El sistema de instalación de prueba experimental y el seguimiento del rendimiento para medir los parámetros meteorológicos para mostrar en Panel frontal de LabVIEW. Técnicas de monitoreo ambiental y se lleva a cabo el control en condiciones menos controladas el autor presenta un laboratorio a distancia para el seguimiento de un sistema solar fotovoltaico remoto en tiempo real con pocos parámetros. En este artículo las características I-V y P-V se miden en un simulador solar usando LabVIEW. Explica el desarrollo de una plataforma de prueba in situ para recopilar los datos y evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico (p.1)

Frente a lo anterior, se hace importante resaltar la importancia de parametrizar los paneles solares y monitorización en tiempo real de eficiencia que estos tienen, siendo parte fundamental de la presente investigación. Dado a que las condiciones medioambientales varían según la altitud, coordenadas geográficas, época del año, etc., tener en cuenta el contexto donde se ubica el panel resulta fundamental, así como conocer las variaciones del clima.

Una vez ya estudiadas las distintas partes de esta teoría, se inició con la descarga del software LabVIEW, debido a la necesidad de la puesta en práctica de la parametrización

del panel solar, generando facilidad al momento de su transporte. Lo anterior parte de la problemática relacionada a la poca información respecto a datos necesarios para el uso óptimo de paneles solares en el contexto cordobés en específico; esto con la finalidad de determinar la potencia de radiación solar existente en la zona donde se desee hacer uso de dichos paneles teniendo en cuenta su ubicación geográfica.

Posteriormente, procedemos con el análisis de la eficiencia del panel en contraste con la temperatura a la que se calienta el panel solar, conexión y acondicionamiento de las señales integradas en la plataforma del software (véase figura 8), cada una de las señales entregadas por la red de sensores es modelada y comprobada para su posterior graficado en el diagrama de bloques construido en el software (véase figura 12). La construcción del soporte donde se alojará el piranómetro y el panel a caracterizar es construido e instalado en la azotea de la casa de uno de los estudiantes que por temas de pandemia no se instaló en la Universidad (véase figura 10), con el fin de tomar mediciones directas de temperatura sobre la celda fotovoltaica se instala un sensor LM32 en la parte inferior del panel, monitoreando de forma directa los cambios de temperatura que sufre la celda (véase figura 18). Para una mejor obtención de radiación se inclina y orienta el panel solar según los valores de latitud y longitud del lugar (cita orientación de <panel). Para la obtención del punto de máxima potencia del panel se acopla un controlador de carga, el cual gestiona la obtención de voltaje y corriente a través de una carga, la cual consiste en 2 bombillos de 16wDC, los cuales obligan constantemente a la entrega de máxima potencia del panel. Por último, acoplamos y graficamos todas estas señales obteniendo curvas de corriente, voltaje, potencia y temperatura en el panel frontal del software LabVIEW. (véase figura 11) de los elementos suministrados se crea este prototipo

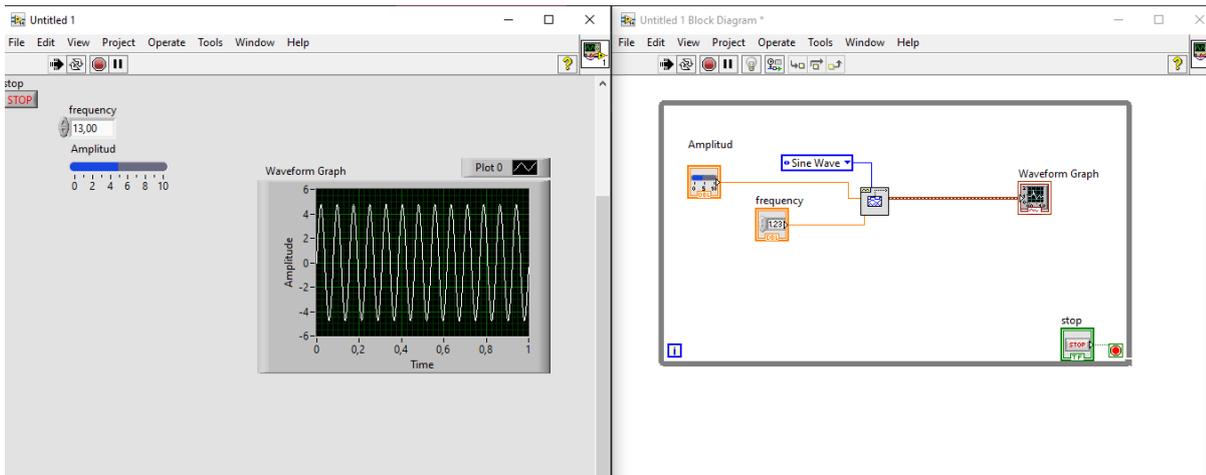


Figura 8. Programa para modelar una onda senoidal Fuente: propia

En este momento fue necesario esclarecer cuáles son los elementos que normalmente afectan las condiciones y funcionamiento del panel solar, entre los cuales se pudo identificar los defectos de fabricación, mala conexión entre las celdas internas de un panel solar, suciedad (polvo hojas etc.) nubes, lluvia, fallas en la estructura que cambian la posición del panel solar, la temperatura, entre otras. Este último se pudo identificar como factor determinante para la presente investigación, pues, en la región seleccionada para el estudio, La temperatura promedio de 30 grados Celsius, mientras que la ficha técnica del fabricante muestra unos datos de eficiencia a una temperatura de 25 grados Celsius

3.2 FASE 2: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO:

Una vez ya realizado el estudio bibliográfico y por criterios basados en estudios y normas técnicas de precisión, que a diario los fabricantes mundiales utilizan para medir dichos parámetros se optó por un controlador robusto y sensores capaces de soportar altas

temperaturas expuestas a la intemperie, y como es de saber algunos sensores realizan medición directa en el medio, se procedió con el diseño y construcción del prototipo, este debía tener los sensores anteriormente mencionados, el criterio de construcción fue basado en una estación de medición donde se obtuvieran valores de variables físicas y eléctricas(Temperatura, radiación, voltaje, corriente, siendo estas variables mayormente relacionadas al panel) y conectados al Controlador ni-usb-6008, integrados en una maleta para poder tener un sistema portable y llevarlo a cualquier sitio de interés (véase figura 9), además de esto, se construyó una base para colocar el módulo fotovoltaico con los grados de inclinación y de posición necesario estudiados en la fase 1 (véase figura10).

