



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
MODALIDAD: PRESENCIAL

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“DISEÑO DE UN CONVERTIDOR QUE PERMITA TRANSFORMAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO COMPUESTO POR PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y UN GENERADOR EÓLICO EN ENERGÍA TÉRMICA.”

AUTOR: Luis David Moreta López

TUTOR: Ing. Mg. Carrillo Rosero Carlos Mauricio

AMBATO – ECUADOR

2020

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Mg. Carrillo Rosero Carlos Mauricio

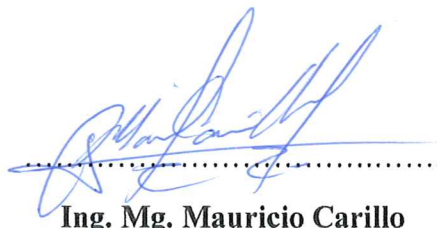
En mi calidad de tutor del trabajo de investigación, bajo el tema “**DISEÑO DE UN CONVERTIDOR QUE PERMITA TRANSFORMAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO COMPUESTO POR PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y UN GENERADOR EÓLICO EN ENERGÍA TÉRMICA**”, desarrollado por el Sr. Luis David Moreta López ex alumno de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe ha sido revisado minuciosamente y reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal examinador designado por el Consejo Directivo de esta Facultad.

Certifico que:

- El presente trabajo investigativo es original de su autor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes
- Esta concluido en su totalidad

Por lo tanto, la presentación de este documento ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, de Enero del 2020



Ing. Mg. Mauricio Carillo

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Declaro que el contenido y los resultados contenidos en el presente trabajo investigativo **“DISEÑO DE UN CONVERTIDOR QUE PERMITA TRANSFORMAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO COMPUESTO POR PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y UN GENERADOR EÓLICO EN ENERGÍA TÉRMICA”**, así como su información, datos, análisis y conclusiones requeridos para la obtención del título de Ingeniero Mecánico son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato, de Enero del 2020

AUTOR



.....
Luis David Moreta López

C.I. 180387999-6

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación según la institución considere.

Cedo los derechos de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este proyecto técnico dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, de Enero del 2020

AUTOR



.....
Luis David Moreta López

C.I. 180387999-6

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

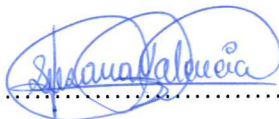
Los miembros del tribunal de grado aprueban al Trabajo Experimental sobre el tema: **“DISEÑO DE UN CONVERTIDOR QUE PERMITA TRANSFORMAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDA MEDIANTE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO COMPUESTO POR PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS Y UN GENERADOR EÓLICO EN ENERGÍA TÉRMICA”**, elaborado por Luis David Moreta López, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la facultad de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, de Enero del 2020

Por constancia firman:



.....
Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo



.....
Ing. Mg. Susana Elizabeth Valencia Vargas

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios quien ha acompañado y guiado mis pasos en cada aspecto de mi vida y me ha permitido superarme profesionalmente.

Mi madre Sandra que me ha formado con valores y consejos, me ha enseñado la importancia de la superación personal y a quien le debo todo lo que ahora soy.

Mi padre Luis , presente en cada aspecto de mi vida convirtiéndose en un pilar fundamental de apoyo de quien aprendí a ser perseverante y salir adelante.

Mi hermana, que ha estado presente en mi vida en todo momento siendo fuente de apoyo incondicional , inspiración y admiración.

Mi esposa Silvia y mi hijo David , quienes son mi inspiración y fortaleza diaria en quienes encontré el verdadero significado de la felicidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la vida llena de felicidad, por las pruebas personales que he superado para aprender importantes lecciones.

Mis padres son el eje central de mi vida, les agradezco por el hogar lleno de amor y cariño que me brindan y por apoyarme en todos los aspectos de mi vida, lo que alcance personal y profesionalmente en mi vida será gracias a su esfuerzo y dedicación.

Agradezco a mi esposa Silvia y mi hijo David por ser mi fuente de inspiración y enseñarme a valorar cada segundo que compartimos juntos.

Mi familia, mi hermana Katya, mis abuelitas Leonor y Angela, mi tía Elvia, mis tíos Oscar y Wagner, les agradezco por su apoyo constante y estar presentes en mi vida.

Agradezco a mi tutor Ing. Mg. Mauricio Carillo quien es un docente ejemplar que ha compartido sus conocimientos desde el inicio de la carrera y me ha permitido finalizar mi proyecto de titulación con éxito.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DEL AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
ABSTRACT (SUMMARY)	xiv
CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.2. Descripción del objetivo.....	3
1.2.1. Específico N° 1	3
1.2.1.1. Energía solar	3
1.2.1.2. Radiación solar	4
1.2.1.3. Aprovechamiento de la energía solar.....	6
1.2.1.4. Ventajas e inconvenientes de la energía solar.....	7
1.2.1.5. Sistemas fotovoltaicos	8
1.2.1.6. Paneles solares fotovoltaicos	9
1.2.1.7. Partes de un panel solar fotovoltaico	11
1.2.1.8. Curvas características de funcionamiento de un panel solar	12

1.2.1.9.	Posición de montaje de los paneles.....	13
1.2.1.10.	Tecnología de células fotovoltaicas	14
1.2.1.11.	Funcionamiento del efecto fotovoltaico.....	15
1.2.1.12.	Tipos de células fotovoltaicas	15
1.2.1.13.	Factores que afectan a los materiales semiconductores.....	16
1.2.1.14.	Obtención de datos paneles solares fotovoltaicos.....	16
1.2.1.15.	Energía eólica	18
1.2.1.16.	Aerogenerador	19
1.2.1.17.	Sistema eólico	22
1.2.1.18.	Corrientes de viento	23
1.2.1.19.	Sistemas híbridos	23
1.2.1.20.	Convertidor	24
1.2.2.	Específico N° 2	25
1.2.2.1.	Normas técnicas	25
1.2.2.2.	Selección de resistencias.....	27
1.2.2.3.	Resistencia térmica sumergida.....	28
1.2.2.4.	Determinación del caudal en las tuberías	31
1.2.2.5.	Calor generado por la resistencia.....	33
1.2.2.6.	Sistema de transferencia de calor.....	33
1.2.2.7.	Sistema de precalentamiento de agua	35
1.2.2.8.	Diseño propuesto	39
1.2.3.	Específico N° 3	42
CAPÍTULO II.....		43
2.	METODOLOGÍA.....	43
2.1	Materiales	43
2.2	Métodos.....	47
CAPÍTULO III		48

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
3.1 Análisis y discusión de los resultados.....	48
CAPÍTULO IV.....	57
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
4.1 Conclusiones	57
4.2 Recomendaciones.....	58
CAPITULO V	59
5. MATERIALES DE REFERENCIA	59
5.1. Referencias bibliográficas.....	59
5.2. Anexos	63
5.2.1. Eléctricos - electrónicos.....	63
Anexo 1. Panel solar fotovoltaico instalado en la comunidad de Rio Blanco	63
Anexo 2. Características técnicas de la batería	65
Anexo 3. Resistividad de los materiales.....	65
Anexo 4. Tablas de toma de datos.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de la energía solar	7
Tabla 2. Características del panel solar instalado	10
Tabla 3. Partes del aerogenerador	20
Tabla 4. Características técnicas del aerogenerador instalado.....	21
Tabla 5. Normalización ecuatoriana símbolos eléctricos	26
Tabla 6. Alternativas de diseño. Resistencias eléctricas.....	31
Tabla 7. Datos requeridos para el cálculo del caudal volumétrico	32
Tabla 8. Especificaciones del colector solar plano	37
Tabla 9. Características técnicas del panel	38
Tabla 10. Características técnicas del tanque de almacenamiento	38
Tabla 11. Matriz de criterios ponderados	41
Tabla 12. Materiales eléctricos	43
Tabla 13. Materiales hidráulicos	45
Tabla 14. Eficiencia del aislamiento térmico	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Radiación solar.....	4
Figura 2. Insolación en el Ecuador	5
Figura 3. Radiación directa y difusa.....	6
Figura 4. Sistema fotovoltaico autónomo.....	9
Figura 5. Panel solar	10
Figura 6. Distribución de un panel solar fotovoltaico	11
Figura 7. Curva característica I-V panel fotovoltaico	12
Figura 8. Curva característica I-V panel fotovoltaico SL80-12M.....	13
Figura 9. Célula fotovoltaica	14
Figura 10. Efecto fotovoltaico.....	15
Figura 11. Energía eólica.....	18
Figura 12. Aerogenerador de Yatzaputzán	20
Figura 13. Partes del aerogenerador	21
Figura 14. Sistema eólico	22
Figura 15. Circuito de conexiones del sistema híbrido	24
Figura 16. Resistencias eléctricas.....	28
Figura 17. Esquema de funcionamiento del termosifón.....	36
Figura 18. Panel térmico solar de placa parabólica.....	37
Figura 19. Panel térmico solar de tubos al vacío.....	39
Figura 20. Diseño propuesto para el convertidor	40
Figura 21. Promedio de irradiancia anual.....	49
Figura 22. Tendencia de la irradiancia anual promedio	50
Figura 23. Variación de temperatura anual	51
Figura 24. Eficiencia del convertidor	52

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto técnico tiene como objetivo central de investigación el diseñar y construir un convertidor de energía que permita transformar el voltaje eléctrico de las baterías que se genera mediante un sistema de recursos no convencionales conformado por la combinación de paneles solares fotovoltaicos y un generador eólico, para obtener energía térmica que se emplea en el proceso de calentamiento de agua para uso doméstico. Las condiciones geográficas y ambientales de la comunidad de Rio Blanco al prevalecer un clima frío de tipo páramo, generaron la necesidad de instalar un sistema de precalentamiento de agua conformado por paneles térmicos de tipo placa parabólica y tubos al vacío accionado por la intensidad de radiación solar de la zona y conectados directamente al suministro de agua potable para el aprovechamiento del potencial del caudal volumétrico. El diseño de los componentes del convertidor se realizó en función a las características técnicas del potencial eléctrico instalado en la comunidad de Rio Blanco para incrementar la eficiencia de los procesos de calentamiento de agua garantizando un bajo consumo energético mediante el accionamiento en función al requerimiento de agua caliente. Mediante la realización de pruebas de funcionamiento se busca verificar y sustentar que el convertidor puede operar de manera continua y sin interrupciones llegando a elevados niveles de eficiencia durante todas las épocas del año considerando las condiciones climáticas a las que está expuesto en la comunidad, la variación del clima en función del tiempo se cuantifica con los datos obtenidos en la zona por investigaciones previas con la finalidad de realizar proyecciones que permitan conocer la tendencia de comportamiento de parámetros como la radiación. Finalmente, las pruebas de funcionamiento se realizaron mediante la toma de datos en la zona a través del sistema de control y monitoreo que permitió recopilar los valores con respecto al incremento en la magnitud de la temperatura del agua, y se garantizó el funcionamiento del convertidor durante todo el año mediante la realización de proyecciones con referencia en datos bibliográficos previos tomados de la irradiancia de la zona demostrando de esta manera la alta eficiencia de funcionamiento del proyecto en todas las condiciones que se puedan suscitar en la zona.

