

Evaluación de Desempeño Energético entre un Panel Fotovoltaico y un Colector Solar Híbrido
(Térmico y Fotovoltaico)

Sergio Andrés Ortega López y Andrey Alberto Caballero Galvis

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director:

Julián Ernesto Jaramillo Fuentes

Ingeniero Mecánico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Bucaramanga

2023

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Planteamiento del Problema	13
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo General	14
3. Justificación	15
4. Marco Teórico.....	15
4.1 Definición de Energía	15
4.2 Energías Renovables	15
4.3 Energía Solar.....	16
4.4 Radiación Solar.....	16
4.5 Energía Solar Térmica	17
4.6 Elementos del Sistema Solar Térmico.....	18
4.7 Colectores Solares.....	19
4.7.1 Partes de un Colector Solar Plano.....	19
4.8 Paneles Fotovoltaicos.....	20
4.8.1 Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos.....	21
5. Metodología	23
5.1 Tipo de Investigación.....	23
5.2 Población.....	24
5.3 Estado del Arte.....	24

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	3
5.3.1 Internacional	24
5.3.2 Nacional	25
5.4 Modelos Matemáticos.....	26
5.5 Impacto del Proyecto	27
6. Inspección y Renovación de Bancos de Energía Solar.....	28
6.1 Inspección y Renovación del Sistema Híbrido (Térmico Fotovoltaico).....	28
6.1.1 Inspección de los Equipos e Implementos Otorgados	29
6.2.2 Selección y Filtración de Información.....	30
6.2.2.1 Cálculo de la Demanda Energética Total.....	30
6.2.2.2 Selección del Módulo Fotovoltaico Híbrido.....	31
6.2 Inspección y Renovación Sistema Fotovoltaico	32
6.2.1 Inspección de los Equipos e Implementos	33
6.2.2 Selección y Filtración de Información.....	34
6.2.2.1 Cálculo de la Demanda Energética Total.....	34
6.2.2.2 Selección del Módulo Fotovoltaico.....	35
6.2.2.3 Selección del Controlador o Regulador de Carga.....	36
6.2.2.4 El Inversor.....	36
7. Sistema de Conversión de Energía Fotovoltaica e Híbrida	37
7.1 Partes del Sistema de Energía Fotovoltaica e Híbrida.....	37
7.1.1 Panel Solar	37
7.1.2 Regulador de Carga.....	37
7.1.3 Inversor	38
7.1.4 Batería	38

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	4
7.1.5 Arduino Uno R3.....	39
7.1.6 Sensores de voltaje.....	39
7.1.7 Sensores de Corriente	40
7.1.8 Arduino Mega	40
7.1.9 Termopar Tipo K y Modulo de Termopar	41
7.1.10 Tanque.....	41
7.1.11 Serpentín de Tubos	42
7.1.12 Válvula Reguladora de Caudal	43
7.1.13 Bomba.....	43
8. Sistema de Adquisición de Datos	44
8.1 Diagrama de Conexión del Sistema de Medición de Temperatura.....	44
8.2 Diagrama de Conexión General de Sistema Eléctrico para los Diferentes Bancos de Energía Solar	45
8.3 Diagrama de Conexión del Sistema de Medición de Voltajes y Corrientes.....	45
8.4 Optimización de la Conexión para los Medidores de Temperaturas, Voltaje y Corriente	46
8.5 Plataforma Meteorológica de la Página WEATHERLINK (Con la Estación Ubicada en el Edificio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander)	47
9. Descripción de los Montajes para las Pruebas	48
10. Resultados.....	48
10.1 Cálculo de la Radiación total Recibida en el Colector Solar en el Plano Inclinado.	48
10.2 Cálculo de Eficiencias y Calores Necesarios para Realizar el Análisis de Desempeño.....	53
10.3 Resultados de las Pruebas Realizadas en el Banco de Energía Solar Fotovoltaico	55
10.4 Resultados de las Pruebas Realizadas en el Banco de Energía Solar Híbrido.....	60

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	5
11. Costos.....	69
12. Conclusiones.....	70
Referencias Bibliográficas	72
Apéndices.....	76

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Carga del sistema fotovoltaico</i>	30
Tabla 2. <i>Características eléctricas del panel solar YINGLI SOLAR JS 145P17b</i>	32
Tabla 3. <i>Análisis energético con potencia AC</i>	34
Tabla 4. <i>Especificaciones del módulo</i>	35
Tabla 5. <i>Especificaciones</i>	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Radiación solar</i>	18
Figura 2. <i>Estructura de un Colector Solar Plano.</i>	19
Figura 3. <i>Corte transversal de un Colector Plano.</i>	20
Figura 4. <i>Efecto Fotoeléctrico.</i>	20
Figura 5. <i>Paneles solares fotovoltaicos.</i>	21
Figura 6. <i>Sistema híbrido fotovoltaico / térmico.</i>	23
Figura 7. <i>Etapas de activación del banco híbrido (térmico y fotovoltaico)</i>	28
Figura 8. <i>Tareas realizadas en las etapas de activación del banco híbrido (térmico y fotovoltaico)</i>	29
Figura 9. <i>Representación del estado del panel híbrido</i>	29
Figura 10. <i>Módulo fotovoltaico</i>	32
Figura 11. <i>Etapas de activación del banco fotovoltaico off grid</i>	32
Figura 12. <i>Tareas realizadas en las etapas de activación del banco fotovoltaico off grid</i>	33
Figura 13. <i>Representación del estado del panel</i>	33
Figura 14. <i>Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico Off grid</i>	34
Figura 15. <i>Módulo fotovoltaico YINGLI SOLAR</i>	37
Figura 16. <i>Regulador de carga Ocean Dream Series</i>	38
Figura 17. <i>Inversor Marca Cobra</i>	38
Figura 18. <i>Batería marca Netion</i>	39
Figura 19. <i>Arduino UNO R3</i>	39

EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO	8
Figura 20. <i>Sensor de Voltaje Fz0430</i>	40
Figura 21. <i>Sensor de corriente ACS712</i>	40
Figura 22. <i>Arduino MEGA Steren</i>	41
Figura 23. <i>Termopar tipo k con modulo MAX 6675</i>	41
Figura 24. <i>Tanque de almacenamiento de agua</i>	42
Figura 25. <i>Serpentín de tubos</i>	42
Figura 26. <i>Válvula reguladora de caudal</i>	43
Figura 27. <i>Bomba de abastecimiento</i>	43
Figura 28. <i>Diagrama de conexión para el funcionamiento de las Termopars.</i>	44
Figura 29. <i>Conexión general para el funcionamiento de los bancos solares</i>	45
Figura 30. <i>Diagrama de conexión para el funcionamiento del sistema de medición de voltaje y corriente</i>	46
Figura 31. <i>Placa de circuito impreso para conexiones</i>	47
Figura 32. <i>Plataforma meteorológica de WEATHERLINK</i>	47
Figura 33. <i>Bancos de energía solar en funcionamiento.</i>	48
Figura 34. <i>Localización del banco de energía solar para las pruebas realizadas.</i>	49
Figura 35. <i>Radiación global (29/06/2023) [0°]</i>	55
Figura 36. <i>Radiación global (30/06/2023) [30°]</i>	56
Figura 37. <i>Radiación global (04/07/2023) [10°]</i>	56
Figura 38. <i>Corrientes del panel [A] (29/06/2023) [0°]</i>	57
Figura 39. <i>Corrientes del panel (30/06/2023)[30°]</i>	57
Figura 40. <i>Corriente del panel [A] (04/07/2023)[10°]</i>	58
Figura 41. <i>Eficiencia eléctrica [%] (29/06/2023) [0°]</i>	58

Figura 42. <i>Eficiencia eléctrica [%] (30/06/2023)[30°]</i>	59
Figura 43. <i>Eficiencia eléctrica [%] (04/07/2023) [10°]</i>	59
Figura 44. <i>Temperatura del agua en el tanque [°C] (05/07/2023) [0°]</i>	60
Figura 45. <i>Temperatura del agua en el tanque [°C] (13/07/2023) [10°]</i>	61
Figura 46. <i>Temperatura del agua en el tanque [°C] 14/07/2023 [30°]</i>	61
Figura 47. <i>Radiación global [W/m²] (05/07/2023) [0°]</i>	62
Figura 48. <i>Radiación global [W/m²] (13/07/2023) [10°]</i>	62
Figura 49. <i>Radiación global [W/m²] 14/07/2023 [30°]</i>	63
Figura 50. <i>Calor útil [KJ] (05/07/2023) [0°]</i>	63
Figura 51. <i>Calor útil [KJ] (13/07/2023) [10°]</i>	64
Figura 52. <i>Calor útil [KJ] 14/07/2023 [30°]</i>	64
Figura 53. <i>Eficiencia eléctrica [%] (05/07/2023) [0°]</i>	65
Figura 54. <i>Eficiencia eléctrica (%) (13/07/2023) [10°]</i>	65
Figura 55. <i>Eficiencia eléctrica [%] 14/07/2023 [30°]</i>	66
Figura 56. <i>Eficiencia térmica [%] (05/07/2023) [0°]</i>	66
Figura 57. <i>Eficiencia térmica [%] (13/07/2023) [10°]</i>	67
Figura 58. <i>Eficiencia térmica [%] 14/07/2023 [30°]</i>	67
Figura 59. <i>Eficiencia del banco [%] (05/07/2023) [0°]</i>	68
Figura 60. <i>Eficiencia del banco híbrido[%] (13/07/2023) [10°]</i>	68
Figura 61. <i>Eficiencia del banco [%] 14/07/2023 [30°]</i>	69
Figura 62. <i>Costos de los implementos utilizados en el proyecto</i>	70

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Códigos de Arduino utilizados para las mediciones de los bancos de energía solar</i>	76
Apéndice B. <i>Resultados obtenidos en las pruebas del banco de energética solar fotovoltaica</i>	80
Apéndice C. <i>Resultados obtenidos en las pruebas del banco de energética solar hibrido</i>	82

Introducción

Las energías renovables son el nuevo foco de concentración para la creación de máquinas innovadoras ya que se busca bajar la contaminación en todo el mundo ya que el calentamiento global está pasando factura por todo el “desorden” que se ha creado y utilizado al pasar de los años. Para esto se ha buscado aprovechar la energía solar para así proporcionar energía térmica o eléctrica por medio de colectores solares que convierten las ondas electromagnéticas de radiación en energía ya que esto puede abastecer un hogar con todos los electrodomésticos convencionales si se tiene en cuenta el comportamiento del sol para almacenar la mayor cantidad de energía solar. Por otro lado, la Universidad Industrial de Santander tiene un laboratorio especializado en las energías renovables el cual era usado para nutrir el semillero de energías renovables, pero su actividad se ha reducido por la pandemia y estos equipos también son necesarios para algunas prácticas de la asignatura de sistemas térmicos.

En la Universidad se han estado realizando muchas remodelaciones comenzando con la primera facultad de ingeniería, la cual es la facultad de Ingeniería Mecánica (vélgase la redundancia). Se decidió construir un nuevo e innovador edificio para el mejoramiento del ambiente de estudio y los laboratorios, ya que la Escuela se veía en la obligación de depender de otras facultades para la realización de prácticas. Esta remodelación provocó que algunos laboratorios se deterioraran por falta de mantenimiento y por el traslado de los elementos con todo lo que implicaba la construcción del nuevo edificio. Al terminar la edificación y ordenar todos los laboratorios con sus bancos para sus respectivas prácticas algunos estaban incompletos y en unas condiciones algo deplorables. A raíz de esto se busca que los laboratorios se aprovechen a su

máximo esplendor ya que se cuenta con espacios aptos para las prácticas necesarias para los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

1. Planteamiento del Problema

En la Universidad Industrial De Santander han realizado varios proyectos de grado los cuales incluyen la construcción de prototipos de máquinas térmicas; en este caso con energías renovables para el estudio y la comprensión de los fenómenos termodinámicos que se presentan en distintas ocasiones y escenarios. Producto del traslado de los equipos desde el antiguo laboratorio y falta de mantenimiento se han degradado algunos bancos del laboratorio que pueden ser usados para prácticas de asignaturas en pregrado para que los nuevos estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica tengan un encuentro con un aparato térmico acercado a los que se pueden encontrar en su campo de acción en su vida profesional.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño entre un panel fotovoltaico y un colector híbrido en el laboratorio de sistemas térmicos de la Universidad Industrial de Santander

2.2 Objetivos Específicos

Poner en marcha el funcionamiento del panel fotovoltaico y el colector solar híbrido (térmico y fotovoltaico) ubicados en el laboratorio de sistemas térmicos.

Examinar la cantidad de energía eléctrica producida por unidad de área de apertura para el panel fotovoltaico teniendo en cuenta si hay enfriamiento y cuando carece de este.

Comparar la energía total producida por el panel fotovoltaico y el panel con colector adosado.

3. Justificación

Como se comentó anteriormente las energías renovables poseen una importancia elevada en la actualidad ya que el calentamiento global está causando cambios considerables en la climatización de algunos países. Por lo cual en las universidades se construyen una cantidad considerable de prototipos que aprovechan energías limpias para sustentar una idea como proyecto de grado, algunas de ideas son conservadas por la universidad. En esta ocasión se encuentra dos prototipos en el laboratorio de energías renovables que necesitan una renovación y mantenimiento de piezas. El enfoque del presente trabajo de grado está en el sector educativo, ya que se busca aprovechar el funcionamiento de los bancos térmicos para el aprendizaje de los estudiantes en el área de transferencia de calor por radiación y el aprovechamiento de la energía solar.

4. Marco Teórico

4.1 Definición de Energía

La energía tiene como definición la capacidad para realizar un trabajo existiendo muchos tipos como el eléctrico, mecánico, solar, térmico, etc.

Estas clasificaciones parten del mismo principio la conservación de la energía ya que esta misma emerge de forma espontánea ni tampoco desaparece abruptamente, siempre está destinada a cambiar transformándose de un tipo de energía a otro.

4.2 Energías Renovables

Las energías renovables son provenientes de una fuente natural e ilimitada el cual pasa por unos procesos de aprovechamiento de energía convencionales dado que sus impactos ambientales

son muy buenos y una posible solución a la gran demanda de energía en el mundo, dado que otras fuentes de energías no renovables que causan un alto impacto ambiental por emisión de gases como el petróleo, gas natural, carbón, etc.

4.3 Energía Solar

Es la energía que emite el sol que llega a la tierra en forma de radiación. La energía contenida en la radiación solar se aprovecha para transformarla, principalmente en energía térmica y eléctrica. La fuente de energía solar es un recurso que puede ser considerado inagotable, sin embargo, el recurso solar en una región es totalmente dependiente de las condiciones climáticas y geográficas (Narvaez & Uriguen, 2016).

4.4 Radiación Solar

La energía producida al interior del sol con una temperatura de millones de grados. Esta se transfiere a la superficie y luego al espacio. Es una fuente de energía que provee a la tierra un tercio de dicha energía por otro lado logra llegar a la superficie terrestre con un valor de $1353 \frac{W}{m^2}$, que intercepta la atmósfera para así dejar el 70% de la energía en el mar. La energía solar que recibe la tierra es de tal magnitud que le permite cumplir con todos los procesos biológicos, y además permite ser captada y aprovechada para aplicaciones específicas. Los rayos solares inciden de tres maneras a la superficie terrestre:

- Radiación directa: es la radiación emitida por el sol, que no es afectada por la atmósfera (no ha sufrido ninguna dispersión).
- Radiación difusa: proveniente del sol, la radiación difusa es aquella que ha sufrido un cambio debido a la dispersión y absorción de los cuerpos que se encuentran en la atmosfera.
- Radiación por albedo o reflejada: Es la radiación directa y difusa que se recibe por la energía reflejada en el suelo o las superficies cercanas.

4.5 Energía Solar Térmica

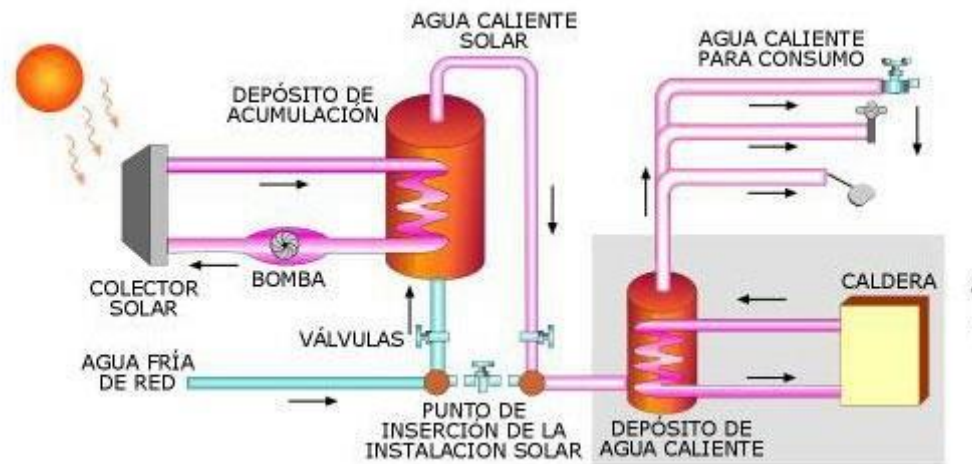
La energía solar térmica o energía termo solar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor. El cual esta radiación llega en forma de fotones viajando en forma de onda por esta razón es inversamente proporcional a la longitud de onda, es decir entre menos longitud de onda mayor es la energía. Cuando esta energía radiante es suministrada a un cuerpo causan tres fenómenos (Pareja Aparicio, 2010).

Absorción: Es un fenómeno de superficie que permite un cambio de energía interna dentro del cuerpo en particular, aumentando su temperatura. La capacidad de un cuerpo para absorber radiación es la absorptividad.

Reflexión (ρ): Es un fenómeno donde el cuerpo devuelve una parte de la energía incidente en él hacia el recinto. La reflectividad de un cuerpo depende de la temperatura de la superficie del material, de la longitud de onda incidente y del ángulo de incidencia. Se habla de dos formas de reflexión: La reflexión especular que se produce en superficies pulimentadas en los que el rayo reflejado tiene el mismo ángulo que el rayo incidente. Y la reflexión difusa se produce en superficies sin brillo o rugosas que reflejan en forma difusa en todas las direcciones.

Transmisión (τ): Cuando una superficie, cuyo material deja pasar gran parte de la energía incidente se denomina transparente. La transmisividad corresponde a la fracción de energía que transmite la superficie.

Para convertir la radiación solar en calor, los sistemas solares térmicos utilizan placas absorbentes, aisladas en su parte posterior, con lo cual se aumenta la temperatura, de tal manera que las placas emitan energía radiante infrarroja. La radiación solar modifica el estado de agitación térmica de los componentes moleculares atómicos y subatómicos del material produciendo cambios en su energía interna (Narvaez & Uriguen, 2016).

Figura 1.*Radiación solar*

Nota. Tomado de Empresa Eficiente (s.f.) *Tecnologías*

http://www.empresaeiciente.com/images/empresas/tecnologias/28/img_04.jpg

4.6 Elementos del Sistema Solar Térmico

Un sistema solar térmico está constituido por una serie de elementos que son indispensables para su correcto funcionamiento, control, rendimiento, mantenimiento y seguridad del mismo (Valdovinos Flores, 2009).

Los elementos que conforman un sistema térmico son:

- Captador o colector solar. - Sistemas utilizados para la conversión de energía.
- Elementos de transmisión de energía térmica (intercambiador)
- Elementos para acumulación del agua caliente (subsistema de acumulación)
- Sistemas de control para la instalación (subsistema de control).
- Sistema de aislamiento. - Evita las pérdidas de calor y apoya en la obtención del

rendimiento máximo del sistema.

- Elementos de apoyo auxiliar. - Sistema utilizado para cubrir la demanda insatisfecha del SST y procurar mantener el suministro continuo de ACS (subsistema de energía auxiliar).

4.7 Colectores Solares

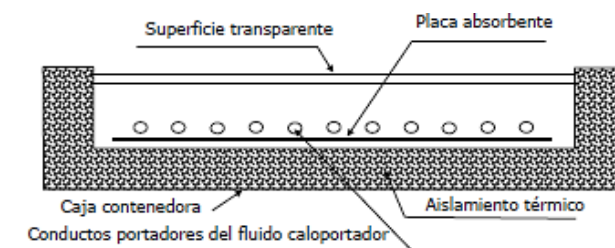
El colector solar tiene como función de realizar la conversión de la radiación solar en energía térmica el cual es utilizado para elevar la temperatura de un fluido y así tener una aplicación de mayor interés como la obtención de agua caliente sanitaria

4.7.1 Partes de un Colector Solar Plano

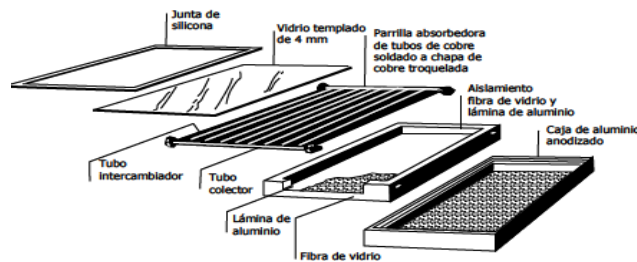
- Placa absorbente.
- Superficie Transparente.
- Caja Contenedora.
- Aislamiento Térmico.
- Fluido Calor portador.
- Red de tuberías.