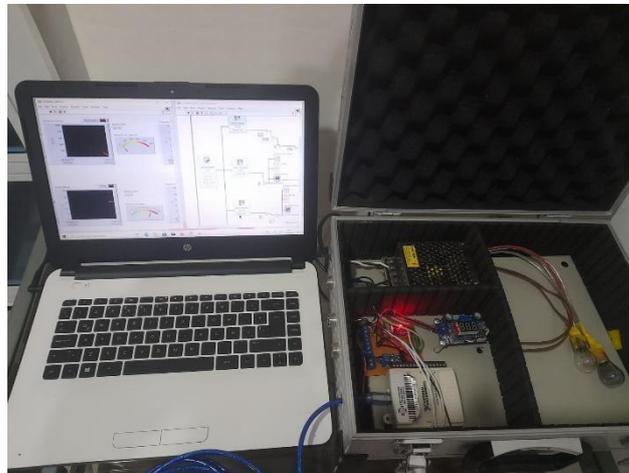


Figura 9. Prototipo final Fuente: propia.



Figura 10. Soporte para el módulo fotovoltaico Fuente: propia.

3.3 FASE 3: SINCRONIZACIÓN DEL PROTOTIPO CON EL SOFTWARE LABVIEW:

Teniendo el prototipo construido, el siguiente paso fue la sincronización entre la tarjeta de adquisición con el software LabVIEW, se presentaron una serie de inconvenientes, ya que el computador no reconocía la tarjeta de adquisición, por lo que se investigaron las diferentes versiones del controlador, y se llegó a la conclusión de que no era compatible con la versión más reciente de LabVIEW que se instaló, para dar solución a esto, se optó por probar versiones anteriores hasta encontrar la adecuada. Una vez ya solucionado este inconveniente, se realizó la programación de cada uno de los sensores, como primera instancia se trabajaron de manera individual, para poderlos calibrar y hacer pruebas de manera independientes; inmediatamente se comprobó que los datos que se estaban visualizando en el computador correspondían a los datos reales arrojados tras la medición de los distintos aspectos en cuestión, se integraron en un mismo programa (véase figura 11-12), pero al integrar los sensores de voltaje y de corriente al mismo tiempo, se presentó un inconveniente, ya que el voltaje se caía por censar la corriente, por lo que se buscó otra

alternativa para poder medir ambos al tiempo, y se optó por usar un modelo regulador de carga, logrando buenos resultados de medición en cuanto a voltaje y corriente

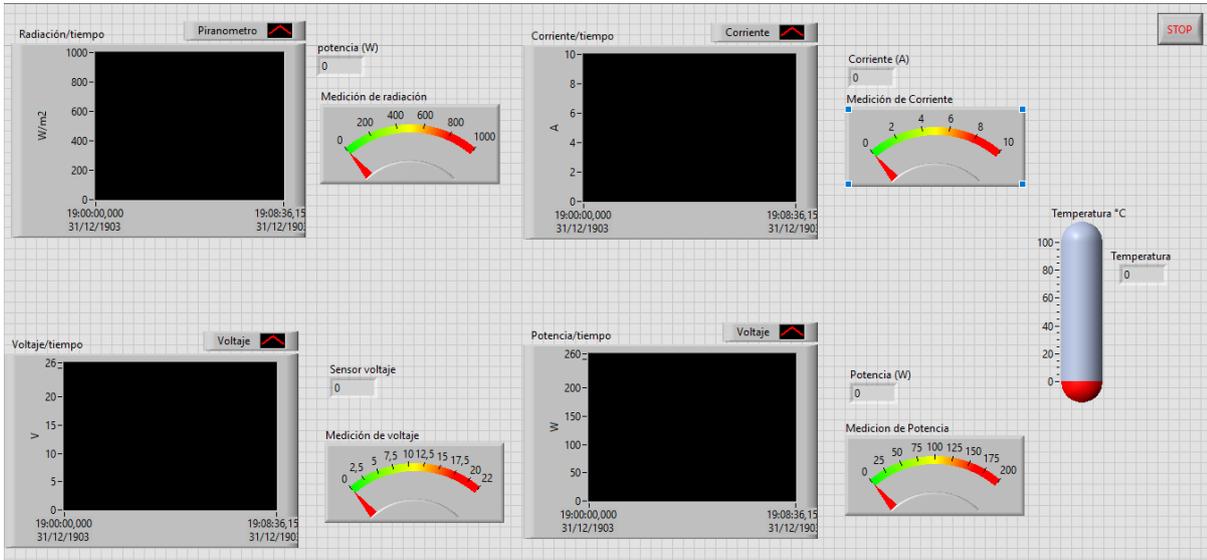


Figura 11. Interfaz del programa Fuente: propia.

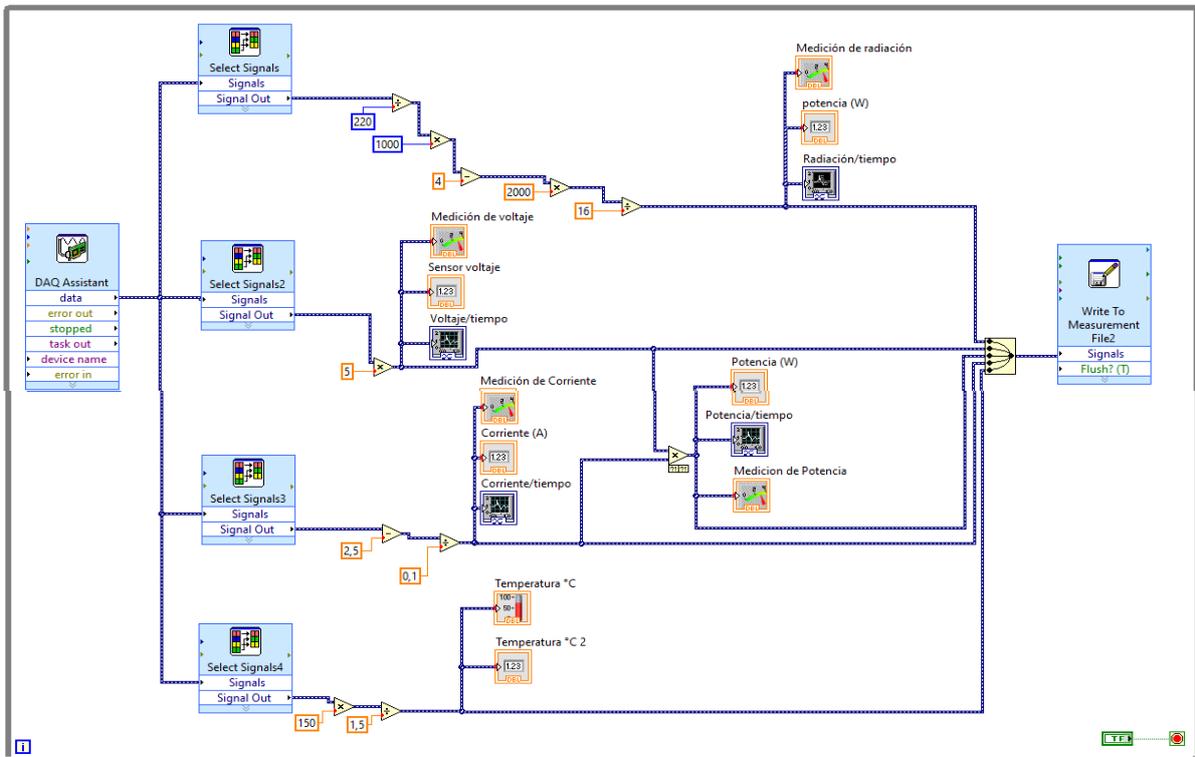


Figura 12. Programación de los sensores en un mismo script Fuente: propia.

