

Implementación y análisis de la eficiencia energética



Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Jorge Yesid Arellano Chaparro

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

diciembre de 2024

Implementación y análisis de la eficiencia energética

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Jorge Yesid Arellano Chaparro

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)
Henry Alberto Rodríguez Guzmán
Docente

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Virtual
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos
diciembre de 2024

Contenido

Lista de tablas.....	6
Lista de figuras	7
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Descripción del problema.....	12
1.2 La pregunta de investigación.....	12
1.3 Los objetivos de investigación.....	13
1.3.1 Objetivo general	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificación de la investigación.....	13
2. MARCO DE REFERENCIA	14
2.1. Marco de Antecedentes	14
2.2. Marco Teórico.....	16
2.2.1 ENERGIA SOLAR.....	16
2.2.2 CÉLULA SOLAR O CELDA FOTOVOLTAICA:.....	17
2.2.3 ELEMENTOS QUE COMPONEN EL PANEL SOLAR.....	18
2.2.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	19
2.2.5 MATERIAL.....	19
2.2.6 PANELES FOTOVOLTAICOS POLICRISTALINOS	21
2.2.7 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN	22
2.2.8 CLASIFICACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SEGÚN SU FORMA ..	22
2.2.9 BATERÍAS.....	24
2.2.10 REGULADOR DE CARGA	26
2.2.11 CONVERTIDORES O INVERSORES	27
2.2.12 TERMOCUPLA.....	27
2.2.13 ORDEN DE CONEXIÓN DE EQUIPOS EN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	32

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.2.14	CONEXIONES DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	33
2.3	MARCO LEGAL.....	36
3.	METODOLOGÍA.....	37
2.4	PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO, 100 WATTS	38
2.4.1	ESPECIFICACIONES.....	39
2.5	INVERSOR COBRA DE 400 W	40
2.6	BATERÍA SECA 12V – 12 A/H.....	41
2.7	REGULADOR SOLAR DE VOLTAJE 30 A.....	42
2.7.1	CÓMO SABER QUÉ REGULADOR PWM NECESITO EN MI INSTALACIÓN	43
2.8	CABLE DE ALAMBRE COBRE 12 AWG	44
2.9	PIRÓMETRO CONTROLADOR DE TEMPERATURA XMTG-2301.....	45
2.10	MEDIDOR DE MULTIFUNCIÓN DE DC DIGITAL.....	46
2.11	TERMOCUPLA TIPO J	46
2.12	CABLE DE COMPENSACIÓN TERMOCUPLA TIPO J.....	47
2.13	BOMBILLO LED 9 W	48
2.14	CONECTORES MC4.....	48
2.15	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA.....	49
2.15.1	EQUIPO DE SEGURIDAD.....	49
2.15.2	ROCESO DE INSTALACIÓN Y SEGUIMIENTO	51
2.15.3	CIRCUITO DE CONEXIÓN	53
2.16	ERROR DE TEMPERATURA	54
2.17	DATOS DE ANÁLISIS OBTENIDOS POR EL PANEL.....	56
2.17.1	RADIACIÓN EN BUCARAMANGA	57
2.18	MANTENIMIENTO DE LOS PANELES.....	60
3	RESULTADOS	61
3.1	GRAFICAS COMPARATIVAS VOLTAJE VS TEMPERATURA.....	61
3.1.1	VOLTAJE VS TEMPERATURA 8:00 AM.	61
3.1.2	VOLTAJE VS TEMPERATURA 12:00 M.....	62
3.1.3	VOLTAJE VS TEMPERATURA 5:00 PM.	63
3.2	GRAFICAS COMPARATIVAS CORRIENTE VS TEMPERATURA	64
3.2.1	CORRIENTE VS TEMPERATURA 8:00 AM.	64

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

3.2.2	CORRIENTE VS TEMPERATURA 12:00 M.....	65
3.2.3	CORRIENTE VS TEMPERATURA 5:00 PM.	66
3.3	GRAFICAS COMPARATIVAS POTENCIA VS TEMPERATURA	67
3.3.1	POTENCIA VS TEMPERATURA 8:00 AM.	67
3.3.2	POTENCIA VS TEMPERATURA 12:00 M.....	68
3.3.3	POTENCIA VS TEMPERATURA 5:00 PM.	69
3.4	GRAFICAS COMPARATIVAS ENTRE BASE TEJA DE BARRO Y BASE ESTÁNDAR 70	
3.4.1	GRAFICA COMPARATIVA VOLTAJE	70
3.4.2	GRAFICA COMPARATIVA CORRIENTES	72
3.4.3	GRAFICA COMPARATIVA POTENCIAS.....	73
3.5	GRAFICA COMPARATIVOS PROMEDIOS	75
3.5.1	VOLTAJES	75
3.5.2	CORRIENTES	76
3.5.3	POTENCIAS	77
3.5.4	TEMPERATURAS.....	77
4.	CONCLUSIONES.....	78
	Referencias	80
	Anexos	82

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de termocuplas (Arian, s.f).....	29
Tabla 2. Especificaciones del panel solar fotovoltaico policristalino.	39
Tabla 3. Especificaciones del inversor cobra (Cobra.com, S.f).....	40
Tabla 4. Características del Alambre de cobre THW 12.....	44
Tabla 5. Características del pirómetro XMGT-2301 (Hermes, 2017).....	45
Tabla 6. Características del medidor de multifunción DC PZEM-031 (S.A.S, 2016).....	46
Tabla 7. Datos de dos semanas del panel policristalino en base de teja de barro.	56
Tabla 8. Datos de dos semanas del panel policristalino en base estándar.....	57
Tabla 9. Tabla de Datos panel policristalino en base estándar.....	82
Tabla 10. Tabla de Datos panel policristalino en base teja de barro.....	83
Tabla 11. Tabla de datos horas de sol al día en Colombia hasta el año 2016 (Benavides Ballesteros , Simbaqueva Fonseca , & Zapata Lesmes , 2017).	84
Tabla 11. Tabla de datos horas de sol al día en Colombia hasta el año 2016 (Benavides Ballesteros , Simbaqueva Fonseca , & Zapata Lesmes , 2017).	84
Tabla 13. Tabla de termocupla tipo J. (Arian, s.f).....	86

Lista de figuras

Figura 1. La energía solar (Mora Moreno, Gelves Tello, Vera Bernavides, Ruiz Jimenez, & Hernandez Olmedo , 2011).....	16
Figura 2. Célula solar o celda fotovoltaica (Energia, s.f).....	18
Figura 3. Módulo Solar (Flores, 2015).....	18
Figura 4. Captación de la radiación proveniente del sol (Envinergy, s.f).....	19
Figura 5.Células de silicio monocristalino(Pichardo S, Salazar Peralta, & Pichardo S, 2016).....	20
Figura 6.Células de silicio policristalino(Pichardo S, Salazar Peralta, & Pichardo S, 2016).....	20
Figura 7. Panel de silicio policristalino(SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f).....	21
Figura 8.Panel con sistemas de concentración (SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f).....	22
Figura 9. Paneles de teja o baldosa (SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f).....	23
Figura 10. Paneles bifaciales (SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f).....	23
Figura 11. Baterías (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015).	24
Figura 12. Grupos de baterías (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015).....	25
Figura 13. Regulado de carga (Monsolar.com, 2018).....	26
Figura 14. Convertidores o inversores (Area tecnologia, S.f).	27
Figura 15.Termocupla (Electric, S.f).....	28
Figura 16. Efecto Seebeck (Barreto, 2018).	28
Figura 17. Diagrama de compensación de cero (Arian, s.f).....	30
Figura 18. Diagrama de Cables compensados (Arian, s.f).	31
Figura 19. Conexión de componentes (Bijloo, 2016).....	32
Figura 20. Conexión en serie (Solar A. , 2018).....	33
Figura 21. Conexión en paralelo (Solar A. , 2018).....	34
Figura 22. Conexión en serie-paralelo (Solar A. , 2018).....	35
Figura 23. Panel Solar Fotovoltaico Policristalino 100W	38
Figura 24. inversor cobra 400w (Cobra.com, S.f).....	40
Figura 25. Batería 12 v -12 A/H (Globaloide, S.f).	41
Figura 26. Regulador Solar de Voltaje 30 A (Greenenergy.solar, 2015).....	43
Figura 27. Alambre cobre THW 12 AWG.	44
Figura 28. Pirómetro XMGT-2301 y Conexión (Hermes, 2017).....	45
Figura 29. Medidor de multifunción DC PZEM-031 (S.A.S, 2016).	46
Figura 30. Termocupla tipo J.....	47
Figura 31. Cable de Compensación (cables, 2018).....	48
Figura 32. Bombillo Led 9 W.	48
Figura 33. Conectores Eléctricos MC4. (Castillo, 2017)	49
Figura 34. Equipos de Protección Personal (Emaze, S.f).....	50
Figura 35. Señalización Zona de trabajo (acceso a terraza).....	50
Figura 36. Inspección y montaje de la base es la ubicación seleccionada.	51
Figura 37. Instalación de punto de control.....	52
Figura 38. Instalación y pruebas de los instrumentos de medida.	52
Figura 39. Panel y equipos instalados.....	53
Figura 40. Esquema representativo-Conectividad del sistema fotovoltaico	53
Figura 41. Prueba de voltaje en unión de termocupla con cable de compensación.....	54

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Figura 42. Medición de temperatura mediante medidor laser.....	54
Figura 43. Geometría de la radiación solar, Diagrama de trayectoria del sol altitud y acimut (Instituto Colombiano de hidrología, 1989).....	58
Figura 44. Radiación solar horizontal en Colombia Actual, año 2018 (gis, 2018).	59
Figura 45. Radiación solar horizontal en Bucaramanga y sus alrededores, año 2018 (gis, Search map, 2018).....	59
Figura 46. Mantenimiento del Panel Solar Policristalino.....	60
Figura 47. Grafica V vs T (Base teja de Barro).....	61
Figura 48. Grafica V vs T (Base Estándar).....	61
Figura 49. Grafica V vs T (Base teja de Barro).....	62
Figura 50. Grafica V vs T (Base Estándar).....	62
Figura 51. Grafica V vs T (Base teja de Barro).....	63
Figura 52. Grafica V vs T (Base Estándar).....	63
Figura 53. Grafica I vs T (Base teja de Barro).	64
Figura 54. Grafica I vs T (Base Estándar).	64
Figura 55. Grafica I vs T (Base teja de Barro).	65
Figura 56. Grafica I vs T (Base Estándar).	65
Figura 57. Grafica I vs T (Base teja de Barro).	66
Figura 58. Grafica I vs T (Base Estándar).	66
Figura 59. Grafica W vs T (Base teja de Barro).....	67
Figura 60. Grafica W vs T (Base Estándar).....	67
Figura 61. Grafica W vs T (Base teja de Barro).....	68
Figura 62. Grafica W vs T (Base Estándar).....	68
Figura 63. Grafica W vs T (Base teja de Barro).....	69
Figura 64. Grafica W vs T (Base Estándar).....	69
Figura 65. Grafica Comparativa de voltajes (8:00am).	70
Figura 66. Grafica Comparativa de voltajes (12:00am).	71
Figura 67. Grafica Comparativa de voltajes (5:00am).	71
Figura 68. Grafica Comparativa de corrientes (8:00am).....	72
Figura 69. Grafica Comparativa de corrientes (12:00am).....	72
Figura 70. Grafica Comparativa de corrientes (5:00am).....	73
Figura 71. Grafica Comparativa de Potencias (8:00am).....	73
Figura 72. Grafica Comparativa de Potencias (12:00am).....	74
Figura 73. Grafica Comparativa de Potencias (5:00am).....	74
Figura 74. Gráfico comparativo de voltajes promedios.....	75
Figura 75. Gráfico comparativo de corrientes promedios.	76
Figura 76. Gráfico comparativo de potencias promedios.....	77
Figura 77. Gráfico comparativo de temperaturas promedios.....	77

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Resumen

El modelo energético actual está apoyado en el uso indiscriminado de recursos fósiles, así como los procesos industriales usados para producir energía eléctrica los cuales provocan un impacto negativo en el medioambiente por la emisión de CO₂, que obligan a definir un sistema nuevo de desarrollo sostenible. Actualmente uno de los principales recursos limpios que existen en el planeta es la energía solar, que se puede aprovechar gracias a un sistema fotovoltaico que permite la transformación de la luz solar en energía eléctrica, para hacer viable el uso de diferentes tecnologías basadas en diversas técnicas y aplicaciones. La presente propuesta se basa en la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica, mediante un módulo fotovoltaico policristalino que está compuesto por células solares formadas por una delgada lámina de material semiconductor que por lo general tiene forma cuadrada; El más popular es el de silicio cristalino que se puede utilizar como conductores de electricidad o como aislantes conformes a la condición que estén. Dentro del desarrollo la teja de barro será la superficie en la cual se instalará el panel fotovoltaico policristalino y sus respectivos sistemas de elementos, con la finalidad de analizar la temperatura expuesta al panel, y obtener resultados que nos permitan determinar si es viable o no su implementación en cuanto rendimiento de adquisición de energía; Se tendrá otro panel fotovoltaico policristalino en superficie de cemento el cual nos permitirá comparar los resultados de la potencia generada, conocida mediante un vatímetro en un tiempo determinado para desarrollar un estudio estadístico teniendo en cuenta las condiciones del lugar donde se encuentre situado

Palabras clave: Eficiencia, Energía, Fotovoltaico, policristalino, Radiación.

Abstract

The current energy model relies heavily on the indiscriminate use of fossil resources, as well as industrial processes used to produce electrical energy, which have a negative impact on the environment due to CO₂ emissions. This situation necessitates the definition of a new sustainable development system. Currently, one of the main clean resources available on the planet is solar energy, which can be harnessed through a photovoltaic system that transforms sunlight into electrical energy, enabling the use of various technologies based on different techniques and applications.

The present proposal focuses on the implementation of an electrical energy generation system using a polycrystalline photovoltaic module composed of solar cells formed by a thin layer of semiconductor material, typically square in shape. The most commonly used material is crystalline silicon, which can act as either a conductor of electricity or an insulator, depending on its condition.

As part of the development, clay tiles will serve as the surface on which the polycrystalline photovoltaic panel and its respective system components will be installed. The objective is to analyze the temperature to which the panel is exposed and obtain results that allow us to determine whether its implementation is viable in terms of energy acquisition efficiency. Additionally, another polycrystalline photovoltaic panel will be installed on a cement surface to compare the power output results, measured using a wattmeter over a specified period, to develop a statistical study considering the conditions of the location

Keywords: Efficiency, Energy, Photovoltaic, Polycrystalline, Radiation

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Introducción

El presente estudio tiene como objetivo investigar y análisis la eficiencia de un sistema de generación de energía eléctrica, mediante un panel solar fotovoltaico policristalino que se componen de un conjunto de pequeñas células de silicio o galio cristalino que actúan como conductores de electricidad al captar los fotones provenientes de la luz del sol. Teniendo en cuenta los criterios para obtener su máxima capacidad de funcionamiento se implementó dos sistemas fotovoltaicos policristalinos de captura de variable o medida apropiados con su respectiva carga, e instalados en una base de teja de barro y cemento respectivamente.

Con ayuda de los dispositivos adecuados se documentó diariamente las variables de temperatura, voltaje, corriente y potencia generada durante tres horas al día (8:00a.m., 12:00m, 5:00p.m.) en los respectivos sistemas fotovoltaicos implementados. De la misma forma, se dan a conocer los diferentes cálculos que se deben realizar para lograr un óptimo funcionamiento de todos los equipos de captación.

Luego en base a la información suministrada se realizó un análisis estadístico que muestre dependiendo del escenario en el que se encuentre ubicado; Los diferentes aspectos y resultados en términos de rendimiento, aprovechamiento de superficies, y eficiencia en los dos módulos solares instalados; de esta manera comparar dichas variables y establecer cuál superficie es óptima en términos de producción eléctrica. Junto a esto notar el beneficio que nos trae la utilización de este tipo de energía para el impacto ambiental y económicamente.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El crecimiento de la población mundial ha generado un incremento de la demanda de energía eléctrica, siendo las zonas urbanas el sector de mayor consumo y llevando consigo un deterioro de los recursos naturales. Las ciudades cada vez aumentan más su población de manera incontrolable y con el pasar de tiempo el impacto que causa lograr satisfacer el consumo eléctrico es más notorio. (Libro electrónico, 2000)

Con base a lo anterior, la importancia de un buen planeamiento del desarrollo energético, se debe a que el consumo de energía eléctrica en las ciudades no solo depende del sector industrial, gran parte depende de aquellas estructuras en las cuales el tránsito de personas es elevado, como los son instituciones educativas, edificios gubernamentales, oficinas, hospitales entre otros. Parte de la energía utilizada en estas edificaciones no se usa de manera adecuada, generando a largo plazo pérdidas económicas. (González, 2011)

Al notar los daños irreparables que ha causado nuestro desorden energético, es donde surge la idea de incentivar al cuidado del ambiente mediante soluciones que conlleven a beneficios principalmente económicos, más allá que el objetivo principal sea el resguardo del lugar donde vivimos. Teniendo en cuenta que las instituciones educativas son parte de un gran consumo eléctrico, la implementación de paneles solares fotovoltaicos policristalino en las mismas, donde la energía solar se presenta de manera impredecible, nos brinda la oportunidad de una eficiente generación energética. (González, 2011)

Para lograr cuantificar esto se implementará el panel solar fotovoltaico policristalino en base de teja de barro junto a uno de referencia en base de cemento, con el fin de comparar, analizar y determinar las condiciones óptimas para mayor eficiencia energética de dicho sistema y establecer en temas económicos cual es una mejor inversión.

1.2 La pregunta de investigación

En este sentido, la pregunta que orienta el presente documento es:

¿Qué importancia tiene determinar las condiciones óptimas para que un panel solar fotovoltaico policristalino obtenga una mayor eficiencia en la generación de energía eléctrica?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Caracterizar la viabilidad del uso de una superficie de teja de barro con respecto a una de cemento en la instalación de un panel fotovoltaico policristalino, haciendo un estudio estadístico tomando variables de temperatura, voltaje, corriente y potencia con carga nominal, para conocer cuál superficie es óptima en términos de generación eléctrica.

1.3.2 Objetivos específicos

Documentar las variables a tener en cuenta, frente a los requerimientos necesarios al momento de instalar los paneles fotovoltaicos, con el propósito de adquirir un conocimiento preciso para tener una mayor veracidad en la toma de medidas.

Construir un sistema de captura de variable o medida apropiado del panel fotovoltaico policristalino con su respectiva carga, teniendo en cuenta los criterios que se deben seguir para obtener su máxima capacidad de funcionamiento.

Tomar mediciones de las variables de productividad como temperatura, voltaje, corriente y potencia generada, que nos provee cada uno de los paneles fotovoltaicos.

Analizar los resultados del comportamiento del panel fotovoltaico policristalino instalado en la superficie de teja de barro, con respecto al instalado en base de cemento, comparando de esta manera las variables de los dos dispositivos instalados, para establecer cual tendrá mayor eficiencia energética.

1.4 Justificación de la investigación

Debido a la duda permanente de la viabilidad económica de los proyectos de manejo de energía a través de fuentes renovables causada por los altos costos iniciales que representan las tecnologías que usan este tipo de energía, y aunque hoy en día los precios de las tecnologías de los sistemas de ahorro como los paneles fotovoltaicos, sensores fotoeléctricos, inversor, convertidores y almacenadores de energía han disminuido sus costos, la pregunta de si es viable reemplazar una planta de generación que resulte contaminante para el medio ambiente por su equivalente en generación distribuida y esta duda que se genera es específicamente por razones financieras

El uso de las energías renovables ayuda a mitigar los riesgos generados por el cambio climático, generando una sostenibilidad energética para el desarrollo general del país en donde también se ven involucrados los grandes consumidores de energía, en este caso las instituciones

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

educativas. Estas numerosas ventajas hacen que se concentre los esfuerzos en su justificación y es por esta razón que se hace necesario hacer estudios para su implementación.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Marco de Antecedentes

En el presente estado del arte se trataron documentos que hacen referencia a la aplicación de tecnologías de generación de energía alternativa, los cuales desarrolla la evaluación técnica y económica de estudios para la verificación de eficiencia, factibilidad y sostenibilidad del comportamiento de una instalación de generación fotovoltaica en sistemas de distribución aislado o conectada a la red eléctrica.

1. “Impacto de la generación fotovoltaica en un sistema de distribución local”

Proyecto de grado para optar al título de ingeniero electricista

Autores: Santiago Salazar – Wilson Idárraga

Director: Harold Salazar Isaza, PhD.

Año de publicación: 2015

El documento estudia el comportamiento de los voltajes nodales al incluir generación fotovoltaica en sistemas de distribución local basados en datos reales. Este análisis se realiza a través de funciones de probabilidad con datos reales de la irradiancia solar y ecuaciones que modela el generador fotovoltaico. Posterior a el recaudo y análisis de dichas mediciones se logra verificar que, al incluir generación fotovoltaica en el sistema, se obtiene una mejora considerable en la regulación de los voltajes nodales y a su vez ayuda a definir un comportamiento de los mismos.

2. “Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia”

Autores: Helena García - Alejandra Corredor - Laura Calderón - Miguel Gómez

Año de publicación: 2013

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

El documento desarrolla una visión de la situación mundial y en Colombia de la cadena productiva de generación de energía eléctrica y cambio climático, para analizar el marco regulatorio y el costo beneficio de generación a través de la implementación de energías renovables no convencionales. Por otra parte busca aportar elementos para la discusión de política pública sobre el desarrollo de este tipo de energías y su implementación en Colombia. Su objetivo es calcular los costos económicos y sociales de la generación de energía eléctrica en Colombia a partir de tecnologías tradicionales (centrales térmicas, centrales hidroeléctricas) y fuentes renovables no convencionales (hídricas a filo de agua, eólica, geotérmica y generación con biomasa).

3. **“Evaluación técnica y financiera de alternativas energéticas renovables no convencionales para incorporar a la gestión energética del casino de Suboficiales Badilla”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Civil Industrial

Autores: Edgardo Alzamora Muñoz

Director: ING. ALEXIA QUIROZ BARRÍA

Año de publicación: 2012

El presente proyecto de título se centra entonces, en Evaluar la Factibilidad Técnica y Financiera de incorporar Alternativas Energéticas Renovables no Convencionales en la Gestión Energética de la III Brigada Aérea de la Fuerza Aérea de Chile, división Puerto Montt, buscando por un lado poder disminuir costos que permitan generar un ahorro en el presupuesto asignado al ítem energía, pero además, y fundamentalmente, dar un ejemplo a nivel nacional en sustentabilidad energética y preocupación por el medio ambiente.

4. **“Implementación y ejecución de un sistema de energía alternativa (fotovoltaica) para incrementar la calidad de vida de sus moradores en la comunidad de palmeras”**

Trabajo de grado para obtener el título de especialista en Gestión de Proyectos

Autores: Mario Alexander Vela Ruiz

Director: LUIS ALBERTO ROMERO MORA

Año de publicación: 2015

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

El objetivo de esta tesis es desarrollar un proyecto de energía alternativa, que permita mejorar las condiciones de vida de los amazonenses en la comunidad de Palmeras y analizar los efectos sociales y tecnológicos que tendrá frente a cada uno de los habitantes. Por otro lado, será primordial el análisis de este tipo de montaje ya que permitirá minimizar el porcentaje de emisiones atmosféricas. Como objetivo específico se pretende realizar la descripción y análisis de la zona de influencia, con el fin de determinar los distintos ángulos de inclinación del sol, con el fin de poder instalar el parque fotovoltaico; por otro lado, determinar los impactos ambientales, económicos y sociales

2.2. Marco Teórico

2.2.1 ENERGIA SOLAR

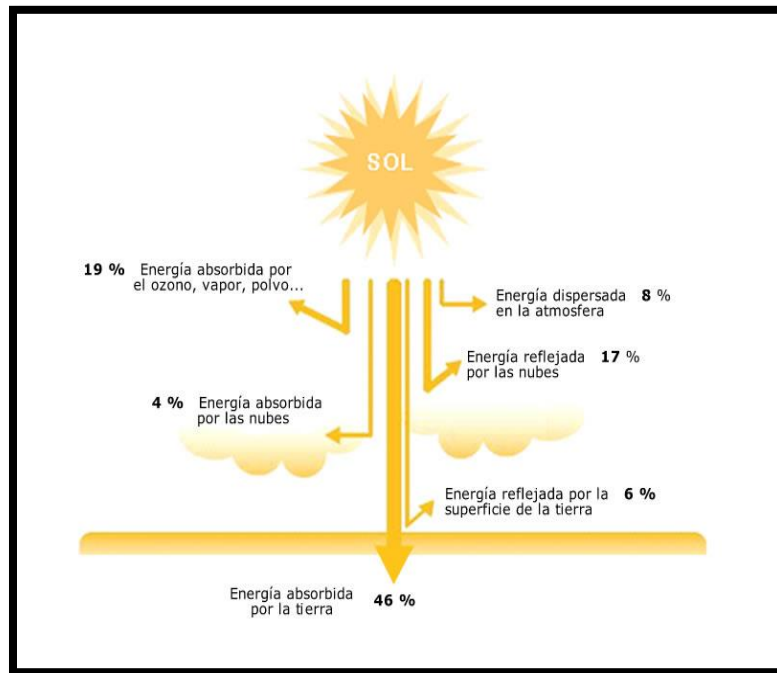


Figura 1. La energía solar (Mora Moreno, Gelves Tello, Vera Bernavides, Ruiz Jimenez, & Hernandez Olmedo , 2011).

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Las ondas electromagnéticas presentes en los rayos de sol, las cuales son generadas en forma continua alcanzan la superficie terrestre calentándola y elevando su temperatura, aunque alrededor del 70% es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos. El otro 30% es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio. (Salinas & Jeldes, La energía proveniente del sol, 2011).

Existen dos formas para el aprovechamiento de la energía solar:

➤ **transformación térmica de alta temperatura** (sistema fototérmico):

consiste en convertir la energía de la radiación solar en energía térmica almacenada en un fluido y este es calentado. Para calentar el líquido se emplean unos dispositivos llamados colectores. (Miñarro, s.f)

➤ **transformación fotovoltaica** (sistema fotovoltaico):

consiste en convertir la energía luminosa en energía eléctrica. Se utilizan para ello unas placas solares formadas por células fotovoltaicas las cuales pueden ser orgánicas e inorgánicas. (Miñarro, s.f)

En términos de potencia es muy importante tener en cuenta que estas radiaciones electromagnéticas y su aprovechamiento para la generación de energía se alteran de acuerdo a su ubicación geográfica, la hora del día y las condiciones atmosféricas¹.

2.2.2 CÉLULA SOLAR O CELDA FOTOVOLTAICA:

Uno de los elementos importantes de cualquier instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de célula solar, se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol, mediante el efecto fotoeléctrico el cual se produce una corriente eléctrica en algunos materiales cuando se inicia una radiación lumínica sobre ellos, estos materiales se componen de un ánodo y un cátodo recubierto de un material fotosensible. Dicha célula solar por lo general está formada por una delgada lámina de material semiconductor, usualmente de silicio².

¹ Figura 1. La energía solar.

² Figura 2. Célula solar o celda fotovoltaica.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

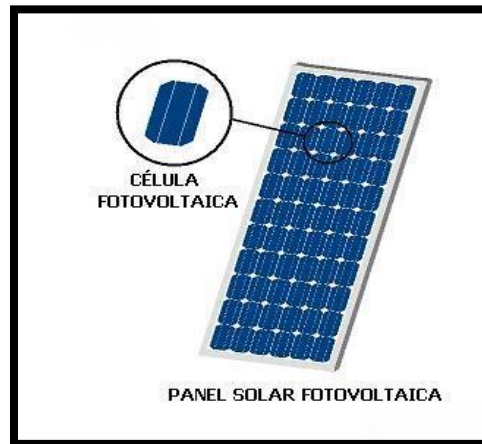


Figura 2. Célula solar o celda fotovoltaica (Energia, s.f).