Figura 2.

Estructura de un Colector Solar Plano.



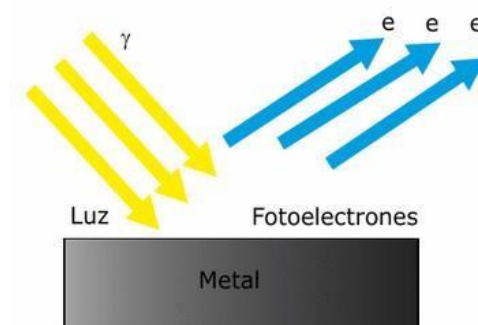
Nota. Tomado de: (Tobajas M. , 2012)

Figura 3.*Corte transversal de un Colector Plano*

Nota. Tomado de: (Tobajas M. , 2012)

4.8 Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos convierten los fotones de la radiación solar en corriente eléctrica mediante efecto fotoeléctrico, como se observa en la Figura 3, la luz solar provoca una excitación en los electrones del panel solar generando un campo electromagnético interno que induce la circulación de una corriente, esta corriente continua se puede utilizar para producir energía eléctrica limpia, ya que no involucra la quema de minerales fósiles reduciendo notablemente la contaminación ambiental y gases contaminantes que provocan el efecto.

Figura 4.*Efecto Fotoeléctrico.*

Nota. Tomado de: (Tobajas, 2015)

La formulación matemática del efecto fotoeléctrico viene dada por la siguiente ecuación.

$$E=h*f \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde se tiene que

E = Energía recibida de los fotones.

h = Constante de Planck (6.62 X10⁻³⁴ J*s).

f = frecuencia en Hz o en ciclos por segundo (Tobajas, 2015).

La potencia que entregan los paneles fotovoltaicos depende de varios parámetros como, la radiación solar incidente, la temperatura de la celda y la resistencia de carga. En general, el fabricante provee datos operacionales limitados del panel, como la tensión en circuito abierto (**Voc**), la corriente de corto circuito (**Isc**), los valores de tensión y corriente para máxima potencia (**Vmp**) e (**Imp**), los coeficientes de temperaturas de tensión a circuito abierto y de corriente de corto circuito. Estos datos están referidos a condiciones estándar de radiación (1000 W/m²) y temperatura de celda (25⁰C) (Pareja Aparicio, 2010).

Figura 5.

Paneles solares fotovoltaicos.



Nota. Tomado de: (Tobajas, 2015)

4.8.1 Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos

Un elemento importante dentro de un sistema solar fotovoltaico es el panel, cuya principal función es la de captar la luz solar y convertirla en energía eléctrica.

Los paneles solares están constituidos por células solares comprendidas entre 31 y 36, las cuales están conectadas eléctricamente en serie, donde el voltaje de salida dependerá del número de paneles conectados (Tobajas, 2015).

Los tipos de paneles solares que actualmente están en el mercado son:

- Paneles solares monocristalinos.
- Paneles solares policristalinos.
- Paneles solares híbridos

Paneles solares monocristalinos: proporcionan un rendimiento elevado, alrededor del 20% en la fabricación en serie y un 24% en modelos de laboratorio. Los paneles se encuentran elaborados de silicio puro fundido y dopado con boro, el inconveniente que tienen es su elevado precio. Por su eficiencia energética son las placas más utilizadas (Tobajas, 2015).

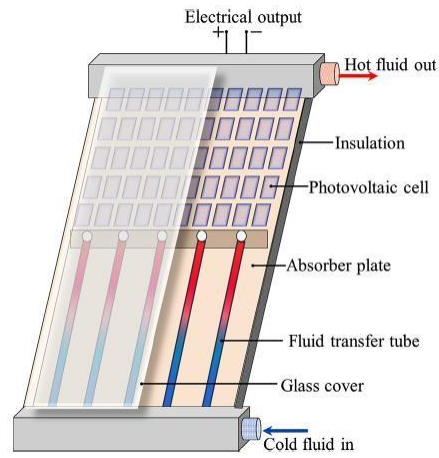
Paneles solares policristalinos: proporcionan un rendimiento entre 12 y 14%, gracias a su diseño cuadrado, hace que se aproveche mejor el espacio entre las células que componen el panel solar, hay que considerar que el coste por panel es menor, ya que se aplica menos silicio en su fabricación (Tobajas, 2015).

Paneles solares híbridos: combinación entre panel solar fotovoltaico y panel solar térmico. Se trata de refrigerar las células fotovoltaicas por medio de agua, que, a su vez, por medio de un acumulador, utilizar como agua caliente sanitaria (Tobajas, 2015).

Un sistema PV/T no solo utiliza la radiación sino también la energía térmica generada por la radiación solar, este tipo de sistema se compone de células fotovoltaicas encapsuladas en un lado de una placa de absorción, mientras que está previsto que el fluido a calentar se encuentra dispuesto en otra parte de la placa de absorción (Suman, Kaleem Khan, & Pathak, 2015); (Khelifa, y otros, 2015).

Figura 6.

Sistema híbrido fotovoltaico / térmico.



Nota. Tomado de: (Suman, Kaleem Khan, & Pathak, 2015)

La eficiencia de los paneles fotovoltaicos disminuye al incrementar su temperatura, por lo que se necesita acoplar sistemas de refrigeración, se conseguiría mediante la transferencia de calor desde el sistema fotovoltaico hacia el fluido en un panel termo-solar. Tales sistemas se pueden emplear para producción simultánea de electricidad y agua caliente a baja temperatura para fines domésticos (Suman, Kaleem Khan, & Pathak, 2015).

5. Metodología

5.1 Tipo de Investigación

Este proyecto es una investigación de tipo básica y aplicada que busca incrementar los conocimientos teóricos de la materia de sistemas térmicos, basándose en la termodinámica y transferencia de calor que puede tener los colectores solares inactivos en el laboratorio de dicha materia. Este es un trabajo que tiene un alcance limitado a pruebas controladas ya que se busca poner en marcha nuevamente estos bancos en el laboratorio.

5.2 Población

La población Beneficiada con el proyecto serán los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander ya que tendrá un espacio apto y controlado para tener una experiencia acercada a las situaciones reales que se pueden encontrar en el área de trabajo en un futuro cuando sean profesionales

5.3 Estado del Arte

5.3.1 Internacional

Diseño e implementación de un sistema híbrido de Agua Sanitaria Caliente (ACS), para reducción de energía eléctrica y uso de gas licuado de petróleo (Narváez Mario, Uriguen Christian-2016)

Por causa del decreto gubernamental hubo eliminación del subsidio al precio de tanque del gas doméstico en el ecuador y obtener agua sanitaria caliente por medio de energía eléctrica no es una opción por su elevado costo se optó por un estudio de factibilidad y rentabilidad en un hogar de 4 integrantes en el cual implementar un sistema termo solar o solar fotovoltaico que cumpla con la mayoría de resultados

Análisis y propuestas de sistemas solares de alta energía que emplean agua como fluido calorífero (Montes Maria-2008-madrid)

Esta tesis se centra en el estudio de la generación directa de vapor en colectores cilindro parabólicos, como una alternativa viable a corto plazo para la producción de electricidad mediante sistemas de concentración solar. el cual desarrollo un modelo termo fluido dinámico del tubo receptor a través del cual pasa el fluido calorífero, en este caso, agua-vapor. Este modelo estudia de forma muy detallada las correlaciones para la transmisión de calor entre las diferentes superficies, con especial atención a la simulación de la zona de flujo bifásico por el interior del

tubo receptor, tanto en la determinación del coeficiente de transmisión de calor por convección como en la pérdida de presión en este régimen.

Análisis y diseño de un sistema de calefacción solar para agua caliente sanitaria (Sánchez Luis -Ecuador-2010)

Esta tesis tiene como fin en un primer capítulo conocer la energía solar, su historia, su clasificación y tipos de colectores el segundo capítulo se enfoca en los tipos de colectores más usadas en Latinoamérica, en el tercero se diseña un colector solar de tubos de vacío, haciendo análisis previo a un colector ya instalado y ya como último capítulo analizar costos del equipo todo con el fin de crear una microempresa destinada a la producción de estos equipos

-Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad, en el complejo habitacional San Antonio de Rio Bamba (Guerrero Mónica Alejandra-Ecuador 2012)

Evalúa los requerimientos de consumo energético de una vivienda tipo conjunto residencial y en base de la determinación del potencial energético del sol de la localidad San Antonio de Rio Bamba, identifica evalúa y describe los impactos ambientales que son mínimos ya que la energía solar es fuente no contaminante

5.3.2 Nacional

Diseño y construcción de un prototipo de un colector solar híbrido térmico y fotovoltaico (Rey Daniela, Contreras Sergio-2014)

Se enfoca en la necesidad de generar una alternativa a los sistemas de calefacción convencionales, los cuales representan un costo energético adicional, para el usuario y un impacto ambiental a largo plazo, contribuyendo a crear conciencia sobre la aplicación de sistemas que utilicen energías renovables para satisfacer una necesidad de obtener agua sanitaria a una

temperatura agradable el cual se propone diseñar un sistema de calefacción de agua por circulación forzada que tenga la ventaja de ser autónomo como el sistema de circulación natural, que cumpla con los requerimientos de caudal y que sea funcional

Ensamble y caracterización de un panel solar fotovoltaico (Arango Valentina pereira-2017)

Este trabajo tiene como fin la aplicación de la energía solar fotovoltaica, mediante la construcción de un panel solar a partir de celdas solares policristalinas, presentando curvas de comportamiento exponiendo diferentes variables como voltaje, corriente, radiación solar entre otros; además de comparaciones con paneles solares similares existentes en el mercado y análisis de costos de construcción, donde se solares o si bien es más recomendable realizar una considerable inversión con alguna empresa especializada en energía fotovoltaica

Análisis, diseño y simulación de sistema solar fotovoltaico para suministro eléctrico en apoyo a programa nutricional en la escuela rural el Cardonal, Tibaná (Boyacá), (Alvarado Andrea -2014)

Esta investigación está desarrollada para establecer las condiciones de la Escuela Rural El Cardonal, Tibaná, Boyacá con el objetivo de lograr el sostenimiento de las actividades escolares por medio del aprovechamiento del recurso solar en el sitio mediante un sistema fotovoltaico autónomo, el cual satisface los requerimientos eléctricos básicos de la Escuela, incluida la necesidad de refrigeración de alimentos para el plan nutricional de los niños, además proyectándose como un prototipo que puede ser empleando para situaciones similares y en otros estudios de aplicación de la energía solar.

5.4 Modelos Matemáticos

- Modelo de intercambio de calor: Este análisis comienza con la identificación del volumen de control para así realizar el respectivo diagrama de cuerpo libre (DCL) y especificar

todas las interacciones energéticas con su alrededor. Luego se emplea la primera ley de la termodinámica donde la energía que entra es igual a la energía que sale.

- **Modelo de radiación:** Para este modelo se trabajará con la energía solar la cual es emitida por el sol y tiene una propagación en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. En este caso la cubierta es la que permite el paso de la radiación solar hacia el agua y la base. De acuerdo con esto se estudiará la radiación proveniente del sol teniendo en cuenta lo que se refleja y absorbe.

5.5 Impacto del Proyecto

La evaluación de desempeño da una amplia variedad de impactos que están ligados a los siguientes aspectos:

- **Aspecto técnico:** Se centra en el funcionamiento efectivo, tipos de materiales a ser implementados y la disponibilidad en el mercado de los mismos, la versatilidad de operación, eficiencia de captación de la energía solar, comodidad de construcción y ensamble.

- **Aspecto económico:** Al tratarse de una evaluación de desempeño enfocado en un banco olvidado se debe poner en marcha nuevamente teniendo en cuenta la eficiencia y versatilidad de los instrumentos. Esto amerita tener en cuenta materiales, mano de obra y costo de mantenimiento considerables para la escuela.

- **Aspecto de seguridad, limpieza e impacto ambiental:** Al tratarse de un instrumento que aprovecha la energía renovable del sol, el impacto medio ambiental es mínimo ya que no genera gases de efecto invernadero o alguna otra sustancia nociva. La limpieza no es algo complicado de hacer, pero igual se debe tener cuidado en el momento de desarmar algunas partes de los colectores y por el lado de la seguridad hay que tener cuidado con el uso de las baterías y conexiones eléctricas.

• Aspecto social: Es muy factible para la escuela de ingeniería mecánica ya que pueden brindarles a los estudiantes una nueva experiencia sobre un tema que solo lo han visto en papel o utilizando un programa de resolución de ecuaciones.

6. Inspección y Renovación de Bancos de Energía Solar

6.1 Inspección y Renovación del Sistema Híbrido (Térmico Fotovoltaico)

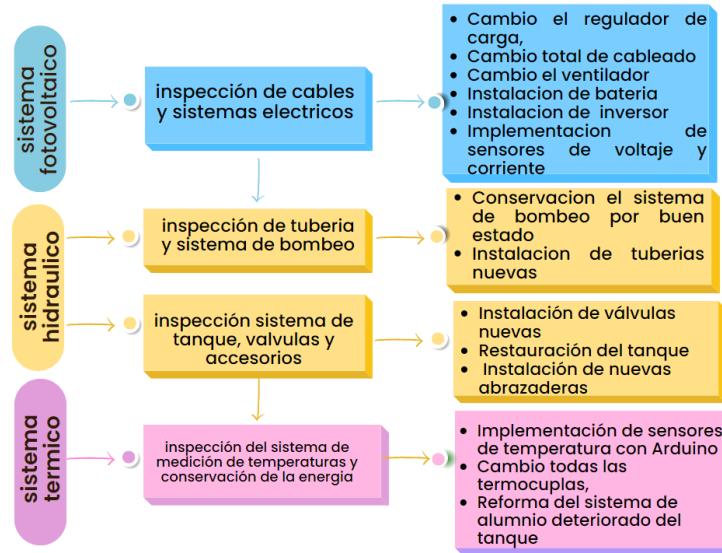
Figura 7.

Etapas de activación del banco híbrido (térmico y fotovoltaico)



Figura 8.

Tareas realizadas en las etapas de activación del banco híbrido (térmico y fotovoltaico)



6.1.1 Inspección de los Equipos e Implementos Otorgados

El banco híbrido (térmico fotovoltaico) fue entregado totalmente desarmado sin conexiones ni equipos manguera del tanque dañado, sistema de aluminio para conservar el calor deteriorado, Termopars dañadas

Figura 9.

Representación del estado del panel híbrido



6.2.2 Selección y Filtración de Información

Para el presente banco de energía solar híbrido se contaba con la información necesaria por lo cual fue más sencillo realizar un diagrama unifilar para la identificación del circuito y así dar comienzo a las tareas de mejora para el sistema.

6.2.2.1 Cálculo de la demanda energética total. En esta sección se calcula la demanda energética total para así calcular la potencia mínima que debe ofrecer el módulo fotovoltaico. Para ello se realizó una tabla que muestra los elementos que funcionarán por medio de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico.

Se deben diferenciar los tipos de potencia; si es potencia AC o DC y realizar este análisis para cada uno.

Se deben distinguir los elementos, su cantidad, la potencia unitaria en [W], la potencia total para todos los elementos de un mismo tipo en [W], las horas de funcionamiento o de uso y la energía total en [W·h] que corresponde a multiplicar las horas de uso con la potencia total.

Tabla 1.

Carga del sistema fotovoltaico

POTENCIA DC					
Elemento	Cant.	Pot. Unitaria [W]	Potencia Total [W]	Horas Uso [h]	Energía Total [W·h]
Ventilador	1	2,04	2,04	10	20,4
Total			2,04		20,4

POTENCIA AC					
Elemento	Cant	Pot. Unitaria [W]	Potencia Total [W]	Horas Uso [h]	Energía Total [W·h]
Bomba	1	35	35	10	350
Total			35		350

La energía total es 370,4 [W·h] y la potencia total es 37,04 [W]. Estos datos son la partida para el dimensionamiento y selección del sistema fotovoltaico autónomo.

6.2.2.2 Selección del módulo fotovoltaico híbrido. Una vez calculada la energía total en [W·h] se procede a calcular las horas sol de la ubicación que corresponden a las horas en las que se recibe una irradiación equivalente a $1000[\text{w}/(\text{m}^2 \text{ h})]$

Con los datos meteorológicos disponibles de radiación total y difusa se calcula la irradiación para el mes con más baja radiación

$$Horas_{sol} = \frac{qs\beta_{prom} \left[\frac{W}{m^2} \right]}{1000 \left[\frac{W}{m^2 h} \right]} = \frac{3500}{1000} = 3.5[h]$$

Teniendo en cuenta las horas sol correspondientes esto se calcula la potencia mínima requerida.

$$Pot_{minima\ requerida} = \frac{Energía_{total} [W.h]}{Horas\ sol [h]} = \frac{370.4}{3.5} = 105.8[W]$$

La potencia mínima debe ser menor a la potencia ofrecida por el módulo fotovoltaico seleccionado en los catálogos. La potencia mínima calculada corresponde aproximadamente a 105.8 [W]. Uno de los módulos fotovoltaicos que cumplen con la condición de que la potencia mínima requerida sea menor que la ofrecida es el de marca YINGLI SOLAR modelo JS 145p-17b de 36 celdas de silicio policristalino con salida de potencia de 145 [W] y 12 [V] DC (figura 82). Las especificaciones eléctricas del módulo se muestran en la tabla 9 tomada del catálogo respectivo. También el catálogo del módulo fotovoltaico brinda información de las características térmicas como los coeficientes de operación, que son valores experimentales dados que permiten conocer el comportamiento de la salida de módulo fotovoltaico (P_{max} , I_{sc} y V_{oc}) respecto a la diferencia entre la temperatura de operación y la temperatura estándar.

Tabla 2.

Características eléctricas del panel solar YINGLI SOLAR JS 145P17b

Potencia máxima	145	Pmax [W]
Voltaje máximo	18,29	Vmax [V]
Corriente máxima	7,99	Imax [A]
Eficiencia del módulo	14,5	%
Voltaje de circuito abierto	22,5	Voc [V]
Corriente de corto circuito	8,47	Isc [A]
Coefficiente de operación Pmax	-0,45	[%]
Coefficiente de operación Voc	-0,37	[%]
Coefficiente de operación Isc	0,06	[%]

Figura 10.

Módulo fotovoltaico



Nota. Tomado de: (Merkasol , s.f.)

6.2 Inspección y Renovación Sistema Fotovoltaico

Figura 11. *Etapas de activación del banco fotovoltaico off grid*

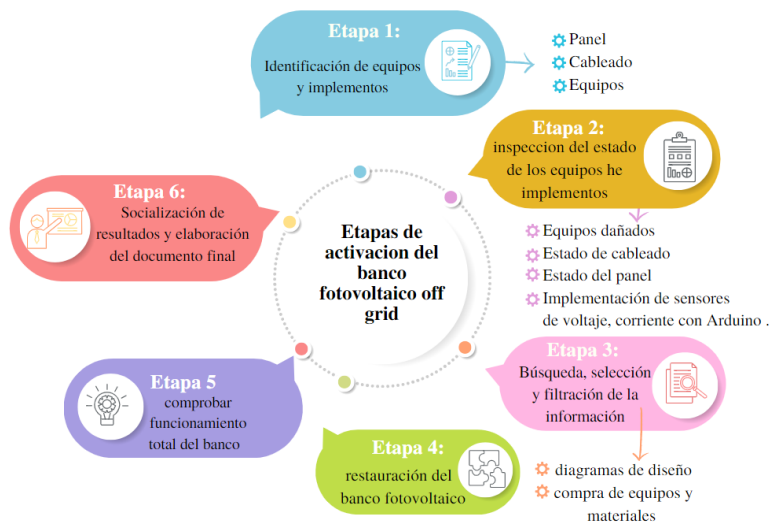
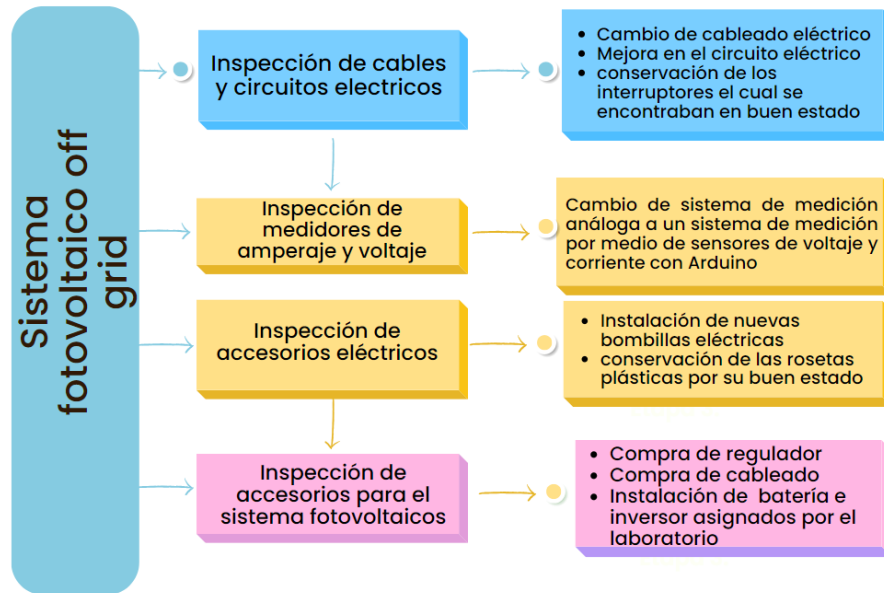


Figura 12.