ABSTRACT (SUMMARY)

The present technical project has as its central research objective the design and construction of an energy converter that allows to transform the electric voltage of the batteries that is generated by a system of unconventional resources consisting of a combination of photovoltaic solar panels and a wind generator, to obtain thermal energy used in the process of heating water for domestic use. The geographic and environmental conditions of the white river community as a cold climate prevails, generated the need to install a water preheating system consisting of flat plate thermal panels and vacuum tubes driven by the solar radiation intensity of the area and connected directly to the water supply for exploiting the potential of volumetric flow. The design of the converter components was made based on the technical characteristics of the electrical potential installed in the white river community to increase the efficiency of the water heating processes guaranteed a low energy consumption through drive depending on the hot water requirement. The purpose of the operation tests is to verify and sustain that the converter can operate continuously and without interruptions and reach high levels of efficiency during all times of the year considering the climatic conditions to which it is exposed in the community, the climate variation as a function of time is quantified with the data obtained in the area by previous investigations in order to make projections that allow to know the trend of behavior of parameters such as radiation. Finally, the performance tests were carried out by taking data in the area through the control and monitoring system that allowed the collection of values with respect to the increase in the magnitude of the water temperature, and the operation of the converter was guaranteed throughout the year by means of projections with reference to previous bibliographic data taken from the irradiance of the area, thus demonstrating the high efficiency of operation of the project under all conditions likely to arise in the area.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Las investigaciones se enfocan en impulsar el cambio de matriz energética mediante la explotación de los recursos no convencionales para disminuir el uso de los métodos de generación de energía convencionales basados en la quema de combustibles fósiles, por este motivo un estudio realizado [1], que se centra en la posibilidad de producir un tipo de energía limpia que no cause impactos perjudiciales en el medio ambiente. La generación de energía debe centrarse en abastecer el requerimiento de energía eléctrica por parte de la población y cumplir con los parámetros técnicos y económicos que mejor se relacionen con las políticas gubernamentales. La investigación demuestra que las fuentes con un mayor potencial son la energía eólica, la geotérmica, la fotovoltaica, biomasa e hidroeléctrica son capaces de generar una ventaja en lo que respecta a la generación de energía. Esto demuestra que, para los centros de educación superior, el impulsar proyectos de este tipo son una prioridad.

Según [2], propuso en su estudio el aprovechar la fuente de energía no convencional solar y la eólica, de manera tal que estos sistemas trabajen en conjunto y no de manera aislada. De esta manera se propuso obtener un sistema de generación híbrido con la finalidad de generar energía térmica que será empleada en el calentamiento de agua. Los resultados que se plasmaron con la finalización del proyecto indicaron que la zona de estudio cumple con las condiciones requeridas de radiación solar y de velocidad del viento para la instalación y correcto funcionamiento del sistema de generación híbrido, los cálculos indicaron que se requiere una potencial energético de $19523,8 \text{ Wh / día}$ para a ciudad de Baños de Agua Santa. La etapa de diseño resalta la posibilidad de seleccionar equipos existentes en el mercado en función a las características.

Siendo una parte fundamental para la presente investigación, el uso del recurso eólico ha sido previamente aprovechado en experimentos llevados a cabo como es el caso de [3]. El proyecto se enfoca en analizar el potencial de energía solar del sector y en base a los datos obtenidos experimentalmente diseñar un aerogenerador el cual debe

aprovechar el total de la capacidad. Para el proceso de diseño del aerogenerador, se consideró una potencia útil de 178 W, se cuenta con una velocidad de 12,63 m/s, y se emplearan perfiles aerodinámicos de tipo NACA 4412 de tres palas. Se empleo un generador de imanes permanentes, baterías de plomo ácido y un inversor de voltaje que convierte 12 V DC a 110 V AC. Las condiciones geográficas del sector establecieron que la altura de operación del aerogenerador se encuentre ubicado a una altura de 11 metros, el pandeo por el viento se disminuye con el uso de un tubo de sección circular de acero de 4 pulgadas con cables de acero que actúan como tensores con diámetro de 6 mm.

El campo de los recursos energéticos no convencionales ha demostrado que sus investigaciones aportan directamente a la preservación de los recursos medio ambientales, citando lo determinado por [4], mediante el cual se busca satisfacer la demanda energética del sector sin la intervención de métodos convencionales que son capaces de perjudicar al delicado balance del ecosistema, los datos necesarios para el proceso de diseño son recopilados a través de la central meteorológica de la universidad, considerando los parámetros de radiación solar de la zona, velocidad del viento y temperatura ambiente promedio debido a que estos son los principales factores para dimensionar el sistema híbrido eólico-fotovoltaico. La investigación tuvo que recopilar datos durante un periodo de 5 meses, los datos que se obtuvieron para la factibilidad del proyecto eólico, indicaron que la velocidad promedio del viento al mes era de 1.90 m/s con una altura de referencia de 2.50 m, el pico de velocidad más alto fue de 16.2 m/s. Las horas con mayor presencia de viento se encuentran comprendidas entre las 10:00 am y las 20:00 pm. Por otra parte, la radiación solar alcanza valores promedios mensuales de $143,83 \text{ W/m}^2$.

1.2.Descripción del objetivo

1.2.1. Específico N° 1

Determinar los parámetros de entrada para el convertidor obtenidos a partir de la configuración de paneles fotovoltaicos y la capacidad de generación del sistema eólico para emplearlos en la etapa de diseño.

Para dar cumplimiento al objetivo que se plantea para el presente trabajo de investigación, se debe iniciar por las bases que fundamentan la teoría, por ello se analizarán a continuación los conceptos básicos que se emplearán durante todo el estudio.

En primer lugar, se debe comprender el concepto de la energía solar, ya que es punto de partida de obtención de energía eléctrica, a su vez se deben analizar los componentes, conexiones y tipos de paneles solares y, por otra parte, se debe investigar acerca de la energía eólica, los generadores que se emplean. De esta manera se podrá determinar los parámetros a considerar para la etapa de diseño del convertidor.

1.2.1.1.Energía solar

La energía que proviene del sol en forma de radiación electromagnética es la que se conoce y aprovecha en la tierra, esta energía que se encuentra presente en toda la superficie del planeta y es empleada por los seres vivos tanto animales como vegetales, es conocida como energía solar directa, ya que no se transforma mediante ningún método, su uso fundamental es el de iluminar y calentar la superficie del planeta y a los seres vivos. [5]

Esta forma de radiación electromagnética puede ser aprovechada mediante aplicaciones que se han desarrollado en los últimos años, con la finalidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la capa de ozono del planeta tierra, este efecto incrementa la temperatura del planeta tierra dando origen al fenómeno del calentamiento global.

Como se puede observar en la figura 1 [5], se puede apreciar la fuente de radiación siendo en este caso el sol, con un poder total de radiación electromagnética de $63\ 450\ 720\ w /m^2$. Se aprecia que el sol se encuentra a una distancia aproximada de $1,5 \times 10^6$ Km, del total de radiación que recibe el planeta, aproximadamente el 25% es

reflejada por la presencia de nubes y la capa de ozono, de esta manera únicamente se puede aprovechar un estimado de $630 \text{ w} / \text{m}^2$ que equivale a la intensidad media de radiación solar compuesta por la radiación directa, difusa y reflejada.

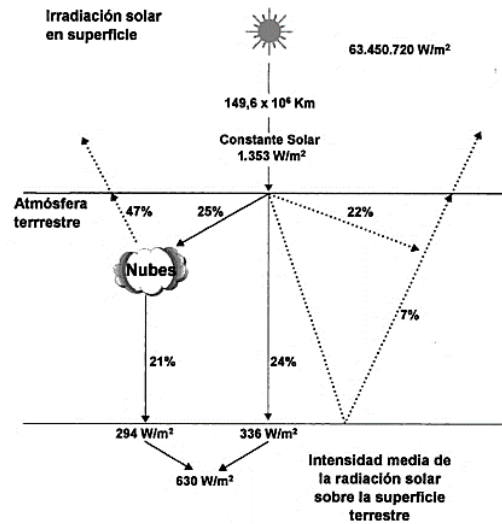


Figura 1. Radiación solar

Fuente: [5]

1.2.1.2. Radiación solar

Es la cantidad de energía en forma de electromagnetismo que el sol envía a través del espacio producto de sus procesos de fusión de hidrogeno que forma parte de la composición del sol. [5]

Haciendo uso de la información que se presenta en el atlas solar del Ecuador [6] , en el extracto de la figura 2, se puede observar que en el país se cuenta con una insolación media global de $4\ 575 \text{ wh/m}^2 / \text{ día}$, siendo un valor superior a los $4000 \text{ wh/m}^2 / \text{ día}$ se considera con un potencial de explotación aceptable, y se visualiza en la figura 2 que la zona centro de la región sierra mantiene niveles de insolación dentro de los rangos de mayor valor. De esta manera se verifica que los proyectos de energía solar que se lleven a cabo en la zona centro del país pueden aprovechar de mejor manera este recurso destacando también que la posición del Ecuador en el globo terráqueo permite obtener una radiación directa durante todo el año.