3.4 FASE 4: PRUEBAS Y ANÁLISIS

Apenas se finalizó la fase 3, se realizaron testeos preliminares en conjunto con el prototipo, este consistió en una medición de aproximadamente 2 horas (ya que es tiempo suficiente para evidenciar los cambios en las variables medidas como voltaje, corriente, radiación y temperatura), para verificar su correcto funcionamiento y exportación de datos en un documento de Excel, una vez se comprobó esto se procedió a realizar una medición de un día completo.

Con las herramientas que brinda Excel, esto debido a la gran cantidad de datos obtenidos y la facilidad de manejo que este ofrece, los datos arrojados por el programa, como se puede visualizar en la figura 13, y luego se realizó el análisis para concluir, y su posterior comparación con los datos de IDEAM, además de esto, se buscaron los datos picos y promedios de las distintas variables (véase figura 14), con respecto al tiempo para un posterior aprovechamiento para alguna aplicación en particular, por ejemplo, una página web donde sea posible evidenciar datos y resultados.

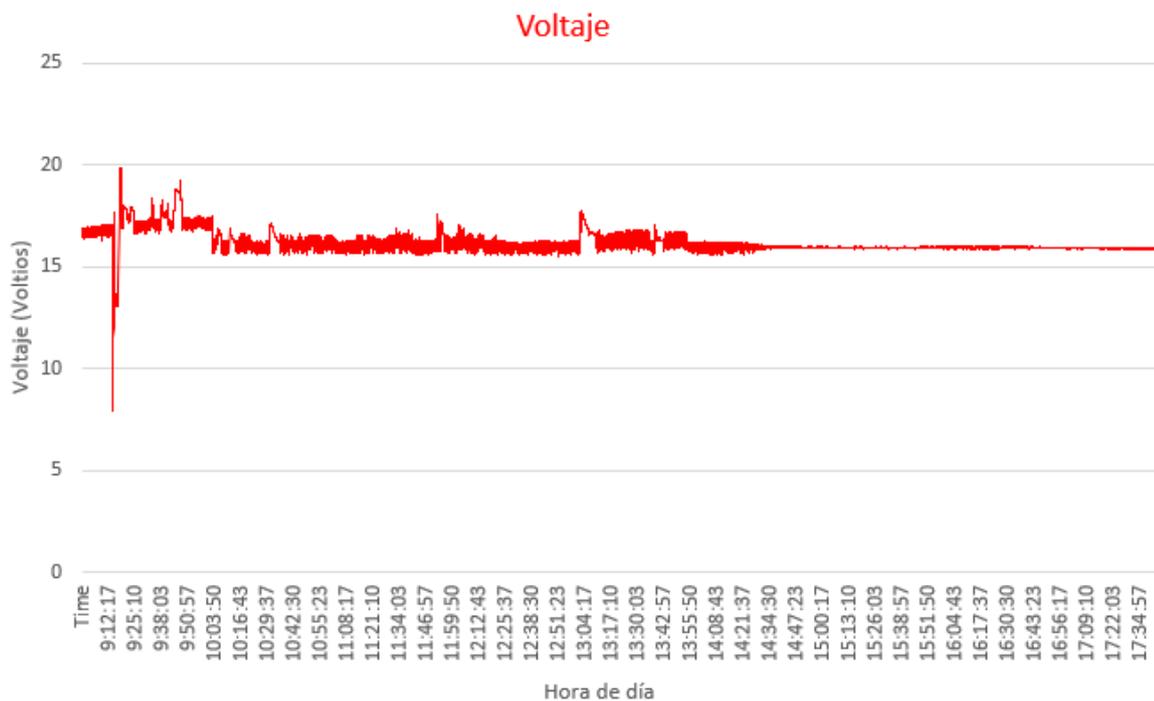


Figura 13. Grafica voltaje vs tiempo Fuente: propia.



Figura 14. Voltaje pico con su respectiva hora del día Fuente: propia.

3.5 FASE 5: CREACIÓN DE PÁGINA WEB PARA LA VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS:

Para esta parte, la cual no se encontraba contemplada en los avances de la investigación, se comenzó con el diseño e implementación de la página web con los lenguajes HTML, CSS y JavaScript (véase figura 15), para que cualquier persona, en cualquier parte del mundo pueda descargar los archivos en Excel con el acceso a la URL (https://basculasy servicios.com/Pagina_Tesis/PaginaPrincipal.html). Facilitando el acceso a los datos, esta página web permite a cualquier persona hacer uso de los resultados del proyecto, principalmente a quienes deseen hacer uso de paneles solares en esta región en específico. Los cuales son graficados en el software labVIE y posteriormente almacenados en una USB o memoria microSD, para su posterior carga.

con todos los datos tabulados y organizados por fecha en que se realizaron las mediciones (véase figura 16), y un panel principal para que las personas conozcan un poco acerca del proyecto (véase figura 17).

```

<h1> Caracterización Paneles Solares </h1>
</ul>
</div>
</nav>
<div class="ContainerGlobal">
<h3> IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE PANELES SOLARES </h3>
<p>En este proyecto se busca estudiar el rendimiento en tiempo real de los módulos fotovoltaicos (paneles solares) a través de una interfaz de usuario (LabVIEW) que se conecta a un sistema de adquisición de datos (DAQ) que mide los parámetros eléctricos de los paneles solares. </p>
<div class="row">
<div class="col">
<h4 style="text-align: center;">Interfaz LabVIEW </h4>

</div>
<div class="col">
<p>En esta interfaz se encuentran diferentes campos visuales, donde el usuario puede ver la curva característica de los paneles solares, los valores de los parámetros eléctricos y los resultados de las mediciones. </p>
<p>En la siguiente parte se encontrarán los enlaces de las mediciones segun el día, agrupadas de acuerdo al mes. </p>
</div>
</div>
<br>
<h4>Resultados mediciones agrupadas por mes</h4>
</div>
<div class="page">
<a href="javascript:abrir()" class="boton" id="btnabrir" >Septiembre 2021</a>
<a href="javascript:abrir2()" class="boton" id="btnabrir2">Octubre 2021</a>
</div>
</div>
</div>

```

Figura 15. Programación de las páginas web Fuente: propia.