Tareas realizadas en las etapas de activación del banco fotovoltaico off grid



6.2.1 Inspección de los Equipos e Implementos

El banco fotovoltaico fue entregado en mal estado sin funcionamiento cables partidos sin equipos y con los medidores de amperaje y voltaje dañados

Figura 13.

Representación del estado del panel

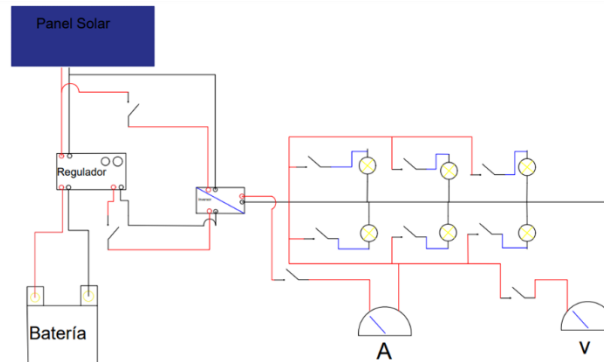


6.2.2 Selección y Filtración de Información

Dado el caso que no teníamos suficiente información sobre este banco fotovoltaico off grid optamos por hacer un diagrama unifilar para así identificar el circuito y mejorar el sistema

Figura 14.

Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico Off grid



6.2.2.1 Cálculo de la demanda energética total. A partir de la demanda de energía eléctrica total se debe calcular la potencia mínima que debe ofrecer el módulo fotovoltaico. Para ello se realizó una tabla que muestra los elementos que funcionarán por medio de la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. Se deben diferenciar los tipos de potencia; si es potencia AC o DC y realizar este análisis para cada uno.

Tabla 3.

Análisis energético con potencia AC

POTENCIA AC					
Elemento	Cant	Pot. Unitaria [W]	Potencia Total [W]	Horas Uso [h]	Energía Total [W·h]
Bombillos	6	7	42	10	420
Total			42		420

Se deben distinguir los elementos, su cantidad, la potencia unitaria en [W], la potencia total para todos los elementos de un mismo tipo en [W], las horas de funcionamiento o de uso y la energía total en [W·h] que corresponde a multiplicar las horas de uso con la potencia total.

6.2.2.2 Selección del módulo fotovoltaico. Para llegar a la selección del módulo debemos conocer la demanda energética que usaremos para este panel fotovoltaico y así calcular la energía total. Una vez calculada la energía total en [W·h] se procede a calcular las horas sol de la ubicación que corresponden a las horas en las que se recibe una irradiación equivalente a $1000 \left[\frac{W}{m^2 h} \right]$. Con los datos meteorológicos disponibles de radiación total y difusa se calcula la irradiación para el mes con más baja radiación:

$$Horas_{sol} = \frac{qs\beta_{prom} \left[\frac{W}{m^2} \right]}{1000 \left[\frac{W}{m^2 h} \right]} = \frac{3500}{1000} = 3.5[h]$$

Teniendo en cuenta las horas sol correspondientes esto se calcula la potencia mínima requerida.

$$Pot_{minima\ requerida} = \frac{Energía_{total} [W.h]}{Horas\ sol [h]} = \frac{420}{3.5} = 120[W]$$

La potencia mínima debe ser menor a la potencia ofrecida por el módulo fotovoltaico seleccionado en los catálogos. La potencia mínima calculada corresponde aproximadamente a 120[W]. Uno de los módulos fotovoltaicos que cumplen con la condición de que la potencia mínima requerida sea menor que la ofrecida es el de marca **SOLAR PLUS ENERGY** de 36 celdas de silicio policristalino con salida de potencia de 130 [W] y 12 [V] DC.

Tabla 4.

Especificaciones del modulo

Potencia máxima	130	Pmax [W]
Voltaje máximo	18	Vmax [V]
Corriente máxima	7,22	Imax [A]
Eficiencia del módulo	13,1	%
Voltaje de circuito abierto	23,1	Voc [V]
Corriente de corto circuito	7,814	Isc [A]
Coeficiente de operación Pmax	-0,47	[%]
Coeficiente de operación Voc	-0,38	[%]
Coeficiente de operación Isc	0,04	[%]

6.2.2.3 Selección del controlador o regulador de carga. Para seleccionar el controlador o regulador sólo se debe comprobar que los parámetros del controlador sean iguales o mayores a las características eléctricas del panel solar.

Para el sistema existente se seleccionó un controlador marca Inteligente DC-DC con las siguientes especificaciones. El voltaje máximo del módulo que puede recibir el regulador o controlador de carga es 50 [V] y el voltaje máximo del módulo es 23,1 [V] y la corriente máxima del regulador es 15 [A] que comparada con la corriente del panel que es 7,814 [A] también está por encima, por consiguiente, el regulador de carga se puede utilizar para este panel

Tabla 5.

Especificaciones

Especificaciones	Valor	Unidades
Voltaje de operación	12/24	[V]
Voltaje máximo panel	50	[V]
Corriente máxima panel	15	[A]

6.2.2.4 El Inversor

$$Pot_{nom\ inversor} = \frac{potencia\ total\ sistema\ [W]}{Eficiencia\ del\ inversor}$$

Para tener un valor más preciso se recomienda restarle un 2% a la eficiencia nominal del inversor que es 90%, porque puede ser menos eficiente debido a las pérdidas en el cableado.

Se selecciona un inversor de eficiencia 88 [%] con voltaje de operación de 12 [V] y potencia máxima de operación entre 150 a 400[W]. Teniendo en cuenta que la potencia total que viene dada por la demanda es 42 [W] y conociendo la eficiencia del inversor se calcula la potencia mínima nominal que corresponde al valor de 47,72 [W]. De acuerdo con esto, no se están pasando los límites de funcionamiento del inversor.

7. Sistema de Conversión de Energía Fotovoltaica e Híbrida

El sistema fotovoltaico tiene como fin utilizar un conjunto de dispositivos para convertir la energía solar en energía eléctrica para así abastecer de energía un espacio con iluminación. Por otro lado, está el sistema híbrido que busca convertir la energía solar en energía eléctrica y térmica, este busca tener un sistema de calentamiento de agua para así generar confort en el estilo de vida de algunas personas sin gastar dinero de más.

7.1 Partes del Sistema de Energía Fotovoltaica e Híbrida

7.1.1 Panel Solar

Este sistema consta de celdas solares conectadas ya sea en serie o en paralelo con el fin de captar la energía solar y convertirla en energía eléctrica utilizando el efecto fotovoltaico.

Figura 15.

Módulo fotovoltaico YINGLI SOLAR



7.1.2 Regulador de Carga

Es un instrumento elemental para la seguridad del sistema cuando hay baterías implicadas ya que la potencia generada puede ser irregular y así sobrecargar la batería o puede que pase más energía hacia el panel por lo cual puede generar un corto circuito y así dañar los implementos.

Figura 16.

Regulador de carga Ocean Dream Series



Nota. Tomado de: (Eshopkh , s.f.)

7.1.3 Inversor

Este instrumento tiene la función de convertir la corriente directa (DC) a corriente alterna (AC) para que así se pueda aprovechar la energía producida por medio del efecto fotovoltaico con los utensilios usados comúnmente en las casas.

Figura 17.

Inversor Marca Cobra



Nota. Tomado de: (Template Monster, s.f.)

7.1.4 Batería

Son las encargadas de almacenar y aportar energía a los sistemas eléctricos en este caso almacena cuando está el panel produciendo energía fotovoltaica y aporta cuando ya el sol se oculta supliendo de energía los aparatos necesarios

Figura 18.

Batería marca Netion



Nota. Tomado de: (Mercado libre, s.f.)

7.1.5 Arduino Uno R3

Es una placa de microcontroladores para realizar circuitos integrados en los casos que se deseen automatizar los procesos de medición o exposición de datos.

Figura 19.

Arduino UNO R3



Nota. Tomado de: (Tarzan Componentes, s.f.)

7.1.6 Sensores de Voltaje

Es un accesorio en la rama de los circuitos de Arduino el cual se encarga de medir el voltaje de elementos electrónicos. Este resiste un máximo de 25 Voltios en DC O AC

Figura 20.*Sensor de Voltaje Fz0430*

Nota. Tomado de: (Ardobot Robótica SAS., s.f.)

7.1.7 Sensores de Corriente

Este accesorio se encarga de medir y mostrar el valor de la corriente que hay en un punto del sistema. Este tiene una capacidad máxima de 20 Amperios en DC y AC

Figura 21.*Sensor de corriente ACS712*

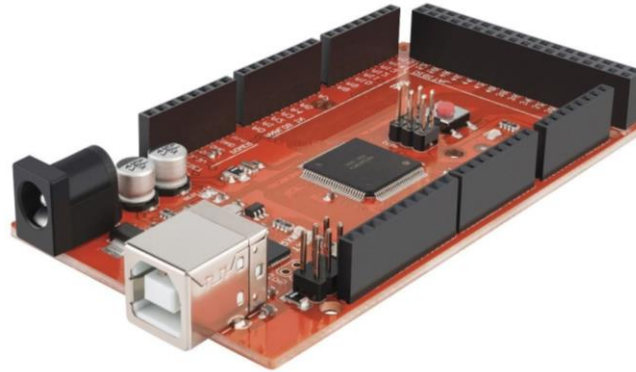
Nota. Tomado de: (Ssdielect Electronica SAS, s.f.)

7.1.8 Arduino Mega

Es similar al Arduino UNO R3 cumple con las mismas funciones solo que este cuenta con más capacidad de almacenamiento de datos y más puertos de conexión para que en caso de que el circuito se complejo con muchos accesorios este puede suplir la necesidad.

Figura 22.

Arduino MEGA Steren



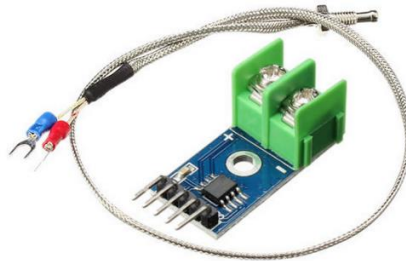
Nota. Tomado de: (Electrónica Steren, S.A. , s.f.)

7.1.9 Termopar Tipo K y Modulo de Termopar

Las Termopars son las encargadas de medir la temperatura de la superficie a la cual se le tenga contacto. Esta manda una señal eléctrica muy leve por lo cual para que se pueda reconocer la información se necesita agregarle un módulo como el mostrado a continuación que se le denomina MAX 6675.

Figura 23.

Termopar tipo k con modulo MAX 6675



Nota. Tomado de: (Majju, s.f.)

7.1.10 Tanque

Se encarga de almacenar el fluido que se desea calentar, este tiene una característica especial y es que es fermentador por lo cual se considera hermético, pero para el proceso de

calentamiento de agua debemos poner el taque lo más adiabático posible por lo cual se le agregaron recubrimientos; Tiene una capacidad de 50 Litros.

Figura 24.

Tanque de almacenamiento de agua



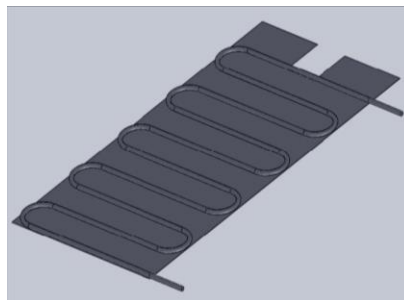
Nota. Tomado de: (Brewmasters México, s.f.)

7.1.11 Serpentín de Tubos

Estos se encargan de direccionar el agua y ayudan a la remoción de energía térmica en el panel solar por lo cual hace que el agua que pasa por ellos gane energía en forma de calor funcionando, así como un intercambiador de calor.

Figura 25.

Serpentín de tubos



Nota. Tomado de: (Contreras, 2014)

7.1.12 *Válvula Reguladora de Caudal*

Este accesorio se encarga de regular el flujo de agua que pasa por el sistema

Figura 26.

Válvula reguladora de caudal

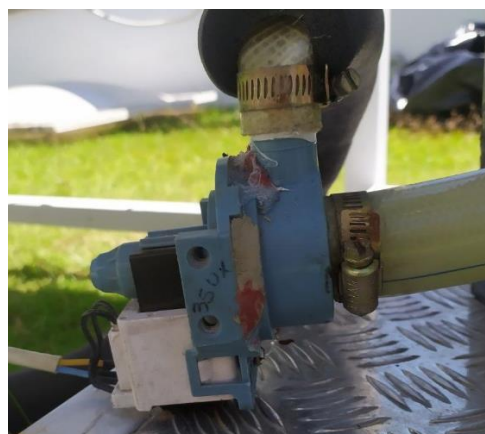


7.1.13 *Bomba*

Su función es incrementar la presión de sistema haciendo que el fluido se transporte de manera más rápida por el sistema. Esta posee un caudal de 22 [L/min] y una potencia de 35 [W*h] ya que se realizarán pruebas de máximo 4 horas este instrumento consumirá aproximadamente 140 [W*h]

Figura 27.

Bomba de abastecimiento



8. Sistema de Adquisición de Datos

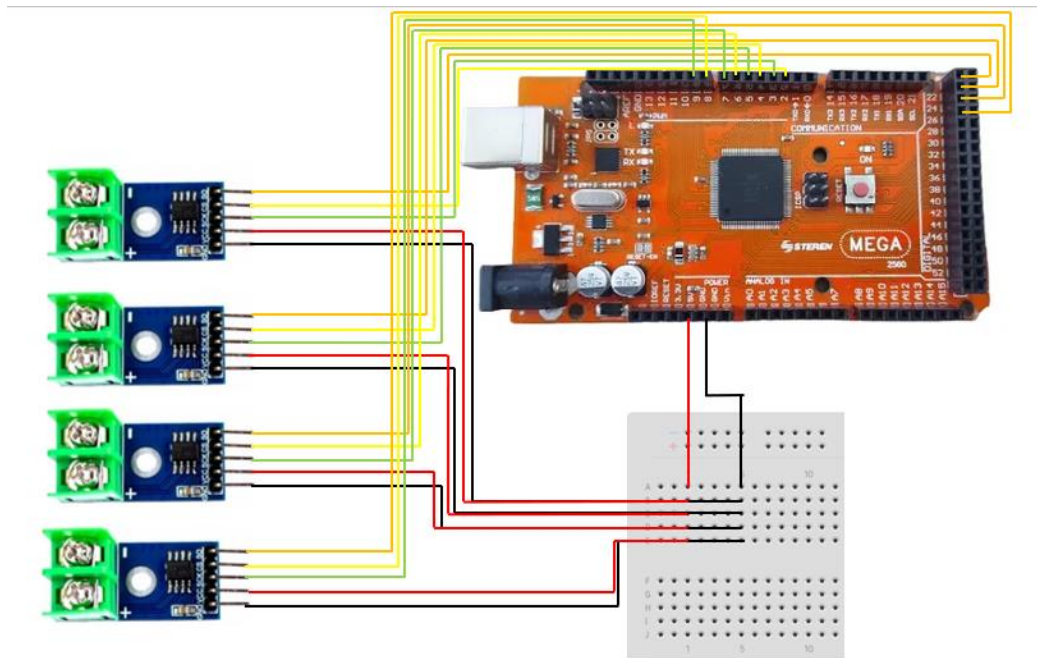
En la automatización de sistemas de medición han tenido un papel fundamental los accesorios relacionados con Arduino ya que nos ayudan a sistematizar de mejor manera la toma de datos para el estudio de los comportamientos de diferentes fenómenos. A continuación, se mostrarán los diferentes diagramas de conexión de los sistemas de medición de los bancos de energía solar:

8.1 Diagrama de Conexión del Sistema de Medición de Temperatura

El sistema de medición de temperatura es una parte fundamental del sistema ya que este nos brindará la información necesaria para evaluar el rendimiento del banco de energía solar híbrido.

Figura 28.

Diagrama de conexión para el funcionamiento de las Termopars.

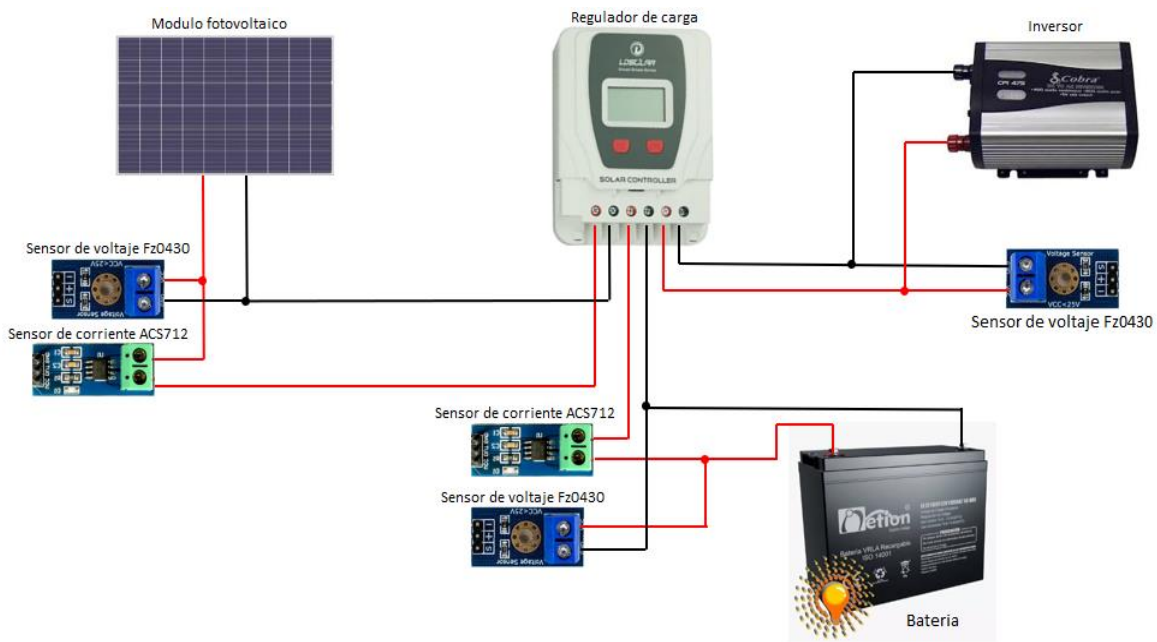


8.2 Diagrama de Conexión General de Sistema Eléctrico para los Diferentes Bancos de Energía Solar

Aquí se puede observar mínimamente como son las conexiones entre elementos para así poder aprovechar la energía del solar utilizando el método fotovoltaico

Figura 29.

Conexión general para el funcionamiento de los bancos solares

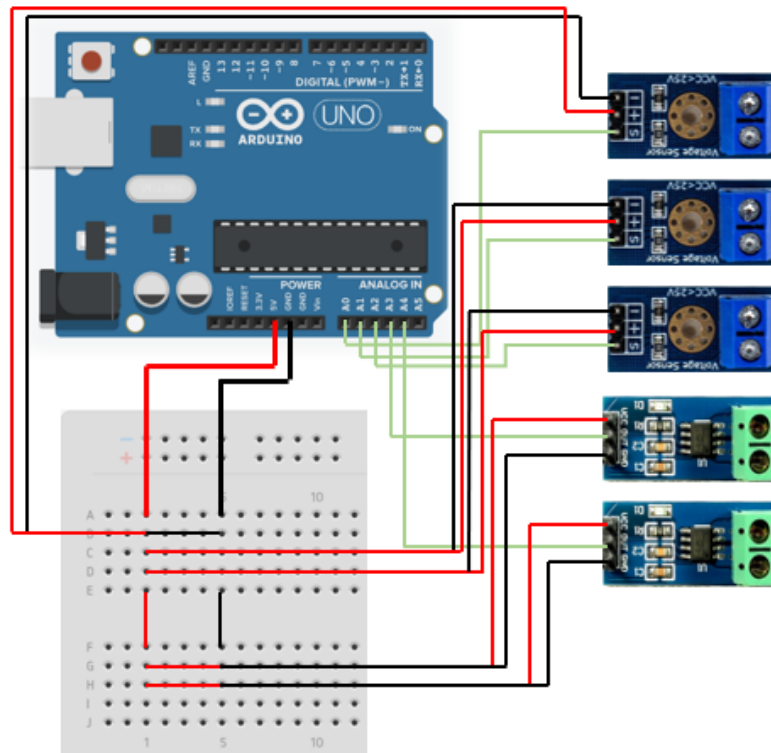


8.3 Diagrama de Conexión del Sistema de Medición de Voltajes y Corrientes

Este sistema de medición es importante ya que nos brinda la información para medir el rendimiento en la parte eléctrica del banco de energía solar por medio de la eficiencia eléctrica.