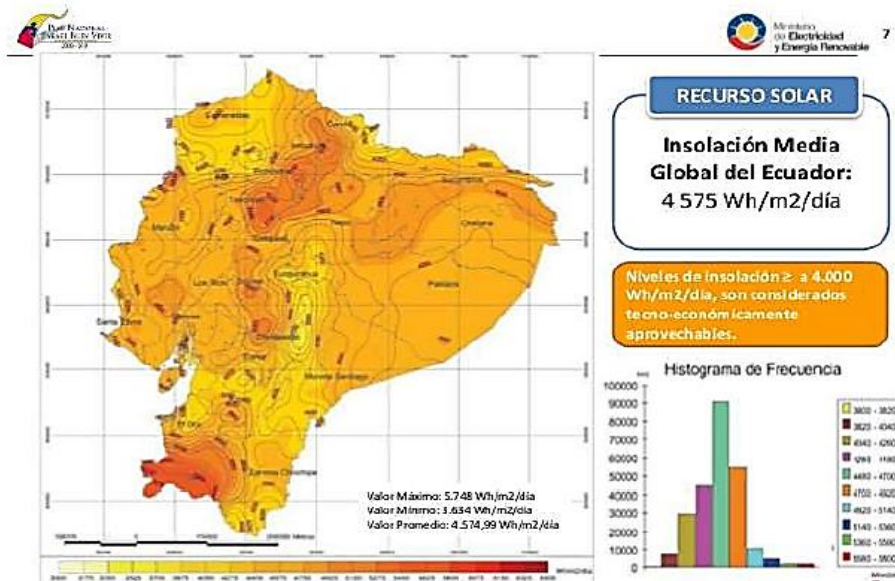


Figura 2. Insolación en el ecuador

Fuente: [6]

- **Directa:** esta radiación llega directamente desde el sol, es recibida por los cuerpos que se encuentran en la tierra [7]
- **Difusa:** debido a que la radiación debe atravesar la atmosfera, esta causa un efecto de dispersión razón por la cual la radiación no llega a los cuerpos de la tierra con la misma intensidad variando incluso su dirección, dentro de esta radiación se encuentra aproximadamente el 15% de la radiación global. [7]
- **Reflejada:** este tipo de radiación toma como consideración la al coeficiente de reflexión conocido como albedo de los cuerpos que se encuentran en la tierra, la cantidad de radiación reflejada depende de la posición en la que se encuentre el objeto siendo la de mayor albedo los que se encuentran verticalmente. [7]

La figura 3, [7] indica como interactúan entre si los tipos de radiación en la cual se puede observar que la radiación directa cuenta con un ángulo debido a la posición del sol, para Ecuador este factor no se considera como inconveniente debido a que se recibe una radiación de similitud a la perpendicular. Por otra parte, se observa que la radiación difusa no presenta un patrón ordenado y esto se debe a que atraviesa la atmosfera de la tierra y las nubes por lo cual la radiación que no se pierde por el efecto de reflejo pasa hacia la tierra con una menor magnitud y sin conservar su dirección de origen.

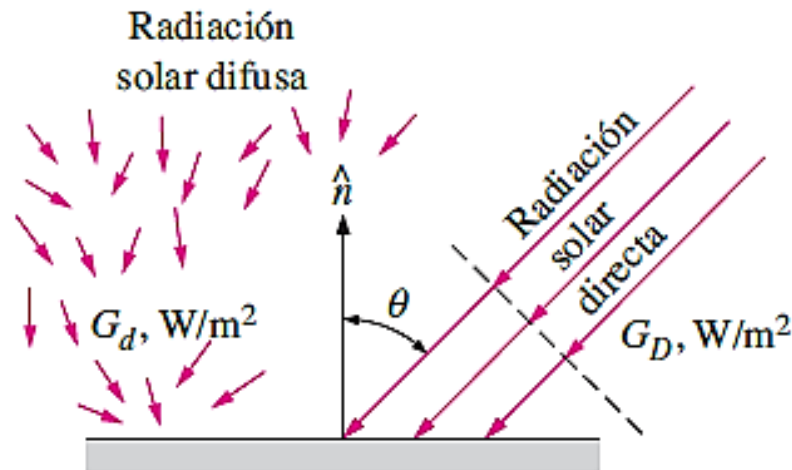


Figura 3. Radiación directa y difusa

Fuente: [7]

1.2.1.3. Aprovechamiento de la energía solar

Se requiere de sistemas especializados para aprovechar la radiación solar:

- Utilización directa: Se emplean elementos con un alto coeficiente de absorción de energía térmica, usualmente estos sistemas presentan componentes estructurales de gran tamaño alcanzado masas considerables y un nivel de captación elevado. [5]
- Transformación en calor: Se conoce también como energía solar térmica, se aprovecha la radiación proveniente de sol para mediante colectores especiales con materiales de apropiadas condiciones térmicas, elevar la temperatura de un fluido caloportador, que posteriormente puede emplearse un intercambiador de calor para incrementar la temperatura del agua y obtener vapor, finalmente dicho vapor se usa para aplicaciones sanitarias, o para impulsar máquinas térmicas. [5]
- Generación de electricidad: Se denomina energía solar fotovoltaica, a través de la utilización de células agrupadas en paneles solares fabricados de materiales con elevadas propiedades fotovoltaicas como lo es el silicio ultra puro que permite obtener energía eléctrica directamente de la radiación electromagnética del sol. [5]

1.2.1.4. Ventajas e inconvenientes de la energía solar

Las condiciones geográficas de la comunidad de Río Blanco, se investigan en la tesis [8], de la cual se toma como referencia, que la comunidad se encuentra ubicada a una altura de 4030 msnm, las coordenadas de la instalación son 01°21'22,08" latitud sur y 78°49'3,169" longitud oeste. El clima predominante se caracteriza por ser de bajas temperatura en la zona con una densidad de aire en función a la altura sobre el nivel del mar, la densidad es de característica más fina y esto a su vez influye en la cantidad de radiación que se recibe en la zona, estos parámetros influyen en beneficio de una mejor generación de energía empleando paneles solares fotovoltaicos. Las condiciones medioambientales de la comunidad de Río Blanco se toman como parámetros de diseño para el convertidor de voltaje debido a que influyen en la cantidad de voltaje con el cual va a realizar las operaciones.

Se analiza en la tabla 1 de manera general ventajas e inconvenientes de la energía solar.

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de la energía solar

VENTAJAS	INCONVENIENTES
La radiación solar es una fuente de energía inagotable que puede ser aprovechada en la zona de estudio de la comunidad de Río Blanco. [8]	Mediante la fuente solar se puede generar una determinada cantidad de energía limitada por la eficiencia de los sistemas actuales.
Los costos una vez que se ha instalado un fotovoltaico recaen únicamente en lo que respecta a mantenimiento y se ven recuperados a largo plazo como se demostró en la investigación previa.	Se debe almacenar la energía producida por la intermitencia debido a periodo de la noche, se deben emplear sistemas de acumulación de baterías que emplean dispositivos con químicos altamente contaminantes. En la instalación se emplean baterías de plomo ácido.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Puede ser un método de generación de energía que se adapta a lugares remotos sin acceso de la red de electricidad pública como es la comunidad de Rio Blanco.	El costo inicial de la instalación de los sistemas de generación que aprovechan la radiación solar es muy elevado implicando una gran inversión inicial.
No se genera contaminación ambiental ya que la energía proviene de un sistema energético no convencional.	Los módulos o paneles solares provocan un tipo de cambio visual debido a la extensión de sus instalaciones.
Estos sistemas pueden ser ampliados para aumentar la generación de energía según las necesidades.	Las baterías son los elementos que deben ser reemplazados con una frecuencia mayor dentro de todo el sistema.

Fuente: [5]

1.2.1.5.Sistemas fotovoltaicos

Se aprovecha en el sector de instalación de los paneles solares la intensidad de irradiancia solar, debido a que dicho parámetro no es el mismo para todos los sectores, en la zona de Rio Blanco, comunidad de Yatzaputzán se ha determinado que cuenta con el potencial óptimo para la generación solar fotovoltaica. [8]

Para que se pueda realizar este proceso de generación, se debe contar con paneles solares, mismos que son manufacturados con materiales como el silicio ultra puro, ya que este material tiene la capacidad de generar electricidad con la radiación magnética del sol. [5]

La figura 4 presenta un esquema general de la conexión de un sistema fotovoltaico, el cual mantiene la similitud con el instalado en la comunidad de Yatzaputzán debido a que cuenta con los mismos componentes con la variación de las características técnicas.

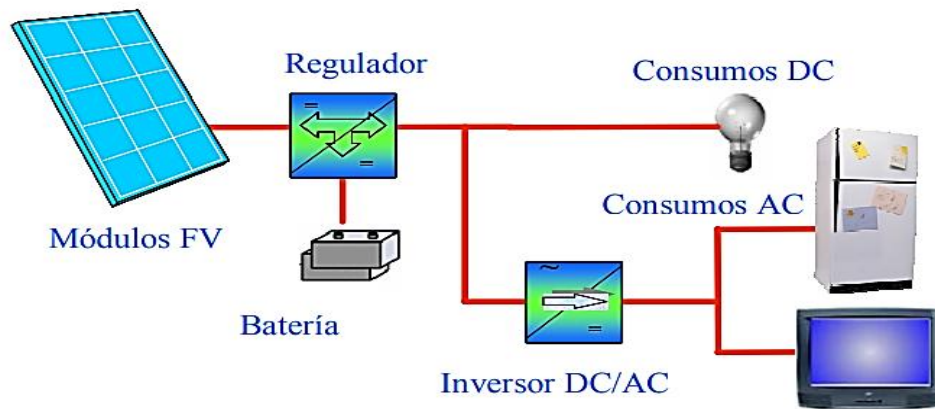


Figura 4. Sistema fotovoltaico autónomo

Fuente: [9]

1.2.1.6. Paneles solares fotovoltaicos

Son dispositivos que se emplean para recibir toda la energía solar que le sea posible en forma de radiación electromagnética, un panel se encuentra formado por una serie de módulos que a su vez se encuentra conformado por células individuales. Estas células emplean el efecto fotovoltaico para aprovechar la luz solar y convertirla en cargas positivas o negativas según sea el tipo de semiconductor al que se encuentra conectado la sección del panel. [10]

Los paneles solares actuales tienen un nivel de rendimiento energético relativamente bajo llegando a alcanzar valores de entre el 12 al 20% como lo indica el artículo presentado en la revista Internacional de Foto energía “International Journal of Photoenergy” publicada por Bosco Ajith, [11]. Se indica también que mediante programación y el ingreso de datos adicionales de un sistema solar fotovoltaico, se puede demostrar que el efecto de la temperatura afecta al rendimiento de los paneles.