2.2.3 ELEMENTOS QUE COMPONEN EL PANEL SOLAR

El elemento fundamental de cualquier sistema solar fotovoltaico son los módulos solares. Un módulo solar está compuesto por varias celdas fotovoltaicas, y formados por los siguientes elementos: cubierta frontal, material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior, marco metálico, otros elementos como mecanismos de seguimiento y sensores. Cuando existe una interconexión de dos o más paneles se conoce como un arreglo solar³. (Flores, 2015)

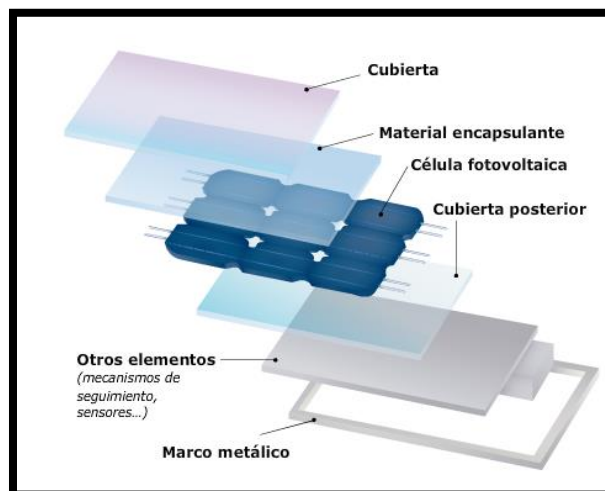


Figura 3. Módulo Solar (Flores, 2015).

³ Figura 3. Módulo Solar.

2.2.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Una celda solar tradicional se constituye de dos capas de material semiconductor, una positiva (tipo p) y una negativa (tipo n), que se alternan para formar una unión p/n. Si el material semiconductor es expuesto a la luz solar, la energía (h) de los fotones incidentes que superan el umbral de energía, esta es absorbida por los electrones del semiconductor que tienen acceso a la banda de conducción comenzando así a conducir la electricidad, y por cada electrón una carga positiva móvil o hueco es creada en el átomo excitado. Normalmente, el electrón encuentra rápidamente otro hueco para volver a llenarlo. Los electrones y huecos cerca de la unión p/n se dirigen en direcciones opuestas por la acción del campo eléctrico y al separarse las cargas, estos se dirigen hacia los electrodos respectivos, generando carga eléctrica⁴. (Salinas & Jeldes, La energía proveniente del sol, 2011)

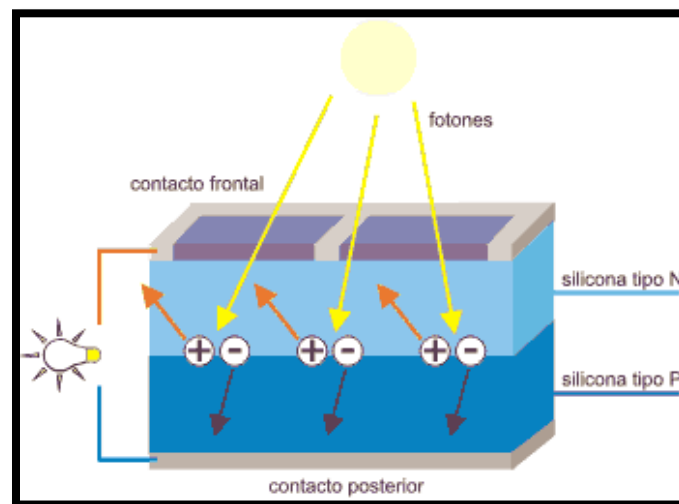


Figura 4. Captación de la radiación proveniente del sol (Envinergy, s.f).

2.2.5 MATERIAL

Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente de silicio, ya que es un material abundante en la corteza terrestre, siendo este la base de la tecnología dominante en generación solar gracias a su gran desarrollo. Cada una de las células fotovoltaicas tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35mm, con una superficie aproximadamente igual a 100 mm², siendo capaces de generar una corriente de 2 a 4 A, a un voltaje de 0,46 a 0,48 V. Generalmente, se montan en serie sobre módulos fotovoltaicos para

⁴ Figura 4. Captación de la radiación proveniente del sol.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

conseguir resultados adecuados, donde parte de la radiación incidente se pierde por reflexión (rebota) y otra parte por transmisión (atraviesa la célula). Actualmente, constituyen más del 85% del mercado y lo podemos encontrar como celda de silicio monocristalino⁵ (rendimiento energético de 15 - 17%), policristalino⁶ (rendimiento energético de 12 - 14 %) o amorfo (rendimiento energético menor del 10 %). (Fernández Ferichola, 2009)

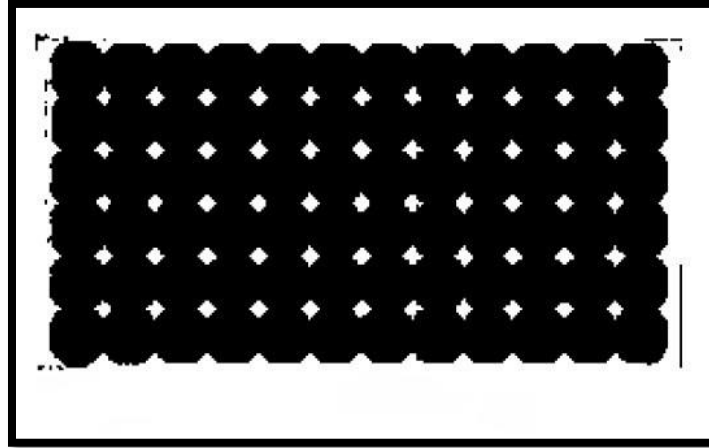


Figura 5. Células de silicio monocristalino(Pichardo S, Salazar Peralta, & Pichardo S, 2016)

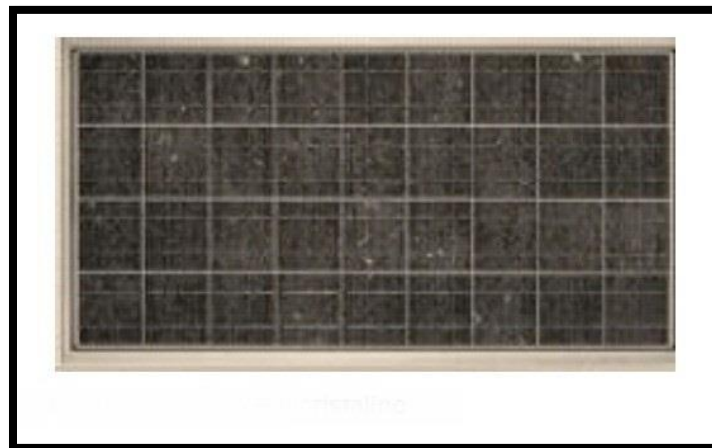


Figura 6. Células de silicio policristalino(Pichardo S, Salazar Peralta, & Pichardo S, 2016)

El silicio monocristalino es el más difícil y caro de producir de todos, aunque últimamente se está perfeccionando mucho la tecnología del silicio policristalino.

⁵ Figura 5. Células de silicio monocristalino.

⁶ Figura 6. Células de silicio policristalino.

2.2.6 PANELES FOTOVOLTAICOS POLICRISTALINOS

Los módulos Fotovoltaicos están constituidos por células cuadradas basadas en secciones de una barra de silicio policristalino de alta eficiencia, que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales presentando una superficie un aspecto granulado. Este sistema es capaz de producir energía con tan sólo un 4-5% de radiación solar. Por consiguiente, un módulo solar policristalino asegura una producción que se extiende desde el amanecer hasta el atardecer, aprovechando toda la potencia útil posible.

Por sus particularidades físicas los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más delicados y versátiles. Son los denominados paneles de lámina delgada⁷. (Fernández Ferichola, 2009)



Figura 7. Panel de silicio policristalino(SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f)

⁷ Figura 7. Panel de silicio – policristalino.

2.2.7 TÉCNICAS DE FABRICACIÓN

Existen dos técnicas diferentes para la elaboración de las células solares policristalinas: la Bridgman y el proceso de fundición en bloque.

En ambos procesos se obtienen los lingotes de silicio policristalino de alta calidad con un peso aproximado de 250-300 kg y unas dimensiones de $70 \times 70 \text{ cm}^2$ y una altura de 30 cm. La principal diferencia entre estos procesos es que la técnica Bridgman la fundición y el proceso de cristalización se usa un solo crisol, mientras que en la otra se utiliza un segundo crisol para la cristalización. (Asensio, 2011)

2.2.8 CLASIFICACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS SEGÚN SU FORMA

Empleando cualquiera de los materiales antes mencionados se producen paneles fotovoltaicos para adaptarse a una aplicación determinada o para lograr un mayor rendimiento de generación. Los paneles fotovoltaicos se clasifican como: (SitioSolar.com, Portal de energías renovables, s.f)

2.2.8.1 Con sistema de concentración

Esta tecnología emplea una serie de superficies reflectantes, como son los espejos, metales, plásticos, que son capaces de dirigir la radiación solar recogida en una superficie a otra muy inferior concentrando la luz solar sobre las células solares⁸.

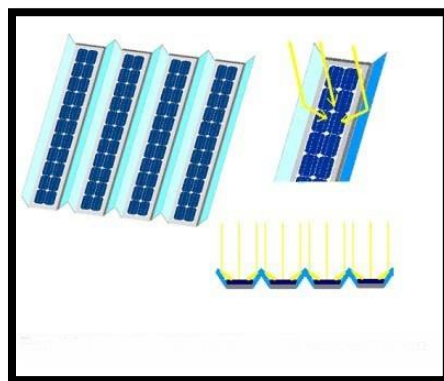


Figura 8. Panel con sistemas de concentración (SitioSolar.com, Portal de energías renovables, s.f)

⁸ Figura 8. Panel con sistemas de concentración.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.2.8.2 formato teja o baldosa

Los paneles fotovoltaicos de formato teja o baldosa son muy pequeñas y por lo general se fusionan gran número de ellas para cubrir superficies de tejados y paredes de las casas, edificios, empresas etc. Siendo idóneos para resguardar grandes demandas de energía⁹.



Figura 9. Paneles de teja o baldosa (SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f).

2.2.8.3 bifaciales

Los módulos fotovoltaicos bifaciales se basan principalmente en su capacidad de transformar en electricidad la radiación solar que se recibe por las dos caras de panel. Normalmente se instalan sobre dos superficies blancas que se encargan de reflejar la luz solar hacia la cara interior del panel¹⁰.

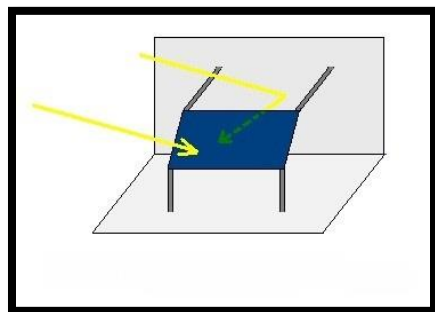


Figura 10. Paneles bifaciales (SitioSolar.com, Portal de energias renovables, s.f).

⁹ Figura 9. Paneles de teja o baldosa.

¹⁰ Figura 10. Paneles bifaciales.

2.2.9 BATERÍAS

La función principal de las baterías en un sistema de energía solar fotovoltaica es acumular la energía que los paneles generan diariamente durante las horas de Sol, con el fin de poderla utilizarla en horas donde la energía consumida es superior a la generada. (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015)

El uso de baterías también permite proveer una intensidad de corriente superior que la que puede ofrecer un panel fotovoltaico en funcionamiento. Este sería el caso si se utilizaran varios aparatos eléctricos en un mismo instante.

Una batería consta de pequeños acumuladores de 2V integrados en el mismo elemento. El acumulador es la celda que almacena energía a través de un proceso electroquímico. De este modo, cuando hablamos de una batería de 12V, estamos hablando de un conjunto en serie de 6 celdas de plomo-ácido de 2V cada una¹¹ (Solar E. , Energía Solar, 2017).



Figura 11. Baterías (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015).

Actualmente existen dos grandes grupos (plomo-ácido, níquel-cadmio)¹²:

¹¹ Figura 11. Baterías.

¹² Figura 12. Grupos de baterías.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

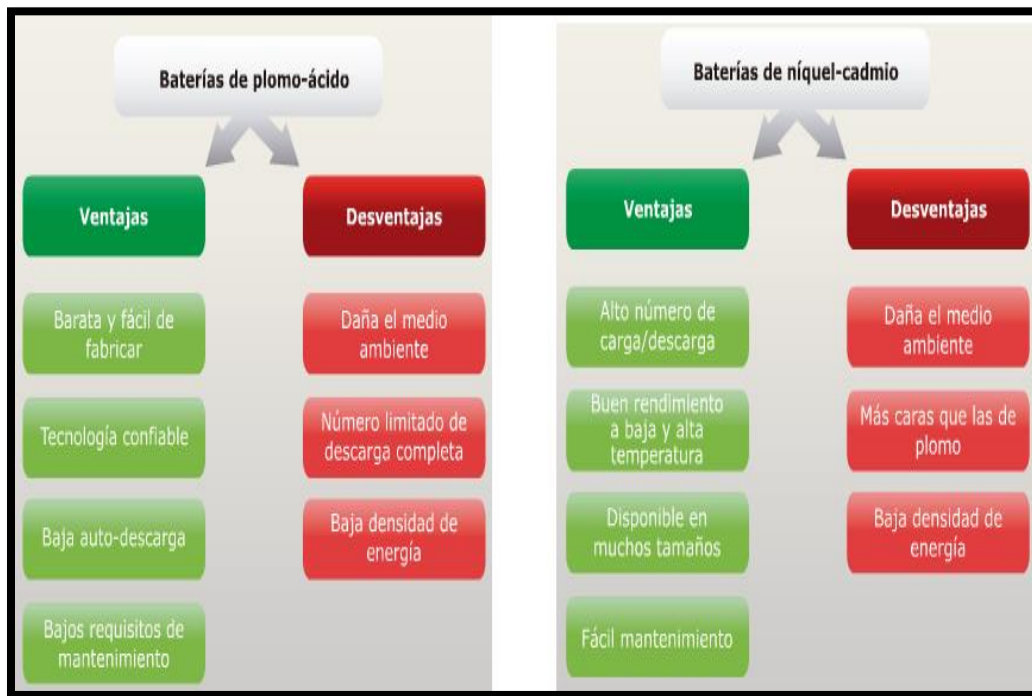


Figura 12. Grupos de baterías (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015).

2.2.9.1 Las condiciones de trabajo de la batería

- **Tensión:** La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 voltios llamada tensión nominal de la celda.
- **Capacidad:** Cantidad de energía que puede suministrar la batería en unas determinadas condiciones de trabajo medida en amperios por hora.
- **Profundidad de descarga:** Cantidad expresada en tanto por ciento que representa el cociente entre la carga extraída y la capacidad nominal de la batería lo que se descarga en proceso de descarga (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015).

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.2.9.2 Consideraciones a tener en cuenta en la instalación

Instalar las baterías en lugares ventilados, ajustar el nivel del electrolito según el fabricante, una vez conectadas las baterías cubrir las bornas con vaselina, no utilizarlas para arrancar vehículos, no recomendable utilizar baterías de distintos tipos, respetar la polaridad y proteger contra cortocircuitos accidentales, deben estar colocadas por encima del suelo (Flores, Ecosistemas del Sureste C.B., 2015).

2.2.10 REGULADOR DE CARGA

Aunque en principio parece que en una instalación de energía fotovoltaica sólo necesitamos los paneles solares y las baterías, hay un componente clave en este tipo de instalaciones (regulador de carga).

El regulador de carga es el equipo que se encarga de que, tanto en el proceso de carga como en el de descarga de los acumuladores, se haga de manera que estos estén siempre dentro de las condiciones correctas de funcionamiento evitando sobrecargas con descargas profundas. También se encarga de controlar el consumo directo de las placas y las baterías para hacer el llenado óptimo, alargando así su vida útil.

El control del flujo de energía se ejecuta mediante el control de los parámetros de Intensidad (I) y Voltaje (V) al que se introduce en la batería.

Este flujo de energía depende del estado de carga de las baterías y de la energía generada por el campo fotovoltaico¹³ (Solar E. , Energía Solar, 2016).

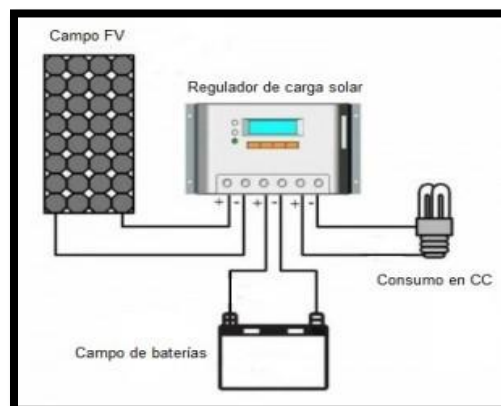


Figura 13. Regulado de carga (Monsolar.com, 2018).

¹³ Figura 13. Regulado de carga.

2.2.11 CONVERTIDORES O INVERSORES

Dentro de una instalación solar fotovoltaica, los inversores son elementos que permiten adaptar las características de un voltaje de entrada de corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc., a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario¹⁴ (Solar E. , Energía Solar, 2018).



Figura 14. Convertidores o inversores (Area tecnologia, S.f).

2.2.12 TERMOCUPLA

Actualmente el sensor de temperatura más común utilizado en la industria es la termocupla. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (por lo general soldados). Cuando la unión de los metales experimenta un aumento de temperatura se genera un voltaje muy pequeño conocido como el “efecto Seebeck”, dicho voltaje es del orden de los milivolts. Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal)¹⁵ (Arian, s.f).

¹⁴ Figura 14. Convertidores o inversores.

¹⁵ Figura 15. Termocupla.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

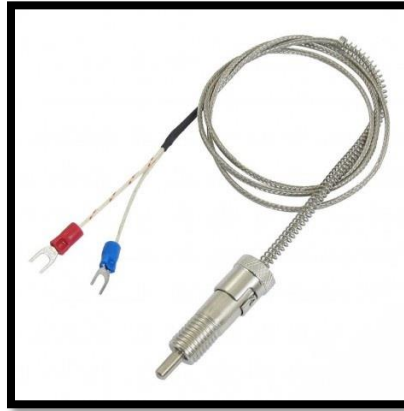


Figura 15. Termocupla (Electric, S.f).

2.2.12.1 Efecto Seebeck

Es la de producción de electricidad a partir del contacto entre dos metales diferentes, dos semiconductores, o un metal y un semiconductor, que se hallen en un mismo circuito, debido a la diferencia de temperatura entre ellos.

El efecto Seebeck es utilizado comúnmente en dispositivos llamados termopar o termocuplas para medir una diferencia de temperatura directamente, o para medir una temperatura absoluta colocando un extremo a una temperatura conocida¹⁶ (Barreto, 2018).

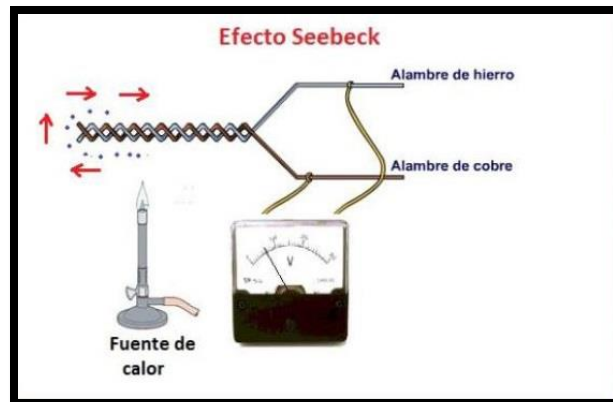


Figura 16. Efecto Seebeck (Barreto, 2018).

¹⁶ Figura 16. Efecto Seebeck.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.2.12.2 Tipos de termocuplas

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J o del tipo K.

2.2.12.3 Usos típicos en la industria

- Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).
- La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo, fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.
- Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero).
- Finalmente, el tipo T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100 (ver la nota técnica 4) (Arian, s.f).

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Tabla 1. Tipos de termocuplas (Arian, s.f).

2.2.12.4 **Compensación de cero**

Todo tipo de termocuplas tienen un principal inconveniente y es su necesidad de "compensación de cero". Esto se debe a que, en algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre. En ese punto se obtendrán dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, produciendo cada una un voltaje ajustado a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme¹⁷ (Arian, s.f).

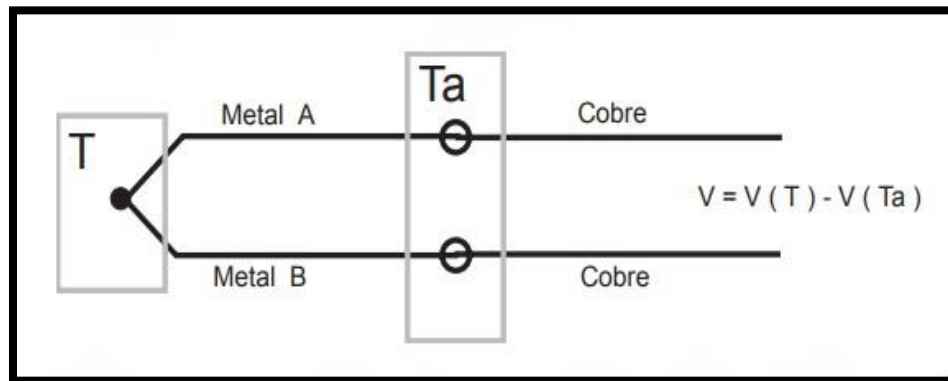


Figura 17. Diagrama de compensación de cero (Arian, s.f).

En el pasado se colocaba los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generaran cero voltajes ($T_a = 0$ y luego $V(T_a) = 0$), y de esa manera solucionaban el problema de compensación.

Hoy en día todos los equipos modernos miden la temperatura en ese punto mediante un sensor de temperatura adicional y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real (Arian, s.f).

¹⁷ Figura 17. Diagrama de compensación de cero.

2.2.12.5 Cables compensados

En ocasiones cuando el instrumento está muy retirado del lugar de medición y no es posible llegar con el mismo cable de la termocupla al instrumento, se utilizan los llamados "cables compensados" para hacer la extensión del cable ya que estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla.

Un error frecuente es que se conecta al revés el cable en la termocupla y en el instrumento, lo genera un error en la lectura de la temperatura de ambiente en el empalme. Es importantísimo que estos dos cables compensados sean para el tipo de termocupla que se está usando y además estén conectados con la polaridad correcta (+) con (+) y (-) con (-)¹⁸ (Arian, s.f).

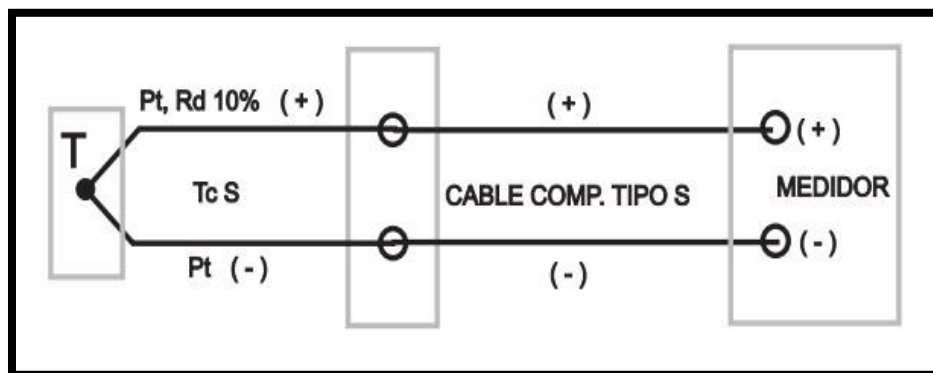


Figura 18. Diagrama de Cables compensados (Arian, s.f).

2.2.12.6 Como medir temperatura con un voltímetro

- Medir con el voltímetro el voltaje que entrega la termocupla por ej. V .
- Medir la temperatura de ambiente T_a (temperatura del contacto de las puntas del voltímetro con los cables de la termocupla). Ver en una tabla de termocuplas que voltaje corresponde a la temperatura. Sea por ej. $V_{ab}(T_a)$.
- Hacer la suma de los 2 volates obtenidos. $V_{ab}(T) = V + V_{ab}(T_a)$ y ver en la tabla a que temperatura corresponde. Esta será la temperatura real a la que está sometida la termocupla (Arian, s.f).

¹⁸ Diagrama de Cables compensados.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.2.13 ORDEN DE CONEXIÓN DE EQUIPOS EN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

1. Conectar la batería al regulador de carga solar, primero el polo (+) de la batería al polo (+) del regulador, posteriormente el polo (-) de la batería al polo (-) del regulador. Debe ver el regulador encenderse.
2. Conectar el panel solar al regulador de carga solar, primero el polo (+) del panel al polo (+) del regulador, posteriormente el polo (-) del panel al polo (-) del regulador. Si el panel recibe la luz del sol, se debe ver el icono del panel en la pantalla.
3. Conectar el convertidor de corriente a la batería, nunca al regulador de carga. Primero el polo (+) y luego (-).
4. Conectar los consumos directos de 12V al regulador de carga (no a la batería) si dispone de salidas para ello¹⁹.



Figura 19. Conexión de componentes (Bijloo, 2016).

¹⁹ Figura 19. Conexión de componentes

2.2.14 CONEXIONES DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

En todo sistema fotovoltaico que se componga de más de un panel solar siempre aparecen interrogantes de cómo se conectan los mismos al resto de la instalación. La capacidad de un panel solar para producir energía se mide en vatios (W) y se calcula multiplicando el voltaje (tensión) de un panel solar (V) por la intensidad o corriente (A) que produce y tendremos que tener en cuenta que, si no atendemos a los requisitos de la instalación, el regulador de carga se puede dañar o bien no hará bien su trabajo por no tener el rango requerido de voltaje o pasarnos de intensidad. Vamos a repasar las diferencias entre todos los sistemas: (Solar A. , 2018)

2.2.14.1 CONEXIÓN DE PANELES SOLARES EN SERIE

Las placas se conectan en serie, conectando cada panel entre sí de forma directa formando una “cadena”, es decir, se conecta el polo positivo de un panel solar con el polo negativo del siguiente y así sucesivamente. Cabe destacar dos aspectos:

- Se suma el voltaje de todos y cada uno de los paneles solares.
- Los amperios de corriente eléctrica permanecen iguales y constantes.

Al conectar las placas solares fotovoltaicas en serie, hay un único cable que sale del techo para cada “cadena” de paneles solares²⁰. (Solar A. , 2018)

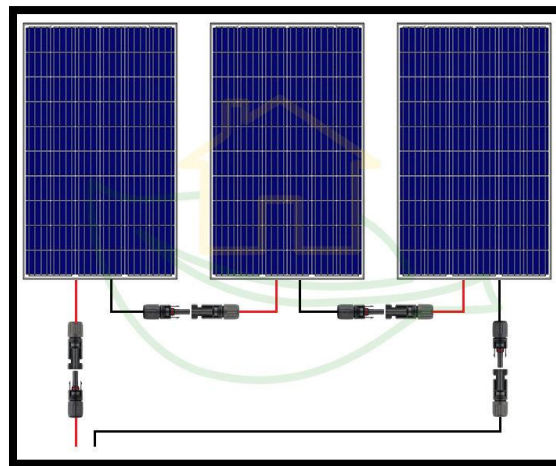


Figura 20. Conexión en serie (Solar A. , 2018).