Figura 30.

Diagrama de conexión para el funcionamiento del sistema de medición de voltaje y corriente

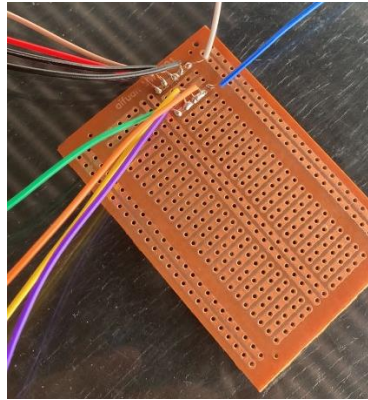


8.4 Optimización de la Conexión para los Medidores de Temperaturas, Voltaje y Corriente

Los bancos de pruebas se utilizarán de manera habitual para los laboratorios de la materia de sistemas térmicos por lo cual la conexión por medio de la protoboard no es la más adecuada para el sistema por lo cual se cambia por una placa de circuito impresa para garantizar que la conexión se la más idónea

Figura 31.

Placa de circuito impreso para conexiones

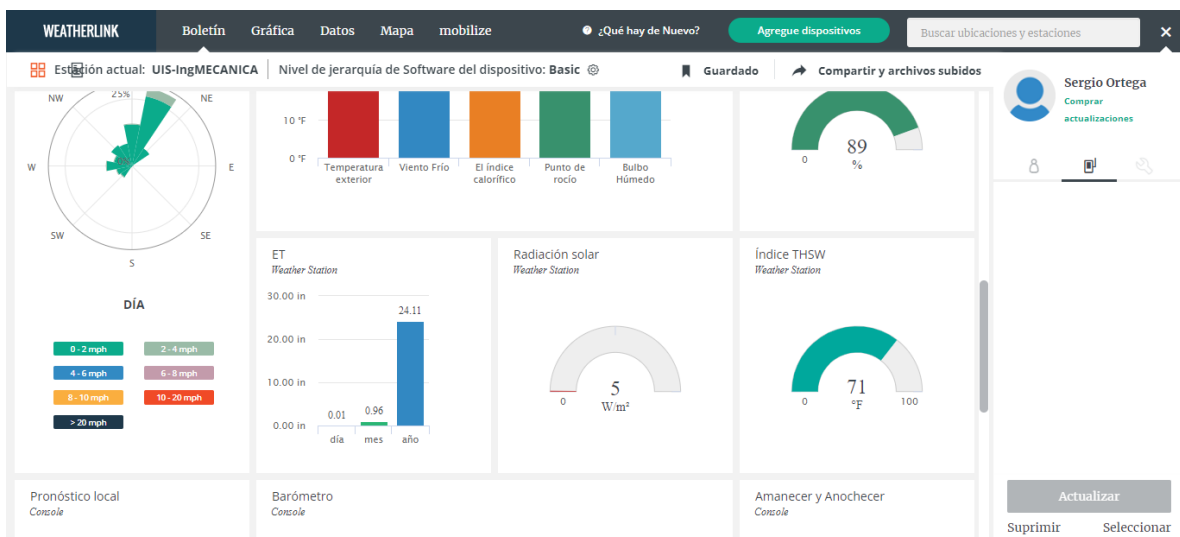


8.5 Plataforma Meteorológica de la Página WEATHERLINK (Con la Estación Ubicada en el Edificio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander)

En esta plataforma se muestran datos meteorológicos en tiempo real por lo cual se toma el dato de la irradiación solar de esta plataforma ya que cuenta con una estación ubicada en el edificio de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander

Figura 32.

Plataforma meteorológica de WEATHERLINK



9. Descripción de los Montajes para las Pruebas

Las estructuras de los bancos de energía solar fotovoltaico e híbrido se encontraban en óptimas condiciones por lo cual no hubo cambio alguno en ellos. Como se explicó anteriormente se tuvieron que hacer cambios de instrumentos y de accesorios para así poder poner en marcha los sistemas de nuevo. A continuación, se presentarán imágenes de como estuvieron operando los bancos en las pruebas pertinentes:

Figura 33.

Bancos de energía solar en funcionamiento.



10. Resultados

10.1 Cálculo de la Radiación Total Recibida en el Colector Solar en el Plano Inclinado.

Se comenzó hallando la declinación solar la está dada por la siguiente ecuación:

$$\delta = 23,45 * \text{Sen}\left(360 * \frac{284 + d_n}{365}\right)$$

Donde d_n es el día en el cual se realizó la prueba, en la cual se deben sumar todos los días transcurridos en el año hasta dicho día de prueba. Ya teniendo esto podemos calcular el ángulo de salida del sol utilizando la siguiente formula:

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi))$$

Donde:

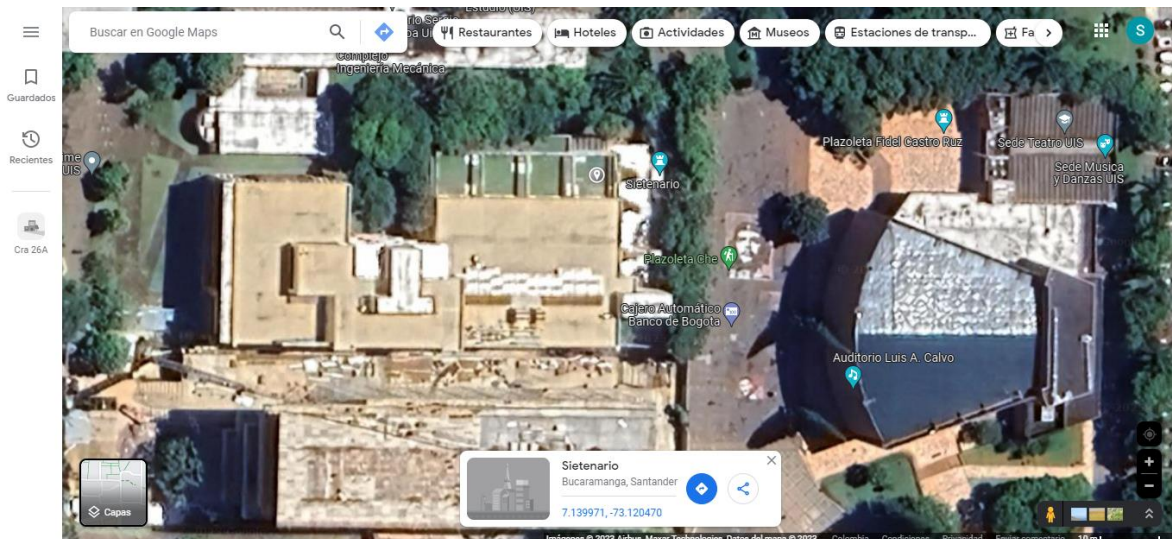
ω_s es el ángulo de salida del sol

ϕ es la latitud del lugar donde esta ubicado el panel solar.

En este caso nos ayudamos de Google maps para saber estos datos geográficos por lo cual obtenemos una latitud igual a 7.139971 como lo muestra la siguiente imagen:

Figura 34.

Localización del banco de energía solar para las pruebas realizadas.



Ahora se dispone a hallar el ángulo de salida del sol en un plano inclinado en este paso se modifica la ecuación anterior donde incluye la inclinación del panel solar utilizando la siguiente formula:

$$\omega_{ss} = \max \{ \omega_s, -\arccos(-\tan(\delta) * \tan(\phi - \beta)) \}$$

Donde:

ω_{ss} es el ángulo de salida del sol en un plano inclinado

ϕ es la latitud del lugar donde está ubicado el panel solar.

β es la inclinación que posee el panel solar con respecto al suelo

Hay que tener en cuenta que aquí en esta ecuación se busca comparar dos ángulos obtenidos por las fórmulas ya que el ángulo mayor corresponde al ángulo de salida del sol sobre el plano inclinado. Antes de hablar de los cálculos de radiaciones debemos tener en cuenta el factor de excentricidad el cual se calcula con la siguiente formula:

$$\varepsilon = 1 + 0,033 * \cos \left(2\pi * \frac{d_n}{265} \right)$$

Donde

ε es el factor de excentricidad

d_n es el día del año en el cual se realizó la prueba

Ahora si se comienza a hablar de cálculos de radiación y la primera en calcularse es la radiación sobre un plano horizontal la cual está dada por la siguiente ecuación:

$$H = \frac{T}{\pi} * I_0 * \varepsilon * \left[-\frac{\pi}{180} * [\omega_{ss} * \text{sen}(\phi) * \text{sen}(\delta) - \cos(\phi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega_{ss})] \right]$$

Donde:

H es la radiación sobre un plano horizontal

T es el tiempo de uso del panel en la prueba

I_0 es la constante solar (1367 W/m²)

En este punto del cálculo es necesario obtener el índice de claridad el cual se obtiene utilizando la siguiente ecuación.

$$K = \frac{G}{H}$$

Donde:

K es el índice de claridad

G es la radiación solar en W/m² obtenida en la plataforma de wheaterlink.

H es la radiación sobre un plano horizontal

También necesitaremos la fracción difusa de la radiación que se calcula con la siguiente ecuación:

$$F = 1 - 1,13 * K$$

Donde:

F es la fracción difusa de la radiación

K es el índice de claridad

Se hace el análisis para la radiación difusa utilizando la siguiente ecuación:

$$D = G * F$$

Donde:

D es la radiación difusa

G es la radiación solar en W/m² obtenida en la plataforma de wheaterlink

F es la fracción difusa de la radiación

Hay que tener en cuenta que la radiación recibida en un plano horizontal es diferente a la recibida en un plano inclinado por lo cual se calcula la radiación que llega al plano inclinado:

$$H_{pi} = G - D$$

Donde:

H_{pi} es la radiación recibida en un plano inclinado

Para los siguientes cálculos se debe tener en cuenta un factor de corrección que este dado por la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{\omega_{ss} * \frac{\pi}{180} * \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi - \beta) + \cos(\delta) * \cos(\phi - \beta) * \text{sen}(\omega_{ss})}{\omega_s * \frac{\pi}{180} * \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) * \cos(\phi) * \text{sen}(\omega_s)}$$

Donde

F_c es el factor de corrección

ω_{ss} es el ángulo de salida del sol en un plano inclinado

ϕ es la latitud del lugar donde está ubicado el panel solar.

β es la inclinación que posee el panel solar con respecto al suelo

ω_s es el ángulo de salida del sol

Para la radiación directa sobre el panel inclinado se usa la siguiente ecuación:

$$H_{Directa_{pl}} = H_{pi} * F_c$$

Donde:

$H_{Directa_{pl}}$ es la radiación directa en un plano inclinado

H_{pi} es la radiación recibida en un plano inclinado

F_c es el factor de corrección

Ya teniendo la radiación directa procedemos a calcular la radiación difusa sobre un plano inclinado con la siguiente ecuación:

$$D_{pi} = D * \frac{1 + \text{Cos}(\beta)}{2}$$

Donde:

D_{pi} es la radiación difusa sobre un plano inclinado

D es la radiación difusa

β es la inclinación que posee el panel solar con respecto al suelo

Por otro lado, necesitamos la radiación de albedo sobre el plano inclinado y la calculamos con la siguiente ecuación:

$$AL_{pi} = \frac{\rho * G * (1 - \cos(\beta))}{2}$$

Donde:

AL_{pi} es la radiación de albedo sobre el plano inclinado

ρ es la reflectividad del suelo (la cual se asume como 0,2)

G es la radiación solar en W/m² obtenida en la plataforma de wheaterlink

Ahora, por último, pero no menos importantes calculamos la radiación total sobre el plano inclinado con la siguiente ecuación:

$$R_{Total_PI} = H_{pi} + D_{pi} + AL_{pi}$$

10.2 Cálculo de Eficiencias y Calores Necesarios para Realizar el Análisis de Desempeño

Para analizar el desempeño que posee los bancos de energía solar deben tenerse en cuenta datos como el calor útil, la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida, energía acumulada e incidente en el sistema y las eficiencias térmicas como las eléctricas las cuales están definidas por las siguientes ecuaciones:

$$Q_{util[W]} = \dot{m} * C_{p_{H2O}} * \Delta T$$

$$Q_{util[KJ]} = Q_{util[W]} * \frac{600}{1000}$$

Donde:

Q_{util} es el calor útil en el tanque

\dot{m} es el flujo masico del sistema

$C_{p_{H2O}}$ es el calor especifico del agua

ΔT es la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada

$$E_{\text{inc}_{[KJ]}} = R_{SG} * A_{\text{tanque}} * \frac{600}{100}$$

Donde:

E_{inc} es la energía solar incidente

R_{SG} es la radiación solar global

A_{tanque} es el área transversal del tanque

$$E_{\text{total acumulada}_{[KJ]}} = m_{h20} * C_{p_{H20}} * \frac{\Delta T}{1000}$$

$E_{\text{total acumulada}_{[KJ]}}$ es la energía total acumulada en el tanque

m_{h20} es la masa de agua contenida en el tanque

$$\eta_{\text{termica}} = \frac{E_{\text{total acumulada}}}{R_{SG} * A_{\text{panel}}}$$

η_{termica} es la eficiencia térmica

$$\eta_{\text{Electrica}} = \frac{V_{\text{panel}} * I_{\text{panel}} * 100}{R_{SG} * A_{\text{panel}}}$$

$$\eta_{\text{Banco}} = \frac{[E_{\text{total acumulada}} + V_{\text{panel}} * I_{\text{panel}}] * 100}{R_{SG} * A_{\text{panel}}}$$

η_{Banco} es la eficiencia del banco híbrido

$\eta_{\text{Electrica}}$ es la eficiencia eléctrica del sistema

V_{panel} es el voltaje del panel solar

I_{panel} es la corriente del panel solar

$$Pot_{\text{Electrica}} = \eta_{\text{Elect}} * R_{SG} * A_{\text{panel}} * \tau_{\text{vidrio}}$$

Donde:

η_{Elect} es la eficiencia eléctrica

τ_{vidrio} es la transmisividad del vidrio (Tiene un valor de 0,92)

R_{SG} es la radiación solar global

A_{panel} es el área transversal donde se produce la transferencia de calor

A continuación, se mostrarán los datos experimentales obtenidos de las pruebas con los distintos bancos de energía solar los cuales se detallarán los datos y las condiciones con las que se hicieron las pruebas:

10.3 Resultados de las Pruebas Realizadas en el Banco de Energía Solar Fotovoltaico

En esta sección se mostrará los resultados obtenidos en las pruebas teniendo en cuenta el comportamiento de la irradiación, la corriente del panel y la eficiencia eléctrica los cuales son los parámetros para realizar el análisis de desempeño de este banco, para ver la tabla de datos obtenidos en las pruebas con más detalles la pueden encontrar en el ANEXO D. En las Figuras 35, 36 y 37 encontrará el comportamiento de la irradiación en los diferentes días de prueba

Figura 35.

Radiación global (29/06/2023) [0°]

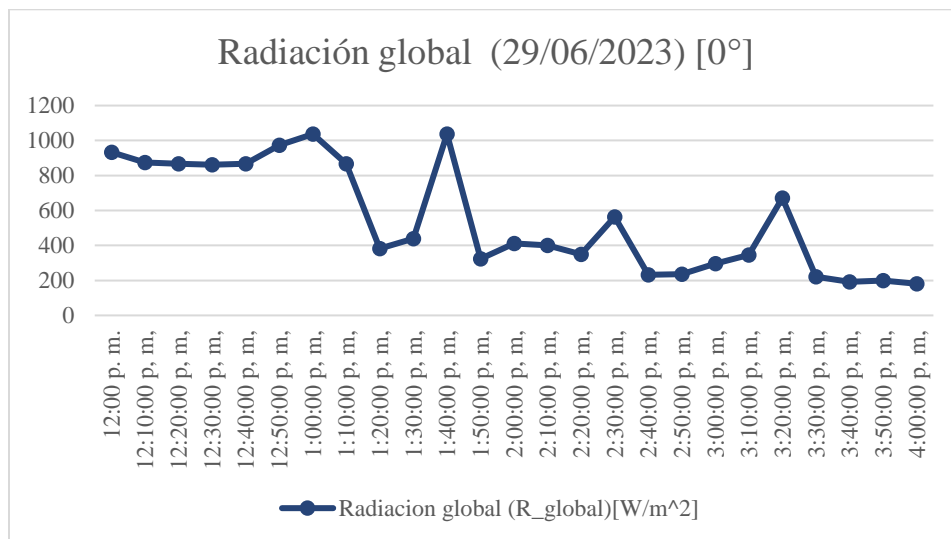


Figura 36.

Radiación global (30/06/2023) [30°]

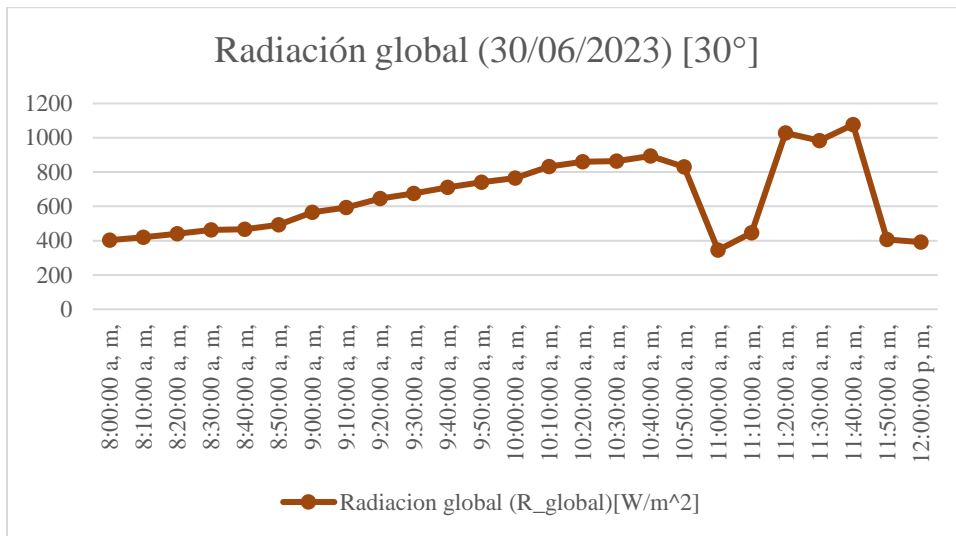
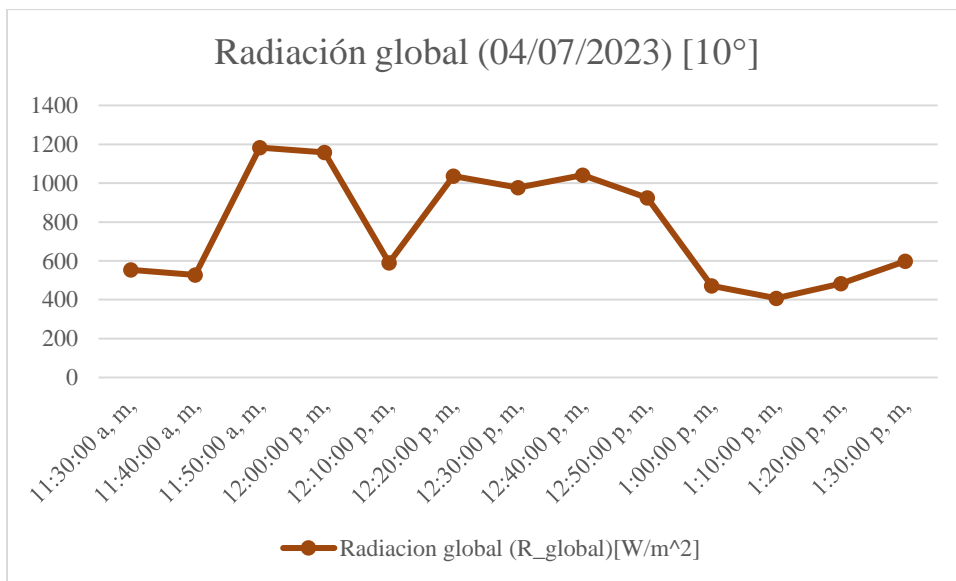


Figura 37.