En la figura 5 se muestra el esquema básico de un panel fotovoltaico el cual este compuesto por un arreglo de 60 celdas que a su vez se componen de células fotovoltaicas, estos paneles tienen la característica de generar un voltaje directo que ronda entre los 12 voltios.



Figura 5. Panel solar

Fuente: [10]

El panel solar fotovoltaico que se instaló en la comunidad de Rio Blanco para cumplir con los objetivos del proyecto de titulación [9], se detallaran en la sección de anexos las especificaciones técnicas, con las cuales se puede realizar la etapa de diseño del convertidor de voltaje. La investigación indico que el panel solar debe suplir una cantidad de 658 Wh / día debido a que el consumo se enfoca a electrodomésticos básicos. Se obtuvo el valor de la irradiación solar promedio real de 3.8 kWh/m^2 . Estos paneles cuentan con una garantía de fábrica de 20 años y alcanzan potencias superiores picos de 90%. En la tabla 2 se detalla de mejor manera las características del panel seleccionado

Tabla 2. Características del panel solar instalado

PANELES SOLARES SUNLINK	SL80-100
Material	Monocristalino
Número de celdas	36
Peso (Kg)	8 Kg
Medidas (mm)	1196*533*35
Potencia máxima (Pmp)	100 W
Voltaje nominal (Vmp)	17.2 V

Voltaje máximo (Voc)	21.6 V
Corriente nominal (Imp)	5.81 A
Corriente máxima (Isc)	6.43 A

Fuente: [9]

1.2.1.7. Partes de un panel solar fotovoltaico

Los paneles solares, al ser constituidos por celdas fotovoltaicas, mismas que pueden sufrir daños con facilidad deben ser protegidas, es por ello que su constitución tiene como finalidad la de mantener a las celdas en la parte interna del panel recubiertas por una serie de capas distribuidas de la siguiente manera:

- Marco de aluminio
- Cristal
- Encapsulado
- Celdas solares
- Cubierta posterior
- Caja de conexiones

Se puede observar cada parte que compone al panel solar de manera detallada en la figura 6, de manera tal que se visualiza a detalle cada capa de la distribución del panel que por sus características se le considera de tipo sándwich.

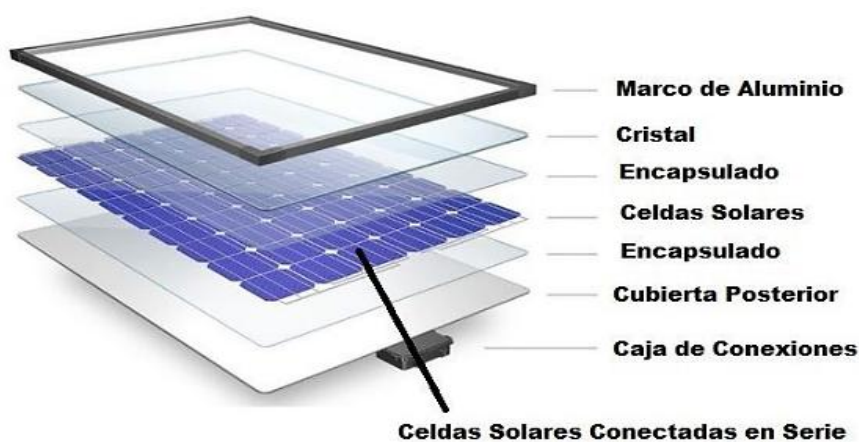


Figura 6. Distribución de un panel solar fotovoltaico

Fuente: [10]

El panel fotovoltaico de tipo 100 Wp con voltaje nominal de 12 voltios, su estructura es mono cristalino con un total de 36 celdas, un peso aproximado de 8 kilogramos y dimensiones de 1196 x 533 y 5 mm.

1.2.1.8. Curvas características de funcionamiento de un panel solar

- **Voltaje Vs Intensidad [12]**

Se conoce también bajo el nombre de curva característica de funcionamiento I-V, esta figura esquematiza los valores medidos referentes a las magnitudes de tensión e intensidad que son tomados en un proceso experimental bajo condiciones constantes de insolación y temperatura. El proceso experimental consiste en variar la resistencia o carga externa en un rango que oscila entre cero e infinito, de esta manera se obtiene una serie de valores de pares ordenados I-V que son interpretados en una curva característica una vez que los datos han sido interpolados.

El experimento para obtener la curva característica se realiza bajo las condiciones establecidas como estándar, con una intensidad radiante de 1000 W/m^2 y una temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. El Voltaje de circuito abierto V_{oc} se obtiene cuando se elimina la carga y se genera una resistencia infinita con un valor de corriente de cero, para la corriente de cortocircuito I_{sc} la resistencia debe ser de cero y en este caso el voltaje de salida tendrá un valor de cero.

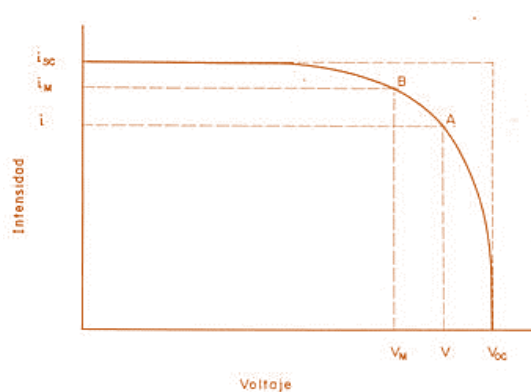


Figura 7. Curva característica I-V panel fotovoltaico

Fuente: [13]

En la figura 7 se puede observar que el punto A está determinado por un valor constante de intensidad y de voltaje, al desplazarse dicho punto hacia la izquierda o derecha, el voltaje tiende a cero y la intensidad tiende a cero respectivamente para cada alternativa.

El rectángulo que se forma tomando como referencia el punto A, representa a la potencia que se encuentra desarrollando el panel.

Por otra parte, el punto B se ubica en la zona de la curva en la cual el rectángulo geométrico de potencia alcanza el mayor valor, el panel se encuentra funcionando en su máxima capacidad de generación. Los puntos I_{sc} “corriente de cortocircuito” y V_{oc} “voltaje de circuito abierto” al conectar sus abscisas y ordenadas, se obtiene un rectángulo con el valor más significativo de potencia.

Al obtener dos valores de potencia, se puede calcular el factor de forma al dividir el área del rectángulo del punto B y al rectángulo de los valores máximos.

El panel solar fotovoltaico que se encuentra instalado en la comunidad de Rio Blanco tiene la curva característica de funcionamiento que se presentan en la figura 8, en la cual se varía la intensidad de la radiación para conocer el efecto que tienen en el funcionamiento del panel.

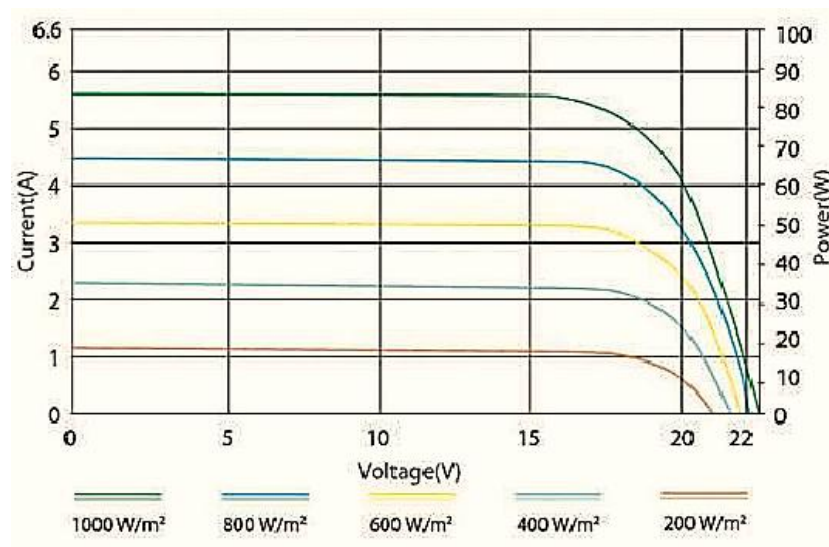


Figura 8. Curva característica I-V panel fotovoltaico SL80-12M

Fuente: [13]

1.2.1.9. Posición de montaje de los paneles

Se deben controlar dos aspectos que son la orientación y la inclinación; en lo que respecta a la orientación se busca aprovechar el impacto de los rayos solares de manera directa durante el mayor tiempo posible especialmente en las horas solares pico considerando también las épocas de año.

Por otra parte, la inclinación es una solución aceptable al momento de buscar maximizar la generación de energía eléctrica y no instalar un seguidor, se debe tomar en cuenta la trayectoria del sol en base al territorio geográfico en el que se encuentre la instalación fotovoltaica de manera que se pueda obtener el mejor ángulo siendo el perpendicular a la radiación.

Durante el proceso de instalación de los paneles solares [9], en los resultados obtenidos en la investigación, mediante el método de Liu y Jordán y bajo las condiciones de posicionamiento de Ecuador, se podría instalar los paneles bajo un ángulo de 0° debido a la radiación directa, pero es recomendable instalar con una inclinación de 10° para evitar la acumulación de residuos.