²⁰ Figura 20. Conexión en serie.

2.2.14.2 CONEXIÓN DE PANELES SOLARES EN PARALELO

Cuando un instalador conecta los paneles en paralelo, conecta todos los polos positivos por un lado y por otro todos los polos negativos. Dicho de otra forma, los cables de cada panel solar están conectados a un cable central que va desde el techo. Cabe destacar dos aspectos, en contraposición a la conexión serie:

- Se suma la intensidad (Amperios) de todos los paneles.
- La tensión o voltaje permanece igual y constante.

Al conectar las placas solares fotovoltaicas en paralelo, hay varios cables que salen desde el sistema de paneles solares²¹ (Solar A. , 2018).

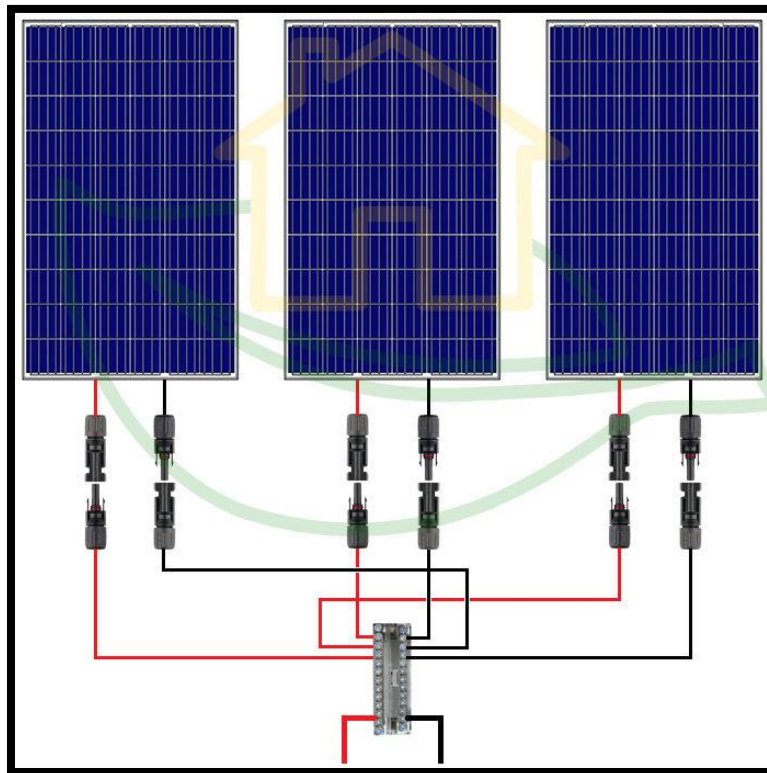


Figura 21. Conexión en paralelo (Solar A. , 2018).

²¹ Figura 21. Conexión en paralelo.

2.3 MARCO LEGAL

El instituto colombiano de normas técnicas, mediante su marco legal que abarca el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante su integración al mercado eléctrico como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, certifican:

Norma NTC 2774, define métodos para evaluar las propiedades de los materiales aislantes térmicos utilizados en los paneles solares, y la implementación de equipos de regulación de energía solar.

Norma NTC 2775, describe las principales definiciones validas de la energía solar fotovoltaica, presentando su terminología de forma descriptiva referente a los paneles solares con sus clasificaciones y designaciones.

Norma NTC 2631, se enfoca en los cálculos de la transmitancia y reflectancia luminosas fotométricas, basándose en los datos obtenidos en el método de ensayo de la norma ASTM E424 para así definir que material usar.

Norma NTC 4405, hace referencia a la evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, reguladores y acumuladores, que con lleva a la ejecución de cálculos con sus respectivos diagramas para determinar su distribución eficiente.

Ley 697/2001 del 3 de octubre, por medio de la cual se estimula la utilización de energías alternativas en el territorio nacional, se fomenta el uso racional y eficiente de dichas energías.

Ley 1715/2014 del 13 de mayo, Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.

3. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este proyecto fue necesario la división en diferentes etapas, iniciando con una previa recopilación y adquisición de conocimientos necesarios para la implementación e instalación de los sistemas solares fotovoltaicos, de la misma manera indagar cuales eran los equipos y requerimientos necesarios para llevar a cabo dicha instalación, todo esto con el fin de lograr identificar pros y contras de este tipo de energía renovable. De igual manera algo fundamental era saber la durabilidad, capacidad y que medidas eran necesarios tomar para lograr con éxito el objetivo, para ello se decide tomar muestras de Voltaje, Corriente y Potencia en tres horarios (8:00 am, 12:00 m y 5:00pm) comparando con la temperatura a la que estaba expuesto el sistema. De la misma forma se determina que es necesario crear un punto de referencia, por tal motivo se maneja una base estándar (sobre cemento) y la base a analizar (sobre teja de barro).

Luego de finalizar nuestra etapa inicial, se procede a identificar ubicación y localización estratégica de los paneles con las respectivas bases a analizar, definiendo el lugar en la terraza de un edificio, ya que cuenta con radiación constante y un espacio amplio y seguro para la instalación de los sistemas. De la mano con esta elección, se inicia el proceso de adquisición e instalación de los diferentes equipos necesarios como son: batería, regulador de tensión, inversor de corriente, termocupla tipo J, Conductor calibre 12 AWG para la conectividad, sensor de temperatura, medidor de potencia, voltaje y corriente y la carga. Por otra parte, los instrumentos de medición como son el medidor de multifunción DC digital y el controlador análogo – digital de temperatura fueron instalados en un lugar de fácil acceso con el fin de lograr la toma de medidas y el oportuno seguimiento de los datos.

En base a la etapa inicial, los paneles son instalados en superficies diferentes (teja de barro y cemento), ambas estructuras hechas con las mismas dimensiones (130 cm largo x 100 cm ancho x 25 cm de alto) esto con el fin de mantener unas condiciones iguales para lograr una mejor obtención de resultados al momento de su comparación y análisis. Cabe destacar que esto permite detallar y analizar de acuerdo a la superficie cual es la de mejor eficiencia energética

Posterior a la etapa de instalación inicia la toma de medidas, la cual se llevó a cabo en un tiempo de 60 días donde se monitorea y se registran dichas medidas de acuerdo a las horas estipuladas en la etapa inicial (8:00 am, 12:00 m y 5:00 pm). Luego de almacenar todos los resultados durante el periodo de tiempo indicado, se realiza un análisis comparativo entre las dos superficies experimentadas, con el fin de identificar cuál de las dos tiene una mayor eficiencia energética y así generar una conclusión ha dicho proyecto de investigación, generando también una conclusión económica.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Para poner en contexto de que sistema se implementó y como se realizó, a continuación, se presentarán las características de los diferentes equipos y materiales utilizados en la instalación de dicho sistema de energía.

2.4 PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO, 100 WATTS

El panel seleccionado para la realización de esta investigación fue un panel solar fotovoltaico con placas solares policristalinas de capacidad 100 Watts. De acuerdo a estudios realizados es recomendada la instalación de placas solares policristalinas en climas cálidos, pues absorbe el calor a una mayor velocidad y le afecta en menos medida el sobrecalentamiento.



Figura 23. Panel Solar Fotovoltaico Policristalino 100W

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.4.1 ESPECIFICACIONES

No. de Modelo	SP100P
Garantía de energía	10 años de 90% potencia de salida, 25 años de 80% potencia de salida
Características Eléctricas en STC	
Potencia Máxima (Pmax)	100 watts
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	18 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	5,556 A
Tensión en Circuito Abierto (Voc)	22,50 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	5,999 A
Eficiencia	18%
Tolerancia de Potencia (+)	5%
Tolerancia de Potencia (-)	-5%
<i>Condiciones de prueba estándar (STC): Masa aire AM 1,5, radiación 1000W/m2, temperatura de célula 25°C,</i>	
Características Térmicas	
Rango de Temperatura	-40~85 °C
Características Mecánicas	
Dimensiones (A/A/F)	1320x520x35 mm
Peso	7,7 kg
Tipo de Células	Policristalino
Tipo de Vidrio	Templado, Alto Transparente, Bajo Hierro
Grosor de Vidrio	3,2 mm
Tipo de Trama	Aleación de Aluminio Anodizado
Caja de Protección de Uniones	IP 67

Tabla 2. Especificaciones del panel solar fotovoltaico policristalino.

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.5 INVERSOR COBRA DE 400 W

Es uno de los dispositivos inversores de potencia más compactos actualmente denominado técnicamente como CPI 490 y trabaja con una potencia de hasta 400 vatios. Tiene como objetivo convertir la energía de la batería en dos tomacorrientes de 120 VCA, lo que le permite conectar diferentes equipos que consuman hasta 400 vatios. En su caracterización encontramos que posee un puerto de 2.4 amperios USB, ideal para usar y cargar la mayoría de los sistemas de juegos pequeños, tabletas, teléfonos móviles y muchos más dispositivos que administren energía a través de un puerto como el USB.

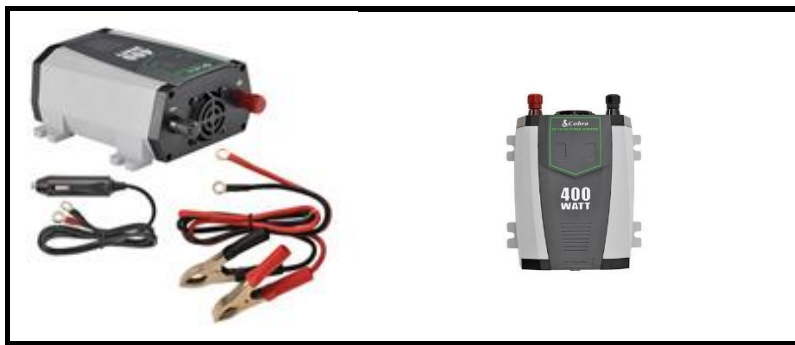


Figura 24. inversor cobra 400w (Cobra.com, S.f)

CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES:
Potencia continua de 400 vatios: 800 vatios de potencia máxima.
2 tomacorrientes de CA con conexión a tierra
Puerto USB 2.1A
Pentagon Protección™ 5 niveles de protección contra fallas: apagado térmico protección de polaridad inversa apagado por sobretensión
- Peso 1.05 lb (476.27 g)
- Longitud 6.50 in. (160 mm)
- Anchura 5,25 pulg. (130 mm)
- Altura 2,5 pulgadas (60 mm)

Tabla 3. Especificaciones del inversor cobra (Cobra.com, S.f).

2.6 BATERÍA SECA 12V – 12 A/H

El término batería es específico para denominar un conjunto de celdas electroquímicas unidas en serie estas suelen emplearse en dispositivos con un alto consumo eléctrico dónde las pilas se quedan cortas.



Figura 25. Batería 12 v -12 A/H (Globaloide, S.f).

1) Se debe identificar la cantidad de horas que el consumo será aplicado al banco de baterías en watts por hora.

9 watts por hora de consumo de un bombillo x 10 horas = 90 watts.

2) luego identificar la cantidad de días de autonomía que pretende para su sistema. (sí es por horas se hace su equivalente en días) 14 horas (0.58 día) de autonomía (horas sin sol) $0.58 \times 90 = 52.2$ watts. Aclaración: Aquí consideramos que el sol aporta cero cargas cosa que no es cierta. Por más nublado que se encuentre siempre algo de carga se aporta.

3) Identifique la profundidad de la descarga de batería. Digamos un 75%. Esto significa que luego de extraerle los 52.2 watts del cálculo anterior la capacidad restante debería ser del 25%. Entonces la capacidad debería ser un 25% mayor. Convertido a decimal 0,25. Necesitamos entonces:

$1,25 \times 52.2 \text{ watts} = 65.25 \text{ watts}$.

4) Considere la temperatura media de la batería. La misma no entrega igual energía si se encuentra a 40° que a -10°

40°C la batería posee 102% de capacidad

25°C la batería posee 100% de capacidad

0°C la batería posee 85% de capacidad

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

-15°C la batería posee 65% de capacidad

A 25°

$$65.25 \times 1 = 65.25 \text{ watts}$$

Finalmente divida el valor obtenido en el paso 4 por la tensión de su batería

$$65.25 \text{ watt} / 12 \text{ volts} = 5.44 \text{ A/h}$$

Se buscará el modelo comercial de batería

En este caso se elige una 12 v - 12a/h.

2.7 REGULADOR SOLAR DE VOLTAJE 30 A

Un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone en su interior de un Diodo, por tanto los paneles solares funcionan a la misma tensión que las baterías solares. La energía a un lado y al otro del regulador es la misma, con los valores de tensión y corriente iguales también. Esto hace que los módulos no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia, que puede llegar hasta el 25-30%.

El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable.

Los usos más habituales de los reguladores PWM son:

- En instalaciones de baja demanda energética donde la placa solar es de 12V y el banco de baterías es de 12V.
- Es muy útil en instalaciones donde la placa solar es de 24V y el sistema de acumulación de 24V, de este modo reducimos el coste del regulador, ya que el coste del regulador PWM respecto al regulador MPPT es más económico.
- Es muy popular en instalaciones de bajo presupuesto.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar



Figura 26. Regulador Solar de Voltaje 30 A (Greenenergy.solar, 2015).

2.7.1 CÓMO SABER QUÉ REGULADOR PWM NECESITO EN MI INSTALACIÓN

Tendremos que tener en cuenta sobre todo la intensidad de los paneles de nuestra instalación y sus respectivas tensiones 12V o 24V. La corriente de carga será la suma de las intensidades de cada panel que se coloque en paralelo.

Ejemplo:

Para una instalación a 12V.

- Baterías y paneles de 12v.
- Si colocamos 1 panel por ejemplo de 4.8A, el regulador PWM deberá ser superior a 4.8A.
- Si colocamos 2 paneles con 4.8A, el regulador PWM deberá ser superior a $2 \times 4.8A$.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.8 CABLE DE ALAMBRE COBRE 12 AWG



Figura 27. Alambre cobre THW 12 AWG.

Fuente: Ficha técnica alambre cobre THW 12 AWG

<u>Conductor:</u>
Calibre: 12 AWG.
Clase de cableado: B.
Diámetro de conductor desnudo: 2,32 mm.
Área: 3,31 mm ² .
N° de cables: 7.
Diámetro de los alambres: 0,775 mm.
Pesos unitarios: 30 kg/km.
Resistencia D.C. max. 20°C: 5,32 ohmio/km.
<u>Aislamiento:</u>
Espesor promedio mínimo: 0,76 mm.
Espesor mínimo en punto: 0,69 mm.

Tabla 4. Características del Alambre de cobre THW 12.

Fuente: Ficha técnica alambre cobre THW 12 AWG

2.9 PIRÓMETRO CONTROLADOR DE TEMPERATURA XMTG-2301

Para el control y seguimiento de la temperatura se selecciona el pirómetro XMGT-2301 ya que debido a sus características posee un rango amplio de medición y el cable de compensación (para su conexión) es tipo J. Es un equipo de dimensiones pequeñas, de fácil instalación y sencillo para tomar su lectura.

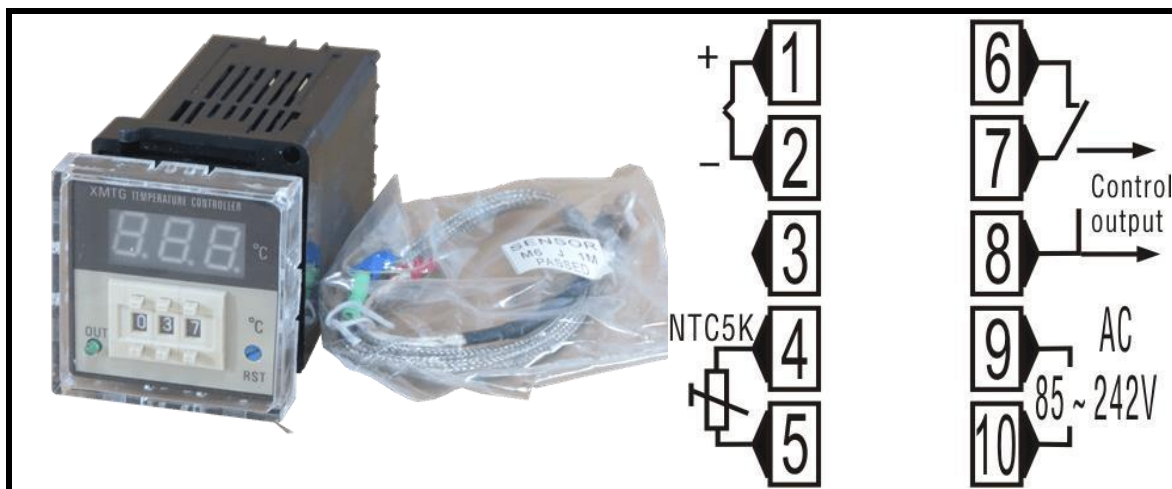


Figura 28. Pirómetro XMGT-2301 y Conexión (Hermes, 2017).

Pirómetro controlador de temperatura con termocupla tipo J.
Rango de control de 0 a 400 grados Celsius.
También voltaje para AC de 85 a 242 voltios AC.
Además, especial para incubadoras, inyectoras, secadoras, etc.
Por último, salida relé. Y caratula 48*48.

Tabla 5. Características del pirómetro XMGT-2301 (Hermes, 2017).

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.10 MEDIDOR DE MULTIFUNCIÓN DE DC DIGITAL



Figura 29. Medidor de multifunción DC PZEM-031 (S.A.S, 2016).

Tensión de trabajo: 6.5 ~ 100vdc
Voltaje de la prueba: 6.5 ~ 100vdc
Potencia nominal: 20a / 2000w
Exactitud de la medida: grado 1.0
Este módulo es ideal para interiores, no utilice al aire libre.
La carga aplicada no debe exceder la tensión nominal, corriente.
La orden de cableado no puede estar equivocada.
Potencia: rango de prueba: 0 ~ 2kw
Energía: rango de prueba: 0 ~ 9999kwh
Corriente: rango de prueba: 0 ~ 20a

Tabla 6. Características del medidor de multifunción DC PZEM-031 (S.A.S, 2016).

2.11 TERMOCUPLA TIPO J

Una termocupla es simplemente dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura. Las termocuplas J y K son económicas, físicamente muy rígidas y cubren un amplio rango de temperaturas (-180 a 1370 °C).

Las termocuplas J y K junto con los Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar que existen. Una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de Constantán (aleación de cobre y níquel)

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Se selecciona el tipo J ya que realiza mediciones de 0 a 700 °C y es utilizada en procesos en general donde el sensor está sometido a vibración.



Figura 30. Termocupla tipo J.
Fuente: Autores

2.12 CABLE DE COMPENSACIÓN TERMOCUPLA TIPO J

El cable para termopar es una refacción indispensable en todo almacén. Con el cable para termopar realizamos en forma segura extensión de señales de sensores de temperatura desde el punto de medición hasta nuestros paneles de control. Un termopar requiere utilizar cable compensado para evitar la pérdida de señal entre dos puntos, asegurando así mediciones confiables y una producción segura. Dependiendo del tipo de termopar utilizado para la medición de la temperatura requeriremos cable para termopar de esa misma calibración o tipo, es decir, si utilizamos un termopar tipo J para medición de temperatura en una resistencia colada necesitaremos cable de extensión para termopar tipo J y asimismo para los demás tipos.

En este caso se seleccionó cable de compensación tipo J (A4Ln) ya que la termocupla es tipo J.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar



Figura 31. Cable de Compensación (cables, 2018)

2.13 BOMBILLO LED 9 W

Fue seleccionado un bombillo led de 9w, ya que donde suelen fallar las bombillas incandescentes es en el filamento, que es muy frágil y suele romperse, debido a que tiene que soportar temperaturas más elevadas (y a la obsolescencia programada de los componentes que se utilizan para hacerlos). Los LED no tienen filamentos que puedan quemarse, y como consecuencia desprenden muchísimo menos calor cuando están funcionando. Se pierde menos energía en calor con los LED.



Figura 32. Bombillo Led 9 W.
Fuente: Autores

2.14 CONECTORES MC4

Los conectores MC4 son conectores eléctricos de uso común para la conexión de los paneles solares. MC son las siglas del fabricante Multi-Contact y el "4" se refiere al pasador de clavija de contacto de 4 mm (diámetro). Los MC4 permiten conectar cadenas de paneles que se pueden construir fácilmente empujando los conectores de los paneles adyacentes, únicamente utilizando la mano, pero requieren una herramienta para desconectarlos; para asegurarse de que no se desconecten accidentalmente cuando se

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

tira de los cables. Los MC4 son universales en el mercado solar y son implementados en todos los paneles solares producidos desde el 2011. (Castillo, 2017)

El sistema MC4 consiste en un diseño de conector macho y hembra. Los conectores macho y hembra se colocan dentro de carcasas de plástico. Para un sellado adecuado, los MC4 requieren el uso de un cable con el diámetro correcto. Normalmente doble aislamiento y protección UV (la mayoría de los cables se deterioran si se usa al aire libre sin protección de la luz solar). (Castillo, 2017)

Es muy importante no conectar o desconectar bajo carga, incluso en sistemas de baja tensión (12-48 V). Debido a que se puede producir un arco eléctrico y dañar seriamente los materiales en contacto, lo que resulta en una alta resistencia y sobrecalentamiento. Esto es en parte debido a la corriente directa (DC), mientras que si se usan en corriente alterna (AC) los arcos eléctricos se autoextinguen en el punto en que la tensión sea cero. (Castillo, 2017)



Figura 33. Conectores Eléctricos MC4. (Castillo, 2017)

2.15 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ENERGÍA

2.15.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

Uno de los temas de mayor importancia al momento de realizar cualquier trabajo o maniobra es la seguridad, por tal motivo es vital la concientización y capacitación sobre dicho tema, aclarar, educar y apropiarse sobre cuál es el objetivo y porqué surge la necesidad del uso de los diferentes equipos que proporcionan más confiabilidad a la hora de realizar trabajos. Los EPP (Equipos de Protección Personal) son una obligación y su

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

desuso puede ser sancionado legalmente. El equipo utilizado para la realización de este trabajo fue:

1. Casco de seguridad con barboquejo
2. Lentes de Seguridad
3. Camisa manga larga tipo Jean
4. Guantes de Seguridad
5. Botas de Seguridad (preferiblemente Dieléctricas)

De la misma manera también es importante resaltar los diferentes elementos que se utilizaron para señalar y delimitar la zona de trabajo, como es la cinta de seguridad (No pase Peligro) y los conos.



Figura 34. Equipos de Protección Personal (Emaze, S.f)



Figura 35. Señalización Zona de trabajo (acceso a terraza).

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.15.2 ROCESO DE INSTALACIÓN Y SEGUIMIENTO

Para dar inicio a la instalación del sistema, luego del reconocimiento y validación del lugar a trabajar, se identifica y selecciona la ubicación del panel solar con su respectiva base y el espacio donde será colocado el punto de control, esto con el fin de establecer un óptimo funcionamiento de los equipos de medición. Este punto de control debe contar con espacio adecuado para la movilidad de las personas y fácil acceso, ya que mientras el proceso de instalación, es necesario estar en constante movimiento y la manipulación de los equipos en este espacio debe ser segura. Por otra parte, se debe verificar que dicho lugar no posea humedad o puntos de filtraciones de agua, ya que se encontrara cableado de los equipos, los cuales se debe evitar el contacto con el agua ya que genera daños en la parte eléctrica.



Figura 36. Inspección y montaje de la base es la ubicación seleccionada.

Fuente: Autores

Lo fundamental en el punto de control es que las pantallas de los instrumentos queden a plena vista y sean de fácil acceso, ya que esto es lo que nos permitirá la toma de datos y el continuo seguimiento de los valores arrojados por los paneles. Posterior a esto, se inicia el proceso de instalación de tubería tipo PVC por donde se sondarán los cables conductores que están directos al panel junto con el cable de compensación de la termocupla que va a el instrumento de medición de temperatura.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar



Figura 37. Instalación de punto de control.
Fuente: Autores

Para la conexión del panel se identifica el terminal positivo y el negativo con el fin de conectar el cable conductor respectivamente en cada uno (negro negativo, rojo positivo), este mismo será conectado en el medidor por sus terminales de entrada y los de salida van al regulador, el cual está compuesto por 6 puertos de conexión, dos de la salida del medidor, dos para la batería y dos para una carga DC.



Figura 38. Instalación y pruebas de los instrumentos de medida.
Fuente: Autores

Para la conexión del panel se identifica el terminal positivo y el negativo con el fin de conectar el cable conductor respectivamente en cada uno (negro negativo, rojo positivo), este mismo será conectado en el medidor por sus terminales de entrada y los de salida van al regulador, el cual está compuesto por 6 puertos de conexión, dos de la salida del medidor, dos para la batería y dos para una carga DC.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar



Figura 39. Panel y equipos instalados.

Fuente: Autores

La batería luego de conectada al regulador, al encenderse el regulador, esta inicia el proceso de carga. Posteriormente con ayuda de unas pinzas de carga, el inversor es conectado a 12 V DC (proporcionada por la batería) y este hace la conversión y brinda dos conexiones de 127 V AC c/u, donde colocaremos la carga (bombillo de 9W) y el pirómetro que es el instrumento de medida de temperatura.

2.15.3 CIRCUITO DE CONEXIÓN

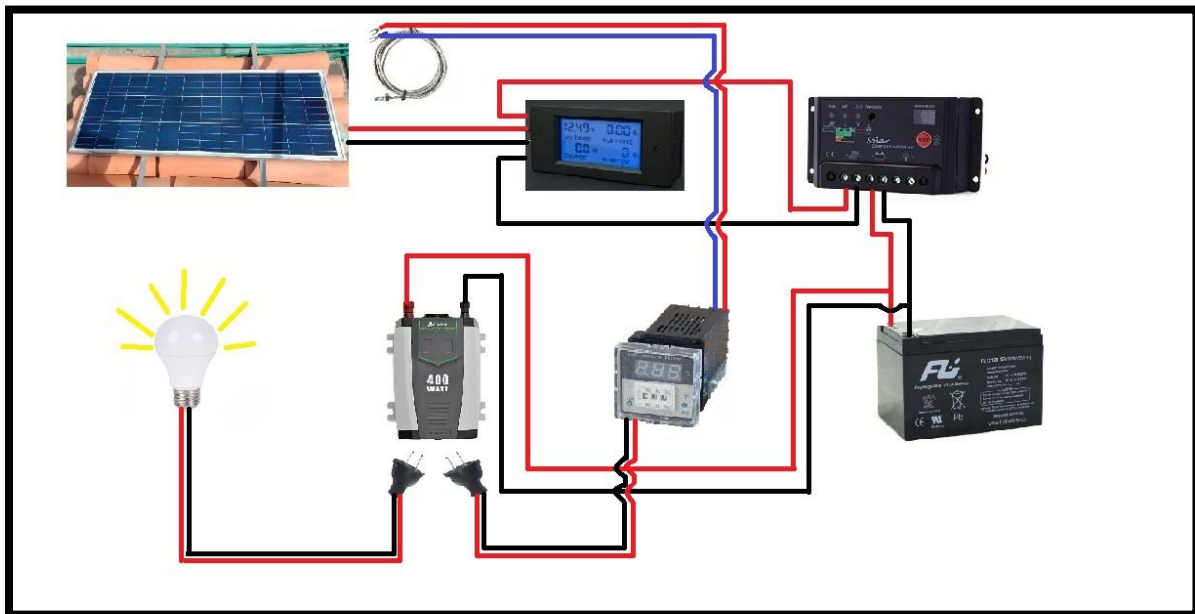


Figura 40. Esquema representativo-Conectividad del sistema fotovoltaico

Fuente: Autores

2.16 ERROR DE TEMPERATURA

Es importante resaltar que la temperatura que nos muestra el pirómetro no es la real debido a que la termocupla tipo J posee un margen de error de ± 2 grados C° . De la mano con esto al realizar empalme de cable compensatorio, esto con el fin de lograr llevar la señal al instrumento de medida debido a la distancia que existe, nos reduce el rango de funcionamiento del cable de 750° a 250° . Debido a esto se deben realizar una serie de cálculos para demostrar el efecto que esto tiene.