Radiación global (04/07/2023) [10°]



En las figuras 38, 39 y 40 se observa el comportamiento de la corriente en el panel durante las pruebas.

Figura 38.

Corrientes del panel [A] (29/06/2023) [0°]

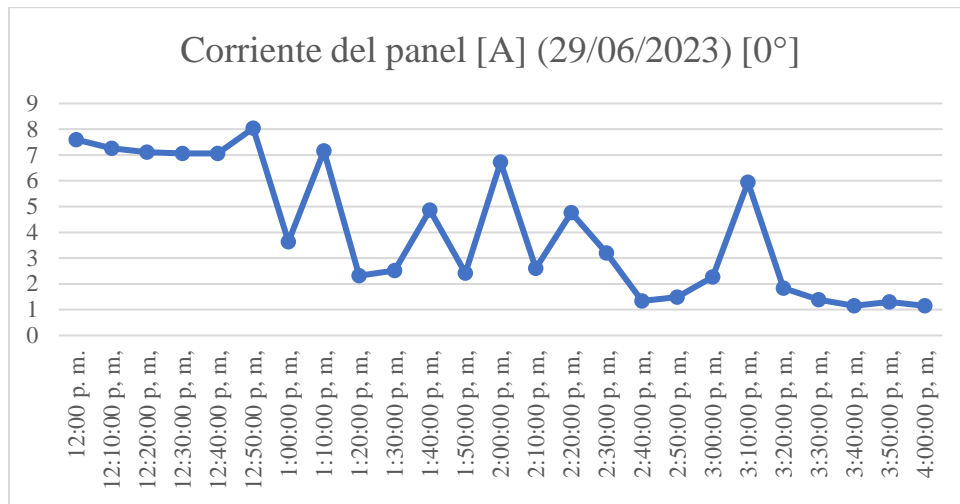


Figura 39.

Corrientes del panel (30/06/2023)[30°]

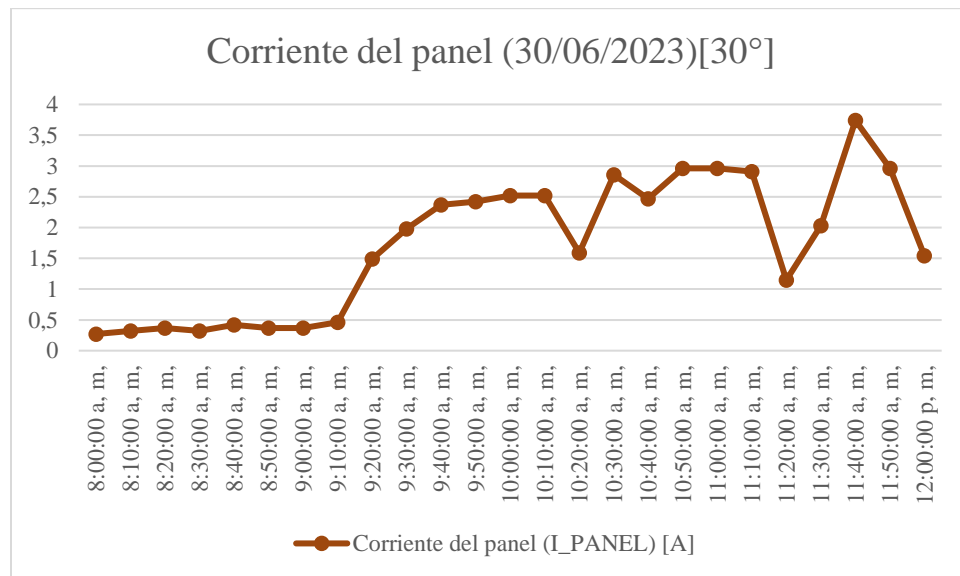
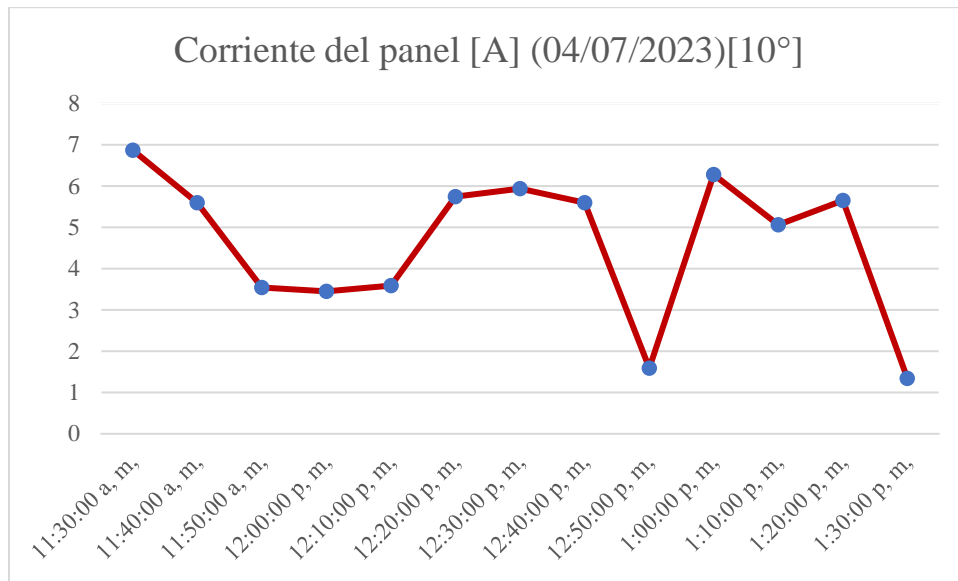


Figura 40.

Corriente del panel [A] (04/07/2023)[10°]



En las figuras 41, 42 y 43 se ilustra el comportamiento de la eficiencia eléctrica durante las pruebas realizadas. Hay que tener en cuenta que esta es la eficiencia total del banco fotovoltaico ya que solo abarca la parte eléctrica.

Figura 41.

Eficiencia eléctrica [%] (29/06/2023) [0°]

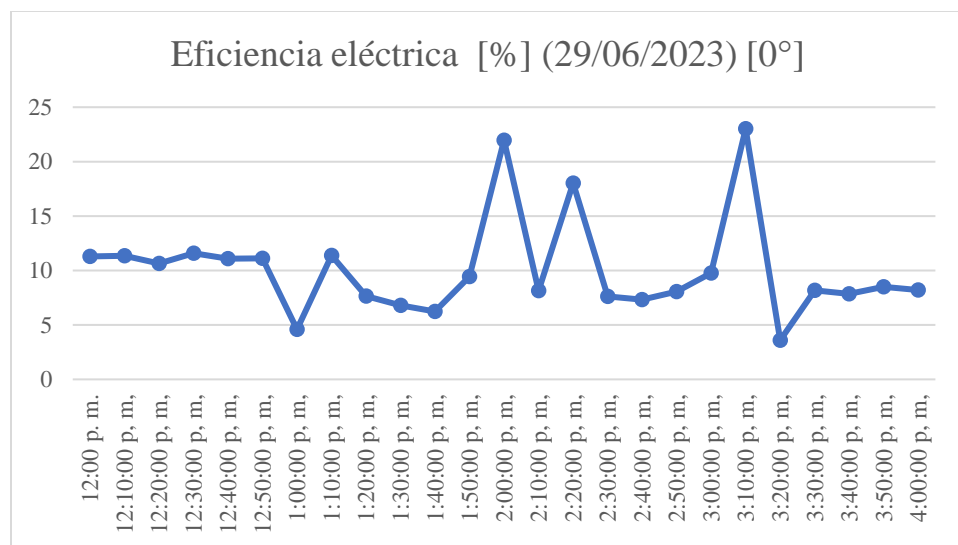


Figura 42.

Eficiencia eléctrica [%] (30/06/2023)[30°]

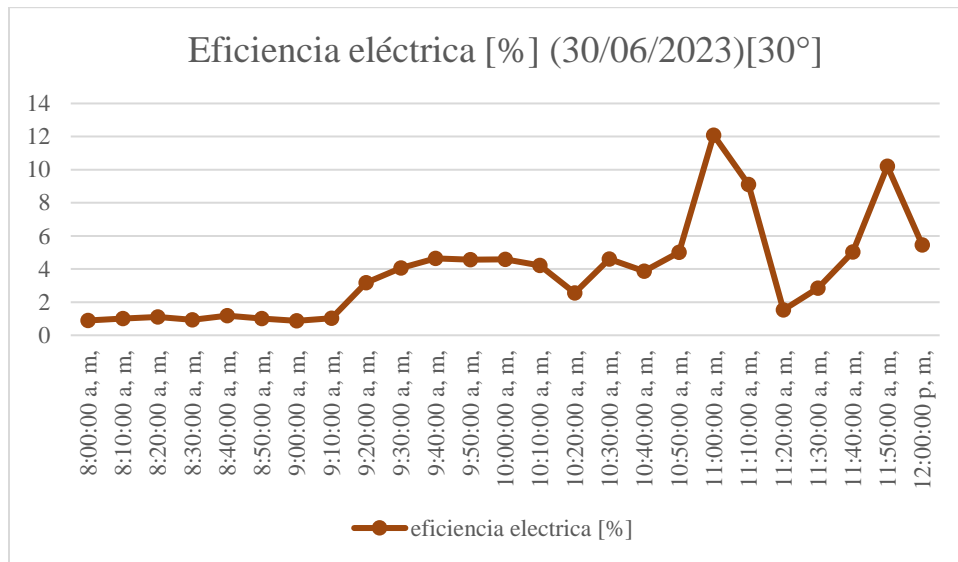
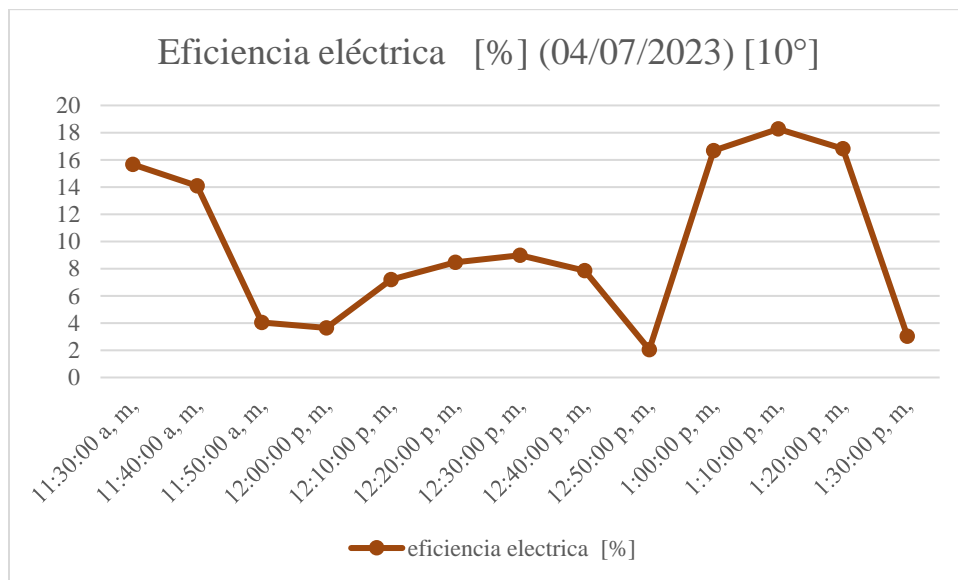


Figura 43.

Eficiencia eléctrica [%] (04/07/2023) [10°]



Para ver la tabla de datos obtenidos en las pruebas con más detalles la pueden encontrar en el ANEXO D.

10.4 Resultados de las Pruebas Realizadas en el Banco de Energía Solar Híbrido

Para el análisis de desempeño del panel de energía solar híbrido se deben tener varios factores fundamentales tales como la temperatura del fluido del tanque, la irradiación, el calor útil, la eficiencia térmica y eléctrica. Para ver la tabla de datos obtenidos en las pruebas con más detalles la pueden encontrar en el ANEXO B. Hay que tener en cuenta que los resultados que se mostraran a continuación son de 3 días diferentes con condiciones climáticas distintas; el día 5 de julio fue un día con condición climática “normal” no fue un día caluroso, pero tampoco nublado. El 13 de julio fue un día bastante caluroso por lo cual se podrá contrastar en los resultados que la radiación global captada por el panel solar es alta en la gran mayoría del tiempo y el día 14 de julio fue un día nublado con algo de lluvia por lo cual la prueba tuvo que ser detenida.

A continuación, en las figuras 44, 45 y 46 se muestra el comportamiento de la temperatura del fluido dentro del tanque

Figura 44.

Temperatura del agua en el tanque [°C] (05/07/2023) [0°]

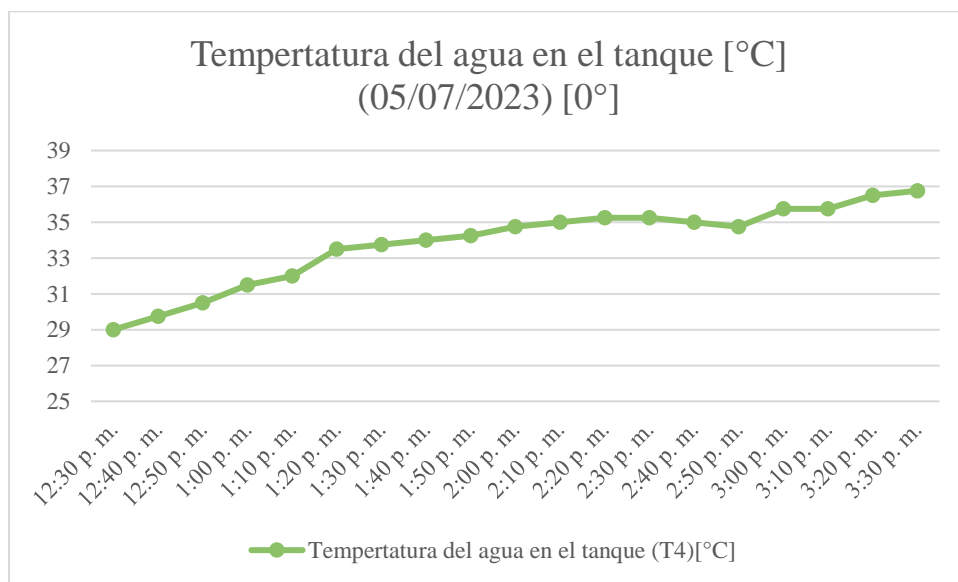


Figura 45.

Temperatura del agua en el tanque [°C] (13/07/2023) [10°]

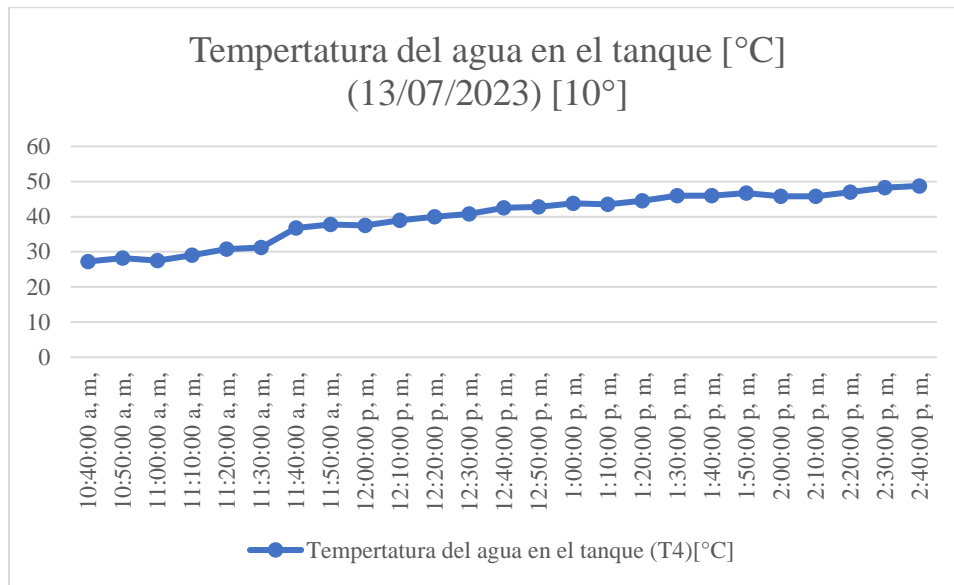
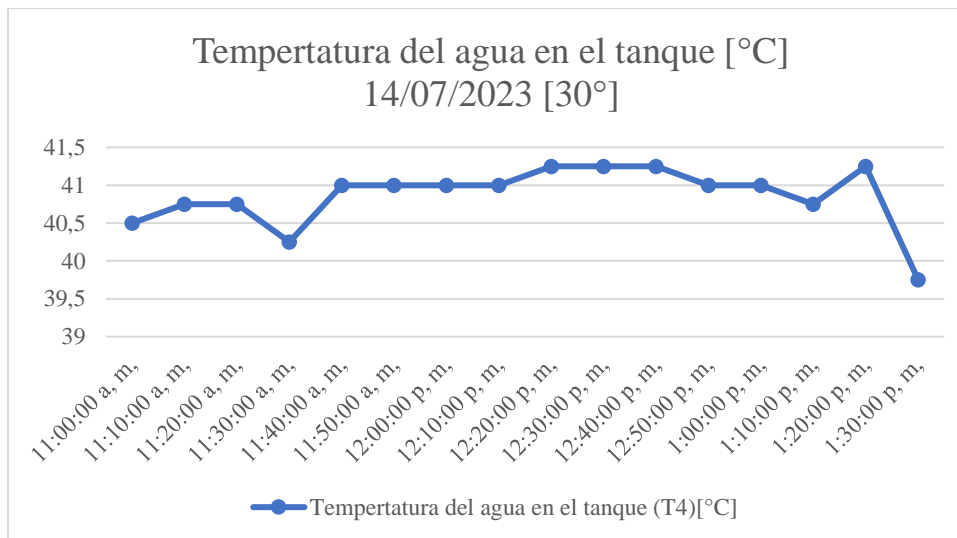


Figura 46.

Temperatura del agua en el tanque [°C] 14/07/2023 [30°]



En las Figuras 47, 48 y 49 se muestra el comportamiento del sol por medio de la radiación solar global obtenida de la plataforma de weatherLink:

Figura 47.

Radiación global [W/m²] (05/07/2023) [0°]

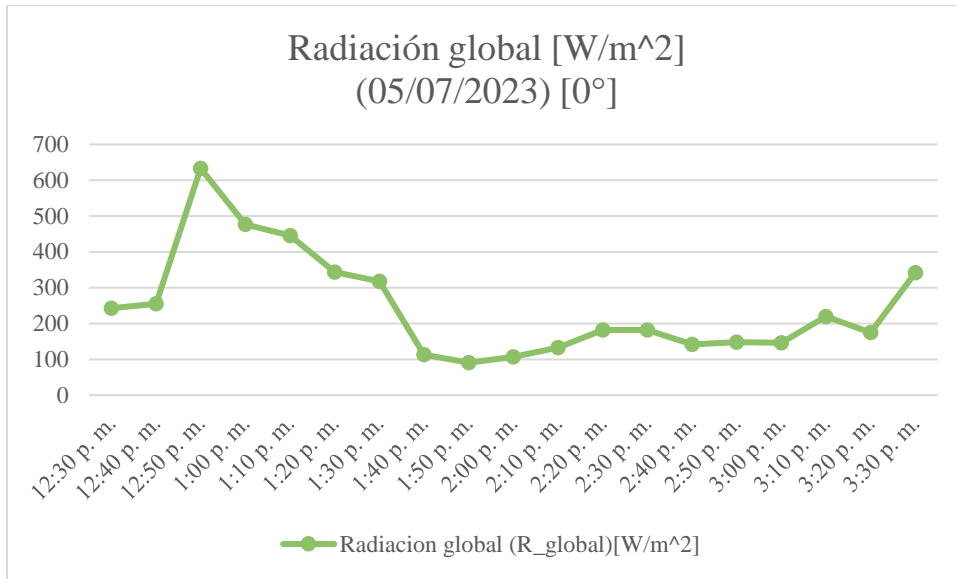


Figura 48.