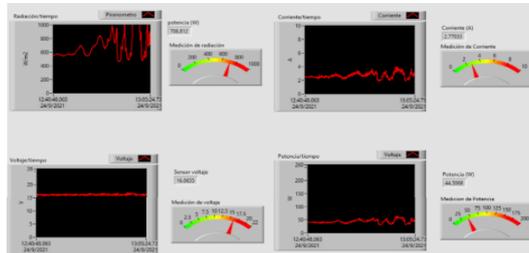
Figura 16. Página web para visualizar las gráficas y descargar archivo de Excel

Fuente: propia.

IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE PANELES SOLARES.

En este proyecto se busca estudiar el rendimiento en tiempo real de los módulos fotovoltaicos (paneles solares), censando distintas variables como lo son la temperatura, voltaje, corriente y radiación contactados mediante la tarjeta especializada NI-USB-6008 DAQ y visualizándolos mediante el software LabVIEW.

Interfaz LabVIEW



En esta interfaz se encuentran diferentes campos visuales, donde el usuario puede ver la curva característica en tiempo real de cada parámetro mencionado anteriormente, además tiene la opción de exportarlos en un documento de Excel con todos los datos tabulados, para su posterior análisis.

En la siguiente parte se encontrarán los enlaces de las mediciones según el día, agrupadas de acuerdo al mes de mediciones, en donde se pueden encontrar las grafías y datos relevantes de las mediciones.

Resultados mediciones agrupados por mes



Figura 17. Página web principal Fuente: propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En primer lugar, es de suma importancia conocer el panel utilizado en la realización de la investigación, ya que los resultados varían dependiendo de las características eléctricas de este, tal como era de esperarse según las condiciones medioambientales. Este tiene las siguientes condiciones dadas por el fabricante: (véase anexos especificaciones del panel)

Para la instalación de los sensores, estos fueron ubicados de forma estratégica en la estructura con el fin de obtener datos mayormente exactos para garantizar que no haya inconveniente al momento de realizar dichas mediciones. En cuanto al sensor de temperatura (LM35), se encuentra ubicado en la parte baja del panel solar, midiendo siempre de forma directa el calentamiento de la celda para obtener un referente de la

variación de la temperatura, necesaria para realizar una comparativa entre la producción de energía y la temperatura del panel, dado a que la relación entre estos es inversamente proporcional. (Véase anexos). Por otra parte, el sensor de radiación fue colocado perpendicular a la base, mediante un soporte de aluminio, garantizando de que no haya ningún tipo de interferencias por sombra (véase figura 18 y 19).



Figura 18. Sensor de temperatura instalado en la estructura. Fuente: Propia.



Figura 19. Sensor de radiación instalado en la estructura. Fuente: Propia

Para la medición del voltaje conjunto a la corriente, se diseñó el siguiente arreglo (véase figura 20), en el cual el sensor de voltaje se instala de forma paralela al panel solar mientras que el de corriente al terminal positivo, y se instala un convertidor de carga DC/DC(controlador) con el fin de gestionar y controlar una carga conectada a la salida (3 Bombillos DC de halógeno de 21W); esta se calcula según la potencia del panel caracterizado, en la que se vuelve necesaria la entrega de su máxima potencia. Con el método ensayado en primera media, que es el método de corto circuito, se encontró que, si se mide el voltaje al mismo tiempo que la corriente, el voltaje será nulo por el cortocircuito generado por el sensor de corriente, por lo que se tuvo que optar por dicha modificación.

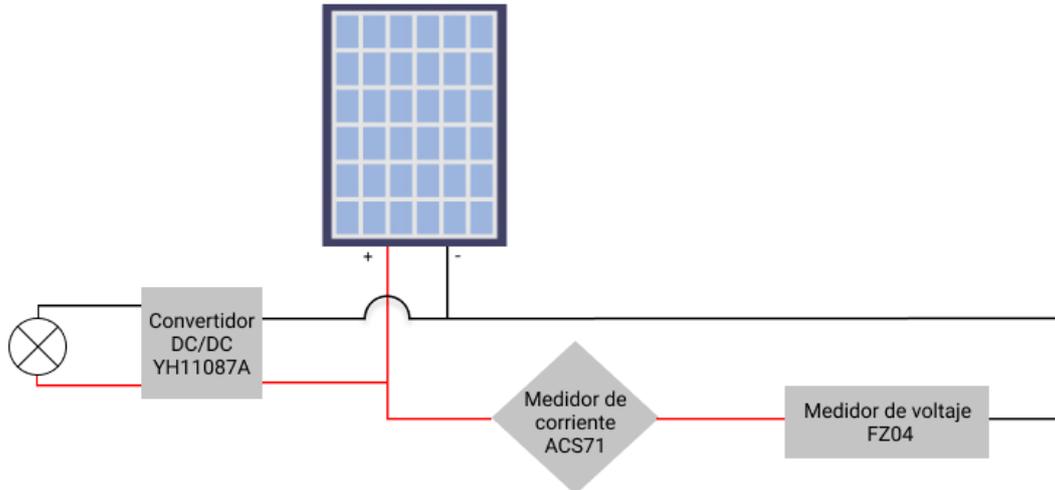


Figura 20. Diagrama eléctrico para medición de voltaje y corriente. Fuente: Propia

Una vez terminado la fase del montaje y la tabulación de los datos (véase figura 21), se procedió a calcular la eficiencia de dicho panel, para ello es importante conocer la

irradiancia teórica (véase ecuación 1) que se halla dividiendo la potencia entregada por el panel entre el área total de las celdas, para luego calcular la eficiencia (véase ecuación 2). Posteriormente esto se va a comparar con la irradiancia teórica que ofrece el fabricante, para así lograr determinar qué óptimo es la utilización del panel en nuestro medio (Montería- Córdoba), y de esta manera mostrar su eficiencia.