1.2.1.10. Tecnología de células fotovoltaicas

Se puede definir a una celda fotovoltaica como un elemento que se conforma de un material, el mismo que debe tener propiedades de semiconductor, por lo general deben tener un espesor promedio de entre 0,25 mm hasta 0,35 mm llegando a alcanzar una superficie de 110 cm^2 . Para que la célula pueda realizar el fenómeno fotovoltaico y genere energía eléctrica mediante una fuente luminosa, se requiere de dos componentes, uno de mayor espesor denomina silicio tipo P y uno de menor espesor denominado tipo N. Entre estas dos superficies se forma un campo eléctrico de unión P-N. [5]

El fenómeno fotovoltaico se puede comprender claramente al visualizar la figura 9, en la que se demuestra cómo actúa la luz frente a una celda, en la cual la interacción de silicio de tipo N y de tipo P en conjunto con el flujo de electrones provoca la generación de energía eléctrica.

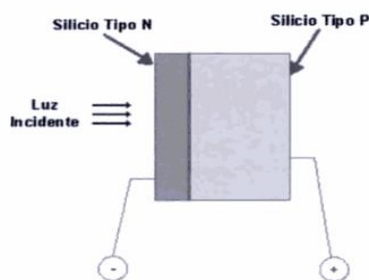


Figura 9. Célula fotovoltaica

Fuente: [5]

1.2.1.11. Funcionamiento del efecto fotovoltaico

Se requiere de una fuente luminosa, misma que debe incidir sobre la célula, internamente la luz transporta partículas de fotones que se interponen en el par electrón vacío, el efecto eléctrico de la unión lleva los electrones de la zona N a la zona P. Al colocar un conductor, como se muestra en la figura 10 se genera un flujo de electrones siempre y cuando la superficie N siga iluminada, la corriente eléctrica producida dependerá de la intensidad de luz que reciba la célula.

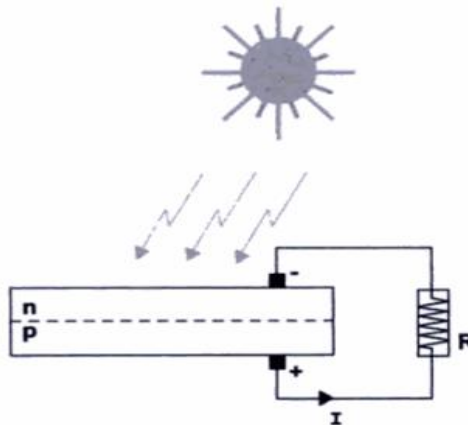


Figura 10. Efecto fotovoltaico

Fuente: [5]

1.2.1.12. Tipos de células fotovoltaicas

- **Monocristalino:** Su estructura se caracteriza por tener una secuencia que le orienta ordenadamente, por tal razón su fabricación es de suma complejidad, se emplea silicio ultra puro fundido mezclado con boro tomando una tonalidad azulada. En lo que respecta a datos técnicos, su eficiencia se encuentra entre el 15 al 18% y su vida útil aproximada es de 20 a 40 años.
- **Policristalino:** Su estructura presenta una orientación simétrica dividida por regiones, esto disminuye su rendimiento. Su fabricación es similar a los monocristalinos con la diferencia de que no requiere de un número elevado de cristalizaciones, lo que reduce su costo de fabricación. Su rendimiento alcanza el 13% con un periodo de vida útil de 20 a 40 años.
- **Amorfo:** Su estructura no presenta un patrón ordenado, generando la aparición de fallas en su estructura por lo cual su costo de fabricación es relativamente bajo, pueden operar bajo iluminación artificial con una eficiencia del 10% y su vida útil oscila entre 15 a 20 años.

- **Célula de película delgada:** Se forman por la unión de dos materiales, siendo el más común la combinación de sulfuro de cadmio (CdS) y sulfuro cuproso (Cu_2S). Su proceso de fabricación no tiene complejidad a la vez que cuenta con procesos no tecnificados. Llega a alcanzar valores de rendimiento del 5%.
- **Célula de arseniuro de galio:** Esta célula en particular no requiere de grandes espesores para tener buenos rendimientos, la temperatura a la que se encuentre no afecta considerablemente a su rendimiento el cual se encuentra entre el 25%. Su principal inconveniente es la dificultad de encontrar la materia prima razón por la que su costo de fabricación es elevado.

1.2.1.13. Factores que afectan a los materiales semiconductores

- **Cristalinidad:** la ordenación con la que se encuentren las células determina su rendimiento, por tal razón el obtener un panel con una estructura ordenada como es el caso del monocristalino resulta en mayores valores de eficiencia.
- **Coefficiente de absorción:** toma como consideración la longitud de onda de una fuente luminosa, y la capacidad que esta tiene de penetrar una superficie. Un valor de coeficiente bajo indica que la luz no es absorbida con facilidad. [5]
- **Costo:** Depende de la materia prima que se emplee y del refinamiento que tengan los procesos de fabricación del panel.
- **Complejidad de manufactura:** Se encuentra en función de requerir laboratorios especiales para la fabricación de las células, la cantidad de un material poco convencional y la cantidad de pasos que se deben hacer para obtener el panel fotovoltaico. [5]

1.2.1.14. Obtención de datos paneles solares fotovoltaicos

Se consideran los paneles instalados en la comunidad de Rio Blanco, tomando en cuenta sus características de funcionamiento bajo las condiciones climáticas de la zona. [8]

- **Potencia (P):**

Se requiere conocer la potencia que deben suplir los paneles en función a la cantidad de horas en las que se cuenta con valores de radiación de promedios aprovechables que superan los 200 Wh/día. Para el cálculo de la demanda energética se determina los dispositivos de consumo instalados en el domicilio y de uso periódico.

(Ec. 1)

$$P = \frac{\text{Demanda energética}}{HPS * PR}$$

$$P = \frac{328,86 W}{2709 \text{ horas} * 0,709}$$

$$P = 171,22 W$$

Donde:

HPS: Hora solar pico

PR: Rendimiento global del sistema

- **Cantidad de paneles (N_T):**

Permite identificar la cantidad de paneles que se deben instalar para satisfacer la demanda energética de forma eficiente y sostenible del tipo de vivienda para el que se realizó el estudio.

$$N_T = \frac{\text{Demanda energética}}{HPS * Wp * 0,9} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$N_T = \frac{328,86}{2709 h * 100 W * 0,9}$$

$$N_T = 1,5 \approx 2 \text{ paneles fotovoltaicos}$$

Donde:

Wp: Potencia pico del módulo fotovoltaico

- **Consumo en Ah/día (C_B):**

$$C_B = \frac{E_D * A}{V_{nom} * Pf} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$C_B = \frac{657,72 \frac{Wh}{día} * 2 \text{ días}}{12 V * 0,6}$$

$$C_B = 182,7 Ah$$

Donde:

C_B : Consumo total en Ah/día

E_D : Consumo real en la vivienda

A : Días de autonomía

P_F : Profundidad de descarga

V_{nom} : Voltaje nominal de funcionamiento del panel

1.2.1.15. Energía eólica

Es la energía que se obtiene a partir de la energía cinética que proviene del viento, se origina en forma indirecta de la energía solar, debido a que la radiación electromagnética del sol incrementa la temperatura de ciertas zonas del planeta, esto a su vez se ocasiona una variación de temperatura que combinado con una diferencia de presiones. El aire al cumplir con las propiedades de un gas se ve afectado por las condiciones antes descritas y realiza un desplazamiento hacia las zonas de menor presión, de esta manera se generan las corrientes de viento, es necesario realizar un estudio de la velocidad del viento para conocer el tipo de rotor a emplearse, su dimensionamiento y la altura a la cual deberá ser instalado. [14].

Para la instalación de la comunidad [3], la altura en la cual el aerogenerador opera bajo condiciones adecuadas de funcionamiento es a 11 metros este dato se obtuvo al recopilar información sobre la velocidad del viento a diferentes alturas.



Figura 11. Energía eólica

Fuente: [15]

1.2.1.16. Aerogenerador

El viento se produce debido a los cambios físicos de la atmósfera, que, debido a los cambios de temperatura provocados por la radiación solar, varían la presión de diversas zonas de la tierra, combinado con la geografía, provocan que el aire se mueva hacia las zonas de menor presión, con una velocidad en función a las variables mencionadas. Este movimiento es aprovechado por un perfil diseñado para este propósito, el viento genera una fuerza de empuje en cada álabe del rotor del generador, de esta manera se acciona internamente un mecanismo que convierte la energía cinética de la rotación en energía eléctrica que posteriormente puede ser empleada para el uso de suministrar energía a las cargas conectadas. [16]

Los componentes principales de un aerogenerador se encuentran en función de la disposición del eje, el cual puede ser vertical u horizontal, siendo el más empleado y para el caso del presente trabajo el aerogenerador de eje horizontal.