Radiación global [W/m²] (13/07/2023) [10°]

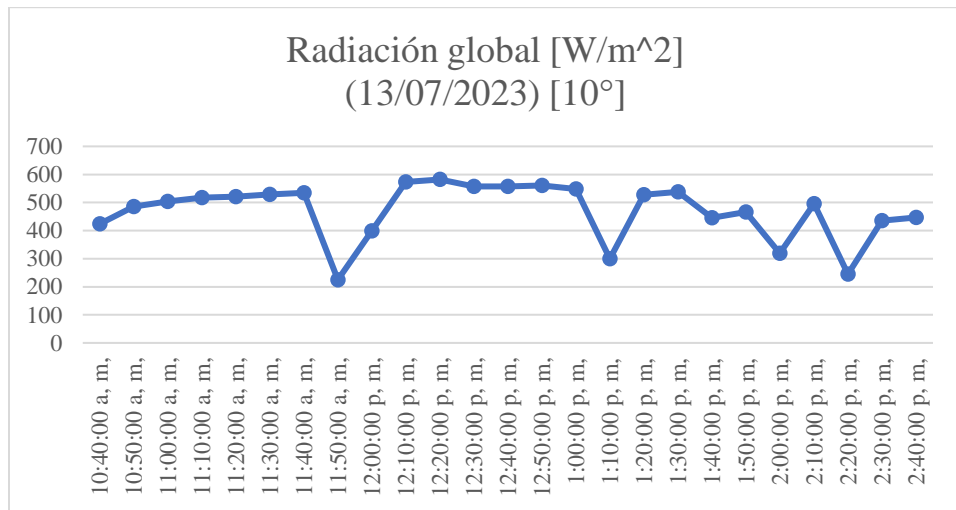
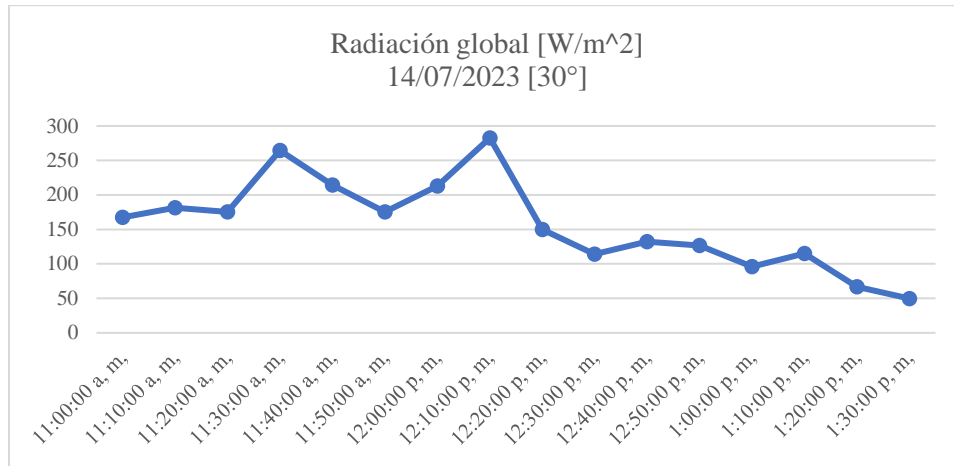


Figura 49.

Radiación global [W/m²] 14/07/2023 [30°]



Viendo las figuras anteriores se puede contrastar que el mejor día para tomar las pruebas fue el 13 de julio ya que la radiación global trata de permanecer constante con un valor alto por lo contrario del 14 de julio que se puede ver como disminuye la radiación solar casi a cero por el hecho que era un día nublado con lluvia. Para analizar las condiciones del tanque se debe tener la energía en forma de calor que se almacena en dicho tanque, realizando los cálculos se obtuvieron los datos mostrados en las figuras 50, 51 y 52

Figura 50.

Calor útil [KJ] (05/07/2023) [0°]

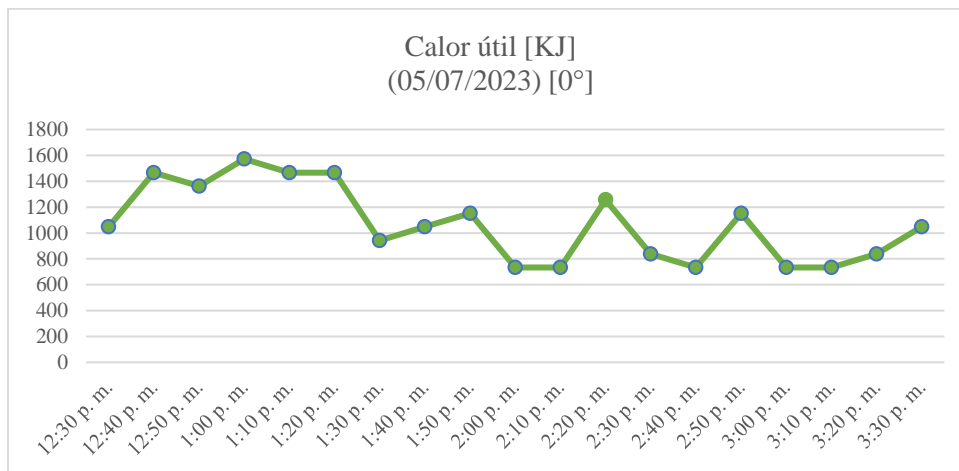


Figura 51.

Calor útil [KJ] (13/07/2023) [10°]

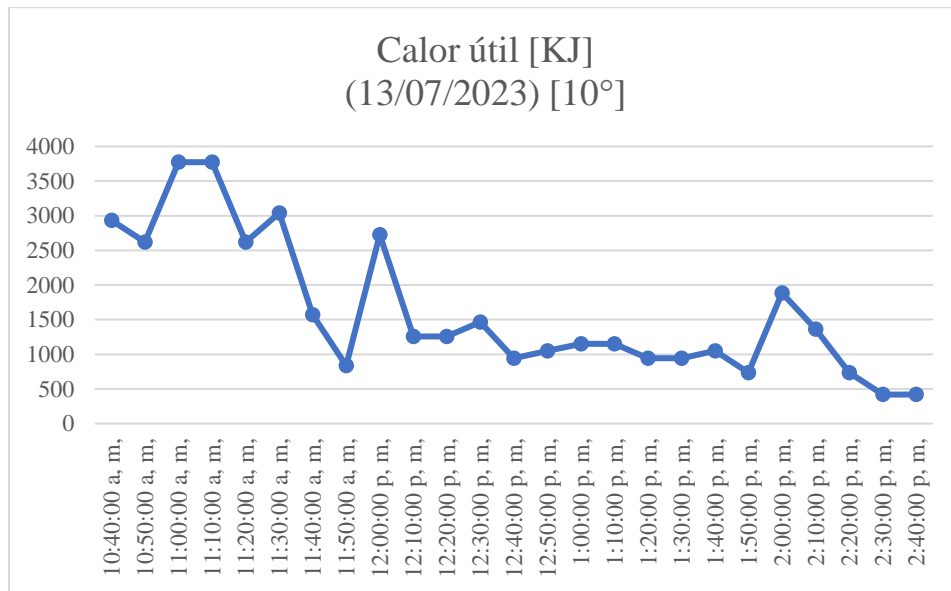
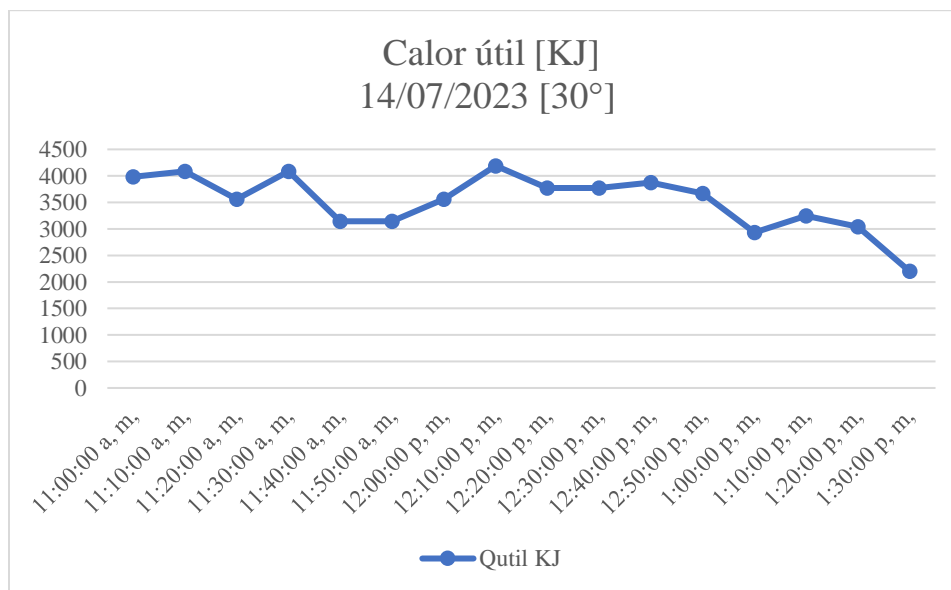


Figura 52.

Calor útil [KJ] 14/07/2023 [30°]



En las figuras 53, 54 y 55 nos muestra el comportamiento de la eficiencia que posee la parte eléctrica del banco.

Figura 53.

Eficiencia eléctrica [%] (05/07/2023) [0°]

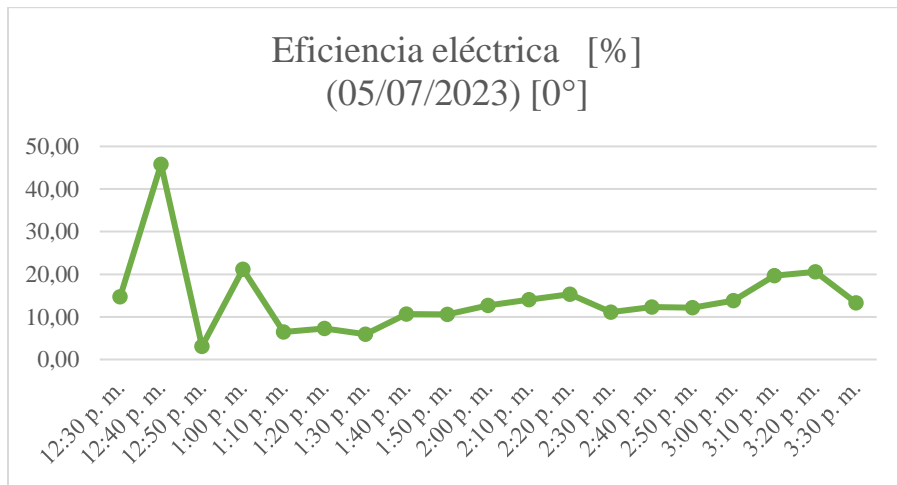


Figura 54.

Eficiencia eléctrica (%) (13/07/2023) [10°]

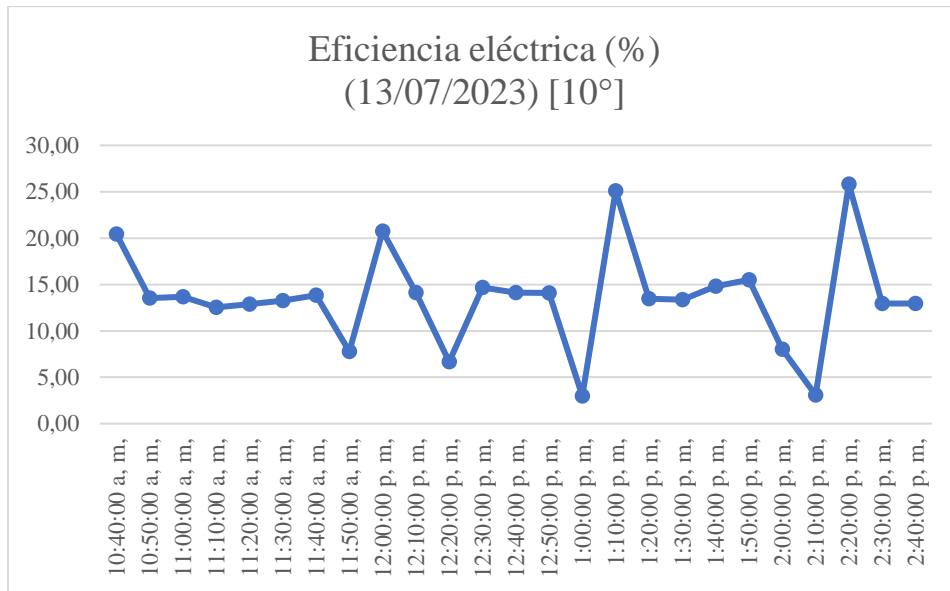
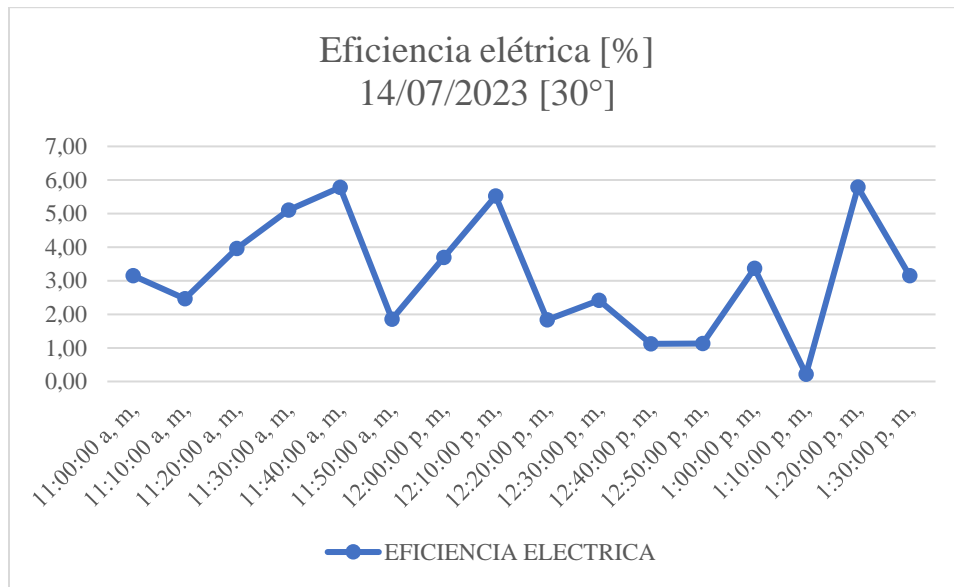


Figura 55.

Eficiencia eléctrica [%] 14/07/2023 [30°]



En las figuras 56, 55 y 56 nos muestra el comportamiento de la eficiencia térmica:

Figura 56.

Eficiencia térmica [%] (05/07/2023) [0°]

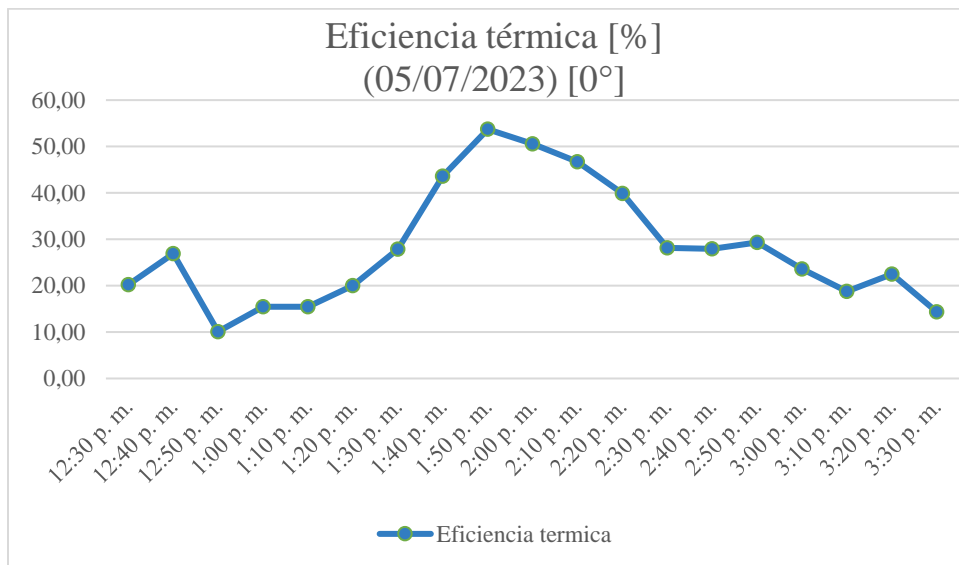


Figura 57.

Eficiencia térmica [%] (13/07/2023) [10°]

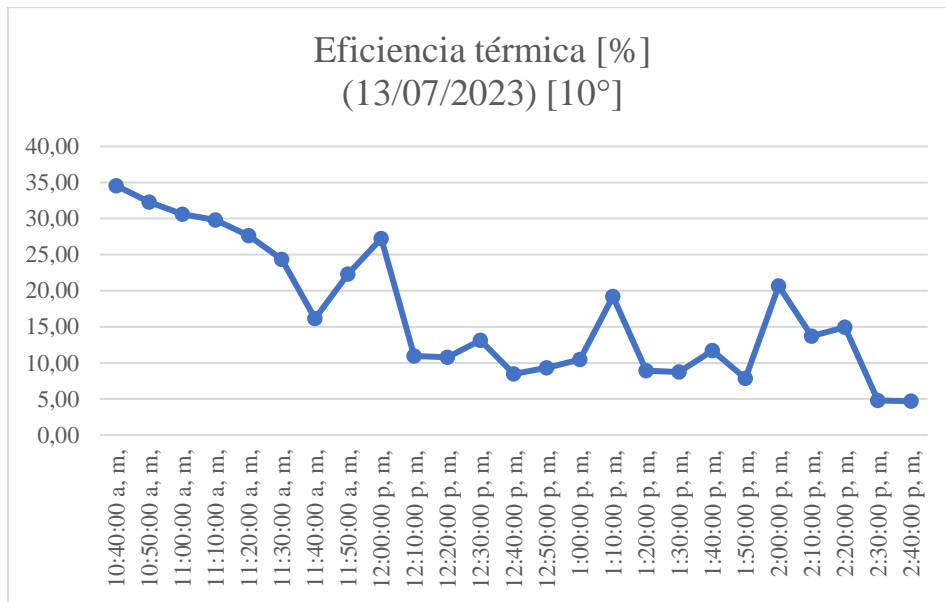
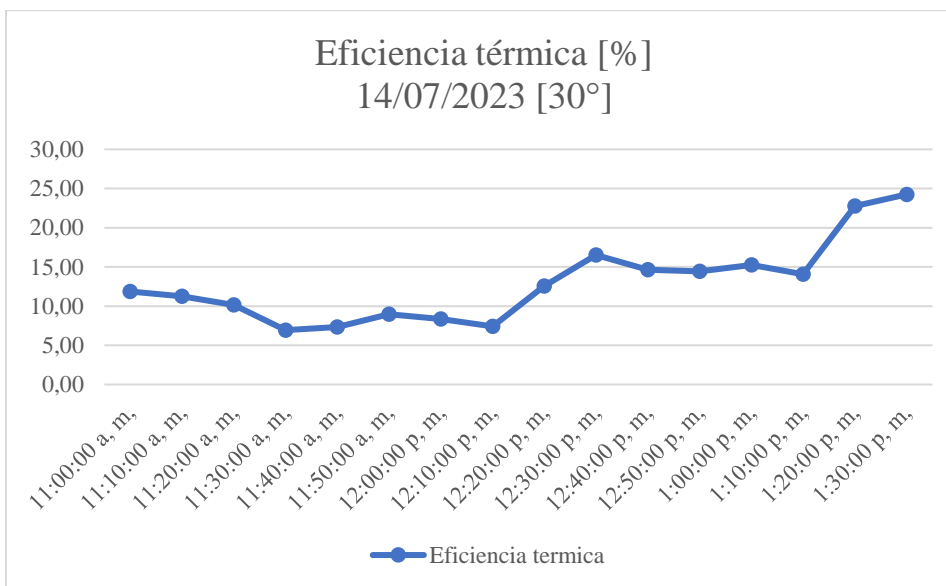


Figura 58.

Eficiencia térmica [%] 14/07/2023 [30°]



A continuación, en las figuras 59, 60, 61 se ilustra el comportamiento de la eficiencia del banco híbrido en el laxo de tiempo que dura la prueba.

Figura 59.

Eficiencia del banco [%] (05/07/2023) [0°]

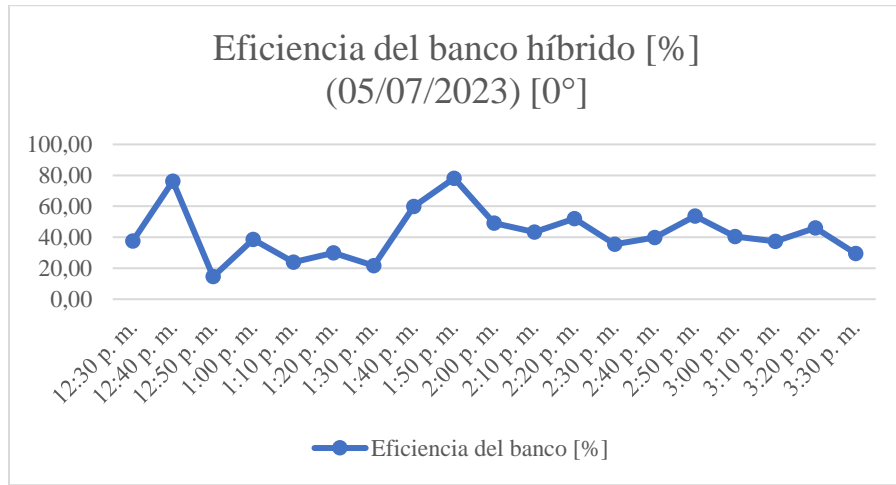


Figura 60.