Figura 21. Tabulación datos obtenidos. Fuente: Propia

$$H_o = \frac{P_{(Potencia)}}{A_{(Area\ total\ de\ las\ celdas)}} \quad (1)$$

$$E_f = \frac{H_o(\text{irradiancia Teorica})}{H_m(\text{irradiancia medida})} \times 100 \quad (2)$$

Datos teóricos:

Tamaño de celda: 15.5 cm x 7.8 cm

Área de celda: 0.01209 m²

Número de celdas: 36

Área total: 0.01209 x 36 = 0.43 m²

Cabe resaltar que los datos seleccionados para realizar la anterior tabla fueron establecidos con base al lugar previamente escogido (barrio portal del norte en la ciudad de Montería - Córdoba-Colombia con coordenadas: 8°48'14.8"N 75°50'51.9"W), logrando observar las variaciones producidas de la celda solar con respecto a los distintos parámetros mostrados en el caracterizador, evidenciado el papel importante que juega la temperatura y el viento en cuanto a la generación de energía, teniendo en cuenta que este se instaló en estructura de inclinación fija con una latitud del lugar no superior a 10°, con orientación hacia el sur y una longitud de cableado entre el panel y el prototipo de medición no superior a 3 metros, la cual es considerada como despreciable en lo que concierne a transmisión y pérdida de energía de acuerdo con la distancia del cableado. Ahora bien, es necesario esclarecer que las condiciones ambientales en las que se encuentra no son controlables, sin embargo, la eficiencia promedio obtenida fue de 11.40 % (véase tabla 1), que, al compararlas con las que nos entrega el fabricante, la cual es de 14.73 % (véase figura 22), da como resultado una variación de sólo el 3.33%.

Eficiencia de panel solar de silicio							
Medición #	Voltaje (v)	Corriente (A)	Temperatura (°C)	Potencia (w)	Energía Conv P/A	radiación (w/m2)	Eficiencia (%)
1	16,72	2,05	44,97	34,61	80,48	645	12,47
2	16,37	3,17	37,85	52,03	121	1218	9,93
3	16,37	2,46	42,94	40,34	93,83	726	12,92
4	16,11	3,58	37,85	57,79	134,39	1189	11,30
5	16,21	3,17	43,95	51,54	119,86	1102	10,87

6	16.42	3.076	41.9	50,51	117,46	1056	11,12
7	16.21	1.85	33.7	30,04	69,86	517,62	13,49
8	16,98	2,36	36,83	40,12	93,30	911,59	10,23
9	16,83	1,64	34,79	27,74	64,51	627,7	10,27
Promedio							11,40

Tabla 1. Eficiencia del panel solar de silicio seleccionado para la prueba Fuente:

Propia

Tras un análisis previo de la tabla de la eficiencia del panel, es posible mencionar que, para valores de temperatura superiores a la operación de este, la celda sufre una disminución de la eficiencia (véase figura 31). Cabe resaltar que en algunos casos la variación de temperatura no es captada automáticamente por el sensor debido a que, al estar en contacto directo con la celda solar, este tarda cierto tiempo en enfriarse o calentarse. En consecuencia, esto resulta de gran importancia para establecer un análisis adecuado y obtener valores de temperatura constante por medio de una cámara infrarroja, dando paso a la obtención en tiempo real de la temperatura de la celda solar que garanticen claridad de lo sucedido a la misma.

Ahora bien, es necesario resaltar que, para lograr el correcto análisis de lo anterior, se debe tener en cuenta que la celda reacciona lentamente a la variación de temperatura, por lo que de suma importancia escoger una trama de datos donde se evidencie de forma constante estos valores, para dejar en evidencia que no existe una variación significativa en cuanto a voltaje y corriente, mientras que es posible evidenciarla en la radiación y temperatura. (véase tabla 2 y 3).

radiación (w/m2)	voltaje (v)	potencia (w)	corriente (A)	temperatura (°C)
789.92	16.57	47.60	2.87	61.26
784.13	16.62	47.75	2.87	62.28
801.51	16.83	43.19	2.56	64.31
813.09	16.32	46.87	2.87	63.29
865.24	16.37	47.02	2.87	66.35
888.41	16.72	44.63	2.66	69.40
894.21	16.57	45.91	2.77	68.38
928.97	16.37	47.02	2.87	67.37
934.76	16.42	47.17	2.87	65.33

Tabla 2. Primera trama de datos escogida para el análisis Fuente: Propia

radiación (w/m2)	voltaje (v)	potencia (w)	corriente (A)	temperatura (°C)
448.09	16.269	34.435	2.392	40.906
448.09	16.728	37.813	2.260	42.941
445.88	16.473	35.556	2.158	43.959
453.88	16.422	33.7721	2.0564	41.923

Tabla 3. Segunda trama de datos escogida para el análisis Fuente: Propia

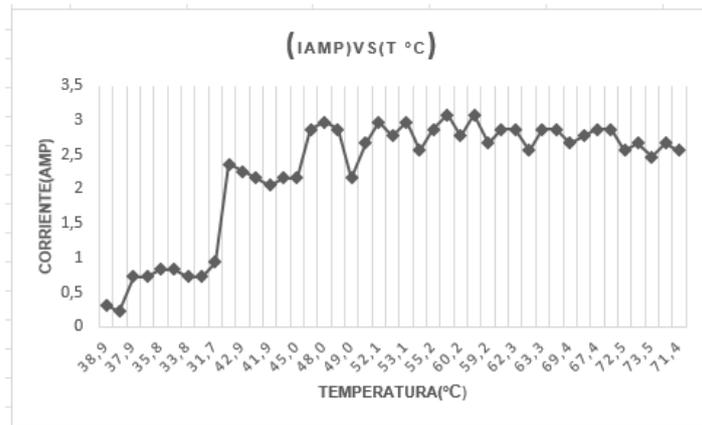


Figura 22. Grafica de corriente vs temperatura. Fuente: Propia

Para poder analizar esta trama de datos correctamente es necesario, en primer lugar, entender qué sucede con la temperatura y la radiación, ya que estas son directamente proporcionales. Al no existir bloqueo solar, se puede afirmar que los datos son correctos, sin embargo, en algunos casos, es posible evidenciar que la radiación es baja y la temperatura es alta. En caso contrario, cuando la temperatura se mantiene y la radiación aumenta, por ende, a mayor nivel de calor se afecta directamente la conductividad y productividad del panel, y como se puede evidenciar en la figura 22, la potencia máxima en esa trama de datos ocurre cuando la temperatura fue menor, por lo que se volvió mayormente eficiente en este punto.

Por otra parte, respecto al voltaje, las variaciones sufridas son mínimas, y se puede afirmar que la tensión de la celda se mantiene constante con valores promedio de 16.2v y 17v, (véase figura 23) ante los niveles de radiación y temperatura alta. Cuando ocurre un cambio en la radiación a valores máximos de los 934 w constantes con temperatura

constante no superior a los 42°, se puede decir que la celda alcanza valores de corriente y potencia próximos a su máxima eficiencia (véase Tabla 4)

Para los valores de corriente máxima del rango de 3A a los 4A, son obtenidos cuando la celda mantiene niveles óptimos de radiación y temperatura como fue mencionado en el párrafo anterior. Cabe resaltar que una máxima eficiencia es obtenida garantizando niveles de voltaje, corriente, temperatura y radiación constante, que en el entorno donde se realiza la presente investigación se pueden obtener aún más cuando se mezcla con viento, debido a que contribuye a la disminución de la temperatura.