Para el caso del aerogenerador instalado [3], es de imanes permanentes de flujo axial que opera en bajas velocidades, el rotor tiene un diámetro de 300 milímetros, su producción de energía es la apropiada para aplicaciones de baja potencia. Este tipo de aerogenerador no produce ruidos fuertes llegando a un valor máximo de 55 dB, razón por la cual es apropiado para la comunidad al encontrarse a poca distancia de un domicilio. En la figura 12 se puede apreciar el aerogenerador que se instaló en la comunidad:



Figura 12. Aerogenerador de Yatzaputzán

Fuente: [4]

Está compuesto por las siguientes partes que se presentan en la tabla 3 y en conjunto con la figura 13:

Tabla 3. Partes del aerogenerador

1	Veleta de orientación	Acero ASTM A 653 CS galvanizado	11	3.78
2	Discos de unión de los álabes	Resina de poliéster	10	1.1
3	Álabes	Madera laurel	9	0.67
1	Generador	Acero ASTM A 36	8	27.5
1	Estructura del generador	Acero ASTM A 36	7	12.5
1	Sección tubular de 2 m	Acero ASTM A 500 galvanizado	6	14.6
3	Camisa	Acero ASTM A 500 galvanizado	5	2.42
3	Sección tubular de 3 m	Acero ASTM A 500 galvanizado	4	21.93
2	Canal base	Acero ASTM A 653 CS galvanizado	3	5.55
4	Placas base	Acero ASTM A 653 CS galvanizado	2	5.55
2	Tubo de contrapeso	Acero ASTM A 500 galvanizado	1	28.12
Nº de piezas	Denominación	Material	Nº de orden	Peso kg / pieza

Fuente: [3]

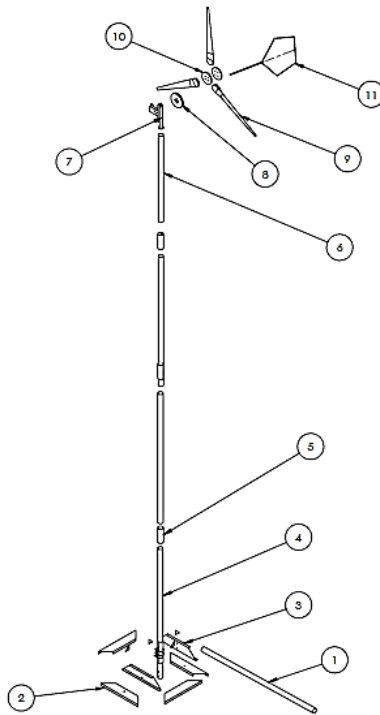


Figura 13. Partes del aerogenerador

Fuente: [3]

Las características técnicas del aerogenerador se presentan en la tabla 4:

Tabla 4. Características técnicas del aerogenerador instalado

Criterio	Detalle
Tipo de generador	De flujo axial
Número de rotores	2
Número de polos del rotor	24 (12 por cada rotor)
Número de bobinas del estator	9
Número de espiras por bobina	67
Tipo de conexión de las bobinas	En serie
Conductor para las bobinas	Alambre de cobre esmaltado AWG 14
Número de imanes	12
Diámetro de la isla	130 mm
Rodamiento	De rodillo cónico de doble hilera
Velocidad	44 – 450 rpm (según la velocidad de viento)
Potencia	1,62 – 273,8 W (según la velocidad de viento)
Intensidad de corriente	0,6 – 7,4 A (según la velocidad de viento)
Voltaje	2,7 – 37 V (según la velocidad de viento)
Resistencia	5 Ω o 10 Ω
Eficiencia	Carga de 5 Ω : 50 - 70 % Carga de 10 Ω : 60 – 80 %

Fuente: [3]

Dichas características se tomarán como punto de partida para el diseño del convertidor, debido a que es un punto de partida para la selección de componentes del mismo y diseñar en función al rango de voltajes en el cual va a trabajar el convertidor.

1.2.1.17. Sistema eólico

Los componentes principales de un sistema de generación eólica son el aerogenerador, el regulador de carga, inversor, y un banco de baterías. Estos sistemas deben ser diseñados o seleccionados según sea el caso considerando las características técnicas del aerogenerador debido a que es el principal componente del sistema y se encarga de la alimentación de todo el conjunto de equipos.

En la zona de estudio, se tienen datos tomados del proyecto de titulación [3], de los cuales se consideran el potencial útil de generación que alcanza un valor de 178 W, la velocidad del viento de diseño es de 12,63 m/s a una altura de 11 metros. La generación de voltaje DC es de 12V y mediante el convertidor se alcanzan los 110V en AC, un análisis de costo beneficio en función a la factibilidad demuestra que se deben considerar tanto las ventajas como las desventajas para determinar que en la zona la instalación del aerogenerador provee de energía suficiente para las cargas que se establecieron.

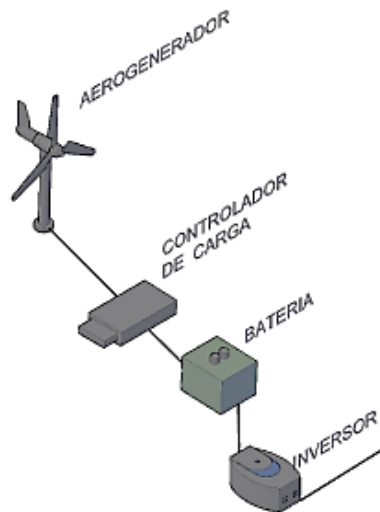


Figura 14. Sistema eólico

Fuente: [4]

En función a la etapa de diseño que se llevará a cabo para el convertidor, se debe iniciar por conocer cómo se encuentra conectado el sistema de generación fotovoltaico instalado en la comunidad de Rio Blanco, el sistema cuenta con los siguientes elementos:

- Álabes
- Inversor de voltaje
- Generador eléctrico
- Sistema de orientación
- Torre de sustentación
- Veleta
- Baterías
- Acumuladores [3]

1.2.1.18. Corrientes de viento

El movimiento de las masas de aire provoca el fenómeno conocido como viento, el movimiento de rotación del planeta influye directamente en el fenómeno antes mencionado, la variación de temperatura se considera una fuente térmica de viento en la cual la radiación solar genera una variación de temperatura en la troposfera, por otra parte, la geografía de la zona de estudio causa cambios en la velocidad y dirección del viento. Los tipos de vientos que se destinan al uso eólico son:

- Vientos de valle: Debido al calentamiento de las laderas, el aire tiene a elevarse hacia zonas altas, especialmente en las horas solares pico, por otra parte, cuando la temperatura desciende estas ráfagas de aire se dirigen hacia las zonas bajas del valle.
- Ráfagas de viento: El viento tiene a mantener una dirección hacia la tierra en las horas que recibe la iluminación del sol, en horario nocturno el viento cambia ligeramente su dirección ya que se orienta hacia el sol.

1.2.1.19. Sistemas híbridos

Se conoce a un sistema híbrido como un sistema de energía renovable que tiene dos fuentes de generación, este tipo de sistemas de generación tiene una mayor eficacia y eficiencia, ya que disminuye la cantidad de baterías que se deben emplear para un sistema aislado. La radiación solar y la velocidad del viento se pueden ver

complementadas debido a que durante el día sin considerar las horas solares pico y la variación del viento, en todo momento uno de estos recursos se encuentra presente y permite continuar con la generación de energía eléctrica de manera ininterrumpida, variando únicamente su intensidad. [17] [18].

Se requiere de un potencial eléctrico de 522 Wh / día [8], para satisfacer las exigencias a las que estará expuesto el sistema híbrido de generación. En la figura 15 se esquematiza los componentes de todo el sistema híbrido, las conexiones son un punto de partida fundamental en la etapa de diseño del convertidor debido a que se puede emplear el circuito para determinar la mejor posibilidad de conexiones del sistema.

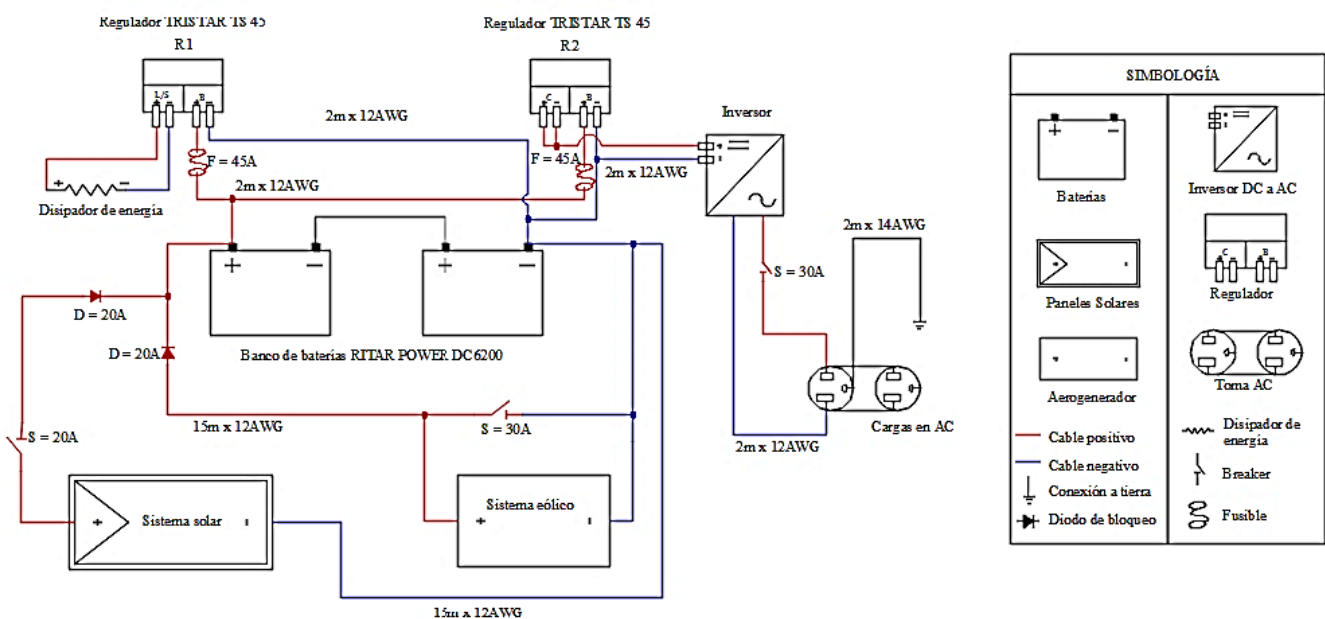


Figura 15. Circuito de conexiones del sistema híbrido

Fuente: [8]

1.2.1.20. Convertidor

La función principal del convertidor de voltaje es la de receptor y convertir toda la energía eléctrica que ha sido captada por el sistema híbrido de generación instalado en la comunidad de Rio Blanco, los valores nominales de tensión alcanzan valores de 20,6 voltios y 4,15 amperios en condiciones climáticas favorables.

1.2.2. Específico N° 2

Diseñar el convertidor considerando su funcionamiento y sus componentes internos de manera que permita realizar la transformación de energía eléctrica en energía térmica.

1.2.2.1. Normas técnicas

En conformidad con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEN), se debe considerar y aplicar las consideraciones de diseño y obligatoriedad señaladas en las normas relacionadas directamente con el diseño del convertidor, con lo que respecta a componentes electrónicos, mecanismos de transferencia de calor, materiales de construcción y procesos de mantenimiento.