1- Medir con el voltímetro el voltaje que entrega la termocupla por el V.

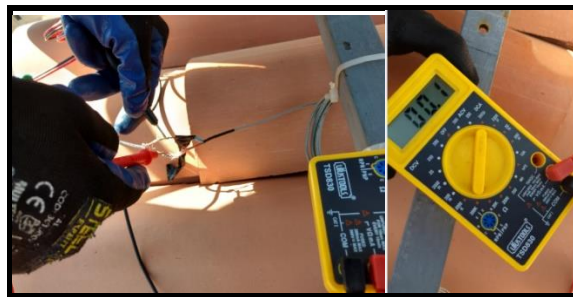


Figura 41. Prueba de voltaje en unión de termocupla con cable de compensación
Fuente: Autores

2- Medir la temperatura de ambiente T_a (temperatura del contacto de las puntas del voltímetro con los cables de la termocupla). Ver en una tabla de termocuplas que voltaje corresponde a la temperatura²³.



Figura 42. Medición de temperatura mediante medidor laser.
Fuente: Autores

Sea por el $V_{ab}(T_a)$.

²³ Ver anexo E para tabla de termocupla.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

3- Hacer la suma de los 2 volates obtenidos $V_{ab}(T) = V + V_{ab}(T_a)$ y ver en la tabla a que temperatura corresponde.

Esta será la temperatura real a la que está sometida la termocupla.

En este Caso:

Se mide en una termocupla J un voltaje de 0.1 mV.

Si la temperatura de ambiente en los contactos es 27°C, entonces en la tabla esto corresponde a 1.381 mV. (8 a.m.)

Si la temperatura de ambiente en los contactos es 42°C, entonces en la tabla esto corresponde a 2.163 mV. (12:00 m)

Si la temperatura de ambiente en los contactos es 40°C, entonces en la tabla esto corresponde a 2.058 mV. (5:00 p.m.)

Luego,

$V_{ab}(T) = 0.1 + 1.381 = 1.481$ mV, esto según la tabla corresponde a 29°C (8:00 a.m.)

$V_{ab}(T) = 0.1 + 2.163 = 2.263$ mV, esto según la tabla corresponde a 44°C (12:00 m)

$V_{ab}(T) = 0.1 + 2.058 = 2.158$ mV, esto según la tabla corresponde a 42°C (12:00 m)

Por último, para verificar el porcentaje de error, se calcula mediante la siguiente formula

$$\%Error = \frac{Valor\ real - Valor\ medido}{Valor\ real} * 100$$

$$\%Error = \frac{29 - 31}{29} * 100$$

$$\%Error = 6.89\%$$

$$\%Error = \frac{Valor\ real - Valor\ medido}{Valor\ real} * 100$$

$$\%Error = \frac{44 - 42}{44} * 100$$

$$\%Error = 4.54\%$$

$$\%Error = \frac{Valor\ real - Valor\ medido}{Valor\ real} * 100$$

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

$$\%Error = \frac{42 - 40}{42} * 100$$

$$\%Error = 4.76\%$$

2.17 DATOS DE ANÁLISIS OBTENIDOS POR EL PANEL

Para lograr determinar qué tan eficiente era el panel policristalino en base de teja de barro con respecto al estándar, se recolectaron durante 60 días en tres horarios diferentes (8:00 a.m. – 12:00 m- 5:00 p.m.) una cantidad de datos donde se evalúa voltaje, corriente, potencia y temperatura a la que estaba expuesto el panel.

TABLA DE DATOS PANEL FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO BASE TEJA DE BARRO																
		8:00 a. m.					12:00 m					5:00 p. m.				
FECHA	DIA	VOLTAJE (V) (Teja de Barro)	PORTENCIA (W) (Teja de Barro)	MEDIDOR (Teja de Barro)	TEMPERATURA (°C) REAL	VOLTAJE (V) (Teja de Barro)	PORTENCIA (W) (Teja de Barro)	MEDIDOR (Teja de Barro)	TEMPERATURA (°C) REAL	VOLTAJE (V) (Teja de Barro)	PORTENCIA (W) (Teja de Barro)	MEDIDOR (Teja de Barro)	TEMPERATURA (°C) REAL			
25/09/2018	1	12,89	2,55	32,8	34	31,8	20,61	0,46	9,4	46	44,0	13,2	0,71	9,3	49	46,8
26/09/2018	2	11,04	1,1	12,1	35	32,7	14,21	3,79	53,8	43	41,1	12,84	0,06	0,7	47	44,9
27/09/2018	3	13,21	1,72	22,7	36	33,7	21,19	4,53	95,9	46	44,0	12,82	0,22	2,8	47	44,9
28/09/2018	4	12,91	1,76	22,7	35	32,7	15,91	2,91	46,2	47	45,0	13,08	0,44	5,7	46	43,9
29/09/2018	5	12,42	1,02	12,6	31	29,0	15,53	2,66	41,3	40	38,3	13,07	0,72	9,4	47	44,9
30/09/2018	6	12,49	1,63	20,6	34	32,0	17,5	2,87	49,3	44	42,5	13	0,43	5,6	47	45,1
01/10/2018	7	13,36	2,11	28,1	33	30,9	17,65	4,09	72,1	48	45,9	13,03	0,52	6,7	48	45,8
02/10/2018	8	13,04	2,64	34,4	36	33,7	15,83	3,53	55,8	40	38,3	12,94	0,27	3,4	46	43,9
03/10/2018	9	12,77	0,9	11,4	35	32,7	14,2	1,35	19,8	44	42,1	12,99	0,31	4	45	43,0
04/10/2018	10	13,31	0,2	2,6	34	31,8	18,42	4,16	76,5	38	36,3	12,95	0,34	4,4	46	43,9
05/10/2018	11	12,44	1,26	15,6	39	36,5	15,91	2,91	46,2	47	45,0	12,86	0,21	2,7	46	43,9
06/10/2018	12	12,15	0,98	11,9	29	27,1	12,15	0,98	11,9	29	27,7	12,5	0,09	1,12	37	35,3
07/10/2018	13	12,85	1,35	17,3	34	32,1	15,69	2,84	47,05	41	39,2	12,88	0,29	3,72	45	42,6

Tabla 7. Datos de dos semanas del panel policristalino en base de teja de barro²⁴.

Fuente: Autores

²⁴ Ver anexo A para tabla completa.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

TABLA DE DATOS PANEL FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO ESTANDAR																
		8:00 a. m.					12:00 m					5:00 p. m.				
FECHA	DIA	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (I)	PORTENCIA (W)	TEMPERATURA (°C) MEDIDOR	TEMPERATURA (°C) REAL	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (I)	PORTENCIA (W)	TEMPERATURA (°C) MEDIDOR	TEMPERATURA (°C) REAL	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (I)	PORTENCIA (W)	TEMPERATURA (°C) MEDIDOR	TEMPERATURA (°C) REAL
		(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)	(Estandar)
25/09/2018	1	12,01	3,01	36,2	37	34,6	13,58	1,72	23,4	42	40,2	12,92	0,79	10,2	37	35,32
26/09/2018	2	11,28	1,18	13,3	31	29,0	12,98	3,78	49,1	39	37,3	12,73	0,06	0,8	42	40,09
27/09/2018	3	12,39	2,31	28,6	29	27,1	13,09	2,27	29,7	43	41,1	12,7	0,14	1,8	42	40,09
28/09/2018	4	13,59	1,58	21,5	31	29,0	17,26	3,80	65,6	45	43,0	16,11	0,32	5,2	44	42,00
29/09/2018	5	10,86	0,98	10,6	25	23,4	17,88	2,49	44,5	40	38,3	12,89	0,77	9,9	47	44,86
30/09/2018	6	12,03	1,81	21,8	31	29,0	14,96	2,81	42,1	42	40,0	13,47	0,42	5,6	42	40,47
01/10/2018	7	12,87	2,74	35,3	37	34,6	18,39	1,40	25,7	48	45,9	12,82	0,67	8,6	42	40,09
02/10/2018	8	12,15	2,55	31,0	31	29,0	14,11	3,45	48,7	40	38,3	12,83	0,31	4,0	38	36,27
03/10/2018	9	12,36	3,73	46,1	31	29,0	13,64	2,36	32,2	47	45,0	12,83	0,47	6,0	43	41,05
04/10/2018	10	9,55	0,15	1,4	32	29,9	13,56	0,96	13,0	35	33,5	12,94	0,65	8,4	40	38,18
05/10/2018	11	11,96	1,35	16,1	34	31,8	17,26	3,80	65,6	45	43,0	12,8	0,23	2,9	47	44,86
06/10/2018	12	11,95	1,07	12,8	25	23,4	12,62	1,73	21,8	35	33,5	12,47	0,16	2,0	36	34,36
07/10/2018	13	11,81	1,93	22,8	32	29,6	14,93	2,28	34,1	42	39,9	12,78	0,42	5,3	41	39,14

Tabla 8. Datos de dos semanas del panel policristalino en base estándar²⁵.

Fuente: Autores

2.17.1 RADIACIÓN EN BUCARAMANGA

Es importante resaltar que la ciudad de Bucaramanga cuenta con un índice de radiación de 4.5 y 6 kWh/m² diariamente, es decir que las empresas generadoras de energía podrían abastecer y disminuir la generación de energía convencional mediante la utilización de este tipo de energía, esto con el fin de mejorar el impacto ambiental y aprovechar un potencial que no necesita sino ser captado.

Cabe destacar que en los últimos tiempos la lucha por mejorar el lugar donde vivimos es constante y enfocarnos en este tipo de energía sería un ataque letal a este problema, ya que son muchos los factores que se mejorarían y no se vería afectada la vida cotidiana.

²⁵ Ver anexo B para tabla completa.

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

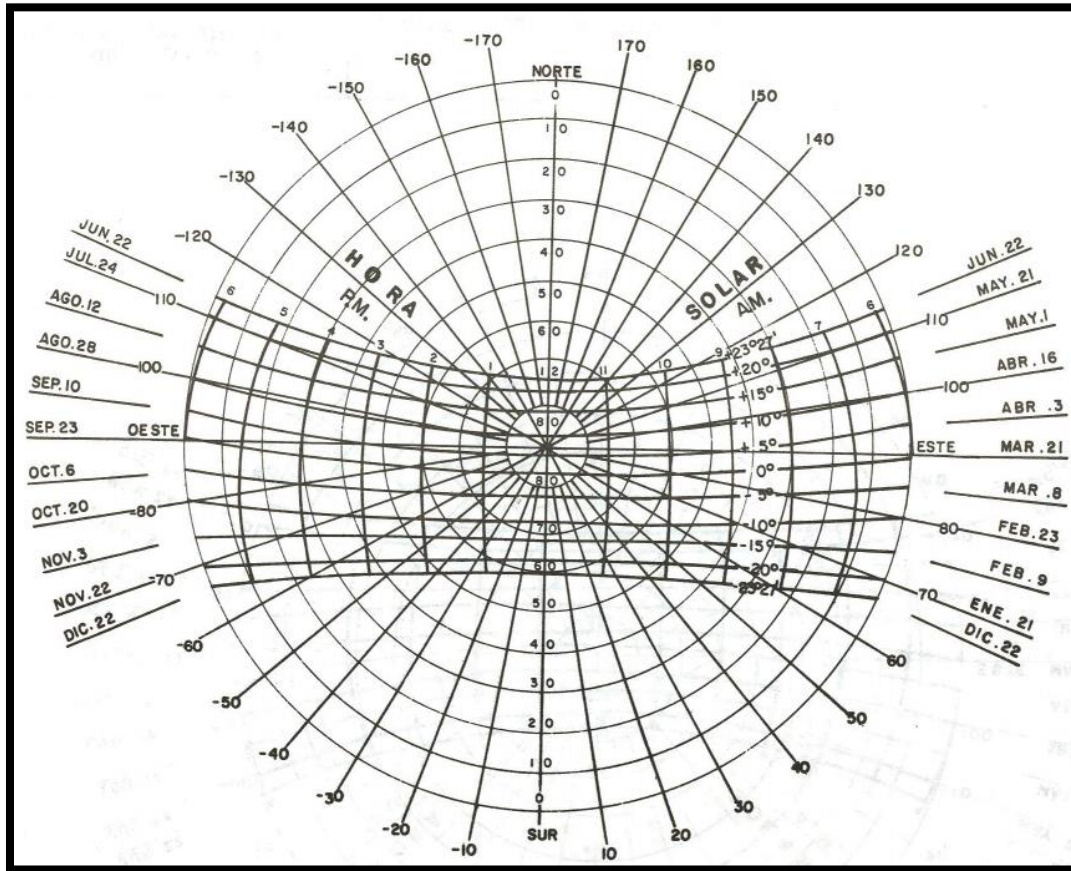


Figura 43. Geometría de la radiación solar, Diagrama de trayectoria del sol altitud y acimut (Instituto Colombiano de hidrología, 1989).

Otro aspecto a resaltar y a tener en cuenta es el ángulo de inclinación del panel o celda solar a la hora de su implementación, es importante, ya que, de acuerdo a los datos y estudios previos, este valor va ligado a la latitud de la zona donde se vaya a desarrollar y a su vez deberá poseer una orientación hacia la línea del ecuador por donde se da la trayectoria del sol (oriente a occidente). Para este caso en particular debido a la posición geográfica de la ciudad de Bucaramanga se toma la decisión de despreciar el ángulo de inclinación debido a que era muy pequeño ($\beta=7^\circ$) realizando su instalación de manera horizontal, es decir, 180° .

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

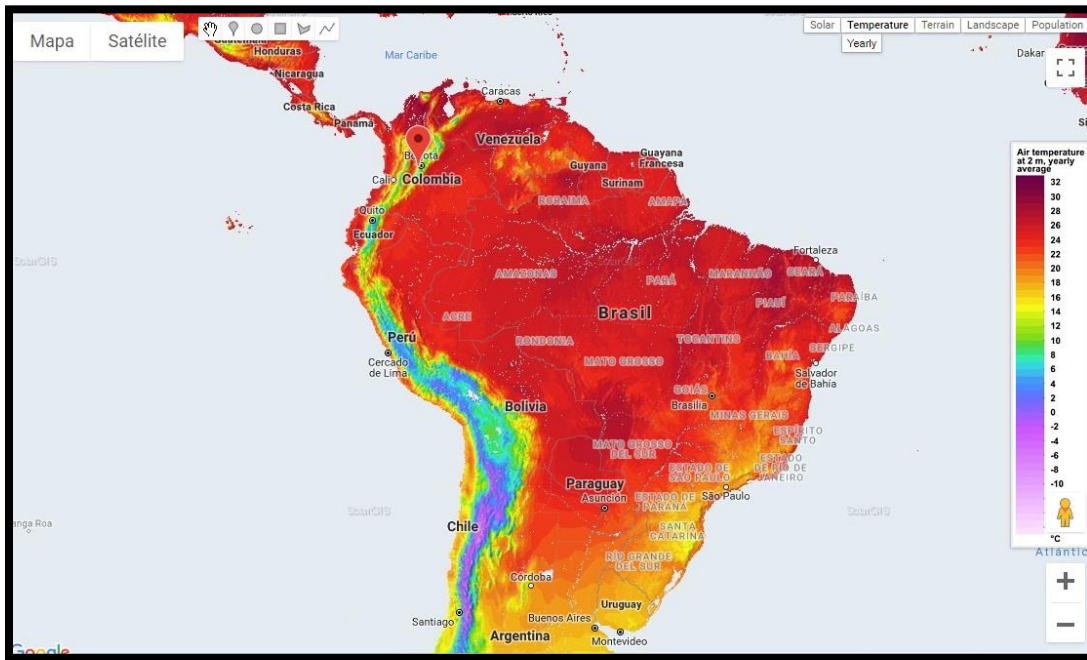


Figura 44. Radiación solar horizontal en Colombia Actual, año 2018 (gis, 2018).

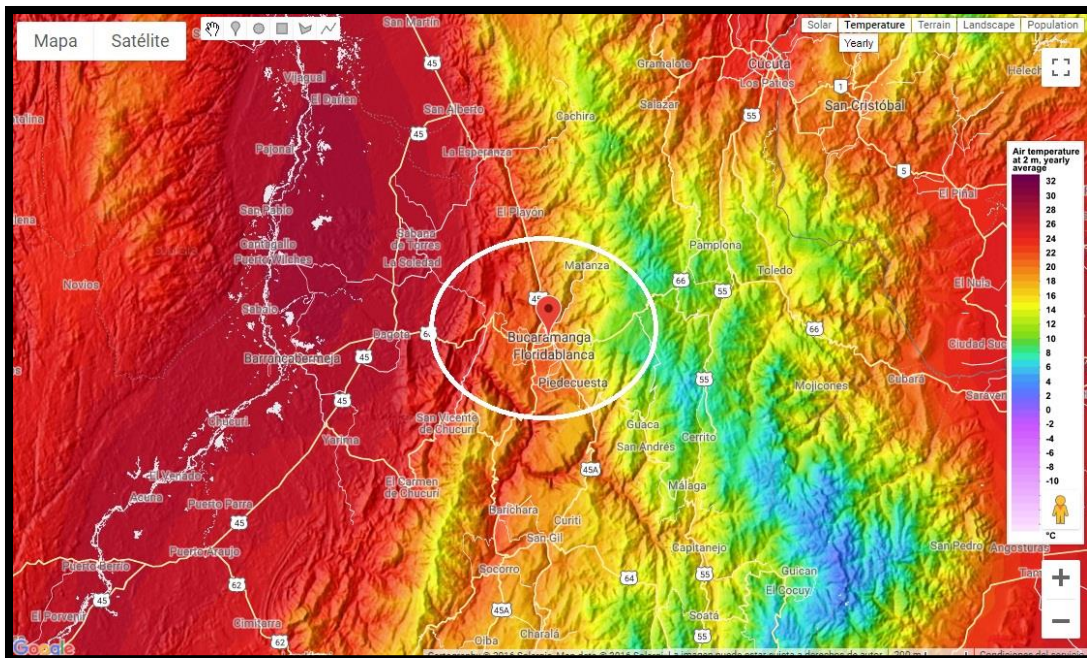


Figura 45. Radiación solar horizontal en Bucaramanga y sus alrededores, año 2018 (gis, Search map, 2018).

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

2.18 MANTENIMIENTO DE LOS PANELES

Un aspecto a tener en cuenta es el mantenimiento de los paneles solares, más allá de su parte eléctrica es su parte física, es decir, la expuesta a la intemperie. Esto debido a que la toma o captación de rayos solares puede verse afectada a varios factores como pueden ser, la presencia de sombras por objetos sobre el vidrio de las celdas o ya sea debido a que se encuentran expuestas a mugre, polvo u otro tipo de sustancia que puede quedar sobre la lámina. Para evitar eso y mantener un adecuado funcionamiento de los paneles se recomienda con un paño húmedo una limpieza del mismo, de igual forma esporádicamente tener una revisión de cableado y posicionamiento del panel, esto con el fin de verificar que se encuentre todo en orden.



Figura 46. Mantenimiento del Panel Solar Policristalino.
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

3 RESULTADOS

3.1 GRAFICAS COMPARATIVAS VOLTAJE VS TEMPERATURA

3.1.1 VOLTAJE VS TEMPERATURA 8:00 AM.

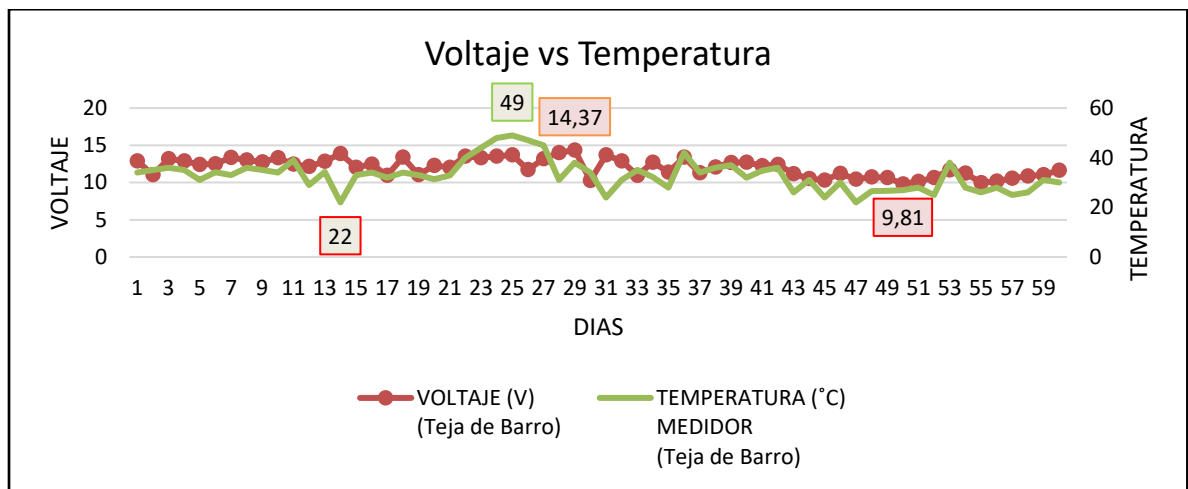


Figura 47. Grafica V vs T (Base teja de Barro).

Fuente: Autores

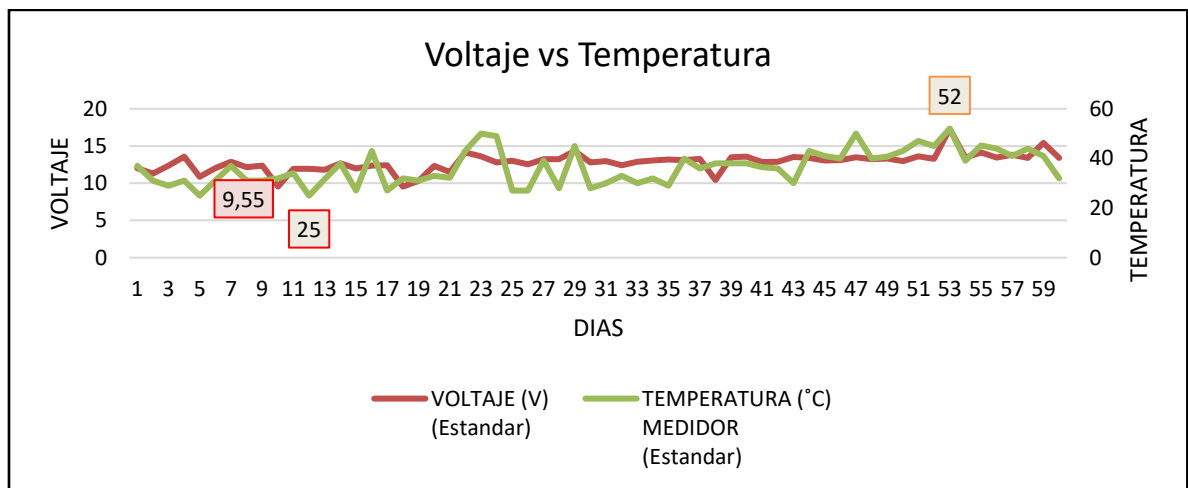


Figura 48. Grafica V vs T (Base Estándar)

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

De acuerdo con las gráficas anteriores se puede observar que la base estándar mantiene una temperatura mayor que la de la base de teja de barro a pesar de que la intensidad solar apenas este iniciando, por otra parte, se observa que los voltejes se mantienen en el mismo rango en ambos tipos de bases. Se nota que la teja de barro absorbe calor y por ende se demora un poco más en aumentar la temperatura del panel.