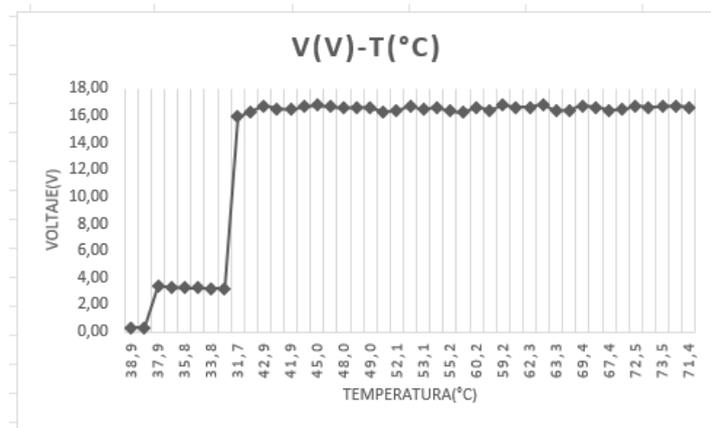


Figura 23. Grafica de Voltaje vs temperatura. Fuente: Propia

radiación (w/m2)	voltaje (v)	potencia (w)	corriente (A)	temperatura (°C)
934.76	16.98	57.44	3.382	34.79
934.76	16.32	63.52	3.892	51.92
933.77	16.88	60.53	3.569	33.58

Tabla 4. trama de datos de máxima radiación Fuente: Propia

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

En síntesis, se afirmó que, es posible establecer un contraste entre las condiciones óptimas dadas por el fabricante, siendo esto un resultado esperado, donde no supera una temperatura de 25°C con una radiación de 1000w/m² y obtiene una potencia pico de 75w, contrapuestas con las condiciones ambientales del entorno en cuestión, con temperaturas no superiores a 42°C acompañadas de una radiación constante de 950w, se pudo obtener una eficiencia cercana a la del fabricante, mencionada en el apartado anterior.

Al momento de comparar la variabilidad relacionada con el viento solar, se puede señalar, como primera medida se seleccionó una trama que cumpliera con las mismas recomendaciones mencionadas anteriormente para evitar fallas en los análisis, partiendo de esto se procedió con el cálculo de la eficiencia, concluyendo que existen tramos donde hubo viento solar es mayor (véase tabla 5), pero para garantizar al 100% esta teoría es de suma importancia adicionar un sensor de viento para poder analizar correctamente lo sucedido. No fue posible establecer un contraste entre los datos obtenidos y los ya existentes en el aeropuerto Los Garzones ya que las variables no son las mismas.

Ho = p/a	Área (M²)	Potencia (W)	Corriente (A)	Eficiencia (%)	viento solar
122.11	0.43	52.51	3.28	13.65	SI
105.34	0.43	45.3	2.83	12.60	No

Tabla 5. Eficiencia en una trama de datos con viento solar vs sin viento solar

Fuente: Propia

Radiación (w/m²)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Corriente (A)	Temperatura (°C)	HORA	FECHA
894.21	16.52	52.51	3.17	41.92	10:10:02	30/01/2022
923.18	16.98	47.04	2.77	34.79	10:10:05	30/01/2022
928.97	16.52	52.51	3.17	37.95	10:10:08	30/01/2022
923.18	16.98	47.04	2.77	35.81	10:10:12	30/01/2022

Tabla 6. Trama de datos con viento solar Fuente: Propia

Radiación (w/m²)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Corriente (A)	Temperatura (°C)	HORA	FECHA
824.68	16.72	42.93	2.56	47.01	10:09:35	31/01/2022
830.47	16.52	40.72	2.46	43.95	10:09:38	31/01/2022
830.47	16.88	39.88	2.36	42.94	10:09:41	31/01/2022

830.47	16.88	39.87	2.36	43.1	10:09:45	31/01/2022
--------	-------	-------	------	------	----------	------------

Tabla 7. Trama de datos con ausencia de viento solar Fuente: Propia

El panel solar utilizado además de carecer de una tecnología fina de fabricación evidenciado en la comparación en la eficiencia con otros paneles en temas de construcción y organización de sus celda posee una eficiencia máxima obtenida en nuestro medio que (según tabla 1) es de 13.46 que se considera en el ranking de eficiencia como baja, aunque su utilización es recomendada en elementos de bajo consumos como telecomunicaciones, respaldo de carga de baterías de poca corriente, pero para ser utilizado con carga generadora de potencia en autoconsumo no se recomienda, en caso de ser usado se requiere de muchos de ellos conectados en serie para el aumento de su tensión (relacionada a la eficiencia del panel en donde se recomienda apoyo en la construcción de una planta de energía de paneles solares) y de esta forma el equipo que gestione la carga (controlador de carga) aproveche los momentos de alta radiación y juegue con la disminución de voltaje para realizar aumentos de corriente que es considerada una forma inteligente del seguimiento del punto de máxima potencia del panel y de esta manera generar gran cantidad de energía.

Es importante resaltar que en nuestro medio (municipio de Montería) el potencial de generación de energía solar es considerado alto, pero es necesario tener en cuenta que el papel de la temperatura en la generación de energía, llevándonos a recomendar paneles de tecnología monocristalinos que su construcción es más fina y son fabricados con silicio

puro y supera a la policristalina en términos de eficiencia. Una celda monocristalina construida con silicio conlleva a la utilización de fingers y busbar más resistentes (véase figura 24) esto hace que la conducción de energía cuando la celda sufre calentamientos excesivos por altas temperatura no cause bloqueos en los puntos de transmisión de energía y lo haga más eficiente.