➤ **Norma NTE INEN 1 912:1992. Calentadores eléctricos de agua para uso doméstico. Requisitos. [20]**

Esta norma contiene los requisitos y parámetros que se deben considerar para el diseño de un calentador eléctrico de agua, siendo de esta manera de gran importancia para la realización del presente proyecto. Si bien la norma considera en su sección de alcance los calentadores que funcionan dentro del rango de la corriente alterna. Los aspectos con referencia a la presión de trabajo y a temperatura de rango de funcionamiento se encuentran contemplados por la norma al ser magnitudes de 1,10 MPa y 60 °C respectivamente. Con lo que respecta a las resistencias eléctricas térmicas que se aplicarán en el diseño del convertidor, se consideran las de tipo sumergidas para producir el efecto de calentamiento de agua.



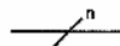





De la norma se extraen los siguientes conceptos necesarios para el proceso de diseño:

- **Aislamiento eléctrico:** material o elemento que se encarga de impedir el paso de corriente eléctrica fuera de un conductor.
- **Aislante térmico:** material que cumple la función de impedir o dificultar el paso de flujo de calor hacia el exterior de un contenedor.
- **Calentador eléctrico de agua:** equipo que al conectarse a una fuente de energía eléctrica permite obtener agua a una temperatura superior a la del ambiente.
- **Protector térmico:** dispositivo encargado de proteger la integridad de las resistencias eléctricas térmicas al interrumpir el paso de la corriente bajo condiciones defectuosas con la finalidad de evitar sobrecalentamientos.

- **Resistencia eléctrica térmica:** elemento metálico que convierte la energía eléctrica en energía térmica que se transfiere al agua.
- **Termosifón:** funciona como un separador interno de agua enviando el agua fría al inferior del tanque debido a la diferencia de densidades por la variación de temperatura.
- **NTE INEN 61 1975-06. Símbolos gráficos para esquemas eléctricos variabilidad y elementos de circuitos.** [21]

De la norma se extraen los símbolos que permitirán esquematizar los planos eléctricos del convertidor para mantener la conformidad y cumplimiento de la norma considerando la tabla 5 que cuenta con los símbolos que serán empleados.

Tabla 5. Normalización ecuatoriana símbolos eléctricos

NÚMERO	SÍMBOLO	DESIGNACIÓN
61-3.2-1		Resistencia fija (Dos variantes)
61-3.5-1		Conductor
61-3.5-7		Conductor multifilar
61-3.6-1		Terminal. Contacto fijo y móvil
61-3.6-4		Derivación de conductores
61-3.6-5		Conexión común a un grupo de aparatos
61-3.7-1		Tierra
61-3.7-3		Toma de masa

Fuente: [21]

1.2.2.2. Selección de resistencias

Se inicia por indicar que el calentamiento de agua se realiza posterior a las etapas de precalentamiento que se efectúa en los paneles térmicos solares. Dichos paneles térmicos solares están conformados por un grupo híbrido en el cual se conectan en serie un panel de placa parabólica que cuenta con su respectivo tanque de almacenamiento que realiza la función de recirculación mediante el efecto de termosifón, por otra parte, se conecta al sistema otro panel de tubos al vacío. Los dos tipos de paneles funcionan con la radiación solar presente en la comunidad.

El sistema de calentamiento eléctrico de agua tiene un suministro de energía que proviene de las baterías del sistema de generación híbrido, dichas baterías se mantienen con un nivel de carga debido a la generación del sistema. La capacidad de las baterías que se encuentra con un valor de voltaje de 12 V y 200 Ah ha obligado a realizar el calentamiento en función a la demanda de agua caliente por parte de los usuarios del sistema. De esta manera el convertidor deberá cumplir con las condiciones que se describen a continuación para entrar en funcionamiento:

- **Radiación solar baja:** en esta situación, ya sea por condiciones ambientales desfavorables o en el caso del horario de la noche, los paneles térmicos no cumplen adecuadamente con su función de calentar y mantener el agua a una determinada temperatura, misma que es adecuada para el uso de los pobladores. En este caso las resistencias térmicas suplirán la falta de radiación solar con el uso del voltaje almacenado en las baterías.
- **Rango de temperaturas:** el rango de temperaturas que se desea alcanzar se encuentra comprendido entre los 25 °C hasta los 30°C.

Las resistencias térmicas tienen la función de elevar su temperatura por el paso de la corriente eléctrica, de esta manera se opta por seleccionar el tipo de resistencia que disminuya el riesgo de electrocución en el usuario. Dicha resistencia debe ser adecuadamente aislada para asegurar que la zona de contacto eléctrico no entre directamente al paso del agua.

Debido a la presencia de ciertas sales en el agua potable, la convierte en un conductor de electricidad por esta razón se debe instalar una conexión a tierra para disminuir la presencia de descargas eléctricas. La conexión a tierra cuenta con un alambre de cobre

que entra directamente en contacto con el agua y este se conecta en su otro extremo a una varilla de cobre que se encuentra enterrada directamente al piso.

1.2.2.3. Resistencia térmica sumergida

Resistencias de material resistente a la corrosión generalmente de cobre o de latón, debido a las propiedades de los materiales mencionados, su calentamiento por el flujo de los electrones al ser un material altamente conductor se realiza sin inconvenientes y puede trabajar en condiciones sumergidas en agua. El rango de operación de este tipo de resistencias se encuentra alrededor de los 350 °C en función al voltaje de fuente que se le suministre, de la misma manera la potencia de la resistencia se ve afectada por el voltaje de entrada. Se puede observar en la figura 16 el esquema inicial de las resistencias que serán empleadas para el proceso de calentamiento de agua, su material de constitución es constantán, que por sus propiedades es uno de los más utilizados para las resistencias térmicas sumergidas.



Figura 16. Resistencias eléctricas

Fuente: [22]

Cálculos de potencia de la resistencia

Para el cálculo de la potencia necesaria en las resistencias se requiere el voltaje y la intensidad que suministran las baterías, de acuerdo con las características de la misma se ha considerado un voltaje de 6 voltios y un amperaje de 200 Ah. (Anexo 2).

Datos:

Tensión de batería: 12 voltios

La resistencia se calcula mediante la ecuación número 4, considerando las características como la sección transversal, la longitud y el material:

$$R = \rho \left(\frac{L}{S} \right) \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

ρ : Resistividad

L: longitud de la resistencia

S: área de sección transversal

El valor de la resistividad al conocer que es constantán el material que se emplea generalmente para las resistencias térmicas de duchas eléctricas, tiene una magnitud de $49 \times 10^{-8} \Omega m$.

➤ **Cálculo de la resistencia $\varnothing = 1mm - 40$ espiras**

Se analiza la potencia entregada con una resistencia de fábrica cuyo diámetro es de 1 mm y 40 espiras.

• Área de sección transversal del conductor:

Se procede a tomar mediciones empleando un calibrador pie de rey de las dimensiones de la resistencia que se seleccionó para la construcción del convertidor.

(Ec. 5)

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$S = \frac{\pi(0,001m)^2}{4}$$

$$S = 7.854 \times 10^{-7} m^2$$

• Longitud de la resistencia:

$$P = \pi D \quad (\text{Ec. 6})$$

$$P = \pi(0,012 m)$$

$$P = 0,0377 m$$

$$L = P \times N \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

P: Perímetro

N: Número de espiras

$$L = 0,0377 m \times 40$$

$$L = 1,508 m$$

$$R = \rho \left(\frac{L}{S} \right)$$

$$R = (49 \times 10^{-8} \Omega m) \left(\frac{1,508 m}{7,854 \times 10^{-7} m^2} \right)$$

$$\mathbf{R = 0,941 \Omega}$$

Intensidad

➤ **Resistencia** $\emptyset = 1 mm - 40$ espiras

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{(Ec. 8)}$$

$$I = \frac{12 v}{0,941 \Omega}$$

$$\mathbf{I = 12,75 A}$$

Potencia de la resistencia

➤ **Potencia** $\emptyset = 1 mm - 40$ espiras

$$\mathbf{P = V \times I} \quad \text{(Ec. 9)}$$

$$P = 12 v \times 12,75 A$$

$$\mathbf{P = 153 W}$$

Capacidad de la batería - 200 Ah

$\emptyset = 1 mm - 40$ espiras

(Ec. 10)

$$T = \frac{200 Ah}{12,75 A}$$

$$\mathbf{T = 15 horas 40 minutos}$$

Se presentan en la tabla 6 los valores de cada alternativa propuesta en el diseño para las características y especificaciones de las resistencias térmicas eléctricas.

Tabla 6. Alternativas de diseño. Resistencias eléctricas

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Diámetro (mm)	1	1	1	0,5
Espiras (N)	40	20	10	20
Resistencia (Ω)	0,941	0,470	0,235	1,882
Intensidad (A)	12,75	25,53	51,06	6,59
Potencia (W)	153	306,36	612,768	79,08
Duración de las baterías	15 horas 40 minutos	7 horas 49 minutos	3 horas 55 minutos	30 horas 21 minutos

Fuente: Autor

Si se desea analizar el fenómeno de Joule que ocurre en una resistencia eléctrica, se debe determinar el calor que genera la misma y proceder a reemplazar los valores obtenidos a través de mediciones de las variables como intensidad y resistencia, despejando el voltaje de la ley de ohm y posteriormente reemplazarlo en la ecuación general del trabajo. Se obtiene la siguiente expresión:

$$W = R * I^2$$

Donde:

R: Valor en ohmios de la resistencia

I^2 : Cuadrado de la intensidad del circuito

1.2.2.4.Determinación del caudal en las tuberías

En la zona donde se realizó la instalación, se determinó el caudal existente en las tuberías mediante un método de experimentación el cual consistió en llenar una probeta graduada para obtener un determinado volumen estableciendo un límite de tiempo, de

esta manera se obtiene los datos de volumen y tiempo que son requeridos para el caudal. Para veracidad de los datos obtenidos se plantea realizar un total de cinco mediciones y calcular un valor promedio. Los datos se presentan en la tabla 7:

Tabla 7. Datos requeridos para el cálculo del caudal volumétrico

	Volumen (m^3)	Tiempo (s)	Caudal ($\frac{m^3}{s}$)
Medición 1	0,001 m^3	8,04 s	$1,244 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
Medición 2	0,001 m^3	7,96 s	$1,253 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
Medición 3	0,001 m^3	8,14 s	$1,228 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
Medición 4	0,001 m^3	8,12 s	$1,232 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
Medición 5	0,001 m^3	7,94 s	$1,259 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$
Promedio	$1,243 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$		

Fuente: Autor

En la comunidad, se pudo evidenciar que el caudal de agua que existe en las tuberías se encuentra expuesto a sufrir cambios significativos y erráticos debido a que el suministro de agua es controlado y modificado frecuentemente por los directivos de los departamentos respectivos que se encargan de distribuir el recurso hídrico a las diversas comunidades y caseríos de la zona.