Eficiencia del banco híbrido [%] (13/07/2023) [10°]

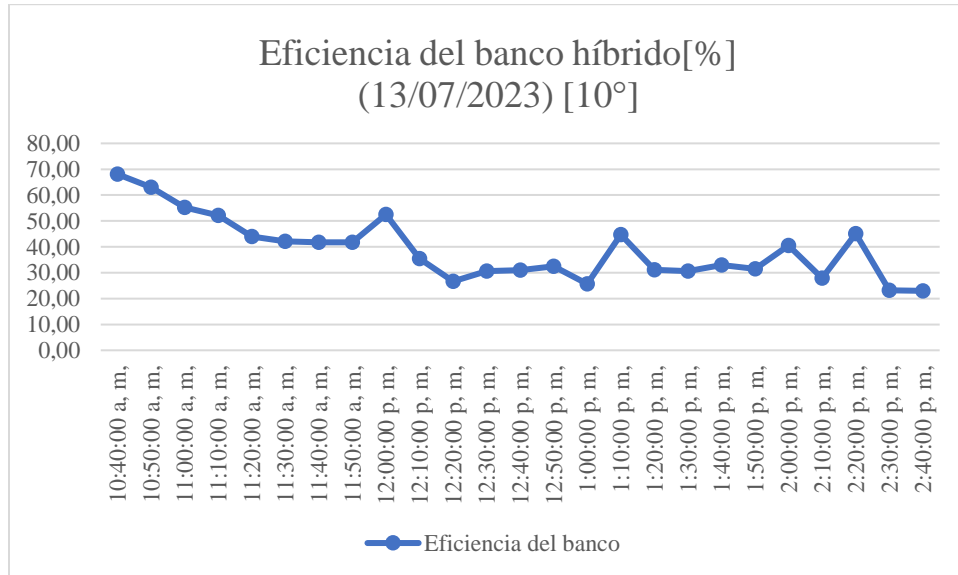
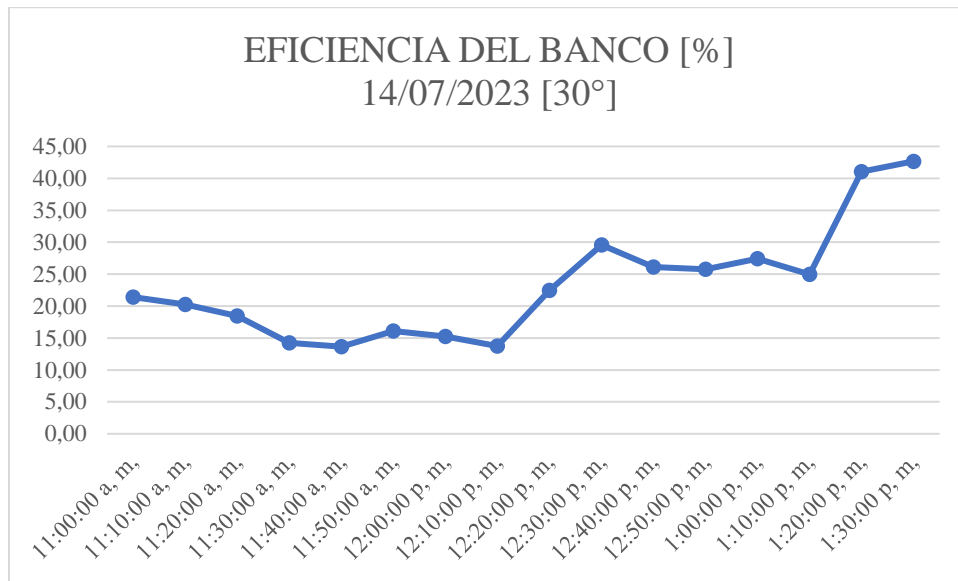


Figura 61.*Eficiencia del banco [%] 14/07/2023 [30°]*

Analizando los comportamientos de las eficiencias del banco de energía solar fotovoltaico y el híbrido se puede contrastar que el banco de energía solar híbrido posee una eficiencia mayor siempre porque en este se tiene en cuenta la energía eléctrica como la energía térmica por lo cual se demuestra que el desempeño del banco de energía solar híbrido es mayor al fotovoltaico.

11. Costos

En la figura 63 se muestra los costos respectivos para la activación de actividades en los bancos de energía solar híbrido y fotovoltaico.

Figura 62.*Costos de los implementos utilizados en el proyecto*

MATERIALES Y DISPOSITIVOS COMPRADOS	VALOR
Cables	\$ 40.000
Bombillos	\$ 20.000
Plásticos de protección externa	\$ 50.000
Sensor de corriente y voltaje digital	\$ 40.000
Pegante hipermeable	\$ 25.000
Cinta industrial gris	\$ 32.000
Termocuplas Tipo K + modulo Max 6675	\$ 200.000
Regulador de carga Ocean Dream Series	\$ 120.000
Arduino UNO R3	\$ 48.000
Arduino MEGA	\$ 87.000,00
Placas de protoboard	\$ 24.000,00
Jumpers para arduino	\$ 25.000,00
Sensores de voltaje- Fz0340	\$ 40.000,00
Sensores de corriente ACS712	\$ 92.000,00
Cables hembra macho de 5M para arduino	\$ 60.000,00
Transporte	\$ 120.000,00
TOTAL	\$ 1.023.000,00

12. Conclusiones

Se reactivaron los bancos de energía solar con panel fotovoltaico y con colector solar híbrido quedando totalmente funcional para el uso de la escuela de ingeniería mecánica en el laboratorio de sistemas térmicos.

En la comparación de los módulos fotovoltaicos, se concluye que el banco de energía solar híbrido posee un desempeño mayor al fotovoltaico gracias a la circulación de agua que permite refrigerar el panel solar y mejorar un poco su rendimiento eléctrico lo cual lo hace más eficiente en su labor.

Al examinar la cantidad de energía eléctrica producida en el colector solar híbrido de acuerdo a las pruebas realizadas, se observa que la producción de energía es mayor al del panel

fotovoltaico convencional debido que aprovecha dos tipos de energía: la energía para calentar el fluido contenido en el tanque de almacenamiento, y la energía eléctrica para garantizar que la bomba realice la circulación del fluido a través del captador.

Se observó que la toma de datos para el análisis del comportamiento de los bancos de energía solar en forma manual era algo tedioso y demorado por lo cual se automatizó por medio de sensores, termopares y Arduino la recolección de datos como: Temperatura, corriente y voltaje.

Al observar el comportamiento de la temperatura del fluido almacenado se evidenció que el tanque está conservando gran parte de la energía suministrada gracias al recubrimiento que este posee.

La plataforma meteorológica de WeatherLink con estación en la escuela de Ingeniería Mecánica fue de gran utilidad para la recolección de datos ya que nos brinda información meteorológica en tiempo real y así no tener que implementar un piranómetro para la recopilación de información sobre la radiación solar.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado Fajardo, A. C. (2014). *Análisis, diseño y simulación de sistema solar fotovoltaico para suministro eléctrico en apoyo a programa nutricional en la escuela rural el cardonal, tibaná (Boyacá), Colombia*. Bogotá: [Proyecto de grado] Universidad Libre .
https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9353/TesisMaestria_AndreaCatalinaAlvarado.pdf?sequence=1
- Ardobot Robótica SAS. (s.f.). *Modulo Sensor de Voltaje FZ0430 0V ~ 25V*.
<https://www.ardobot.co/modulo-sensor-de-voltaje-fz0430-0v-25v.html>
- Brewmasters México. (s.f.). *Fermentador de Polietileno de 50 a 200 Litros. Línea Económica*.
<https://brewmasters.com.mx/shop/fermentador-de-polietileno-de-50-a-200-litros-linea-economica/>
- Chávez Guerrero, M. A. (2012). *Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad, en el complejo habitacional San Antonio de Rio Bamba*.
https://usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Electricidad/73.pdf
- Contreras, S. (2014). *Diseño y construcción de un prototipo de un colector solar híbrido*.
- Electrónica Steren, S.A. . (s.f.). *Placa de desarrollo MEGA*. <https://www.steren.com.co/placa-de-desarrollo-mega.html>
- Energía Alternativa. (2022). *Como calcular el número de paneles solares para una casa / Parte III*. YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=4xkKqjNchnY>
- Erik, M. (2009). *Max6675 con termopar k y lcd 16x2 (sensor de temperatura archivo de)*. YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=0ubA3plqCuo>

Eshopkh . (s.f.). *Solar charge controller ocean dream series Id solar 12v – 24v* .

<https://www.eshopkh.com/products/solar-charge-controller-ocean-dream-series-ld-solar-12v-24v?variant=41037160251543>

Khelifa, A., Touafek, K., Ben Moussa, H., Tabet, I., Ben cheikh El hocine, H., & Haloui, H. (2015).

Analysis of a Hybrid Solar Collector Photovoltaic Thermal (PVT). *Energy Procedia* 74, 835-843. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215015878>

Llamas, L. (2016). *Medir voltajes de hasta 25V con Arduino y FZ0430*.

<https://www.luisllamas.es/medir-voltajes-de-hasta-25v-con-arduino-y-fz0430/>

Majju. (s.f.). *MAX6675 K-Type Thermocouple Temperature Sensor Module*.

<https://www.majju.pk/product/max6675-k-type-thermocouple-temperature-sensor-module/>

Mercado libre. (s.f.). *Bateria Sellada Vrla Agm 12v 100ah Netion, Ups/ Solar*.

https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1208599498-bateria-sellada-vrla-agm-12v-100ah-netion-ups-solar-_JM

Merkasol (s.f.). *Paneles solares Yingli Solar* .

http://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/4F37/C141/6C65/6629/D59B/C0A8/28BC/EC37/Paneles_Solares_Yingli_Solar.jpg

Narvaez, M., & Uriguen, C. (2016). *Diseño e implementacion de un sistema hibrido de agua*

sanitaria caliente (ACS), para reducción de energía eléctrica y uso de gas licuado de petróleo (GLP). [Trabajo de titulación] Universidad Politecnica Salesiana.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12258/1/UPS-CT006404.pdf>

Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Tutorial sensor de corriente ACS712*.

https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html

- Ossa Arango, V. (2017). *Ensamble y caracterización de un panel solar fotovoltaico*. [Trabajo de grado] Universidad Tecnológica de Pereira.
<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/525f3203-4bf3-42f7-a7d5-fe8239c0c669/content>
- Pareja Aparicio, M. (2010). *Radiación solar y su aprovechamiento*. Madrid: Marcombo.
- Sánchez Procel, L. F. (2010). *Análisis y diseño de un sistema de calefacción solar para agua caliente sanitaria*. [Tesis] Universidad Politecnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5051/1/UPS-CT001668.pdf>
- Ssdielect Electronica SAS. (s.f.). *ACS712 Sensor de corriente 20 amperios Max*.
<https://ssdielect.com/arduino-y-compatibles-1/1612-ac712-20a.html>
- Suman, S., Kaleem Khan, M., & Pathak, M. (2015). Performance enhancement of solar collectors—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49, 192-210.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115003573>
- Tarzan Componentes. (s.f.). *Arduino Uno R3 Dip*. https://www.tarzancomponentes.com.br/MLB-1645511404-arduino-uno-r3-dip-_JM
- Template Monster. (s.f.). *Cobra CPI-1590 1500 Watt 12V Power Inverter | Inverters R Us*.
<https://shop13930.detskiezabolevaniya.com/content?c=cobra+inverter&id=36>
- Tobajas, M. (2012). *Montaje y Mantenimiento de Instalaciones Solares Térmicas*. Ceysa.
- Tobajas, M. C. (2015). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. ProQuest ebrary:
<http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/printPage.action?op=toPDF&ct=MLA&rds=chapter&docID=11002253&st=6&ed=29&dt=1447099007649>
- Valdovinos Flores, R. H. (2009). *Sistemas solares térmicos para el calentamiento de agua domiciliaria*. Universidad de Santiago de Chile.

<http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaupssp/printPage.action?op=toPDF&ct=MLA&rds=chapter&docID=10552363&st=70&ed=90&dt=1447872734523>

Apéndices

Apéndice A. Códigos de Arduino utilizados para las mediciones de los bancos de energía solar

- *Código para la medición de temperaturas*

```
#include <max6675.h>

// Ejemplo MAX6675 ARDUINO SERIAL BASICO

int ktcS0 = 22;
int ktcCS = 2 ;
int ktcCLK = 3;

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcS0);

int ktc1S0 = 24;
int ktc1CS = 4;
int ktc1CLK = 5;

MAX6675 ktc1(ktc1CLK, ktc1CS, ktc1S0);

int ktc2S0 = 26;
int ktc2CS = 6;
int ktc2CLK = 7;

MAX6675 ktc2(ktc2CLK, ktc2CS, ktc2S0);

int ktc3S0 = 28;
int ktc3CS = 8;
int ktc3CLK = 9;

MAX6675 ktc3(ktc3CLK, ktc3CS, ktc3S0);

void setup() {
  // PREPARAR LA INTERFAZ SERIAL
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
```

```

Serial.print("T_panel= ");
Serial.print(ktc.readCelsius());

Serial.print("    T_entrada= ");
Serial.print(ktc1.readCelsius());

Serial.print("    T_salida= ");
Serial.print(ktc2.readCelsius());

Serial.print("    T_tanque= ");
Serial.println(ktc3.readCelsius());

// ESPERAR UN SEGUNDO ENTRE LAS LECTURAS
delay(60000);
}

```

- *Código para la toma de voltajes y corrientes*

```

const int sensorPin = A0; // seleccionar la entrada para el sensor
const int sensorPin1 = A1;
const int sensorPin2 = A2;
int sensorValue; // variable que almacena el valor raw (0 a
1023)
int sensorValue1;
int sensorValue2;
float value; // variable que almacena el voltaje (0.0 a 25.0)
float value1;
float value2;
float Sensibilidad=0.100; //sensibilidad en Voltios/Amperio para
sensor de 5A

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(sensorPin); // realizar la lectura
  value = fmap(sensorValue, 0, 1023, 0.0, 25.0); // cambiar
escala a 0.0 - 25.0

  Serial.print("    V_p= ");
  Serial.print(value); // mostrar el valor por serial

```

```

    sensorValue1 = analogRead(sensorPin1);          // realizar la
lectura
    value1 = fmap1(sensorValue1, 0, 1023, 0.0, 25.0) ; // cambiar
escala a 0.0 - 25.0

    Serial.print("  V_bat= ");
    Serial.print(value1);                          // mostrar el valor por serial

    sensorValue2 = analogRead(sensorPin2);          // realizar la
lectura
    value2 = fmap2(sensorValue2, 0, 1023, 0.0, 25.0); // cambiar
escala a 0.0 - 25.0

    Serial.print("  V_inv= ");
    Serial.print(value2);                          // mostrar el valor por serial

    float voltajeSensor3= analogRead(A3)*(5.0 / 1023.0); //lectura del
sensor
    float I1=(voltajeSensor3-2.5)/Sensibilidad; //Ecuación para
obtener la corriente
    Serial.print("  I_pan= ");
    Serial.print(I1);

    float voltajeSensor4= analogRead(A4)*(5.0 / 1023.0); //lectura del
sensor
    float I2=((voltajeSensor4-2.5)/Sensibilidad); //Ecuación para
obtener la corriente
    Serial.print("  I_bat= ");
    Serial.println(I2);

    delay(60000);
}
// cambio de escala entre floats
float fmap(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float
out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}
// cambio de escala entre floats
float fmap1(float x, float in_min, float in_max, float out_min,
float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}

```

```
// cambio de escala entre floats
float fmap2(float x, float in_min, float in_max, float out_min,
float out_max)
{
    return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) +
out_min;
}
```

Apéndice B. Resultados obtenidos en las pruebas del banco de energética solar fotovoltaica

PRUEBA 1 FOTOV SOL															
INCLINACION:0° COORDENADAS (7,139961,-73,120450) FECHA: 29/06/2023															
HORA	Voltaje del panel (V_PANEL) [V]	Voltaje de la batería (V_BAT) [V]	Voltaje del inversor (V_INV) [V]	Corriente del panel (I_PANEL) [A]	Corriente de la batería (I_BAT) [A]	Corriente del inversor (I_INV) [A]	Radiación global (R_global) [W/m²]	Radiación difusa (R_difusa) [W/m²]	Radiación del albedo (R_Alb) [W/m²]	Radiación directa (R_directa) [W/m²]	Radiación total (R_total) [W/m²]	Temperatura ambiente (T_AMB) [°F]	Velocidad del viento (V_viento) [m/h]	EFICIENCIA ELECTRICA [%]	Potencia eléctrica [W]
12:00 p. m.	13,02	13,44	12,49	7,6	14,44	14,44	933	380,38	0	552,62	933	87	4	11,28	91,01
12:10:00 p. m.	12,85	13,19	12,4	7,26	12,15	12,15	875	388,95	0	486,05	875	88	8	11,34	85,81
12:20:00 p. m.	12,22	12,61	12,59	7,11	14,3	14,3	867	389,8	0	477,2	867	89	4	10,66	79,93
12:30:00 p. m.	13,27	13,73	12,35	7,06	12,05	12,05	861	390,38	0	470,62	861	88	11	11,58	86,22
12:40:00 p. m.	12,8	13,24	12,22	7,06	11,95	11,95	868	389,7	0	478,3	868	88	7	11,08	83,17
12:50:00 p. m.	12,65	13,19	12,69	8,04	14,64	14,64	974	371,74	0	602,26	974	88	1	11,11	93,58
1:00:00 p. m.	12,26	12,46	12,13	3,64	10,97	10,97	1037	354,31	0	682,69	1037	88	13	4,578	41,06
1:10:00 p. m.	12,97	13,22	12,57	7,16	13,95	13,95	867	389,8	0	477,2	867	87	2	11,39	85,4
1:20:00 p. m.	11,85	11,92	12,35	2,32	10,68	10,68	383	289,88	0	93,12	383	87	14	7,636	25,29
1:30:00 p. m.	11,14	11,58	11,32	2,52	9,46	9,46	439	316,65	0	122,35	439	86	7	6,803	25,83
1:40:00 p. m.	12,51	13	12,15	4,86	10,73	10,73	1037	354,31	0	682,69	1037	86	5	6,237	55,93
1:50:00 p. m.	11,85	11,9	11,74	2,42	10,34	10,34	323	256,77	0	66,23	323	86	3	9,445	26,38
2:00:00 p. m.	12,63	13	12,57	6,72	13,03	13,03	411	303,76	0	107,24	411	86	0	21,97	78,09
2:10:00 p. m.	11,78	12,12	11,54	2,61	9,56	9,56	401	298,92	0	102,08	401	86	12	8,157	28,29
2:20:00 p. m.	12,43	12,9	12,25	4,77	10,14	10,14	350	272,23	0	77,77	350	86	0	18,02	54,54
2:30:00 p. m.	12,61	12,65	12	3,2	10	10	564	362,06	0	201,94	564	86	4	7,611	37,12
2:40:00 p. m.	11,9	11,85	11,96	1,34	10,39	10,39	232	197,83	0	34,17	232	86	5	7,312	14,67
2:50:00 p. m.	12	11,97	12,2	1,49	9,8	9,8	236	200,64	0	35,36	236	85	7	8,06	16,45
3:00:00 p. m.	12	12	12,54	2,27	10,14	10,14	297	241	0	56	297	84	8	9,757	25,06
3:10:00 p. m.	12,56	12,83	12,74	5,94	11,12	11,12	345	269,44	0	75,56	345	85	0	23,01	68,65
3:20:00 p. m.	12,39	12,41	12,74	1,83	9,75	9,75	671	385,17	0	285,83	671	86	1	3,595	20,86
3:30:00 p. m.	12,24	12,46	12,35	1,39	8,92	8,92	221	189,99	0	31,01	221	85	4	8,19	15,65
3:40:00 p. m.	12,34	12,34	12,37	1,15	9,6	9,6	192	168,6	0	23,4	192	83	6	7,863	13,06
3:50:00 p. m.	12,29	12,19	12,2	1,3	9,6	9,6	200	174,61	0	25,39	200	84	3	8,498	14,7
4:00:00 p. m.	12,14	12,14	12,3	1,15	9,46	9,46	181	160,2	0	20,8	181	83	6	8,206	12,84