3.1.2 VOLTAJE VS TEMPERATURA 12:00 M.

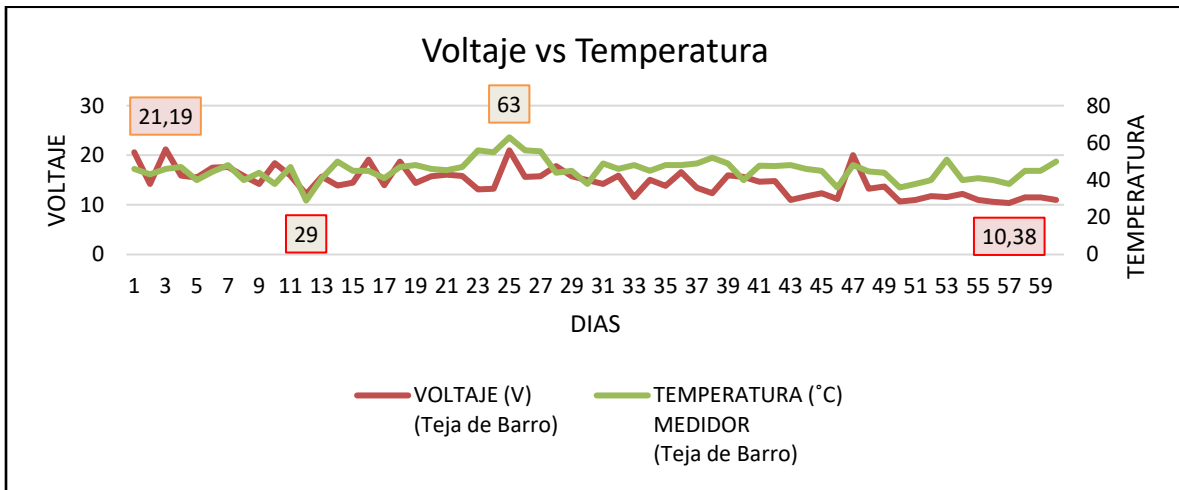


Figura 49. Grafica V vs T (Base teja de Barro).
Fuente: Autores

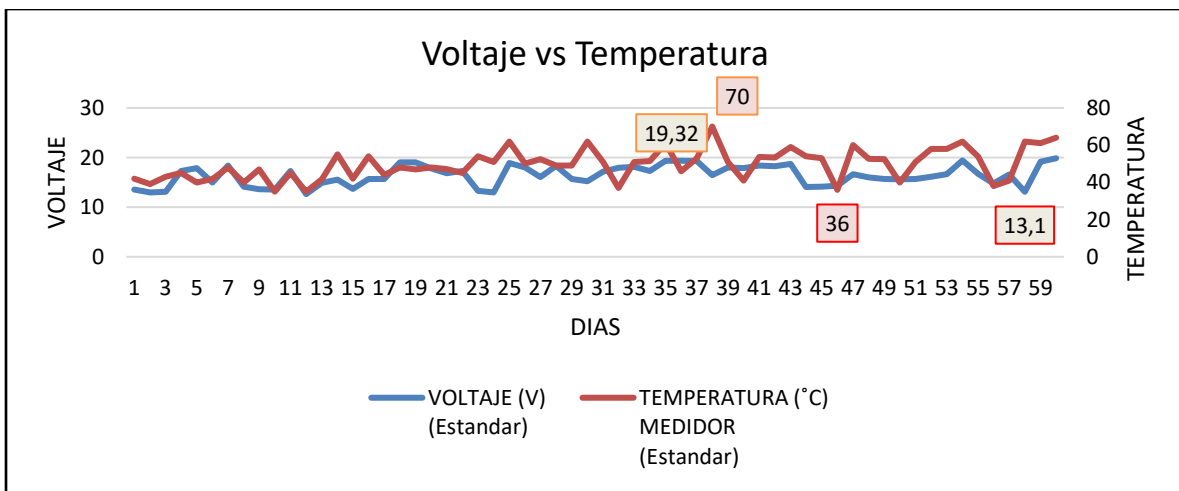


Figura 50. Grafica V vs T (Base Estándar)
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Mediante el análisis de las gráficas anteriores se logra observar que la base de teja de barro a pesar de que la temperatura aumenta en un rango considerable, el voltaje logra picos mayores comparados con el estándar, de la misma manera se comprueba que el panel con base estándar su temperatura oscila entre los 50° y 60° mientras que la teja de barro 40° a 50°

3.1.3 VOLTAJE VS TEMPERATURA 5:00 PM.

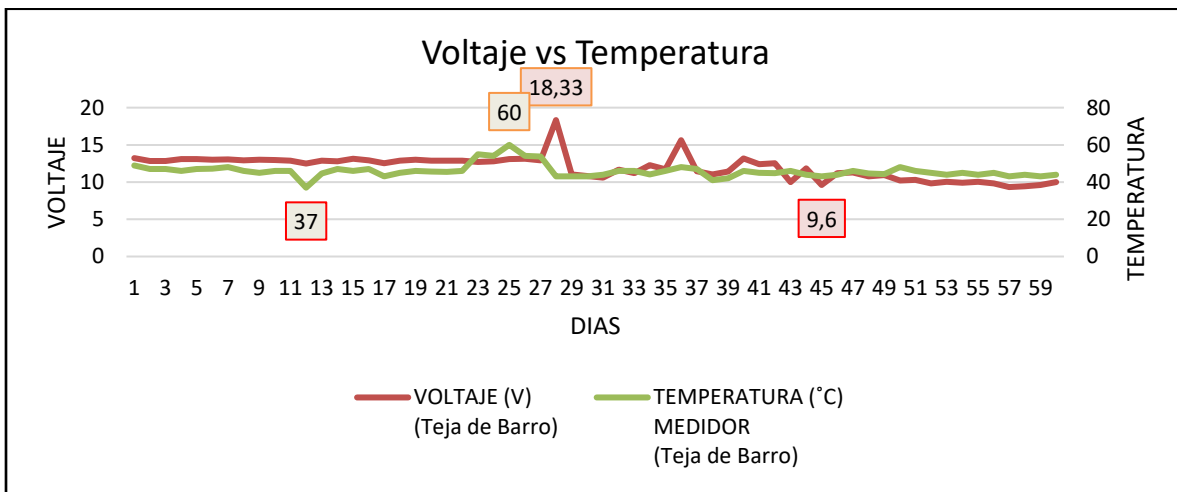


Figura 51. Grafica V vs T (Base teja de Barro).
Fuente: Autores

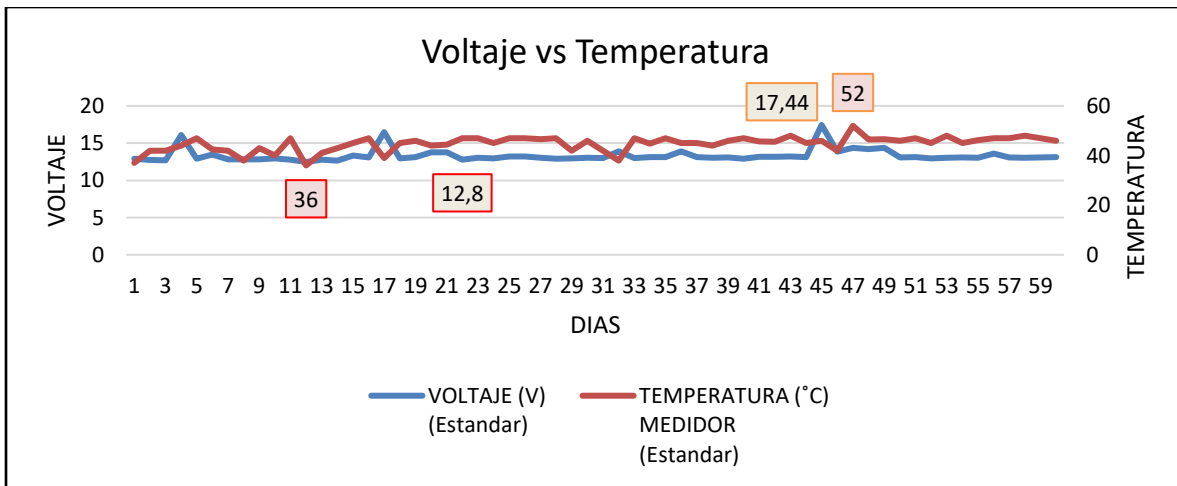


Figura 52. Grafica V vs T (Base Estándar).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

En las gráficas anteriores se logra identificar que la temperatura en la base de teja de barro no decae tan rápidamente comparada con la base estándar ya que la teja actúa como un emisor de calor luego que la radiación solar ha disminuido provocando que la temperatura se mantenga en un rango constante por una cantidad de tiempo mayor con respecto a el panel de la otra base. Aunque esta disminución de temperatura hace que el voltaje en la base de teja de barro se vea afectado disminuyendo de 15 v a 10 v mientras que en la base estándar se mantiene constante en 15 v.

3.2 GRAFICAS COMPARATIVAS CORRIENTE VS TEMPERATURA

3.2.1 CORRIENTE VS TEMPERATURA 8:00 AM.

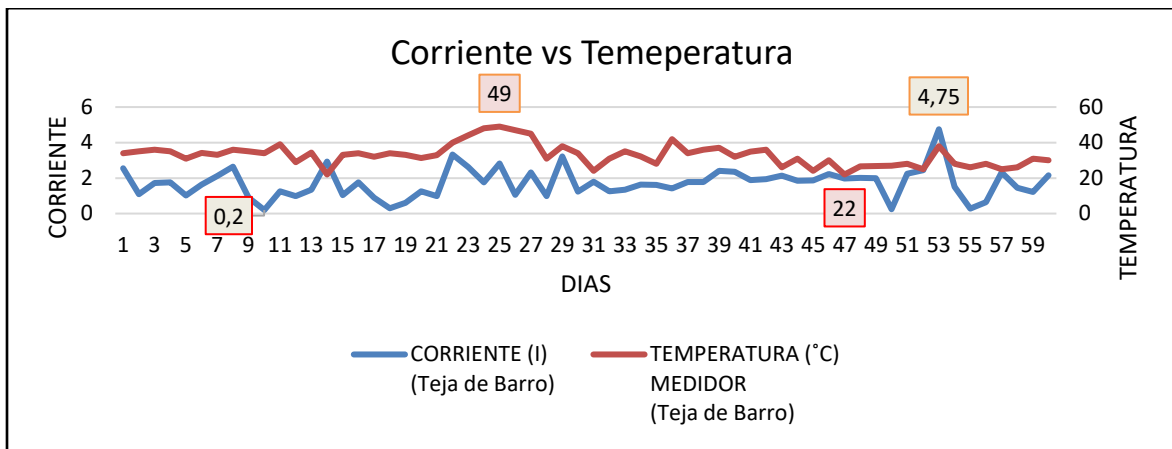


Figura 53. Grafica I vs T (Base teja de Barro).
Fuente: Autores

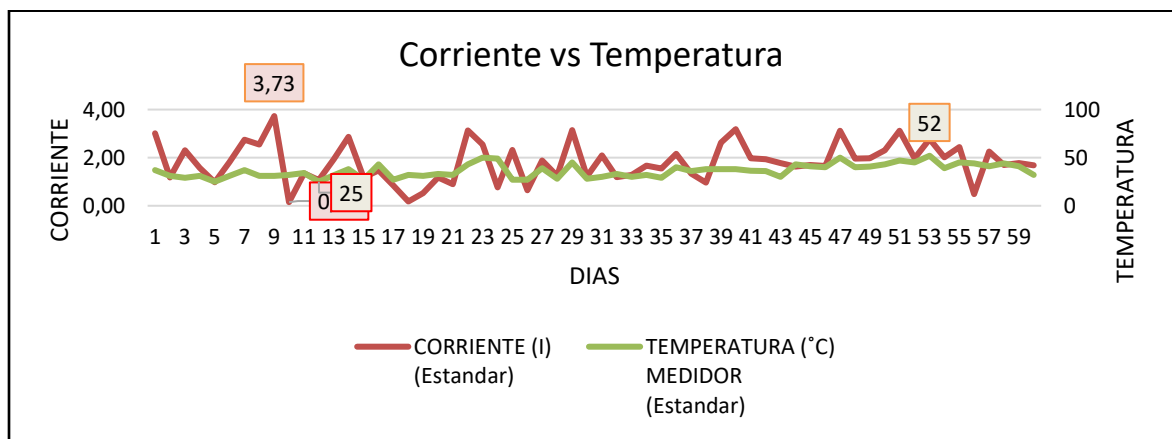


Figura 54. Grafica I vs T (Base Estándar).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Analizando las gráficas anteriores se logra detallar que la corriente en la base de teja de barro ronda ente 2 A y 3 A, teniendo picos de hasta casi 5 A, por su parte la corriente en la base estándar ronda entre 1 A y 2 A y su máximo pico es de hasta casi 4 A. Estos picos que se logran observar en las gráficas vienen dados a que la radiación o el impacto solar sobre la celda era pleno, mientras que los días más nublado estos valores tendían a ser menores.

3.2.2 CORRIENTE VS TEMPERATURA 12:00 M.

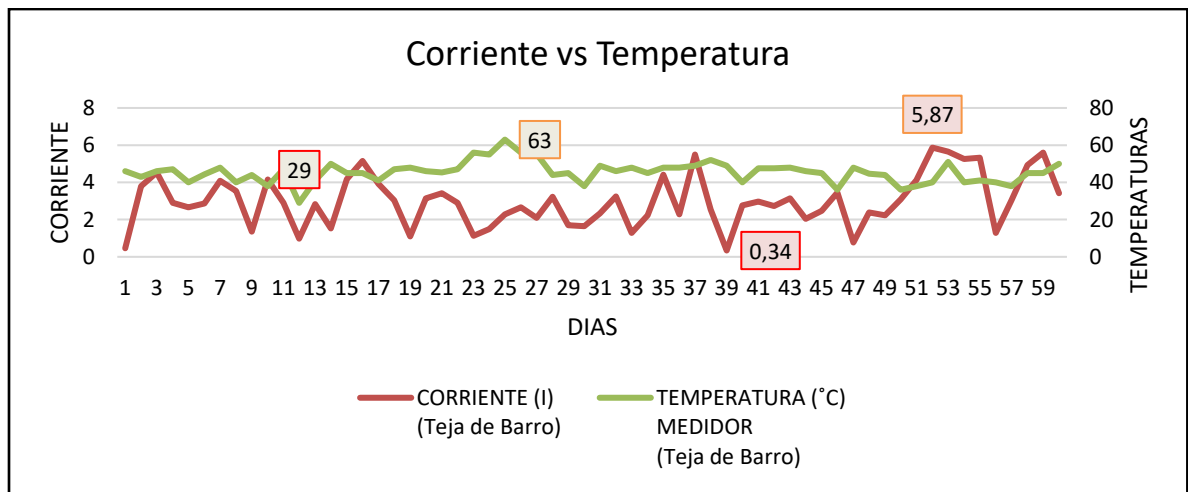


Figura 55. Grafica I vs T (Base teja de Barro).

Fuente: Autores

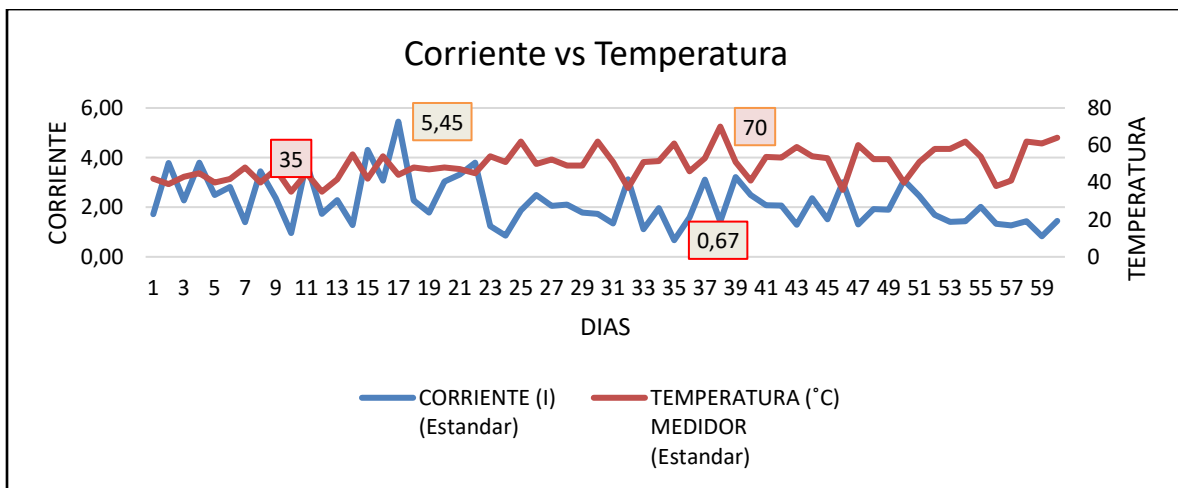


Figura 56. Grafica I vs T (Base Estándar).

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Las graficas de la base de teja de barro demuestra que igual a el aumento de temperatura la corriente aumenta, llegando a picos de hasta 6 A. por su parte, a pesar de que la temperatura aumentase en la base estándar la corriente mantiene un rango de 1 A a 2 A en la mayoría del tiempo, sin embargo, también tiene picos de corriente de hasta 5 A.

3.2.3 CORRIENTE VS TEMPERATURA 5:00 PM.

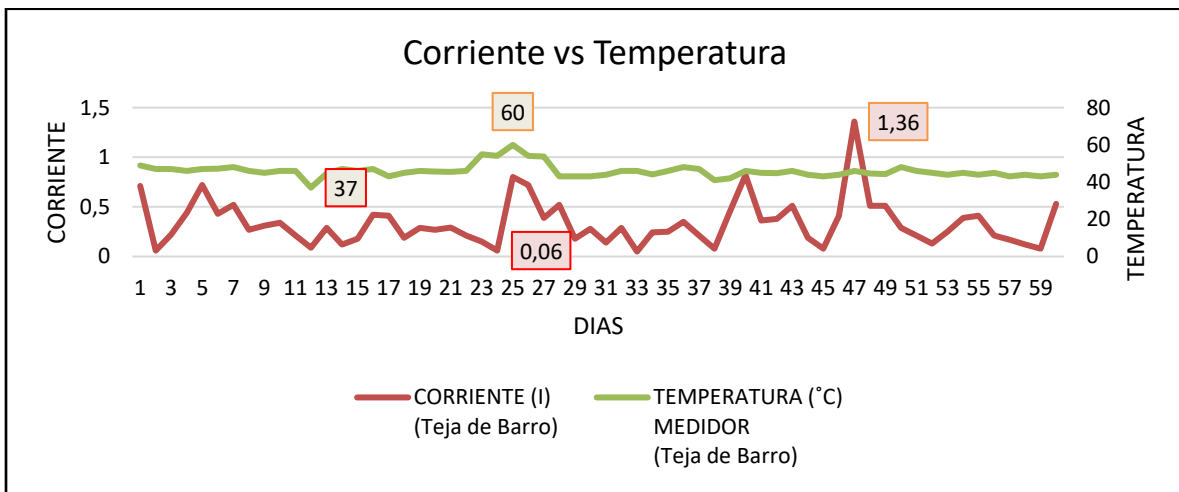


Figura 57. Grafica I vs T (Base teja de Barro).
Fuente: Autores

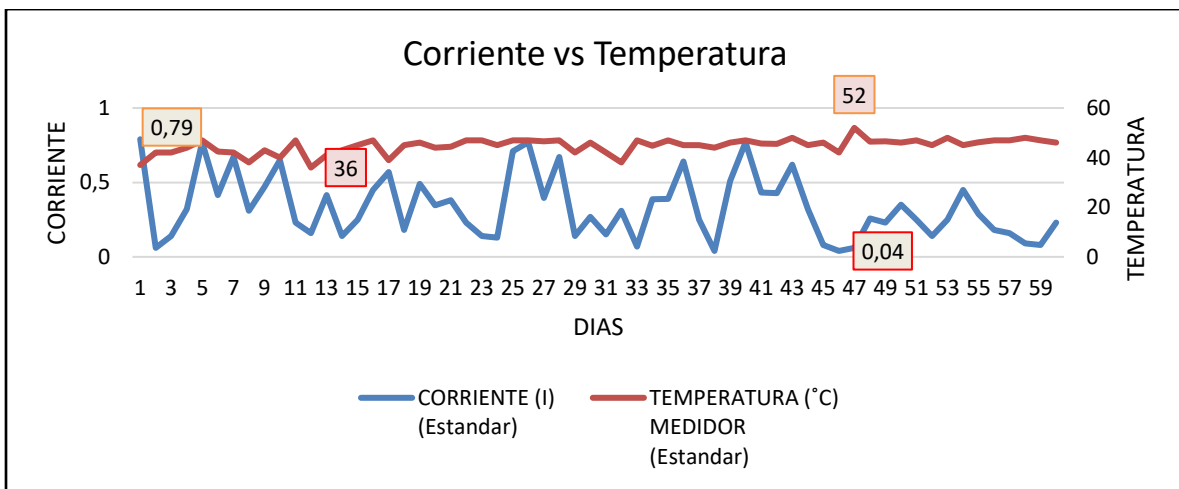


Figura 58. Grafica I vs T (Base Estándar).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Al observar la gráfica de la base estándar se logra identificar que la temperatura es casi constante en los 50° y por su parte la corriente oscila entre los 0.6 A y 0.1 A teniendo también picos de hasta 0.8 A. Mientras que, si se observa la gráfica de base teja de barro, arroja que la corriente oscila en 0.1 y 0.5 A pero presentando picos de hasta 1 A.

3.3 GRAFICAS COMPARATIVAS POTENCIA VS TEMPERATURA

3.3.1 POTENCIA VS TEMPERATURA 8:00 AM.

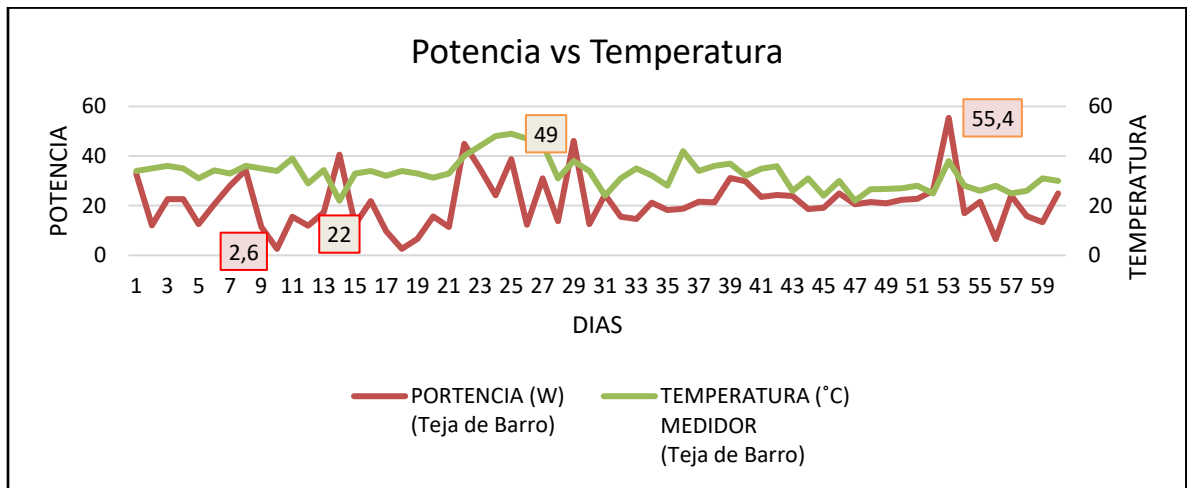


Figura 59. Grafica W vs T (Base teja de Barro).

Fuente: Autores

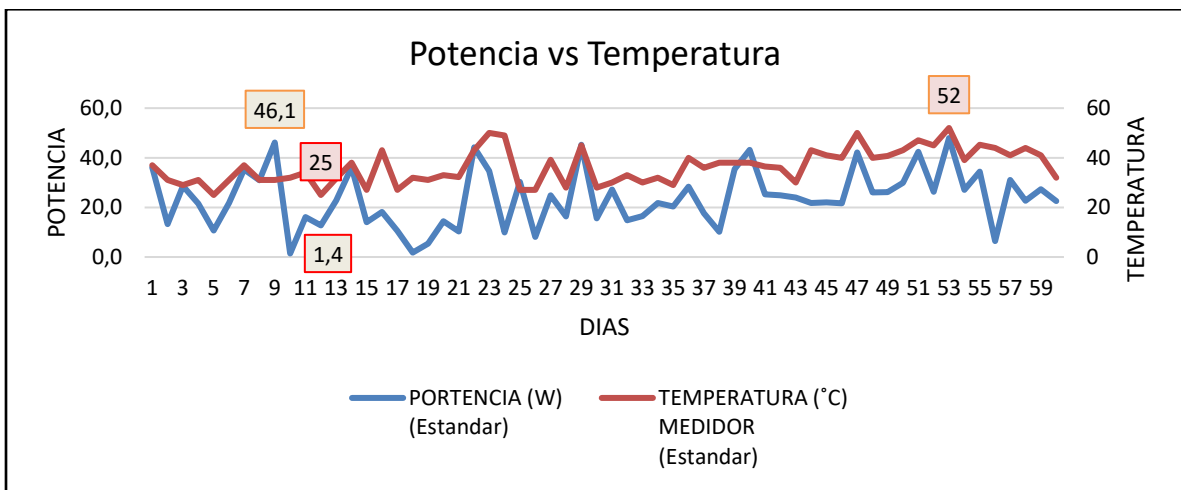


Figura 60. Grafica W vs T (Base Estándar).

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Mediante la observación y análisis de las gráficas, se visualiza que el panel con base estándar a pesar de tener una temperatura mayor a la base de teja de barro las potencias se mantienen en rango de 10 W a 30 W. Lo único que diferencia ambas es que el de teja de barro presenta un pico de 60 W mientras que el de base estándar de casi 50 W.

3.3.2 POTENCIA VS TEMPERATURA 12:00 M.

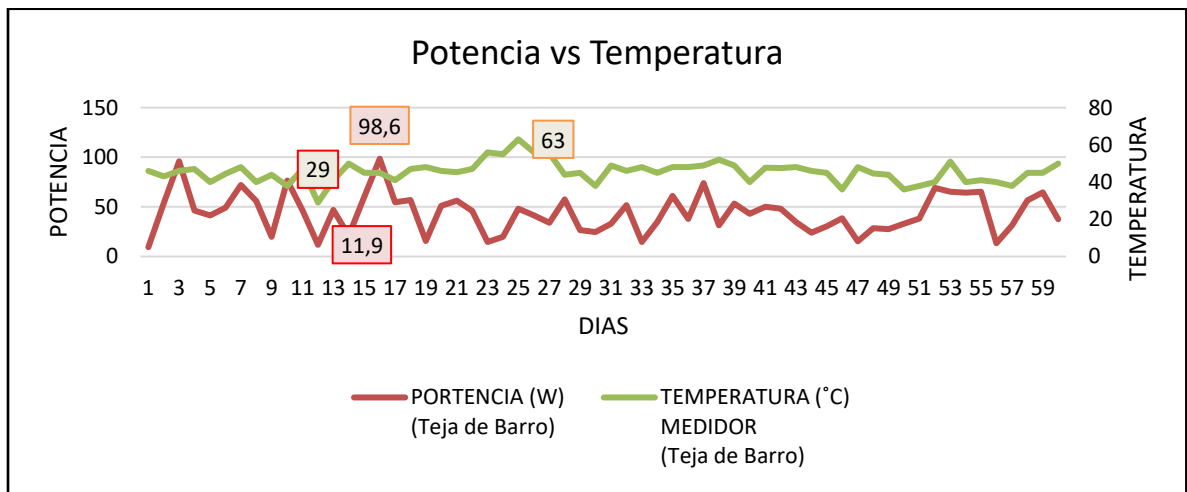


Figura 61. Grafica W vs T (Base teja de Barro).
Fuente: Autores

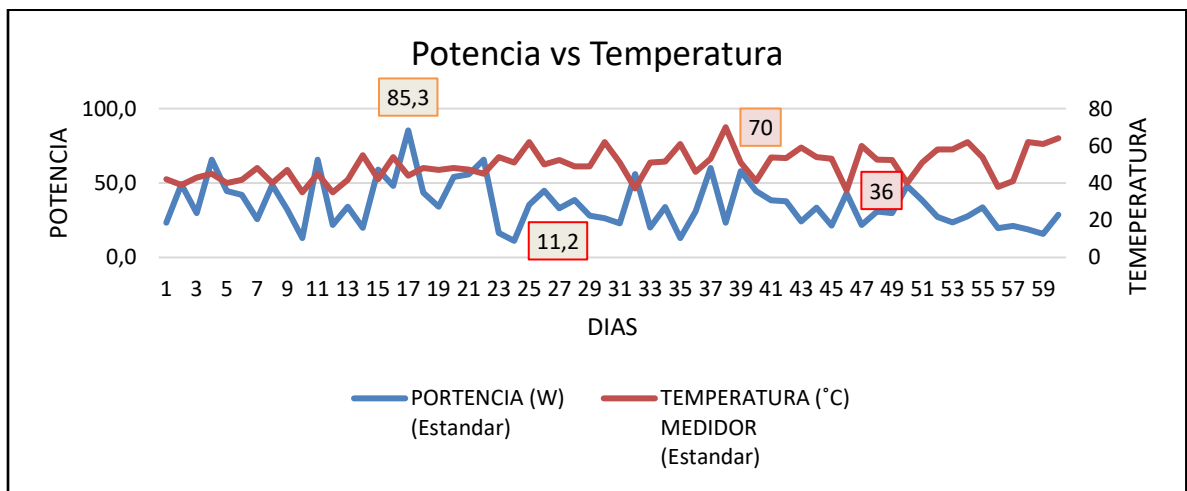


Figura 62. Grafica W vs T (Base Estándar).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Si se observa la gráfica del panel sobre teja de barro se logra identificar que la temperatura aumento, pero de la misma manera la potencia también aumenta, manejando un rango entre 20 W y 60 W dando picos de hasta 100 W. Por otra parte, analizando la gráfica del estándar se observa que la temperatura también aumento, pero la potencia se mantiene en un rango entre 40 W y 60 W dadnos como pico máximo de potencia 80 W.