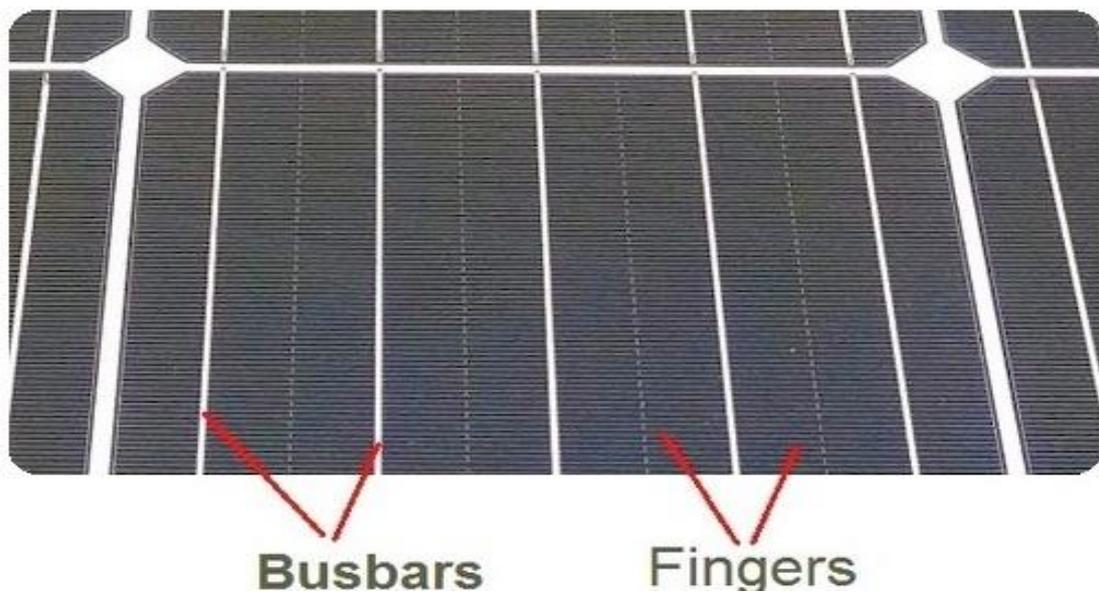


Figura 24. Celda monocristalina. Fuente: Voltaika

Todo lo contrario, sucede con la celda policristalina fabricada con silicio impuro, al estar presente con altas temperaturas produce una reducción en los niveles de conducción de electrones que a su vez causan un excesivo calentamiento que ocasiona el daño total del panel solar (véase figura 25). Es posible evidenciar la incineración del panel al exponer a temperaturas extremadamente altas



Figura 25. Celda policristalina. Fuente: Sfe-solar.

Lo anterior ocurre debido a las altas temperaturas, las cuales dan lugar a la disminución de la conductividad de los paneles, lo que, por ende, genera cortocircuitos, haciendo que se quemara parte de las celdas fotovoltaicas.

Como medida adicional se recomienda la utilización de una cámara térmica para medir las variaciones de temperatura de manera continua y precisa, sea instalada en un Dron (en caso de ser una planta de paneles solares grande) o una cámara de temperatura infrarroja (en caso de ser un solo panel) puede ser medida directamente en superficie donde se encuentre la estación, esto con el fin de estimar de forma más precisa los cambios de temperatura que sufre la celda fotovoltaica, debido a que no es posible diferenciarla individualmente

Comparando las medidas dadas por el fabricante vs las obtenidas por el caracterizador podemos concluir que:

En nuestro medio, bajo unas condiciones de temperatura, radiación, inclinación y orientación estándar (es decir, que le cumplamos al panel radiación no superior a 1000w/m², temperatura no superior a 41°C, inclinación no superior a la latitud del lugar, orientación sur) se obtendrá de una celda policristalina en nuestro medio valores de potencia que oscilan entre 60 y 80% técnicamente hablamos de una eficiencia buena para nuestro medio en temas de producción de energía. Mientras que la potencia dada por el fabricante en condiciones ambientales controladas en su laboratorio estima una producción de -1, + 5% de su potencia nominal.

Para concluir, es posible afirmar que actualmente existen fabricantes de módulos fotovoltaicos que han logrado mejorar la calidad de estos en corto tiempo, por lo tanto, se considera que hay mucho material para seguir analizando como tema de investigación, pues, aunque el prototipo es independiente a las características del panel, este busca es dejar clara su eficiencia en la región.

6. BIBLIOGRAFÍA

Torres, D. C. (2014). Celdas solares orgánicas. Tomado de:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4855804.pdf>

Ciudad Energética. (2019). Estrategia Energética Local de MONTERÍA Resumen

Ejecutivo | Junio 2019. Tomado de: https://ciudadenergetica-live-96475eb39c65423d-572de4c.aldryn-media.com/filer_public/5c/a2/5ca2297e-94ff-4057-8ebf-5a5a7e543859/resumen_ejecutivo_ce_monteria.pdf

Alfonso, R. (2019). Caracterización energética para la evaluación de los impactos

ambientales reales y potenciales del consumo energético, Caso estudio conjunto residencial Abedul en Soacha, Cundinamarca. Tomado de: https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/2135/Alfonso_Garc%C3%ADa_Robert_Andr%C3%A9s_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Algunos%20de%20las%20afectaciones%20e,de%20biodiversidad%20entre%20otros%20impactos.

Teran, C. (2015). Instalación Solar Fotovoltaica Aislada En Vivienda Rural Unifamiliar. Tomado de:

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7718/379672.pdf?sequence=1>

ferretronica . (2021). *ferretronica* . Obtenido de

<https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-voltaje-fz0430-0v-25v>

Garcia, V. (2015). *Electronica aplicada*. Obtenido de

<https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/sensor-de-corriente-ac712>

Woyte, A., Richter, M., Moser, D., Mau, S., Reich, N., & Jahn, U. (2013). Monitoring of photovoltaic systems: good practices and systematic analysis. Tomado de: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/conference-paper/28-eupvsec-2013/Woyte.pdf>

Breceda, M. (2007). Uso de energía alternativa en los desarrollos turísticos del Caribe. *Teoría y praxis*. Tomado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4561/456145111015.pdf>

National Instrument. (2017). *National Instrument* . Obtenido de

<https://www.ni.com/documentation/en/multifunction-io-device/latest/specs-usb-6008/specs/>

Ssdielect. (2021). *ssdielect*. Obtenido de

<https://ssdielect.com/es/magnitudes-electricas-1/2398-mppt-5a-yh1108.html>

Kumar, A., Tomar, A., Kumar, A. & Rangnekar, S. (2017). Virtual lab based real-time data acquisition, measurement and monitoring platform for solar photovoltaic module. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653717300672>

Termomed. (2021). *Termomed*. Obtenido de

<https://www.termomed.net/sensores-y-recambios-para-estaciones-davis-instruments/sensor-de-radiacion-solar>

Llorede Mosquera, C. A. (2015). Incubadora neonatal air shields-pm78-diseño de un sistema de control digital para 1. Tomado de:
<https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/1551>

V. Ahmed C., M. K. (2013). PV-standalone monitoring system performance using Labview. *Smart Grid Clean Energy*. Tomado de:
<http://www.ijsgce.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=42&id=143>

Martinez, P. R. (2010). *Energía solar termica* . España-Barcelona: Marcombo.

7. ANEXOS

Datos técnicos sensor de radiación.