PRUEBA 2 FOTOV SOL															
INCLINACION:30° COORDENADAS (7,139961,-73,120450) FECHA: 30/06/2023															
HORA	Voltaje del panel (V_PANEL) [V]	Voltaje de la batería (V_BAT) [V]	Voltaje del inversor (V_INV) [V]	Corriente del panel (I_PANEL) [A]	Corriente de la batería (I_BAT) [A]	Corriente del inversor (I_INV) [A]	Radiación global (R_global) [W/m²]	Radiación difusa (R_difusa) [W/m²]	Radiación del albedo (R_Alb) [W/m²]	Radiación directa (R_directa) [W/m²]	Radiación total (R_total) [W/m²]	Temperatura ambiente (T_AMB) [°F]	Velocidad del viento (V_viento) [m/h]	eficiencia eléctrica [%]	Potencia eléctrica [W]
8:00:00 a. m.	12,56	12,66	12,63	0,27	17,62	17,62	403	276,48	5,4	66	347,88	79	0	0,8952	3,12
8:10:00 a. m.	12,51	12,54	12,59	0,32	17,57	17,57	420	283,76	5,63	71,69	361,08	79	0	1,014	3,683
8:20:00 a. m.	12,44	12,51	12,56	0,37	17,57	17,57	441	292,28	5,91	79,03	377,22	80	1	1,11	4,233
8:30:00 a. m.	12,66	12,61	12,63	0,32	17,52	17,52	462	300,25	6,19	86,74	393,18	80	0	0,9329	3,727
8:40:00 a. m.	12,44	12,49	12,59	0,42	17,57	17,57	466	301,71	6,24	88,25	396,2	80	0	1,193	4,808
8:50:00 a. m.	12,56	12,68	12,71	0,37	17,57	17,57	492	310,7	6,59	98,37	415,66	81	0	1,005	4,276
9:00:00 a. m.	12,54	12,56	12,59	0,37	17,47	17,47	566	331,76	7,58	130,19	469,54	81	0	0,8721	4,269
9:10:00 a. m.	12,56	12,68	12,73	0,46	17,47	17,47	594	337,98	7,96	143,39	489,33	82	4	1,035	5,317
9:20:00 a. m.	12,9	13	13,03	1,49	16,89	16,89	645	346,84	8,64	169,07	524,55	81	3	3,17	17,68
9:30:00 a. m.	13,03	13,17	13,15	1,98	16,79	16,79	675	350,57	9,04	185,16	544,77	82	0	4,066	23,73
9:40:00 a. m.	13,05	13,25	13,32	2,37	16,74	16,74	710	353,51	9,51	204,86	567,89	82	5	4,634	28,45
9:50:00 a. m.	13,1	13,32	13,37	2,42	16,69	16,69	740	354,85	9,91	222,54	587,3	83	2	4,558	29,17
10:00:00 a. m.	13,1	13,27	13,32	2,52	16,74	16,74	765	355,11	10,25	237,83	603,19	83	0	4,591	30,37
10:10:00 a. m.	13,1	13,27	13,32	2,52	16,74	16,74	833	351,97	11,16	281,99	645,12	83	1	4,216	30,37
10:20:00 a. m.	12,98	13,17	13,22	1,59	16,69	16,69	860	349,15	11,52	300,56	661,23	83	1	2,553	18,99
10:30:00 a. m.	13,05	13,39	13,42	2,86	16,69	16,69	863	348,78	11,56	302,66	663	84	2	4,601	34,34
10:40:00 a. m.	13,15	13,34	13,37	2,47	16,69	16,69	893	344,48	11,96	324,07	680,52	84	3	3,869	29,88
10:50:00 a. m.	13,22	13,47	13,47	2,96	16,64	16,64	831	352,14	11,13	280,64	643,91	85	0	5,009	36
11:00:00 a. m.	13,25	13,44	13,44	2,96	16,69	16,69	345	248,95	4,62	48,37	301,94	85	4	12,09	36,07
11:10:00 a. m.	13,1	13,29	13,54	2,91	16,64	16,64	445	293,84	5,96	80,47	380,27	85	0	9,113	35,07
11:20:00 a. m.	12,93	13	13,25	1,15	16,64	16,64	1028	311,51	13,77	429,46	754,75	86	0	1,539	13,68
11:30:00 a. m.	12,95	13,17	13,22	2,03	16,69	16,69	983	324,99	13,17	392,69	730,84	87	3	2,845	24,19
11:40:00 a. m.	13,59	13,59	13,64	3,74	16,64	16,64	1076	294,41	14,42	470,51	779,33	87	3	5,025	46,76
11:50:00 a. m.	13,17	13,49	13,61	2,96	16,64	16,64	406	277,79	5,44	66,99	350,21	87	1	10,21	35,85
12:00:00 p. m.	13,05	13,2	13,29	1,54	16,64	16,64	392	271,57	5,25	62,45	339,27	86	0	5,454	18,49

PRUEBA 3 FOTOVOLTAICO															
INCLINACION:10° COORDENADAS (7,139961,-73,120450) FECHA: 4/07/2023															
HORA	Voltaje del panel (V_PANEL) [V]	Voltaje de la batería (V_BAT) [V]	Voltaje del inversor (V_INV) [V]	Corriente del panel (I_PANEL) [A]	Corriente de la batería (I_BAT) [A]	Corriente del inversor (I_INV) [A]	Radiación global (R_global) [W/m²]	Radiación difusa (R_difusa) [W/m²]	Radiación del albedo (R_Alb) [W/m²]	Radiación directa (R_directa) [W/m²]	Radiación total (R_total) [W/m²]	Temperatura ambiente (T_AMB) [°F]	Velocidad del viento (V_viento) [m/h]	eficiencia eléctrica [%]	Potencia eléctrica [W]
11:30:00 a, m	11,88	11,97	15,93	6,87	16,15	16,16	554	354,66	0,84	175,94	531,44	81	1	15,67	75,07
11:40:00 a, m	12,46	12,88	16,37	5,6	14,88	14,89	527	346,42	0,8	159,2	506,43	82	1	14,09	64,22
11:50:00 a, m	12,73	13,03	17,08	3,54	13,71	13,72	1183	284,24	1,8	802,24	1088,27	82	0	4,052	41,45
12:00:00 p, m	11,53	11,61	15,62	3,45	15,76	15,77	1158	296,64	1,76	768,69	1067,09	82	0	3,654	36,59
12:10:00 p, m	11,12	11,17	15,4	3,59	16,06	16,07	591	364,44	0,9	200,22	565,56	81	0	7,186	36,73
12:20:00 p, m	14,37	14,73	14,13	5,74	14,59	14,59	1037	345,42	1,58	616,44	963,44	82	6	8,462	75,89
12:30:00 p, m	13,88	14,39	13,57	5,94	14,98	14,98	977	362,7	1,48	547,17	911,36	82	10	8,977	75,85
12:40:00 p, m	13,73	13,83	14,23	5,6	14,64	14,64	1042	343,77	1,58	622,4	967,75	83	1	7,85	70,74
12:50:00 p, m	11,24	11,21	10,93	1,59	15,22	15,23	925	373,98	1,41	490,48	865,86	83	0	2,055	16,44
1:00:00 p, m,	11,75	11,73	11,08	6,28	16,15	16,16	471	326,38	0,72	127,17	454,26	82	0	16,67	67,9
1:10:00 p, m,	13,85	13,9	12,64	5,06	14,64	14,64	408	299,07	0,62	95,42	395,11	83	0	18,27	64,46
1:20:00 p, m,	13,51	13,97	12,57	5,65	14,64	14,64	483	331,01	0,73	133,73	465,47	83	0	16,81	70,22
1:30:00 p, m,	12,73	12,75	13,2	1,34	13,81	13,82	598	366,1	0,91	204,99	572	84	2	3,035	15,7

Apéndice C. Resultados obtenidos en las pruebas del banco de energía solar híbrido

PRUEBA 1 SOL HIB																								
INCLINACION: 0° COORDENADAS (7,139961, -73,120450) FECHA: 05/07/2023																								
HORA	Temperatura a la entrada del panel (T1) [°C]	Temperatura a la salida del panel (T2) [°C]	Temperatura a la salida del tanque (T3) [°C]	Temperatura del agua en el tanque (T4) [°C]	Temperatura ambiente (T_AMB) [°F]	Voltaje del panel (V_PANEL) [V]	Voltaje de la batería (V_BAT) [V]	Voltaje del inversor (V_INV) [V]	Corriente del panel (I_PANEL) [A]	Corriente de la batería (I_BAT) [A]	Corriente del inversor (I_INV) [A]	Radiación global (R_glo) [W/m²]	Radiación difusa (R_dif) [W/m²]	Radiación del albedo (R_alb) [W/m²]	Radiación directa (R_dir) [W/m²]	Radiación total (R_tot) [W/m²]	Velocidad del viento (V_viento) [m/h]	EFICIENCIA ELECTRICIA (%)	Quil Ki	Eficiencia térmica	Energía incidente KJ	ENERGIA TOTAL ACUMULADA A KI	Potencia eléctrica [W]	EFICIENCIA DEL BANCO (%)
12:30 p.m.	28	61.75	30.5	29	83	13.07	13.07	13.06	2.57	17.77	17.77	243	258.06	0	128.38	383	0	14.71	1048	20.23	1371	522.9	30.9	37.60
12:40 p.m.	29.25	58.75	32.75	29.75	84	13.86	13.3	13.27	2.84	17.77	17.77	250.6	265.61	0	140.39	406	0	45.80	1467	26.92	1447	732	101.3	78.27
12:50 p.m.	29.75	66	33	30.5	86	12.83	12.81	12.9	1.44	17.82	17.82	633	128.66	0	898.34	1027	0	3.10	1362	10.09	3570	679.7	16.96	14.53
1:00 p.m.	30.75	68.5	34.5	31.5	86	13.54	13.95	13.86	7.01	17.77	17.77	477	103	0	957	1060	6	21.17	1572	16.46	2600	784.3	87.36	38.66
1:10 p.m.	32	70.75	35.5	32	86	12.95	13.1	13.17	2.08	17.72	17.72	445.8	119.54	0	919.46	1039	0	6.43	1467	15.43	2514	732	24.8	23.90
1:20 p.m.	32	66.25	35.5	33.5	86	12.9	13.07	13.12	1.83	17.67	17.67	343.8	227.68	0	81.32	309	0	7.30	1467	20.01	1939	732	21.73	29.98
1:30 p.m.	33.5	62	35.75	33.75	85	12.71	12.71	12.85	1.39	17.57	17.57	317.4	195.25	0	30.75	190	0	5.92	943.1	27.87	1790	470.6	16.25	21.99
1:40 p.m.	33.5	50.75	36	34	84	12.54	12.63	12.78	0.9	17.52	17.52	112.8	151.01	0	26.99	178	0	10.64	1048	43.58	636.2	522.9	10.39	59.96
1:50 p.m.	33.25	44.5	36	34.25	83	12.71	12.81	12.76	0.71	17.52	17.52	90.6	115.61	0	14.39	130	0	10.60	1153	53.71	511	575.2	8.297	78.14
2:00 p.m.	34.25	42.25	36	34.75	82	12.73	12.83	12.83	1	17.52	17.52	106.8	170.5	0	26.5	207	0	12.68	733.5	50.98	602.4	288	11.71	49.14
2:10 p.m.	34.5	42.25	36.25	35	82	12.61	12.76	12.81	1.39	17.52	17.52	132.6	193.53	0	49.47	241	0	14.08	733.5	46.70	747.9	369	16.13	43.43
2:20 p.m.	33.75	45.25	36.75	35.25	82	12.9	13.07	13.05	2.03	17.57	17.57	181.8	247.66	0	107.34	355	0	15.32	1257	39.91	1025	627.5	24.1	53.04
2:30 p.m.	34.75	45.75	36.75	35.25	82	12.71	12.85	12.9	1.49	17.52	17.52	181.8	210.06	0	63.94	274	0	11.08	838.3	23.12	1025	418.3	17.42	35.56
2:40 p.m.	35	44	36.75	35	82	12.59	12.71	12.78	1.3	17.52	17.52	141.6	189.16	0	47.84	237	0	12.30	733.5	28.94	798.6	366	15.06	39.79
2:50 p.m.	35	43.5	37	34.75	83	12.59	12.73	12.78	1.34	17.52	17.52	147.6	190.35	0	48.65	239	4	12.46	1153	29.31	832.1	575.2	15.52	33.62
3:00 p.m.	35.25	43.25	37	35.75	82	12.68	12.83	12.85	1.49	17.52	17.52	145.8	201.31	0	56.69	258	0	13.70	733.5	23.60	822.3	360	17.38	40.49
3:10 p.m.	35.75	48.5	37.5	35.75	82	13.07	13.22	13.2	3.1	17.52	17.52	219.6	284.12	0	197.88	482	0	19.63	733.5	18.80	1239	366	37.26	37.86
3:20 p.m.	35.75	48.5	37.5	36.5	82	12.93	13.03	12.98	2.61	17.52	17.52	174.6	249.62	0	110.38	360	0	20.56	838.3	23.52	984.7	418.3	31.04	46.05
3:30 p.m.	36.25	56.75	38.75	36.75	82	13.17	13.34	13.27	3.25	17.57	17.57	342	289.92	0	232.08	522	0	13.31	1048	14.27	1929	522.9	39.36	29.98

PRUEBA 2 HIB																									
INCLINACION: 30° COORDENADAS (7,139961, -73,120450) FECHA: 13/07/2023																									
HORA	Temperatura a la entrada del panel (T1) [°C]	Temperatura a la salida del panel (T2) [°C]	Temperatura a la salida del tanque (T3) [°C]	Temperatura del agua en el tanque (T4) [°C]	Temperatura ambiente (T_AMB) [°F]	Voltaje del panel (V_PANEL) [V]	Voltaje de la batería (V_BAT) [V]	Voltaje del inversor (V_INV) [V]	Corriente del panel (I_PANEL) [A]	Corriente de la batería (I_BAT) [A]	Corriente del inversor (I_INV) [A]	Radiación global (R_glo) [W/m²]	Radiación difusa (R_dif) [W/m²]	Radiación del albedo (R_alb) [W/m²]	Radiación directa (R_dir) [W/m²]	Radiación total (R_tot) [W/m²]	Velocidad del viento (V_viento) [m/h]	EFICIENCIA ELECTRICIA (%)	Quil Ki	Eficiencia térmica	Energía incidente KJ	ENERGIA TOTAL ACUMULADA A KI	Potencia eléctrica [W]	EFICIENCIA DEL BANCO (%)	
INICIAL				25.25																					
10:40:00 a.m.	26	61.25	33	27.25	86	14.3	14.54	14.04	5.65	16.36	16.37	423.6	388.72	1.23	376.8	766.75	0	17.93	2934	34.56	2389	1464	74.88	68.09	
10:50:00 a.m.	27.75	62.5	34	28.25	85	14.57	14.93	14.21	4.81	15.78	15.78	486	388.14	1.25	389.94	779.33	0	13.55	2620	32.27	2441	1307	56.94	63.03	
11:00:00 a.m.	29.75	66.5	34.75	27.5	86	14.49	14.86	13.36	5.06	15.83	15.83	504	385.51	1.31	424.75	814.57	0	13.67	3771	30.63	2943	1802	59.77	55.20	
11:10:00 a.m.	27.25	67.25	36.25	29	87	13.52	13.96	14.01	5.11	15.68	15.68	517.8	386.15	1.31	417.87	805.31	0	12.54	3772	29.80	2920	1882	56.14	53.99	
11:20:00 a.m.	31.25	71.5	37.5	30.75	88	13.83	13.91	14.21	5.16	15.63	15.63	520.8	385.41	1.31	425.74	812.46	0	12.88	2620	27.61	2937	1307	58	43.94	
11:30:00 a.m.	31.5	72.5	38.75	31.25	88	14.1	14.52	12.79	5.3	15.53	15.53	526.2	383.7	1.33	441.7	826.74	4	13.27	3039	24.25	2985	1516	60.75	42.15	
11:40:00 a.m.	32.25	78.25	40	36.75	88	13.83	14.3	12.77	5.69	15.92	15.92	524	387.7	1.33	441.7	826.74	4	13.65	1572	16.16	3072	788.3	63.84	41.72	
11:50:00 a.m.	37.75	72	39.75	37.75	87	12.91	12.78	13.43	1.44	15.83	15.83	225	180.4	0.33	26.3	210.02	0	7.77	838.3	22.31	1369	418.3	15.12	41.76	
12:00:00 p.m.	34.5	68.5	41	37.5	86	14.13	14.32	14.28	6.23	15.97	15.97	399	373.39	1.43	509.61	884.44	0	20.74	2724	27.25	2250	1399	71.53	52.46	
12:10:00 p.m.	39	77.5	42	39	87	13.71	14.15	14.38	6.28	16.07	16.07	573	377.59	1.4	485.03	864.98	11	14.12	1257	10.95	3232	627.5	70.02	35.41	
12:20:00 p.m.	39.25	79	42.25	40	87	13.54	13.86	12.55	3.05	15.93	15.93	593	380.64	1.37	465.18	847.21	0	6.67	1257	10.78	3202	627.5	33.55	26.69	
12:30:00 p.m.	40.25	78.5	43.75	40.75	88	13.74	14.1	14.45	6.33	15.88	15.88	556.8	375.14	1.42	499.92	876.48	0	14.68	1467	13.15	3140	712	70.68	30.60	
12:40:00 p.m.	42.5	81.25	44.75	42.5	87	13.86	14.25	14.21	6.04	15.92	15.92	556.8	377.65	1.4	483.03	864.98	11	14.13	943.1	8.45	3140	470.6	68.03	30.98	
12:50:00 p.m.	43	81.5	45.5	42.75	88	14.15	14.57	13.62	5.94	15.92	15.92	560.4	379.61	1.38	472.45	853.43	11	14.10	1048	9.33	3161	522.9	68.32	32.50	
1:00:00 p.m.	43.75	78.5	46.5	43.75	87	13	13.2	13.11	1.34	15.88	15.88	548.4	377.83	1.39	483.98	863.19	0	2.99	1153	10.69	3093	575.2	14.13	23.70	
1:10:00 p.m.	43.75	71.5	46.5	43.5	87	13.81	14.18	14.11	5.79	15.78	15.78	299.4	382.7	1.35	453.88	837.43	0	25.10	1153	19.21	1689	575.2	64.96	44.76	
1:20:00 p.m.	44.5	77.25	46.75	44.5	87	13.49	13.91	14.09	5.6	16.17	16.18	527.4	377.82	1.39	483.98	863.19	8	13.46	943.1	8.92	2975	470.6	62.45	31.06	
1:30:00 p.m.	44.5	74.25	46.75	46	87	14.05	14.27	13.55	5.45	15.88	15.89	538.2	388.72	1.23	376.8	766.75	0	13.37	943.1	8.74	3035	470.6	63.27	30.64	
1:40:00 p.m.	45.25	74.25	47.75	46	86	13.76	14.48	12.82	5.11	16.07	16.08	445.8	388.5	1.24	382.4	772.14	8	14.83	1048	11.73	2514	522.9	57.16	33.08	
1:50:00 p.m.	46.75	72.25	48.5	46.75	86	13.52	13.93	13.3	5.69	15.97	15.97	466.2	204.48	0.37	34.10	239.04	13	15.51	733.5	7.85	2620	366	62.54	31.48	
2:00:00 p.m.	43.5	63.75	48	45.75	86	12.76	12.98	12.03	2.13	15.97	15.97	416.8	163.45	0.28	20.08	183.82	0	8.02	1886	20.68	1797	941.2	22.09	40.50	
2:10:00 p.m.	45.5	69.75	48.75	45.75	86	12.56	12.76	13.04	1.3	15.97	15.97	495.6	139.42	0.24	13.98	153.63	12	3.10	1362	13.71	2795	679.7	13.28	27.83	
2:20:00 p.m.	47.75	69.5	49.5	47	86	13.98	14.37	12.62	4.81	16.07	16.08	244.8	388.8	1.18	332.39	722.54	0	25.82	733.5	14.95	1381	388	54.09	45.13	
2:30:00 p.m.	49	74	50	48.25	86	13.42	13.78	13.65	4.47	15.97	15.98	439.6	379.53	1	250.92	631.46	0	12.94	419.1	4.80	2467	209.2	48.76	23.17	
2:40:00 p.m.	49.5	77.75	50.5	48.75	87	13.93	14.35	13.13	4.42	16.07	16.08	446.4	388.74	1.15	330.84	720.73	0	12.97	419.1	4.69	2518	209.2	50.08	23.98	

PRUEBA 3 HIB																
INCLINACION: 30° COORDENADAS (7,139961, -73,120450) FECHA: 14/07/2023																
HORA	Temperatura a la entrada del panel (T1) [°C]	Temperatura a la salida del panel (T2) [°C]	Temperatura a la salida del tanque (T3) [°C]	Temperatura del agua en el tanque (T4) [°C]	Temperatura ambiente (T_AMB) [°F]	Voltaje del panel (V_PANEL) [V]	Voltaje de la batería (V_BAT) [V]	Voltaje del inversor (V_INV) [V]	Corriente del panel (I_PANEL) [A]	Corriente de la batería (I_BAT) [A]	Corriente del inversor (I_INV) [A]	Radiación global (R_glo) [W/m²]	Radiación difusa (R_dif) [W/m²]			