3.3.3 POTENCIA VS TEMPERATURA 5:00 PM.

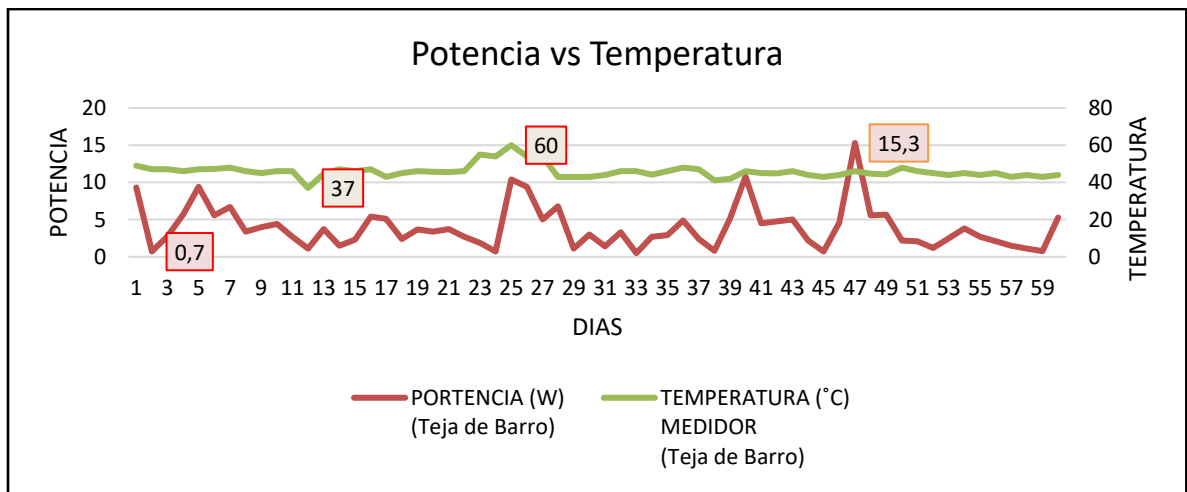


Figura 63. Grafica W vs T (Base teja de Barro).

Fuente: Autores

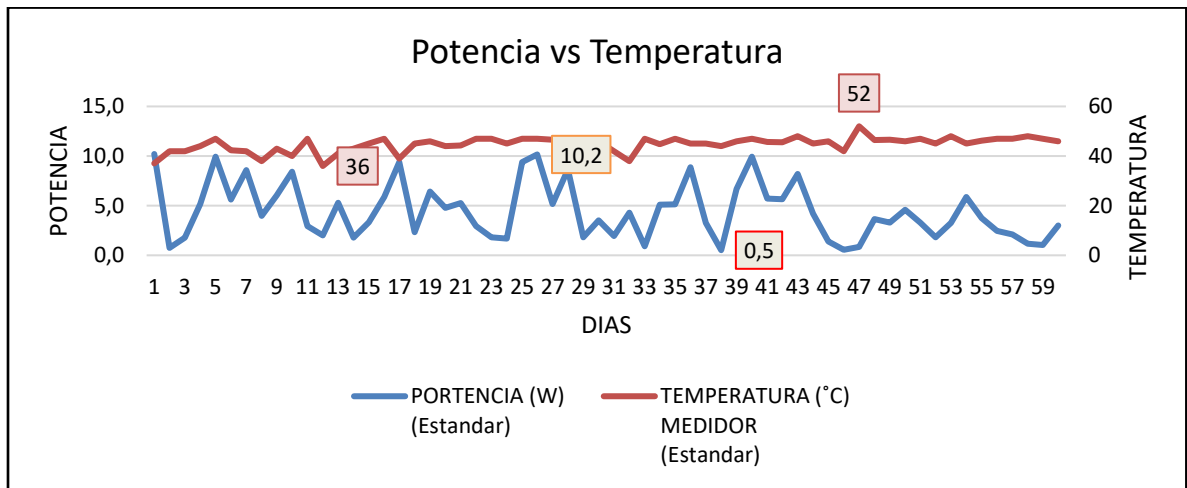


Figura 64. Grafica W vs T (Base Estándar).

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

En las gráficas anteriores se observa que ambos paneles generan una potencia similar en un rango aproximado de 0 W a 10 W, sin embargo, la base de teja de barro tiene pico de potencia de 15 W mientras que la del estándar su valor máximo es de 10 W.

3.4 GRAFICAS COMPARATIVAS ENTRE BASE TEJA DE BARRO Y BASE ESTÁNDAR

3.4.1 GRAFICA COMPARATIVA VOLTAJE

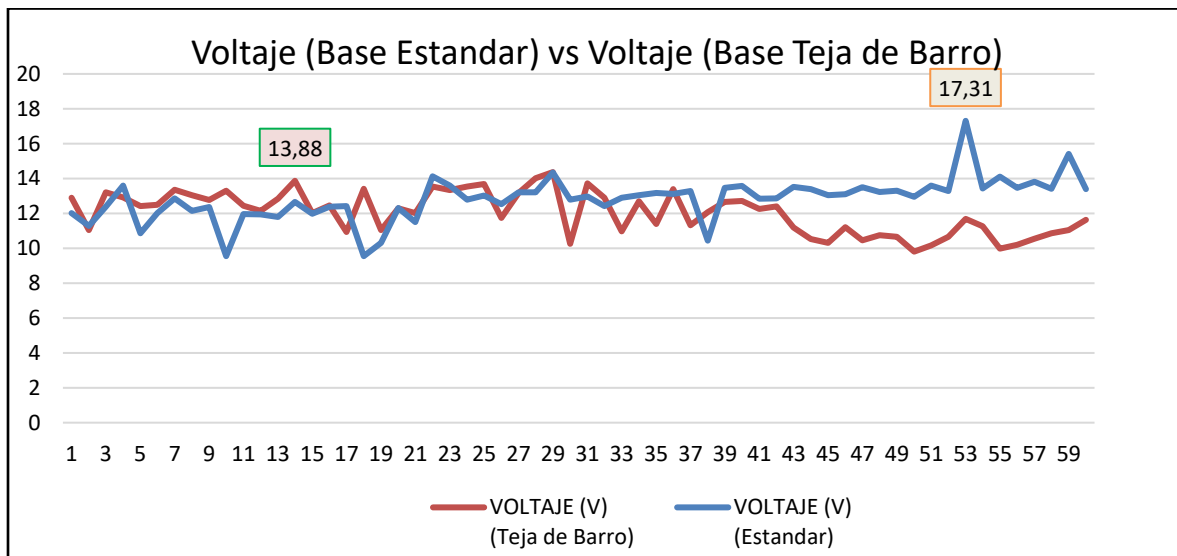


Figura 65. Grafica Comparativa de voltajes (8:00am).

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

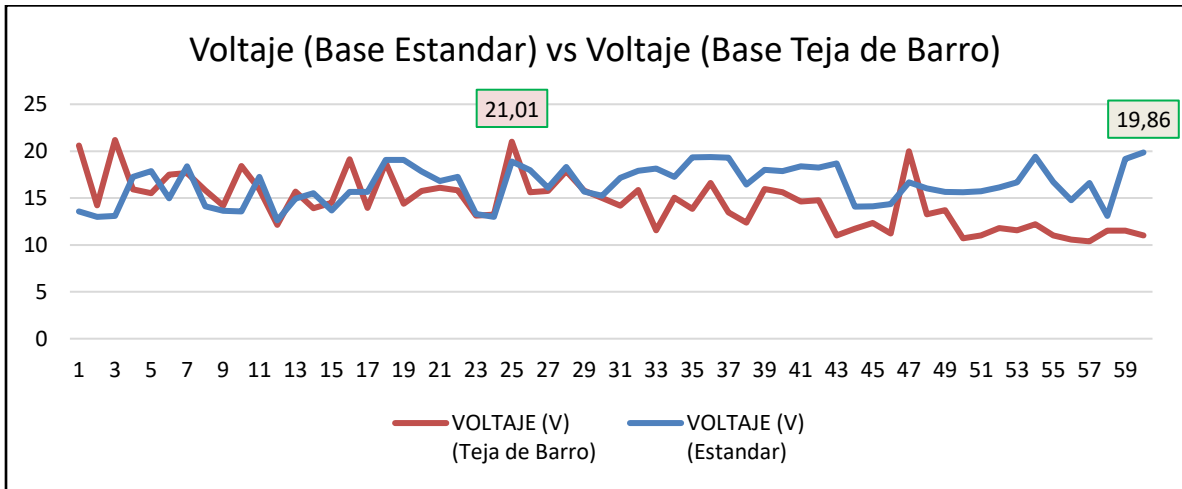


Figura 66. Grafica Comparativa de voltajes (12:00am).
Fuente: Autores

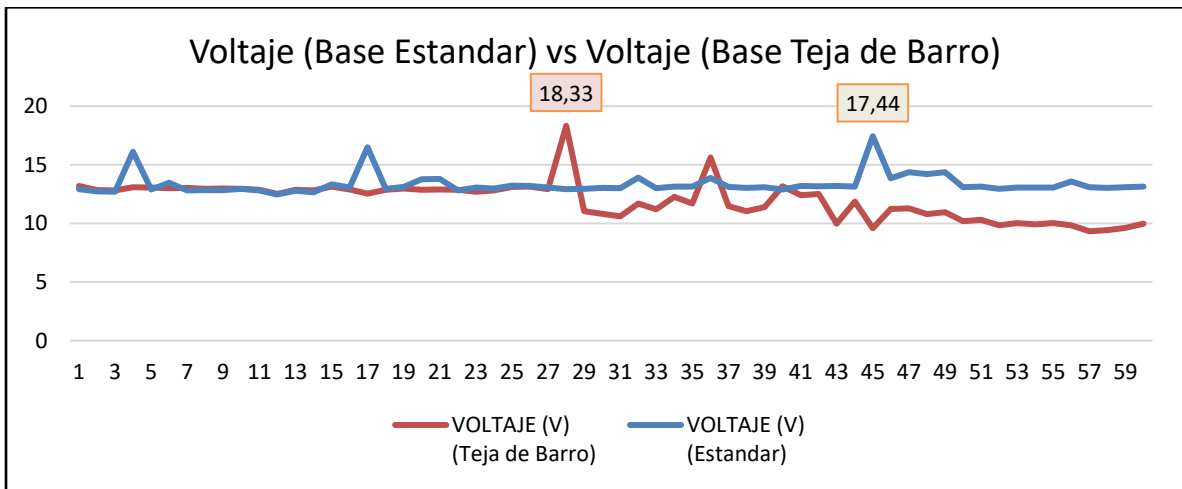


Figura 67. Grafica Comparativa de voltajes (5:00am).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

3.4.2 GRAFICA COMPARATIVA CORRIENTES

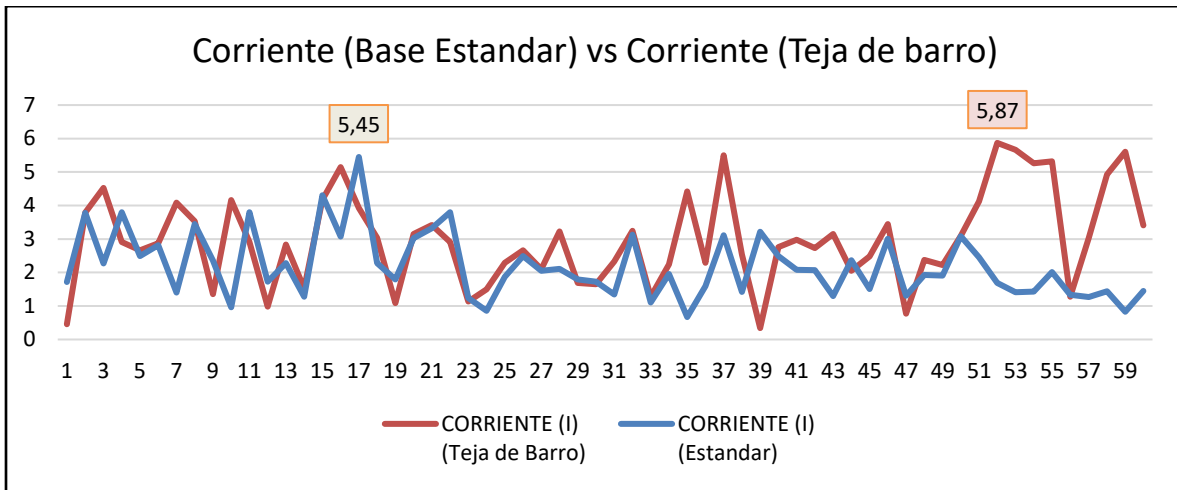


Figura 68. Grafica Comparativa de corrientes (8:00am).
Fuente: Autores

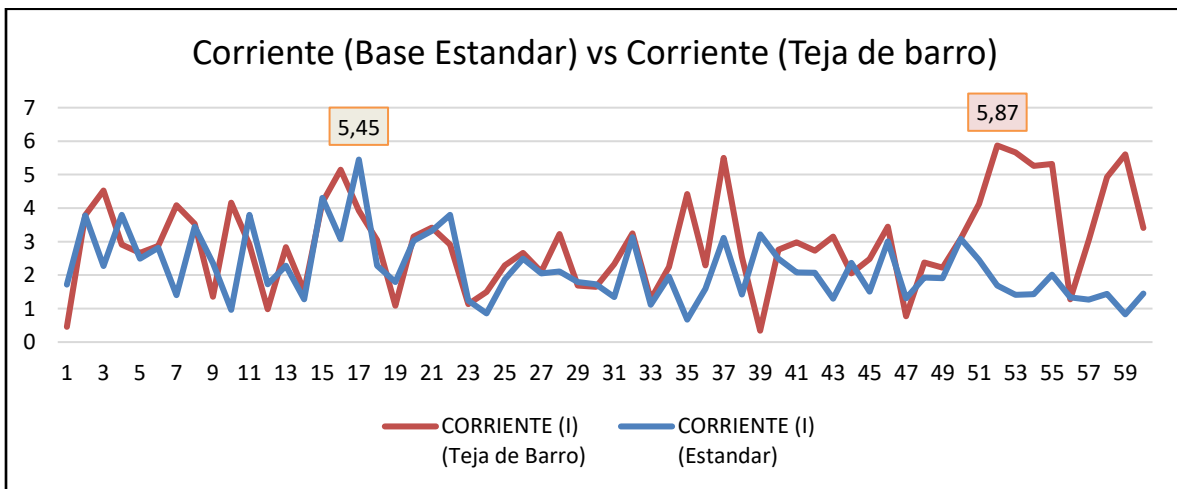


Figura 69. Grafica Comparativa de corrientes (12:00am).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

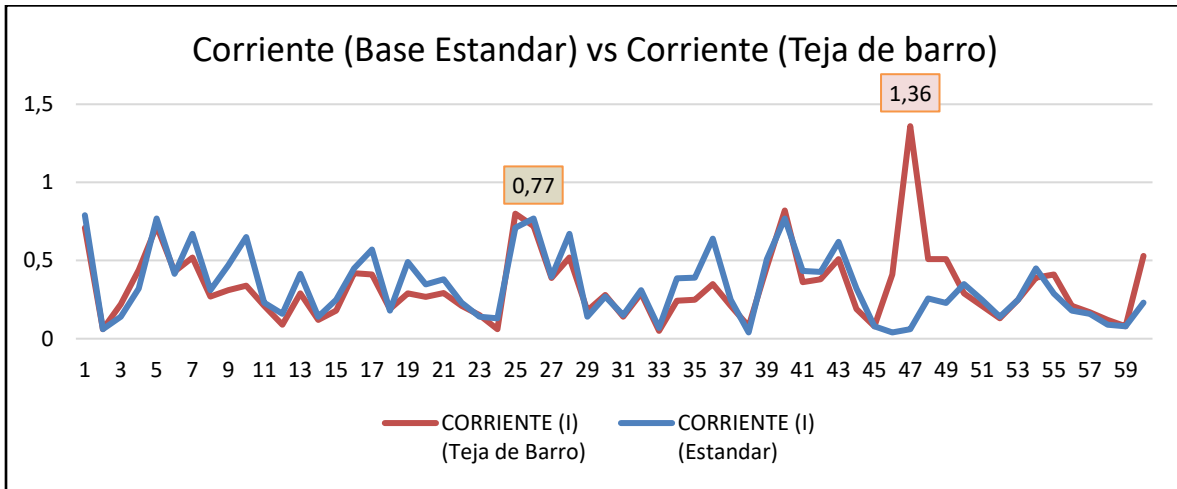


Figura 70. Grafica Comparativa de corrientes (5:00am).
Fuente: Autores

3.4.3 GRAFICA COMPARATIVA POTENCIAS

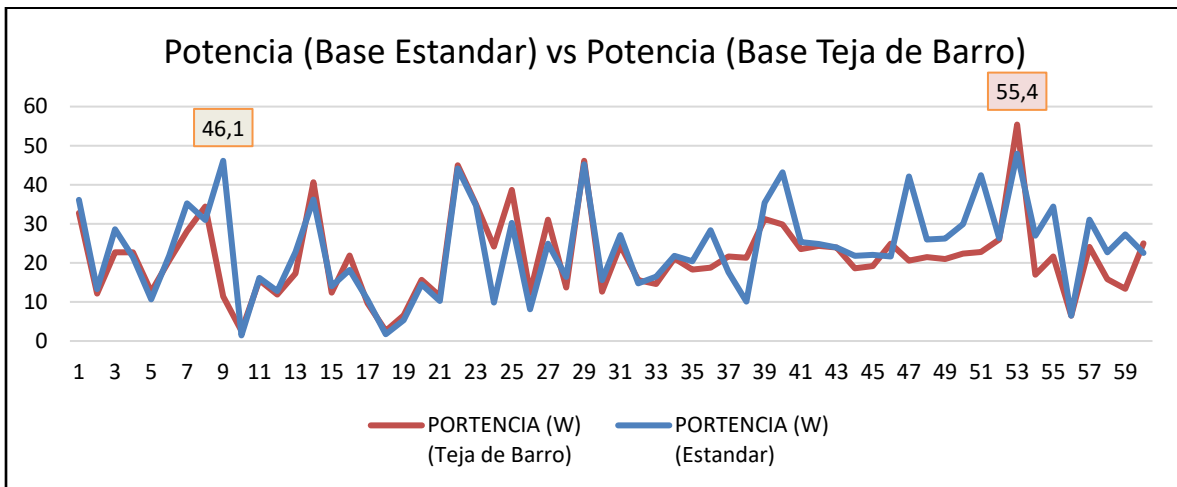


Figura 71. Grafica Comparativa de Potencias (8:00am).
Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

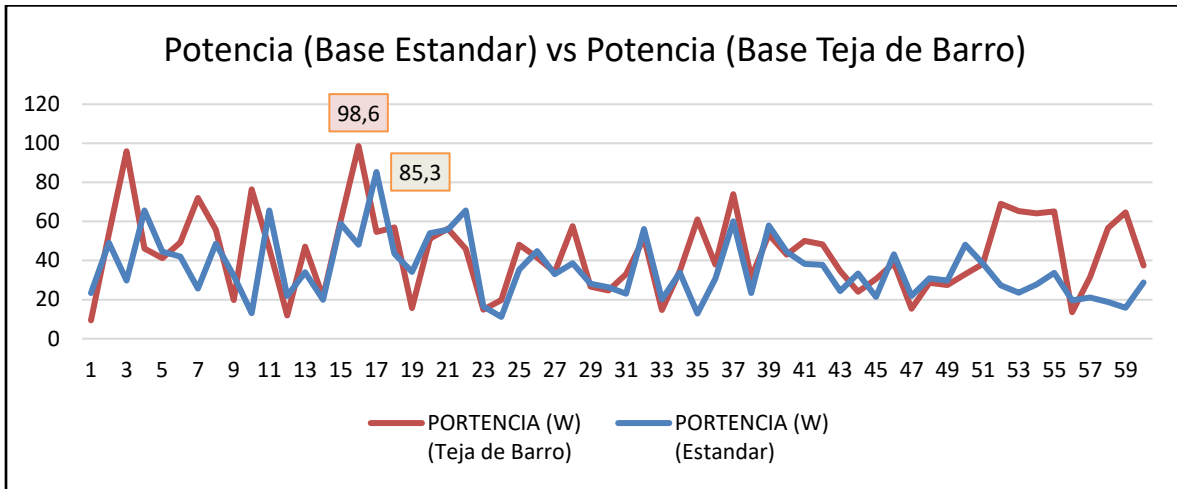


Figura 72. Grafica Comparativa de Potencias (12:00am).
Fuente: Autores

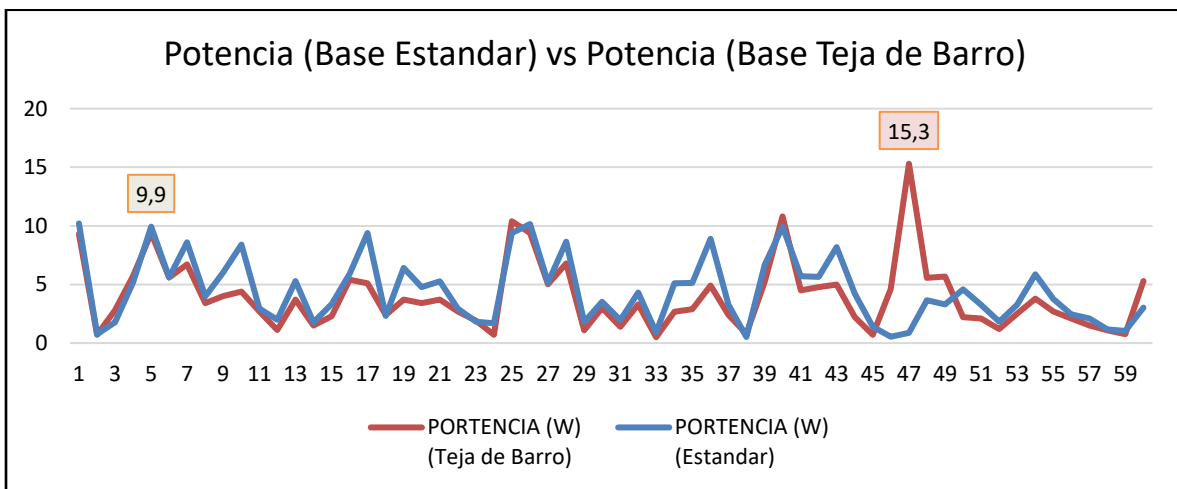


Figura 73. Grafica Comparativa de Potencias (5:00am).
Fuente: Autores

3.5 GRAFICA COMPARATIVOS PROMEDIOS

3.5.1 VOLTAJES

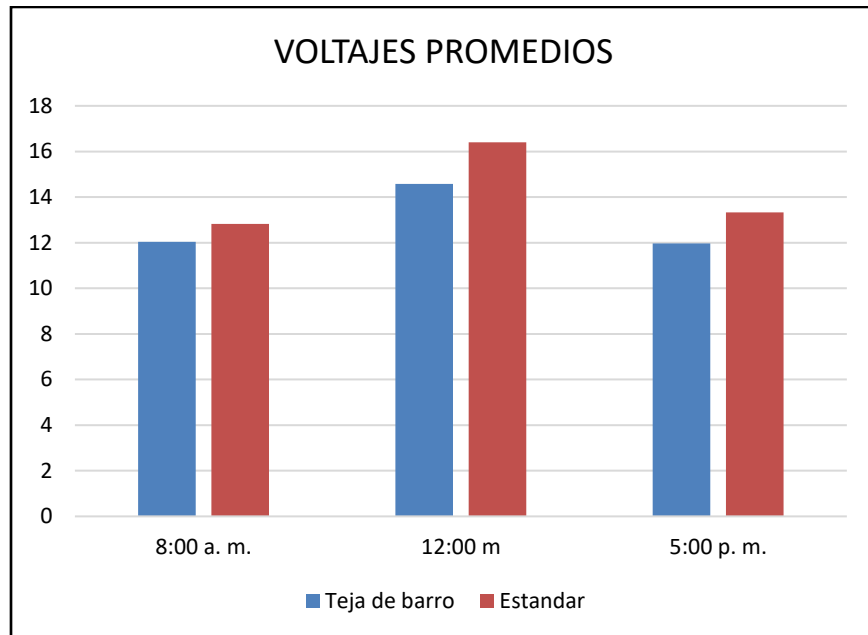


Figura 74. Gráfico comparativo de voltajes promedios.

Fuente: Autores

En el gráfico anterior se ve con mayor claridad como a sus diferentes horarios de medidas de prueba actuaron las respectivas bases, demostrando que, en los tres horarios correspondientes, el estándar maneja un mayor voltaje que el panel sobre la teja de barro.

3.5.2 CORRIENTES

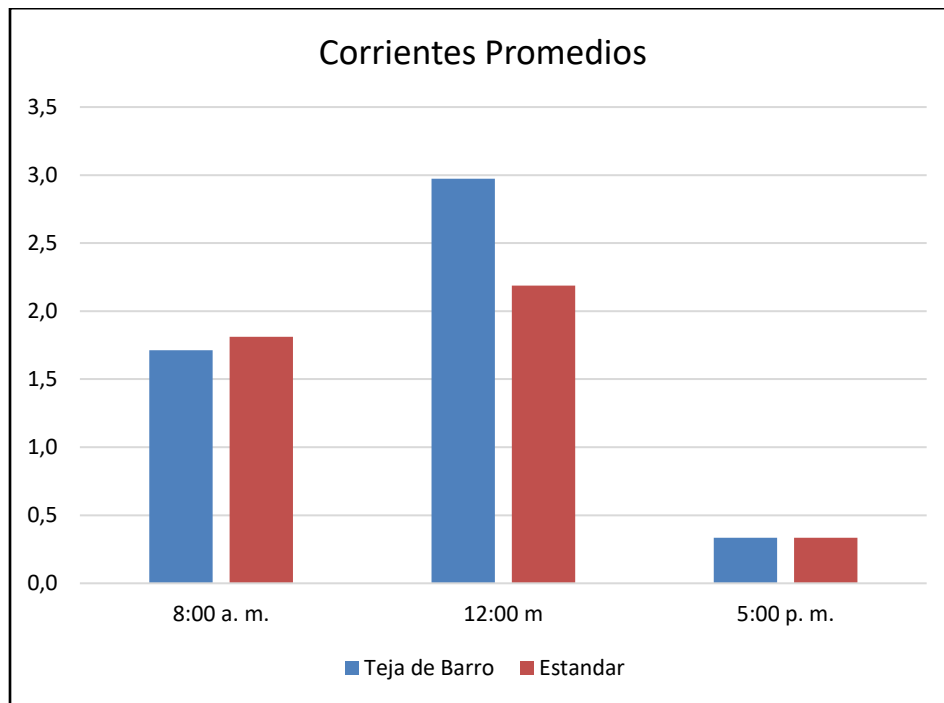


Figura 75. Gráfico comparativo de corrientes promedio.
Fuente: Autores

Por otra parte, al analizar las corrientes, a las 8:00 am el estándar presenta una ligera diferencia con respecto a la base de teja de barro, siendo superior. Sin embargo, esta situación se cambia ya que a las 12:00 m el panel sobre teja de barro genera mayor corriente con respecto al estándar. Ya para finalizar con las medidas correspondientes a las 5:00 pm se detalla cómo son muy similares sus valores.

3.5.3 POTENCIAS

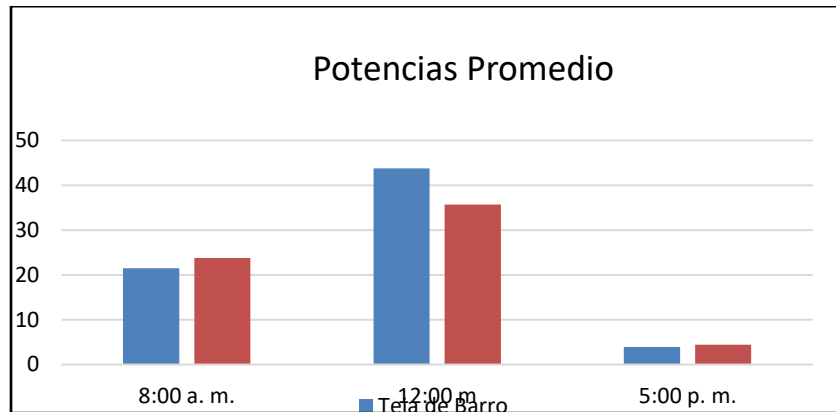


Figura 76. Gráfico comparativo de potencias promedios.
Fuente: Autores

El grafico nos muestra con mayor claridad como a pesar de que el estándar a las 8:0 am y a las 5:00 pm sus valores de potencia son superiores al de base de teja de barro, a las 12:00 con una temperatura mayor el mejor generador de potencia es el de base de teja de barro.