- Tiempo de respuesta de la segunda clase: 95%: 18 s.
- Desplazamiento cero debido a la radiación térmica de 200 W/m²: < 15 W/m².
- Desplazamiento del cero debido a un cambio de temperatura de 5 K / hr: < ±4 W/m².
- No estabilidad (% de cambio/año): < ±1%.
- No linealidad (0 a 1000 W/m²): < ±2,5%.
- Error direccional (a 80° con un haz de 1000 W/m²): < ±20 W/m².
- Dependencia de la temperatura de la sensibilidad: ±5% (-10 a 40 °C).
- Respuesta a la inclinación (+80°) (a 1000 W/m²): < ±2%.
- Exactitud esperada para las sumas diarias: ±10%.
- Rango espectral (50% puntos, nm): 300 a 2800 nm.
- Sensibilidad: 5 a 20 μV/(W/m²).
- Salida de señal típica para aplicaciones atmosféricas: 0 a 15 mV Impedancia: 30 a 100 Ω Temperatura de funcionamiento: -40 a 80 °C.

Datos técnicos Controlador ni-usb-6008 DAQ

- Fuente de alimentación: 5v.
- Señal de salida: 5 VDC.
- Humedad: 0.6 - 2.7.
- Frecuencia de muestreo máxima: 10 kS/s.

- Resolución de salida: 12 bits
- Entradas y salidas: análogas y digitales.

Datos técnicos SENSOR DE CORRIENTE ACS71

- Voltaje de alimentación: 5 VDC
- Voltaje de salida proporcional a la corriente AC y DC
- Rango de censado de corriente: +-20A (DC), 20A rms (AC) equivalente a 66mV / A
- Rango de salida analógica: 0.3V a 4.7V (proporcional a la corriente a medir)
- Sensibilidad: 22mV/A
- Diámetro máx. del conductor: 9mm
- Voltaje de aislamiento: 4000V
- Ancho de banda: 23Khz
- Temperatura de funcionamiento: -20°C ~ 125°C
- Dimensiones: 36*31*24 mm
- Peso: 12.4 gramo

Datos técnicos SENSOR DE VOLTAJE FZ04

- Resistencia de muestreo de alta precisión, precisión: 0,5%
- Coeficiente de temperatura: 50PPM
- Alta precisión
- Exactitud de la medición: <= 1%
- Rango de medición hasta 25 V DC;4 M2

Datos técnicos MODULO REGULADOR DE CARGA MPPT 5A YH11087A

- Voltaje de entrada: 6-36V
 - Voltaje de salida: 1.25-32V continuamente ajustable (la salida predeterminada 5V)
 - MPPT rango de ajuste de voltaje: 6-36V
 - Rango de corriente de salida: 0.05-5A (La corriente de salida predeterminada es 3A)
 - Temperatura de funcionamiento: -40 a + 85 grados
 - Frecuencia de funcionamiento: 180KHz
 - Eficiencia de conversión: hasta 95% (eficiencia, voltaje de entrada y salida, corriente y presión)
 - Dimensiones del módulo: 60 x 31 x 25 mm, Conexión: IN es la entrada, OUT salida
-
- **Especificaciones del panel a usar Fuente: Solar plus**

Specification			Laminating data		
Maximum Power	75W	Wp	Dimension	Length(mm)	760 mm
Power Tolerance	(-1,+5)	%		Width(mm)	670 mm
Optimum operating voltage	18	V		Thickness(mm)	30 mm
Optimum operating current	4,167	A	Installation dimension	Length(mm)	Picture mm
Open circuit voltage	22,5	V		Width(mm)	Picture mm
Short circuit current	4,479	A	Weight	6	Kgs
Maximum system voltage	700	V DC	Frame Material	Clear anodized aluminium frame	
Module efficiency	14.73	%	Surface glass	Toughed solar glass	
Voltage temperature coefficient	-155±10	mV/°C	Thickness of glass	3,2	mm
Current temperature coefficient	+0.06±0.01	%/°C	Laminating material	EVA	
Power temperature coefficient	-0.5±0.05	%/°C	Backsheet material	TPT	
Information on CELL			Maximum data		
Cell brand	KLT , A -grade		Operating temperature	-40°C ~ +85°C	°C
Cell type	Poly-crystalline silicon solar cell		Storage temperature	from -40°C ~ +85°C	°C
Cell dimension	156*78	mm	Instulation cut voltage	700	DC
Cell Shape	Square		Maximum wind resistance	60m/s	N/m² or max Km/h
Number of cell	36	series	Surface maximum load capacity	200	Kg/m²
Efficiency of cell	17,8	%	Maximum hail load capacity	25mm	80km/h
STC			Warranty		
AM condition	AM1.5		5 years product warranty and 25years 80% of power		
Intensity of illumination	1000	W/m²			
Temperature	25	°C			
Package:4PCS/CTN.CTN SIZE:79*70*9CM					

- **Datos obtenidos por el prototipo**

Fecha	Hora	piranometro "W/m2"	Voltaje "V"	Potencia "W"	Corriente "A"	Temperatura "°C"
20/09/2021	8:59:27	245.31	16.57	20.56	1.24	32.76
20/09/2021	8:59:30	245.31	16.47	20.43	1.24	33.78
20/09/2021	8:59:33	239.52	16.67	18.98	1.13	34.79
20/09/2021	8:59:37	233.72	16.67	22.39	1.34	33.78
20/09/2021	8:59:40	233.72	16.47	18.75	1.13	33.78
20/09/2021	8:59:43	227.93	16.72	19.04	1.13	33.78
20/09/2021	8:59:47	227.93	16.57	20.56	1.24	33.78
20/09/2021	8:59:50	227.93	16.93	21.00	1.24	33.78
20/09/2021	8:59:53	222.14	16.93	19.27	1.13	33.78
20/09/2021	8:59:57	222.14	16.57	20.56	1.24	32.76
20/09/2021	9:00:00	222.14	16.67	20.69	1.24	32.76
20/09/2021	9:00:03	222.14	16.93	19.27	1.13	33.78
20/09/2021	9:00:07	222.14	16.83	19.16	1.13	33.78
20/09/2021	9:00:10	222.14	16.52	18.81	1.13	33.78
20/09/2021	9:00:13	222.14	16.88	19.22	1.13	33.78
20/09/2021	9:00:17	222.14	16.88	19.22	1.13	33.78
20/09/2021	9:00:20	222.14	16.72	19.04	1.13	32.76
20/09/2021	9:00:23	222.14	16.88	19.22	1.13	37.78
20/09/2021	9:00:27	222.14	16.62	18.93	1.13	37.78

- **Archivo de Excel de todos los datos entregados por el prototipo el día**

27/09/2021



Datos obtenidos el
27-09-2021.xlsx