3.5.4 TEMPERATURAS

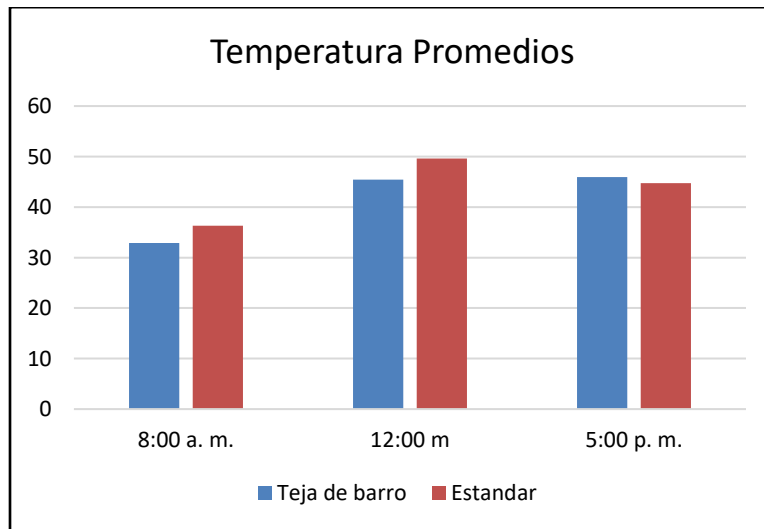


Figura 77. Gráfico comparativo de temperaturas promedios. Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta el análisis de los registros realizados en términos de generación eléctrica en cada uno de los módulos fotovoltaicos implementados, se ha podido determinar a lo largo del proyecto el sistema que posee la mejor eficiencia en la producción de este tipo de energía. Dicho sistema es el módulo que está instalado sobre la superficie de teja de barro, ya que en el punto de mayor radiación 12:00 m el porcentaje de diferencia de generación es de 18.42%, ya que posee una mayor concentración en energía calorífica. Por su parte a las 8:00 am y 5:00 pm los porcentajes de diferencia son favorables a la superficie de cemento con un valor de 9.55% y 11.65% respectivamente. Estos resultados se deben a que la radiación solar se convierte en calor a través de la absorción de las ondas electromagnéticas por la materia (Teja de barro).

Como se mencionó a lo largo de este documento otro punto clave en cada uno de los sistemas fotovoltaicos implementados, es la variable de corriente. El cual se determinó en base a los resultados adquiridos, que el módulo instalado sobre la superficie de teja de barro, tiene una mayor generación de corriente durante la muestra tomada al mediodía generando 26.26% más que el otro módulo en superficie de cemento, por su parte a las 8:00 am y 5:00 pm predomina la generación del panel sobre superficie de cemento generando 5.52% y 2.94%, respectivamente, más que el panel en la otra superficie.

Con respecto al estudio de los registros realizados a lo largo del proyecto, la variable de voltaje en los respectivos sistemas de generación fotovoltaica decrece cuanto más aumenta la concentración de calor durante la exposición del sol en el día y disminuye en caso contrario, esto tiene lugar cuando la exposición de rayos solares es más fuerte. De igual forma se evidencia que el panel en superficie de cemento predomina en generación de voltaje sobre la otra superficie en las tres mediciones tomadas, ya que a las 8:00 am genera 6.08%, 12:00 m presenta 11.09% y por última medida 5:00 pm produce 10.2%, más que el módulo sobre superficie de teja de barro.

Mediante los resultados de temperatura obtenidos por el pirómetro en cada uno de los sistemas fotovoltaicos, se pudo establecer que la temperatura entre el panel solar y la superficie de teja de barro fue superior durante el tiempo de toma de las 5:00pm (dos meses), arrojando un 2.59% de diferencia e inferior en las otras horas de medida, 8:00 am con 9.41% y 12:00 m con 8.46%, con respecto al sistema instalado sobre la superficie de cemento, ya que las tejas de barro se vuelven emisor de calor almacenando energía térmica por la absorción de los rayos de sol, actuando como una reserva calorífica.

Dado a los resultados obtenidos se logra determinar que para la realización de proyectos con paneles solares es importante identificar la base donde se va a realizar la instalación del sistema fotovoltaico, ya que afecta de manera directa su eficiencia y su óptimo rendimiento en términos de generación eléctrica, además se identifica que los

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

sistemas de energía fotovoltaica tiene un tiempo de reintegro de la inversión en unos 4 a 5 años después de su instalación, logrando así una estabilidad económica segura.

Los sistemas fotovoltaicos son económicamente importantes porque permiten generar electricidad a partir de una fuente gratuita e inagotable como el sol, lo que reduce significativamente los costos de energía a largo plazo y disminuye la dependencia de combustibles fósiles y proveedores convencionales. Además, muchos gobiernos ofrecen incentivos y subsidios para su instalación, facilitando el acceso a esta tecnología y promoviendo su adopción. Estas características también aumentan el valor de las propiedades equipadas con paneles solares, representando una inversión atractiva.

Por otro lado, la industria solar genera empleo en áreas como la fabricación, instalación y mantenimiento de paneles fotovoltaicos, impulsando el desarrollo económico en las regiones donde se implementa. También contribuye a disminuir los costos ambientales asociados al cambio climático y la contaminación, beneficiando a la economía global al fomentar un modelo energético sostenible y resiliente.

Referencias

- Pichardo S, J. A., Salazar Peralta, A., & Pichardo S, U. (2016). La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 11-20.
- Area tecnología. (S.f). *Qué es un Inversor Fotovoltaico*. Obtenido de Qué es un Inversor Fotovoltaico: <http://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>
- Arian, C. &. (s.f). *ARIAN*. Obtenido de Nota técnica: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Asensio, L. P. (30 de Septiembre de 2011). *Repositorio UPCT*. . Obtenido de Células solares transparentes: desarrollo actual y aplicaciones : <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1869/pfm271.pdf?sequence=1>
- Barreto, A. (24 de Septiembre de 2018). *Ingeniería Potencial*. Obtenido de Efecto Seebeck y Efecto Efecto Hall: <http://ingenieriapotencial.blogspot.com/2018/09/efecto-seebeck-y-efecto-efecto-hall.html>
- Benavides Ballesteros , H. O., Simbaqueva Fonseca , O., & Zapata Lesmes , H. J. (2017). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y de ozono de Colombia*. Bogota: Imprenta nacional de colombia.
- Bijloo, R. (25 de Noviembre de 2016). *Jardín Solar*. Obtenido de Cómo conectar una instalación solar aislada.: <http://jardin-solar.blogspot.com/2016/11/como-conectar-una-instalacion-solar.html>
- cables, E. (2018). *Cables de termo y compensación*. Obtenido de Cable de compensación termocupla tipo J: <https://www.sab-cables.eu/productos/cables-de-termo-y-compensacion/a-4-ln.html#tab-datos-t%C3%A9rminos>
- Castillo, J. (26 de Noviembre de 2017). *Energía Solar Fotovoltaica*. Obtenido de Conectores Eléctricos MC4: <https://ccea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/conectores-mc4>
- Cobra.com. (S.f). *Compact 400 Watt Power Inverter*. Obtenido de <https://www.cobra.com/products/cpi490>
- Electric, J. (S.f). *Productos eléctricos*. Obtenido de Termocupla Tipo J: http://aplicacionesjomar.com/index.php?id_product=4&controller=product
- Emaze. (S.f). *amazing presentatons* . Obtenido de Equipos de presentación personal: <https://www.emaze.com/@ACQQTTOZ>
- Energía, S. (s.f). *Que son las celdas solares fotovoltaicas*. Obtenido de Celda solar o ceda fotovoltaica: <https://solaresenergia.mx/productos/que-son-las-celdas-solares-fotovoltaicas/>
- Envinergy. (s.f). *El efecto fotoelectrico*. Obtenido de <https://www.envinergy.com/energia-solar/funcionamiento-s826.html>
- Fernández Ferichola, J. (2009). *Repositorio Universidad Carlos III de Madrid*. Obtenido de Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/6037>
- Flores, P. (29 de Septiembre de 2015). *Ecosistemas del Sureste C.B*. Obtenido de Modulo Fotovoltaico (Paneles): <http://m.ecosistemasdelsureste.com/news/componentes-principales-de-una-instalacion-solar-fotovoltaica/>
- Flores, P. (29 de Septiembre de 2015). *Ecosistemas del Sureste C.B*. Obtenido de Baterías: <http://m.ecosistemasdelsureste.com/news/componentes-principales-de-una-instalacion-solar-fotovoltaica/>
- gis, S. (Noviembre de 2018). *Search map*. Obtenido de Radiación solar horizontal en Colombia: https://solargis.info/imaps/#tl=GeoModel:t_yr_avg&loc=4.570868,-74.297333&c=0.431128,-68.327637&z=5

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

- gis, S. (Noviembre de 2018). *Search map*. Obtenido de Radiación solar horizontal en Bucaramanga y sus alrededores: https://solargis.info/imaps/#tl=GeoModel:t_yr_avg&loc=7.105114,-73.123599&c=7.083045,-73.118618&z=8
- Globaloide. (S.f). *Baterías*. Obtenido de Batería sellada fulibattery 12 v -12ah original: <https://globaloide.com/baterias/156-bateria-sellada-fulibattery-12-v-12ah-original.html>
- González, R. (1 de Diciembre de 2011). *Twenergy*. Obtenido de LAS VENTAJAS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA: <https://twenergy.com/a/las-ventajas-de-la-energia-electrica-404>
- Greenenergy.solar. (2015). *Regulador Solar*. Obtenido de <http://greenenergy.solar/?product=xcsource-intelligent-30a-pwm-solar-panel-charge-controller-12v24v-battery-regulator-ld296>
- Hermes, C. (2017). *Temperatura y Humedad*. Obtenido de Pirómetro XMTG-2301 Controlador de temperatura: <https://casahermes.co/tienda/pirometro-xmtg-2301/>
- Instituto Colombiano de hidrología, m. y. (1989). Geometría solar y trayectorias del sol en Colombia. *German B.G. (enero, 1989). Instituto Colombiano de hidrología, meteorología y adecuaciones de tierras. Himat: (pág. 22)*. Bogota: Ideam.
- Libro electrónico . (Noviembre de 2000). *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*. Obtenido de Población, ambiente y desarrollo: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/14PoIEcSoc/130PobAmb.htm#POBLACION>
- Lucio, M. S. (2012). *Impacto ambiental de la energía fotovoltaica-paneles solares*.
- Miñarro, J. R. (s.f). *Educacion lte*. Obtenido de La energía solar: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm
- Monsolar.com. (21 de Noviembre de 2018). *Qué es y qué hace un regulador de carga solar*. Obtenido de Regulador de carga solar: <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- Mora Moreno, R. A., Gelves Tello, N. A., Vera Bernavides, O. A., Ruiz Jimenez, L. F., & Hernadez Olmedo , C. F. (14 de Agosto de 2011). *Radiacion solar*. Obtenido de Energía solar y temperatura terrestre: <http://efectosradiacion.blogspot.com/2011/08/energia-solar-y-temperatura-terrestre.html>
- S.A.S, V. (2016). *Tienda electrónica*. Obtenido de Medidor Digital Voltiamperímetro DC PZEM-031: <https://www.vistronica.com/display/medidor-digital-voltiamperimetro-dc-pzem-031-detail.html>
- Salinas, C., & Jeldes, J. C. (3 de Julio de 2011). *La energía proveniente del sol*. Obtenido de Estudios Previos : https://wiki.ead.pucv.cl/La_energ%C3%ADa_proveniente_del_sol

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

Anexos

A. TABLA DE LOS DATOS COMPLETOS DEL PANEL POLICRISTALINO EN BASE ESTÁNDAR

TABLA DE DATOS PANEL FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO ESTANDAR																
		8:00 a. m.					12:00 m					5:00 p. m.				
FECHA	DIA	VOLTAJE (V) (Estandar)	CORRIENTE (I) (Estandar)	PORTENCIA (W) (Estandar)	TEMPERATURA (°C) MEDIDOR (Estandar)	TEMPERATURA (°C) REAL (Estandar)	VOLTAJE (V) (Estandar)	CORRIENTE (I) (Estandar)	PORTENCIA (W) (Estandar)	TEMPERATURA (°C) MEDIDOR (Estandar)	TEMPERATURA (°C) REAL (Estandar)	VOLTAJE (V) (Estandar)	CORRIENTE (I) (Estandar)	PORTENCIA (W) (Estandar)	TEMPERATURA (°C) MEDIDOR (Estandar)	TEMPERATURA (°C) REAL (Estandar)
25/09/2018	1	12,01	3,01	36,2	37	34,6	13,58	1,72	23,4	42	40,2	12,92	0,79	10,2	37	35,32
26/09/2018	2	11,28	1,18	13,3	31	29,0	12,98	3,78	49,1	39	37,3	12,73	0,06	0,8	42	40,09
27/09/2018	3	12,39	2,31	28,6	29	27,1	13,09	2,27	29,7	43	41,1	12,7	0,14	1,8	42	40,09
28/09/2018	4	13,59	1,58	21,5	31	29,0	17,26	3,80	65,6	45	43,0	16,11	0,32	5,2	44	42,00
29/09/2018	5	10,86	0,98	10,6	25	23,4	17,88	2,49	44,5	40	38,3	12,89	0,77	9,9	47	44,86
30/09/2018	6	12,03	1,81	21,8	31	29,0	14,96	2,81	42,1	42	40,0	13,47	0,42	5,6	42	40,47
01/10/2018	7	12,87	2,74	35,3	37	34,6	18,39	1,40	25,7	48	45,9	12,82	0,67	8,6	42	40,09
02/10/2018	8	12,15	2,55	31,0	31	29,0	14,11	3,45	48,7	40	38,3	12,83	0,31	4,0	38	36,27
03/10/2018	9	12,36	3,73	46,1	31	29,0	13,64	2,36	32,2	47	45,0	12,83	0,47	6,0	43	41,05
04/10/2018	10	9,55	0,15	1,4	32	29,9	13,56	0,96	13,0	35	33,5	12,94	0,65	8,4	40	38,18
05/10/2018	11	11,96	1,35	16,1	34	31,8	17,26	3,80	65,6	45	43,0	12,8	0,23	2,9	47	44,86
06/10/2018	12	11,95	1,07	12,8	25	23,4	12,62	1,73	21,8	35	33,5	12,47	0,16	2,0	36	34,36
07/10/2018	13	11,81	1,93	22,8	32	29,6	14,93	2,28	34,1	42	39,9	12,78	0,42	5,3	41	39,14
08/10/2018	14	12,66	2,86	36,2	38	35,6	15,52	1,28	19,9	55	52,6	12,65	0,14	1,8	43	41,05
09/10/2018	15	11,98	1,17	14,0	27	25,3	13,68	4,31	59,0	42	40,2	13,32	0,25	3,3	45	42,96
10/10/2018	16	12,39	1,47	18,2	43	40,2	15,66	3,07	48,1	54	51,7	13,07	0,45	5,9	47	44,86
11/10/2018	17	12,43	0,85	10,6	27	25,3	15,66	5,45	85,3	44	42,1	16,49	0,57	9,4	39	37,23
12/10/2018	18	9,55	0,18	1,7	32	29,9	19,06	2,28	43,5	48	45,9	12,94	0,18	2,3	45	42,96
13/10/2018	19	10,31	0,52	5,4	31	29,0	19,06	1,79	34,1	47	45,0	13,11	0,49	6,4	46	43,91
14/10/2018	20	12,32	1,18	14,5	33	30,9	17,82	3,03	54,0	48	45,9	13,77	0,35	4,8	44	42,00
15/10/2018	21	11,50	0,89	10,3	32	30,1	16,82	3,32	55,9	47	45,1	13,78	0,38	5,3	44	42,32
16/10/2018	22	14,12	3,13	44,2	43	40,2	17,26	3,80	65,6	45	43,0	12,8	0,23	2,9	47	44,86
17/10/2018	23	13,60	2,55	34,7	50	46,8	13,29	1,24	16,5	54	51,7	13,05	0,14	1,8	47	44,86
18/10/2018	24	12,79	0,77	9,8	49	45,8	12,98	0,86	11,2	51	48,8	12,97	0,13	1,7	45	42,96
19/10/2018	25	13,03	2,32	30,2	27	25,3	18,89	1,87	35,3	62	59,3	13,21	0,71	9,4	47	44,86
20/10/2018	26	12,53	0,65	8,1	27	25,3	17,98	2,49	44,8	50	47,8	13,2	0,77	10,2	47	44,86
21/10/2018	27	13,21	1,88	24,9	39	36,7	16,08	2,05	33,0	52	50,1	13,05	0,40	5,2	47	44,86
22/10/2018	28	13,21	1,24	16,4	28	26,2	18,33	2,11	38,7	49	46,9	12,92	0,67	8,7	47	44,86
23/10/2018	29	14,35	3,15	45,2	45	42,1	15,69	1,79	28,1	49	46,9	12,94	0,14	1,8	42	40,09
24/10/2018	30	12,79	1,22	15,6	28	26,2	15,25	1,73	26,4	62	59,3	13,04	0,27	3,5	46	43,91
25/10/2018	31	12,98	2,09	27,1	30	28,1	17,17	1,34	23,0	51	48,8	13,01	0,15	2,0	42	40,09
26/10/2018	32	12,42	1,19	14,8	33	30,9	17,92	3,13	56,1	37	35,4	13,9	0,31	4,3	38	36,27
27/10/2018	33	12,90	1,28	16,5	30	28,1	18,14	1,11	20,1	51	48,8	13,01	0,07	0,9	47	44,86
28/10/2018	34	13,05	1,67	21,8	32	29,9	17,27	1,96	33,8	51	49,3	13,14	0,39	5,1	45	42,70
29/10/2018	35	13,17	1,55	20,4	29	27,1	19,35	0,67	13,0	61	58,4	13,13	0,39	5,1	47	44,86
30/10/2018	36	13,12	2,16	28,3	40	37,4	19,36	1,59	30,8	46	44,0	13,89	0,64	8,9	45	42,96
31/10/2018	37	13,28	1,33	17,7	36	33,7	19,32	3,11	60,1	53	50,7	13,11	0,25	3,3	45	42,96
01/11/2018	38	10,44	0,97	10,1	38	35,6	16,45	1,42	23,4	70	67,0	13,02	0,04	0,5	44	42,00
02/11/2018	39	13,47	2,63	35,4	38	35,6	18,01	3,22	58,0	51	48,8	13,08	0,51	6,7	46	43,91
03/11/2018	40	13,58	3,18	43,2	38	35,6	17,88	2,49	44,5	41	39,2	12,89	0,77	9,9	47	44,86
04/11/2018	41	12,84	1,97	25,3	37	34,1	18,40	2,08	38,3	54	51,3	13,19	0,43	5,7	46	43,59
05/11/2018	42	12,87	1,93	24,9	36	33,6	18,25	2,07	37,7	53	51,1	13,18	0,43	5,6	46	43,48
06/11/2018	43	13,53	1,77	23,9	30	28,1	18,69	1,30	24,3	59	56,4	13,2	0,62	8,2	48	45,82
07/11/2018	44	13,39	1,63	21,8	43	40,2	14,08	2,37	33,4	54	51,7	13,13	0,32	4,2	45	42,96
08/11/2018	45	13,04	1,69	22,0	41	38,4	14,13	1,51	21,3	53	50,7	17,44	0,08	1,4	46	43,91
09/11/2018	46	13,10	1,65	21,6	40	37,4	14,34	3,01	43,2	36	34,4	13,85	0,04	0,6	42	40,09
10/11/2018	47	13,50	3,12	42,1	50	46,8	16,67	1,31	21,8	60	57,4	14,38	0,06	0,9	52	49,64
11/11/2018	48	13,24	1,97	26,0	40	37,4	16,03	1,93	30,9	53	50,3	14,20	0,26	3,7	46	44,32
12/11/2018	49	13,30	1,97	26,2	41	38,0	15,66	1,90	29,8	52	50,2	14,37	0,23	3,3	47	44,45
13/11/2018	50	12,96	2,31	29,9	43	40,2	15,63	3,08	48,1	40	38,3	13,08	0,35	4,6	46	43,91
14/11/2018	51	13,60	3,12	42,4	47	44,0	15,71	2,45	38,5	51	48,8	13,13	0,25	3,3	47	44,86
15/11/2018	52	13,28	1,98	26,3	45	42,1	16,14	1,69	27,3	58	55,5	12,95	0,14	1,8	45	42,96
16/11/2018	53	17,31	2,77	47,9	52	48,6	16,67	1,41	23,5	58	55,5	13,05	0,25	3,3	48	45,82
17/11/2018	54	13,43	2,01	27,0	39	36,5	19,39	1,43	27,7	62	59,3	13,06	0,45	5,9	45	42,96
18/11/2018	55	14,12	2,44	34,4	45	42,3	16,71	2,01	33,6	54	51,5	13,05	0,29	3,8	46	44,10
19/11/2018	56	13,46	0,48	6,5	44	41,2	14,75	1,33	19,6	38	36,3	13,59	0,18	2,4	47	44,86
20/11/2018	57	13,82	2,25	31,1	41	38,4	16,61	1,27	21,1	41	39,2	13,09	0,16	2,1	47	44,86
21/11/2018	58	13,41	1,69	22,7	44	41,2	13,1	1,44	18,9	62	59,3	13,04	0,09	1,2	48	45,82
22/11/2018	59	15,41	1,77	27,3	41	38,4	19,18	0,83	15,92	61	58,4	13,08	0,08	1,0	47	44,86
23/11/2018	60	13,4	1,68	22,5	32	29,9	19,86	1,45	28,8	64	61,2	13,13	0,23	3,0	46	43,91

Tabla 9. Tabla de Datos panel policristalino en base estándar.

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

B. TABLA DE LOS DATOS COMPLETOS DEL PANEL POLICRISTALINO EN BASE TEJA DE BARRO.

TABLA DE DATOS PANEL FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO BASE TEJA DE BARRO																
FECHA	DIA	8:00 a. m.					12:00 m					5:00 p. m.				
		VOLTAJE (V) (Teja de Barro)	PORTENCIA (W) (Teja de Barro)	MEDIDOR (Teja de Barro)	TEMPERATURA (°C) REAL	VOLTAJE (V) (Teja de Barro)	PORTENCIA (W) (Teja de Barro)	MEDIDOR (Teja de Barro)	TEMPERATURA (°C) REAL	VOLTAJE (V) (Teja de Barro)	PORTENCIA (W) (Teja de Barro)	MEDIDOR (Teja de Barro)	TEMPERATURA (°C) REAL			
25/09/2018	1	12,89	2,55	32,8	34	31,8	20,61	0,46	9,4	46	44,0	13,2	0,71	9,3	46,8	
26/09/2018	2	11,04	1,1	12,1	35	32,7	14,21	3,79	53,8	43	41,1	12,84	0,06	0,7	47	
27/09/2018	3	13,21	1,72	22,7	36	33,7	21,19	4,53	95,9	46	44,0	12,82	0,22	2,8	47	
28/09/2018	4	12,91	1,76	22,7	35	32,7	15,91	2,91	46,2	47	45,0	13,08	0,44	5,7	46	
29/09/2018	5	12,42	1,02	12,6	31	29,0	15,53	2,66	41,3	40	38,3	13,07	0,72	9,4	47	
30/09/2018	6	12,49	1,63	20,6	34	32,0	17,5	2,87	49,3	44	42,5	13	0,43	5,6	47	
01/10/2018	7	13,36	2,11	28,1	33	30,9	17,65	4,09	72,1	48	45,9	13,03	0,52	6,7	48	
02/10/2018	8	13,04	2,64	34,4	36	33,7	15,83	3,53	55,8	40	38,3	12,94	0,27	3,4	46	
03/10/2018	9	12,77	0,9	11,4	35	32,7	14,2	1,35	19,8	44	42,1	12,99	0,31	4	45	
04/10/2018	10	13,31	0,2	2,6	34	31,8	18,42	4,16	76,5	38	36,3	12,95	0,34	4,4	46	
05/10/2018	11	12,44	1,26	15,6	39	36,5	15,91	2,91	46,2	47	45,0	12,86	0,21	2,7	46	
06/10/2018	12	12,15	0,98	11,9	29	27,1	12,15	0,98	11,9	29	27,7	12,5	0,09	1,12	37	
07/10/2018	13	12,85	1,35	17,3	34	32,1	15,69	2,84	47,05	41	39,2	12,88	0,29	3,72	45	
08/10/2018	14	13,88	2,93	40,6	22	20,6	13,9	1,53	21,2	50	47,8	12,81	0,12	1,5	47	
09/10/2018	15	12,01	1,04	12,4	33	30,9	14,49	4,17	60,4	45	43,0	13,14	0,18	2,3	46	
10/10/2018	16	12,46	1,76	21,9	34	31,8	19,14	5,15	98,6	45	43,0	12,9	0,42	5,4	47	
11/10/2018	17	10,94	0,89	9,7	32	29,9	13,94	3,92	54,6	41	39,2	12,55	0,41	5,1	43	
12/10/2018	18	13,42	0,3	2,6	34	31,8	18,75	3,04	57	47	45,0	12,86	0,19	2,4	45	
13/10/2018	19	11,04	0,6	6,6	33	30,9	14,4	1,09	15,6	48	45,9	12,99	0,29	3,7	46	
14/10/2018	20	12,29	1,25	15,6	31	29,3	15,77	3,15	51,2	46	44,0	12,88	0,27	3,40	46	
15/10/2018	21	12,03	0,97	11,5	33	30,8	16,08	3,42	56,2	45	43,4	12,89	0,29	3,72	45	
16/10/2018	22	13,54	3,33	45	40	37,4	15,81	2,91	46	47	45,0	12,86	0,21	2,7	46	
17/10/2018	23	13,34	2,63	35	44	41,2	13,14	1,13	14,8	56	53,6	12,7	0,15	1,9	55	
18/10/2018	24	13,55	1,76	24,2	48	44,9	13,24	1,5	19,8	55	52,6	12,8	0,06	0,7	54	
19/10/2018	25	13,69	2,83	38,7	49	45,8	21,01	2,29	48,1	63	60,3	13,11	0,8	10,4	60	
20/10/2018	26	11,75	1,05	12,3	47	44,0	15,63	2,66	41,6	56	53,6	13,15	0,72	9,4	54	
21/10/2018	27	13,17	2,32	31,0	45	42,1	15,77	2,10	34,1	55	53,0	12,92	0,39	5,02	54	
22/10/2018	28	14,01	0,98	13,7	31	29,0	17,86	3,23	57,6	44	42,1	18,33	0,52	6,8	43	
23/10/2018	29	14,37	3,21	46,1	38	35,6	15,8	1,69	26,7	45	43,0	11,03	0,18	1,09	43	
24/10/2018	30	10,25	1,23	12,6	34	31,8	14,99	1,65	24,7	38	36,3	10,81	0,28	3	43	
25/10/2018	31	13,72	1,79	24,5	24	22,5	14,2	2,33	33	49	46,9	10,6	0,14	1,4	44	
26/10/2018	32	12,89	1,26	15,6	31	29,0	15,87	3,25	51,6	46	44,0	11,69	0,29	3,3	46	
27/10/2018	33	10,97	1,34	14,6	35	32,7	11,55	1,28	14,7	48	45,9	11,19	0,05	0,5	46	
28/10/2018	34	12,70	1,64	21	32	30,1	15,05	2,24	34,7	45	43,0	12,28	0,24	2,7	44	
29/10/2018	35	11,39	1,61	18,3	28	26,2	13,84	4,42	61,1	48	45,9	11,7	0,25	2,9	46	
30/10/2018	36	13,4	1,41	18,8	42	39,3	16,62	2,29	38	48	45,9	15,63	0,35	4,9	48	
31/10/2018	37	11,32	1,77	21,6	34	31,8	13,46	5,5	74	49	46,9	11,47	0,21	2,4	47	
01/11/2018	38	12,08	1,77	21,3	36	33,7	12,36	2,54	31,3	52	49,7	11,04	0,08	0,8	41	
02/11/2018	39	12,66	2,4	31,2	37	34,6	15,96	0,34	53,3	49	46,9	11,4	0,46	5,2	42	
03/11/2018	40	12,72	2,35	29,8	32	29,9	15,63	2,76	43,1	40	38,3	13,17	0,82	10,8	46	
04/11/2018	41	12,3	1,9	23,5	35	32,6	14,6	3,0	50,1	48	45,6	12,4	0,4	4,5	45	
05/11/2018	42	12,41	1,93	24,4	36	33,7	15	2,73	48,3	48	45,5	12,5	0,38	4,8	45	
06/11/2018	43	11,19	2,14	23,9	26	24,3	11,01	3,15	34,6	48	45,9	9,98	0,51	5	46	
07/11/2018	44	10,54	1,84	18,6	31	29,0	11,72	2,05	24	46	44,0	11,85	0,19	2,2	44	
08/11/2018	45	10,32	1,87	19,2	24	22,5	12,34	2,48	30,6	45	43,0	9,6	0,08	0,7	43	
09/11/2018	46	11,21	2,23	24,9	30	28,1	11,22	3,45	38,7	36	34,4	11,22	0,41	4,6	44	
10/11/2018	47	10,46	1,97	20,6	22	20,6	20	0,77	15,4	48	45,9	11,28	1,36	15,3	46	
11/11/2018	48	10,74	2,01	21,4	27	24,9	13,26	2,38	28,7	45	42,7	10,79	0,51	5,6	45	
12/11/2018	49	10,65	1,98	20,95	27	25,0	13,71	2,23	27,5	44	42,0	10,95	0,51	5,7	44	
13/11/2018	50	9,81	0,25	22,4	27	25,3	10,7	3,09	33	36	34,4	10,2	0,29	2,2	48	
14/11/2018	51	10,16	2,25	22,8	28	26,2	11,01	4,12	38,2	38	36,3	10,3	0,21	2,1	46	
15/11/2018	52	10,66	2,44	26	25	23,4	11,78	5,87	69,1	40	38,3	9,84	0,13	1,2	45	
16/11/2018	53	11,68	4,75	55,4	38	35,6	11,55	5,66	65,3	51	48,8	10,04	0,25	2,5	44	
17/11/2018	54	11,26	1,51	17	28	26,2	12,22	5,26	64,2	40	38,3	9,92	0,39	3,8	45	
18/11/2018	55	9,98	0,28	21,6	26	24,3	11,02	5,32	65,2	41	39,2	10,02	0,41	2,7	44	
19/11/2018	56	10,2	0,64	6,5	28	26,2	10,58	1,28	13,5	40	38,3	9,84	0,21	2,1	45	
20/11/2018	57	10,55	2,32	24,1	25	23,4	10,38	3,04	31,5	38	36,3	9,33	0,17	1,5	43	
21/11/2018	58	10,87	1,46	15,8	26	24,3	11,52	4,93	56,7	45	43,0	9,42	0,12	1,1	44	
22/11/2018	59	11,04	1,22	13,4	31	29,0	11,52	5,61	64,6	45	43,0	9,61	0,08	0,8	43	
23/11/2018	60	11,63	2,15	25	30	28,1	11	3,41	37,5	50	47,8	9,98	0,53	5,3	44	

Tabla 10. Tabla de Datos panel policristalino en base teja de barro.

Fuente: Autores

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

C. PROMEDIOS MENSUALES DE BRILLO SOLAR EN LAS PRINCIPALES CUADES DE COLOMBIA

PROMEDIOS MENSUALES DE BRILLO SOLAR EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL PAÍS (HORAS DE SOL AL DÍA)																				
Estación	Municipio	Departamento	Lat.	Long	Elevación (m.s.n.m)	Valor promedio (horas de Sol al día)												Promedio anual	Período de información (Años aproximados con información)	
						ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
Aeropuerto Vásquez Cobo	Leticia	Amazonas	-4,19	-69,94	84	4,3	4,1	4,2	4,7	4,8	5,0	6,0	6,4	5,9	5,2	4,6	5,1	ene-82 a dic-16 (32)		
Aeropuerto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	6,22	-75,59	1516	5,6	5,3	4,8	4,1	4,5	5,6	6,5	6,1	5,0	4,3	4,5	4,9	5,1	abr-87 a dic-16 (30)	
Aeropuerto Santiago Pérez	Arauca	Arauca	7,07	-70,74	128	8,8	8,1	6,5	5,3	5,0	4,5	4,7	5,3	6,0	6,5	7,0	8,0	6,3	jul-81 a dic-16 (34)	
Las Flores	Barranquilla	Atlántico	11,04	-74,82	8	7,9	7,8	7,1	6,7	5,7	6,2	6,8	6,7	5,9	5,5	6,2	7,0	6,6	jul-80 a oct-13 (22)	
Aeropuerto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	10,45	-75,52	2	8,9	8,6	7,7	7,0	6,2	6,3	6,8	6,5	5,8	5,5	6,3	7,8	6,9	jul-79 a dic-16 (34)	
UPICT	Tunja	Boyacá	5,54	-73,36	2690	7,4	6,7	5,6	4,7	4,3	4,3	4,6	4,9	5,1	5,0	5,4	6,6	5,4	ene-79 a sep-16 (37)	
Aeropuerto La Nubia	Manizales	Caldas	5,03	-75,47	2104	5,4	4,9	4,1	3,5	3,5	4,0	4,9	4,5	3,8	3,4	3,7	4,6	4,2	ene-79 a oct-16 (31)	
Aeropuerto Gustavo Artunduaga	Florencia	Caquetá	1,59	-75,62	244	5,7	4,3	3,4	3,4	3,5	3,3	3,4	4,1	4,8	4,9	5,5	6,3	ene-79 a may-16 (33)		
Aeropuerto Yopal (El Alcaraván)	Yopal	Casanare	5,32	-72,39	325	8,1	7,0	5,1	4,3	4,6	4,2	4,4	4,8	5,5	5,8	6,3	7,8	5,6	sep-78 a nov-16 (32)	
Aeropuerto Guillermo León Valencia	Popayán	Cauca	2,45	-76,61	1752	5,2	4,6	3,9	3,7	3,8	4,9	5,6	5,4	4,6	3,8	3,9	4,5	4,5	abr-80 a dic-16 (33)	
Aeropuerto Alfonso López	Villavieja	Cundinamarca	10,44	-73,25	138	9,2	8,8	7,8	6,8	6,2	6,9	7,1	6,8	6,3	4,4	7,4	8,5	7,4	dic-83 a oct-16 (30)	
Aeropuerto El Carajo	Quibdó	Choco	5,69	-76,64	75	2,8	2,8	2,7	3,1	3,5	3,8	4,2	4,2	3,8	3,7	3,6	3,0	3,4	mar-79 a dic-16 (33)	
Universidad de Córdoba	Monteña	Córdoba	8,79	-75,86	15	7,6	7,2	6,2	5,3	4,7	5,4	6,3	5,9	5,0	5,3	6,0	6,2	5,9	ago-79 a jun-16 (30)	
Aeropuerto El Dorado	Bogotá	Cundinamarca	4,71	-74,15	2547	6,0	5,2	4,4	3,5	3,5	3,9	4,3	4,4	4,1	3,8	4,2	5,1	4,4	ene-80 a sept-16 (32)	
Puerto Inírida	Inírida	Guainía	3,87	-67,93	100	7,0	6,3	5,5	4,4	3,8	4,1	4,5	5,2	5,7	5,6	5,6	5,9	5,3	dic-78 a dic-16 (31)	
El Trueno	San José Del Guaviare	Guaviare	2,37	-72,64	150	5,8	5,1	3,9	3,4	3,3	3,1	3,3	3,9	4,6	4,7	4,6	5,0	4,2	sep-82 a nov-16 (31)	
Aeropuerto Benito Salas	Neiva	Huila	2,95	-75,29	439	6,5	5,7	4,9	5,0	5,3	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,5	6,0	5,5	mar-78 a dic-16 (37)
Aeropuerto Almirante Padilla	Riohacha	La Guajira	11,53	-72,92	4	8,5	8,1	7,4	6,7	6,3	7,8	8,4	8,1	6,9	6,7	7,2	7,8	7,5	dic-76 a ago-16 (33)	
Aeropuerto Simón Bolívar	Santa Marta	Magdalena	11,13	-72,23	4	9,1	8,8	8,3	7,6	7,1	7,4	7,5	7,1	6,8	6,4	7,3	8,6	7,7	sep-84 a nov-16 (30)	
Aeropuerto Vangardía	Villavieja	Meta	6,16	-73,62	422	5,5	4,7	3,6	3,7	3,9	3,7	3,8	4,4	4,1	5,2	4,8	5,3	6,5	ene-79 a dic-16 (37)	
El Encano	Pasto	Nariño	1,16	-77,16	2830	3,2	2,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,5	2,9	3,1	3,2	2,5	jun-85 a dic-16 (30)	
Aeropuerto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	7,93	-72,51	290	6,5	6,0	5,0	4,9	5,7	5,9	6,5	7,0	6,4	6,3	6,3	6,3	6,1	may-79 a ago-16 (33)	
Acueducto Mocoa	Mocoa	Putumayo	1,16	-76,65	650	3,2	2,9	2,6	2,6	2,4	2,2	2,3	2,9	3,6	3,6	3,6	3,6	3,0	oct-85 a dic-16 (29)	
Aeropuerto El Edén	Armenia	Quindío	4,45	-75,77	1229	5,6	5,1	4,5	4,3	4,1	4,7	5,8	6,1	5,0	4,4	4,4	4,8	4,9	oct-92 a dic-16 (24)	
Aeropuerto Matecaña	Perrita	Risaralda	4,82	-75,74	1342	6,1	5,6	5,0	4,4	4,4	5,0	5,9	5,9	5,1	4,6	4,9	5,4	5,2	sep-80 a dic-16 (33)	
Aeropuerto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	12,54	-81,73	1	8,2	8,6	9,2	9,4	7,6	6,1	6,6	7,2	6,3	6,0	5,9	6,9	7,3	ene-80 a dic-16 (33)	
Aeropuerto El Embudo	Providencia	San Andrés y Providencia	13,36	-81,36	7	7,5	8,2	8,6	9,0	7,7	6,5	7,0	7,6	6,7	6,1	5,8	6,5	7,3	ene-80 a dic-16 (33)	
Universidad Industrial Santander	Bucaramanga	Santander	7,14	-75,12	1018	5,9	5,2	4,3	3,8	3,8	3,6	3,8	4,1	4,1	3,2	3,3	4,0	4,0	ene-79 a jul-16 (32)	
Aeropuerto de Sucre	Sucumbé	Sucumbé	9,32	-75,39	160	7,3	6,8	5,7	4,8	4,4	5,5	6,1	5,5	4,5	4,8	6,0	5,5	ene-84 a ene-16 (29)		
Aeropuerto Perales	Ibagué	Tolima	4,42	-75,14	943	5,8	5,1	4,5	4,6	5,0	5,6	6,2	6,3	6,0	5,1	4,7	5,2	5,3	ene-79 a dic-16 (34)	
Universidad del Valle	Calí	Valle	3,38	-76,53	985	1,8	1,4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	jul-84 a dic-16 (31)	
Misú	Misú	Vaupés	1,26	-70,24	180	4,3	3,8	3,9	3,7	3,3	3,5	3,6	4,7	4,9	4,8	4,7	4,1	4,1	jul-94 a dic-16 (17)	
Aeropuerto Puerto Carreño	Puerto Carreño	Vichada	6,18	-67,49	57	8,4	8,1	7,2	5,6	4,6	4,1	4,5	4,7	5,4	6,3	6,9	7,6	6,1	ene-78 a dic-16 (37)	

Tabla 11. Tabla de datos horas de sol al día en Colombia hasta el año 2016 (Benavides Ballesteros , Simbaqueva Fonseca , & Zapata Lesmes , 2017).

D. PROMEDIOS MENSUALES DE BRILLO SOLAR EN LAS PRINCIPALES CUADES DE COLOMBIA

PROMEDIOS MENSUALES DEL NÚMERO DE DÍAS SIN BRILLO SOLAR EN LAS PRINCIPALES CIUDADES DEL PAÍS																			
Estación	Municipio	Departamento	Lat.	Long	Elevación (m.s.n.m)	Promedio del número de días sin brillo solar												Promedio anual	Período de información (Años aproximados con información)
						ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
Aeropuerto Vásquez Cobo	Leticia	Amazonas	-4,19	-69,94	84	2,77	2,68	3,13	2,42	2,48	2,58	1,71	1,35	1,74	1,77	2,23	2,1	2,25	ene-82 a abr-12 (31)
Aeropuerto Olaya Herrera	Medellín	Antioquia	6,22	-75,59	1816	1,22	1,08	1,81	2,35	1,81	1,3	0,51	0,51	1,43	1,86	1,51	1,76	1,44	abr-87 a dic-16 (34)
Aeropuerto Santiago Pérez	Arauca	Arauca	7,07	-70,74	128	0,16	0,52	1,32	2,23	2,97	3,42	3,68	2	1,35	1,1	1,16	0,45	1,7	jul-81 a dic-16 (31)
Las Flores	Barranquilla	Atlántico	11,04	-74,82	8	0,11	0,18	0,57	0,64	1,68	1,71	0,82	0,61	1,04	1,14	0,75	0,5	0,81	jul-80 a may-12 (22)
Aeropuerto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	10,45	-75,52	2	0,03	0,03	0,5	0,91	2,21	2,76	1,68	1,38	1,94	2,91	2,03	0,88	1,44	jul-79 a dic-16 (33)
UPICT	Tunja	Boyacá	5,54	-73,36	2690	0,09	0,45	1,06	1,61	1,48	1,62	0,88	0,58	0,64	0,88	0,88	0,3	0,83	ene-79 a jul-12 (33)
Aeropuerto La Nubia	Manizales	Caldas	5,03	-75,47	2104	1,48	1,97	2,88	4,06	3,64	2,7	1,7	1,45	2,79	3,58	2,94	2,24	2,62	ene-79 a oct-12 (31)
Aeropuerto Gustavo Artunduaga	Florencia	Caquetá	1,59	-75,56	244	1,33	3,61	5,06	5,24	5,12	6,58	7,15	4,24	2,42	2,12	2,21	1,45	3,88	ene-76 a dic-12 (32)
Aeropuerto Yopal (El Alcaraván)	Yopal	Casanare	5,32	-72,39	325	0,33	0,91	2,15	2,79	2,48	3,52	2,91	2	1,82	1,39	1,09	0,36	1,81	sep-78 a ago-12 (31)
Aeropuerto Guillermo León Valencia	Popayán	Cauca	2,45	-76,61	1752	1,3	1,45	2,76	3,03	2,99	1,09	0,36	0,39	1,45	2,24	1,88	1,64	1,7	abr-80 a nov-15 (33)
Aeropuerto Alfonso López	Villavieja	Cundinamarca	10,44	-73,25	138	0,07	0,1	0,17	0,52	0,76	0,9	0,62	0,31	0,72	0,69	0,41	0,14	0,45	dic-83 a oct-12 (27)
Aeropuerto El Carajo	Quibdó	Choco	5,69	-76,64	75	5,67	4,79	6,7	5,88	5,24	3,79	3,12	2,55	3,82	4,39	4,42	5,91	4,69	mar-79 a nov-12 (33)
Universidad de Córdoba	Monteña	Córdoba	8,79	-75,86	15	0,15	0,3	0,97	1,52	2,29	2,03	1,68	1,18	2,91	1,42	0,73	0,64	1,34	ago-79 a feb-12 (31)
Aeropuerto El Dorado	Bogotá	Cundinamarca	4,71	-74,15	2547	0,59	1,22	2,03	2,56	2,09	1,31	0,78	0,5	1,22	1,59	1,16	1,25	1,36	ene-82 a abr-12 (31)
Puerto Inírida	Inírida	Guainía	3,87	-67,93	100	0,89	1,23	1,51	2,09	3,14	2,54	2,03	1,17	0,83	1,09	1,8	0,77	1,59	dic-78 a dic-16 (31)
El Trueno	San José Del Guaviare	Guaviare	2,37	-72,64	150	1,1	1,57	3,23	3,43	3,8	3,4	4,03	3,2	2,03	2,07	2,27	1,87	2,67	sep-82 a dic-16 (30)
Aeropuerto Benito Salas	Neiva	Huila	2,95	-75,29	439	0,36	0,94	1,88	1,61	1,64	0,91	0,61	0,52	0,52	0,97	0,82	0,94	0,97	mar-78 a dic-12 (33)
Aeropuerto Almirante Padilla	Riohacha	La Guajira	11,53	-72,92	4	0,09	0,2	0,66	0,71	1,06	0,69	0,14	0,31	0,46	0,31	0,34	0,23	0,43	dic-76 a nov-12 (30)
Aeropuerto Simón Bolívar	Santa Marta	Magdalena	11,13	-74,23	4	0,04	0	0,15	0,56	1	0,7	0,56	0,3	0,81	0,37	0,7	0,3	0,5	ene-84 a dic-12 (26)
Aeropuerto Vangardía	Villavieja	Meta	6,16	-73,62	422	0,94	1,94	3,32	3,09	3,15	3,88	3,85	2,68	1,74	1,18	1,26	1,12	2,35	ene-79 a dic-16 (34)
El Abasco	Pasto	Nariño	1,16	-77,30	2710	4,53	4,76	5,47	4,03	3,35	2,21	1,53	1,53	2,35	2,79	3,09	3,21	3,24	jun-85 a dic-12 (28)
Aeropuerto Camilo Daza	Cúcuta	N. de Santander	7,93	-72,51	250	1,45	2,21	3,48	2,82	1,27	1,06	0,79	0,24	0,45	0,67	0,55	1,18	1,35	may-79 a dic-12 (31)
Acueducto Mocoa	Mocoa	Putumayo	1,16	-76,65	650	4,43	5,11	6,89	6,07	6,46	7,61	8,43	7,07	4	2,86	3,11	3,71	5,48	oct-85 a dic-12 (28)</

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

E. TABLA DE TERMOCUPLA TIPO J.

TERMOCUPLA °C	J		milivolts							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-210	-8.096									
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868
-180	-7.402	-7.429	-7.455	-7.482	-7.508	-7.533	-7.559	-7.584	-7.609	-7.634
-170	-7.122	-7.151	-7.180	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.375
-160	-6.821	-6.852	-6.883	-6.914	-6.944	-6.974	-7.004	-7.034	-7.064	-7.093
-150	-6.499	-6.532	-6.565	-6.598	-6.630	-6.663	-6.695	-6.727	-6.758	-6.790
-140	-6.159	-6.194	-6.228	-6.263	-6.297	-6.331	-6.365	-6.399	-6.433	-6.466
-130	-5.801	-5.837	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.053	-6.089	-6.124
-120	-5.426	-5.464	-5.502	-5.540	-5.578	-5.615	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764
-110	-5.036	-5.076	-5.115	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.349	-5.388
-100	-4.632	-4.673	-4.714	-4.755	-4.795	-4.836	-4.876	-4.916	-4.956	-4.996
-90	-4.215	-4.257	-4.299	-4.341	-4.383	-4.425	-4.467	-4.508	-4.550	-4.591
-80	-3.785	-3.829	-3.872	-3.915	-3.958	-4.001	-4.044	-4.087	-4.130	-4.172
-70	-3.344	-3.389	-3.433	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742
-60	-2.892	-2.938	-2.984	-3.029	-3.074	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.299
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.570	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847
-40	-1.960	-2.008	-2.055	-2.102	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.384
-30	-1.481	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.141	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.748	-0.798	-0.847	-0.896	-0.945
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.743	2.796	2.849	2.902	2.956	3.009	3.062
60	3.115	3.168	3.221	3.275	3.328	3.381	3.435	3.488	3.542	3.595
70	3.649	3.702	3.756	3.809	3.863	3.917	3.971	4.024	4.078	4.132
80	4.186	4.239	4.293	4.347	4.401	4.455	4.509	4.563	4.617	4.671
90	4.725	4.780	4.834	4.888	4.942	4.996	5.050	5.105	5.159	5.213
100	5.268	5.322	5.376	5.431	5.485	5.540	5.594	5.649	5.703	5.758
110	5.812	5.867	5.921	5.976	6.031	6.085	6.140	6.195	6.249	6.304
120	6.359	6.414	6.468	6.523	6.578	6.633	6.688	6.742	6.797	6.852
130	6.907	6.962	7.017	7.072	7.127	7.182	7.237	7.292	7.347	7.402
140	7.457	7.512	7.567	7.622	7.677	7.732	7.787	7.843	7.898	7.953
150	8.008	8.063	8.118	8.174	8.229	8.284	8.339	8.394	8.450	8.505
160	8.560	8.616	8.671	8.726	8.781	8.837	8.892	8.947	9.003	9.058
170	9.113	9.169	9.224	9.279	9.335	9.390	9.446	9.501	9.556	9.612
180	9.667	9.723	9.778	9.834	9.889	9.944	10.000	10.055	10.111	10.166
190	10.222	10.277	10.333	10.388	10.444	10.499	10.555	10.610	10.666	10.721
200	10.777	10.832	10.888	10.943	10.999	11.054	11.110	11.165	11.221	11.276
210	11.332	11.387	11.443	11.498	11.554	11.609	11.665	11.720	11.776	11.831
220	11.887	11.943	11.998	12.054	12.109	12.165	12.220	12.276	12.331	12.387
230	12.442	12.498	12.553	12.609	12.664	12.720	12.776	12.831	12.887	12.942
240	12.998	13.053	13.109	13.164	13.220	13.275	13.331	13.386	13.442	13.497
250	13.553	13.608	13.664	13.719	13.775	13.830	13.886	13.941	13.997	14.052
260	14.108	14.163	14.219	14.274	14.330	14.385	14.441	14.496	14.552	14.607
270	14.663	14.718	14.774	14.829	14.885	14.940	14.995	15.051	15.106	15.162
280	15.217	15.273	15.328	15.383	15.439	15.494	15.550	15.605	15.661	15.716
290	15.771	15.827	15.882	15.938	15.993	16.048	16.104	16.159	16.214	16.270
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Nota Técnica 2, rev. b, <http://www.arian.cl>

Implementación y análisis de la eficiencia energética de un panel fotovoltaico policristalino en una superficie de teja de barro con respecto a un panel en superficie estándar

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	16.325	16.380	16.436	16.491	16.547	16.602	16.657	16.713	16.768	16.823
310	16.879	16.934	16.989	17.044	17.100	17.155	17.210	17.266	17.321	17.376
320	17.432	17.487	17.542	17.597	17.653	17.708	17.763	17.818	17.874	17.929
330	17.984	18.039	18.095	18.150	18.205	18.260	18.316	18.371	18.426	18.481
340	18.537	18.592	18.647	18.702	18.757	18.813	18.868	18.923	18.978	19.033
350	19.089	19.144	19.199	19.254	19.309	19.364	19.420	19.475	19.530	19.585
360	19.640	19.695	19.751	19.806	19.861	19.916	19.971	20.026	20.081	20.137
370	20.192	20.247	20.302	20.357	20.412	20.467	20.523	20.578	20.633	20.688
380	20.743	20.798	20.853	20.909	20.964	21.019	21.074	21.129	21.184	21.239
390	21.295	21.350	21.405	21.460	21.515	21.570	21.625	21.680	21.736	21.791
400	21.846	21.901	21.956	22.011	22.066	22.122	22.177	22.232	22.287	22.342
410	22.397	22.453	22.508	22.563	22.618	22.673	22.728	22.784	22.839	22.894
420	22.949	23.004	23.060	23.115	23.170	23.225	23.280	23.336	23.391	23.446
430	23.501	23.556	23.612	23.667	23.722	23.777	23.833	23.888	23.943	23.999
440	24.054	24.109	24.164	24.220	24.275	24.330	24.386	24.441	24.496	24.552
450	24.607	24.662	24.718	24.773	24.829	24.884	24.939	24.995	25.050	25.106
460	25.161	25.217	25.272	25.327	25.383	25.438	25.494	25.549	25.605	25.661
470	25.716	25.772	25.827	25.883	25.938	25.994	26.050	26.105	26.161	26.216
480	26.272	26.328	26.383	26.439	26.495	26.551	26.606	26.662	26.718	26.774
490	26.829	26.885	26.941	26.997	27.053	27.109	27.165	27.220	27.276	27.332
500	27.388	27.444	27.500	27.556	27.612	27.668	27.724	27.780	27.836	27.893
510	27.949	28.005	28.061	28.117	28.173	28.230	28.286	28.342	28.398	28.455
520	28.511	28.567	28.624	28.680	28.736	28.793	28.849	28.906	28.962	29.019
530	29.075	29.132	29.188	29.245	29.301	29.358	29.415	29.471	29.528	29.585
540	29.642	29.698	29.755	29.812	29.869	29.926	29.983	30.039	30.096	30.153
550	30.210	30.267	30.324	30.381	30.439	30.496	30.553	30.610	30.667	30.724
560	30.782	30.839	30.896	30.954	31.011	31.068	31.126	31.183	31.241	31.298
570	31.356	31.413	31.471	31.528	31.586	31.644	31.702	31.759	31.817	31.875
580	31.933	31.991	32.048	32.106	32.164	32.222	32.280	32.338	32.396	32.455
590	32.513	32.571	32.629	32.687	32.746	32.804	32.862	32.921	32.979	33.038
600	33.096	33.155	33.213	33.272	33.330	33.389	33.448	33.506	33.565	33.624
610	33.683	33.742	33.800	33.859	33.918	33.977	34.036	34.095	34.155	34.214
620	34.273	34.332	34.391	34.451	34.510	34.569	34.629	34.688	34.748	34.807
630	34.867	34.926	34.986	35.046	35.105	35.165	35.225	35.285	35.344	35.404
640	35.464	35.524	35.584	35.644	35.704	35.764	35.825	35.885	35.945	36.005
650	36.066	36.126	36.186	36.247	36.307	36.368	36.428	36.489	36.549	36.610
660	36.671	36.732	36.792	36.853	36.914	36.975	37.036	37.097	37.158	37.219
670	37.280	37.341	37.402	37.463	37.525	37.586	37.647	37.709	37.770	37.831
680	37.893	37.954	38.016	38.078	38.139	38.201	38.262	38.324	38.386	38.448
690	38.510	38.572	38.633	38.695	38.757	38.819	38.882	38.944	39.006	39.068
700	39.130	39.192	39.255	39.317	39.379	39.442	39.504	39.567	39.629	39.692
710	39.754	39.817	39.880	39.942	40.005	40.068	40.131	40.193	40.256	40.319
720	40.382	40.445	40.508	40.571	40.634	40.697	40.760	40.823	40.886	40.950
730	41.013	41.076	41.139	41.203	41.266	41.329	41.393	41.456	41.520	41.583
740	41.647	41.710	41.774	41.837	41.901	41.965	42.028	42.092	42.156	42.219
750	42.283	42.347	42.411	42.475	42.538	42.602	42.666	42.730	42.794	42.858
760	42.922									
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabla 13. Tabla de termocupla tipo J. (Arian, s.f).