De esta manera se determina el caudal existente en la zona de instalación de las resistencias térmicas:

$$Q = \frac{V(lt)}{t (s)} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$Q = 1,243 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Flujo másico de agua

Para el cálculo del flujo másico de debe conocer las propiedades del agua como la densidad del agua [23]:

$$\rho = 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad (\text{Ec. 12})$$

$$\dot{m} = 1,243 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{m} = 0,1243 \left[\frac{Kg}{s} \right]$$

1.2.2.5. Calor generado por la resistencia

Con el cálculo del calor generado, se tiene un parámetro para conocer la cantidad de resistencias que se deben instalar en el sistema de calentamiento de agua considerando el valor de temperatura que debe tener el agua a la salida del sistema. Para este fin es necesario un sensor de temperatura que permita conocer la temperatura de salida del agua de los paneles térmicos (T_i) y de esta manera se establece como temperatura de confort los 30 °C [23]. Con este valor se puede determinar el calor de las resistencias mediante la ecuación [7]:

$$q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

C_p :

$$q = 0,1243 \left[\frac{Kg}{s} \right] \times 4,185 \left[\frac{KJ}{Kg} \right] \times (30 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$q = 2.601 \left[\frac{KJ}{s} \right]$$

1.2.2.6. Sistema de transferencia de calor

Una vez que se ha determinado la potencia que se puede obtener de cada variante de resistencia, se procede a analizar los fenómenos de transferencia de calor que intervienen en la resistencia térmica de tipo sumergido para facilitar el proceso de diseño o selección.

Se trabajará bajo el concepto de flujo no estacionario para el instante en que las resistencias térmicas inician el proceso de transferencia de calor al recibir el flujo de electrones debido que, durante esta etapa, las temperaturas sufrirán una variación en función del tiempo, por lo tanto, el flujo de calor es tipo unidireccional.

Por lo tanto, una vez alcanzada la temperatura de control que se fijará en función a la temperatura que se desea obtener y mantener del agua, las resistencias eléctricas entran en un proceso estacionario. El mecanismo de transferencia de calor a estudiarse es el predominante en el sistema, la conducción, las resistencias térmicas se encuentran sumergidas en el fluido y existe un contacto directo, por esta razón se descarta la convección y la radiación para el proceso de diseño.

Conducción

El fenómeno de conducción de calor se origina por un movimiento atómico, las partículas que contienen una mayor energía térmica buscan liberar dicha energía hacia las partículas con una menor temperatura, este fenómeno tiene lugar en elementos sólidos y puede ocurrir en gases y fluidos.

Para poder llevar a cabo el análisis respectivo mediante el uso de cálculos matemáticos, se debe emplear las leyes de Fourier, considerando el sistema que más se aproxime al real siendo para el presente caso un fenómeno de transferencia de calor por conducción a través de una superficie de tipo varilla roscada de constitución similar a un muelle.

$$q_x = -k \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) \quad (\text{Ec. 14})$$

$$q_x = -k \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right)$$

Donde:

T_1 : Temperatura en la superficie caliente (núcleo de la resistencia)

T_2 : Temperatura en la superficie fría (superficie en contacto con el agua)

L: Longitud de la pared

a en $\left[\frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right]$

A: Área en m^2

$$q_x = k \times A \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right)$$

$$q_x = \left(19,5 \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right) \times (0,001 m \times 0,020 m) \left(\frac{50 - 25}{0,0005} \right)$$

$$q_x = 19,5 W$$

1.2.2.7. Sistema de precalentamiento de agua

El proceso de calentamiento de agua al realizarse con una fuente de voltaje eléctrica de 12 voltios no cuenta con la potencia que generalmente se emplea en los calentadores eléctricos de agua que funcionan con tensión de 110 hasta 220 voltios, generando una potencia de aproximadamente 4500 watts que tiene la capacidad de elevar la temperatura del agua en los grados centígrados que sean requeridos hasta alcanzar la temperatura de confort.

Para el presente proyecto, la potencia que se puede alcanzar con los componentes propuestos ronda un valor de entre 600 watios siendo un valor muy inferior en comparación al que se requiere para calentar grandes volúmenes de agua. Para suplir con la falta de potencial eléctrico, se cuenta con un proceso previo de precalentamiento, el cual consiste en dos sistemas independientes de paneles térmicos solares fotovoltaicos, internamente emplean un mecanismo de termosifón para mantener a un nivel adecuado la temperatura del agua.

Se puede observar en la figura 19 el esquema de funcionamiento de un sistema que emplea el fenómeno del termosifón para mantener la temperatura del agua caliente, su funcionamiento consiste en el cambio de densidad de un fluido, en este caso agua, al elevar su temperatura, se dilata y esto ocasiona que el agua de menor temperatura descienda y se dirija hacia el captador de esta manera se crea un efecto de recirculación que permite mantener el agua a una determinada temperatura siempre y cuando se tenga un medio que aporte con una fuente de calor habitualmente por el medio de convección.

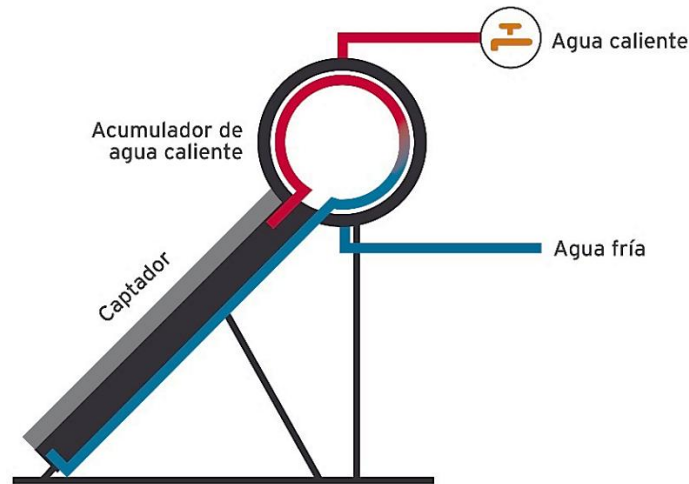


Figura 17. Esquema de funcionamiento del termosifón

Fuente: [5]

- **Panel térmico solar de placa parabólica**

El colector solar plano que tiene como finalidad el calentamiento de agua cuenta con un área total de 1.07 m^2 de las cuales se aprovecha un área de 0.99 m^2 , la investigación [24] determino que la eficiencia de este sistema alcanza un valor de entre el 30% al 76% considerando como factor principal al tiempo de exposición a la radiación solar.

Las pruebas de funcionamiento han determinado que para las condiciones geográficas e irradiancia de la ciudad de Ambato se alcanza una temperatura de calentamiento de agua de 75°C con un tiempo de exposición de dos horas, considerándose que la temperatura promedio en las tuberías del agua potable se encuentra alrededor de los 18°C en horas de la mañana. En situaciones climáticas adversas, en día parcialmente nublado, la temperatura puede llegar a 50°C y un día completamente nublado se alcanzan temperaturas de alrededor de 30°C . La constitución del panel de placa parabólica se esquematiza en la figura 20.

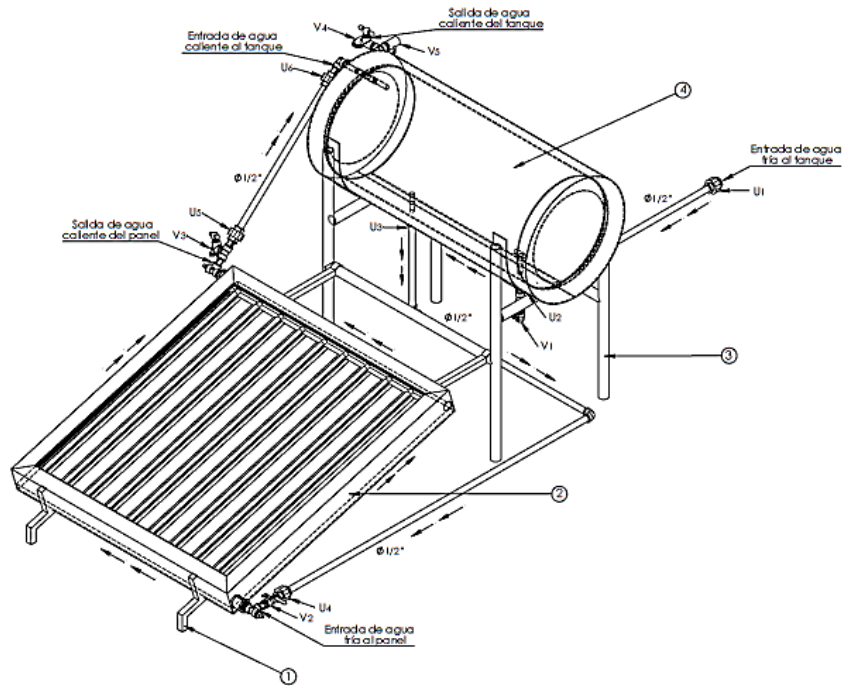


Figura 18. Panel térmico solar de placa parabólica

Fuente: [24]

Especificaciones técnicas del colector solar y sus partes

Los componentes que forman parte de la constitución del panel térmico de placa parabólica se esquematizan en las tablas 8, 9 y 10 respectivamente.

Tabla 8. Especificaciones del colector solar plano

Detalle	Colector solar plano
Peso total aproximado	90 Kg.
Dimensiones	Largo: 2.7 m, Ancho: 1.35 m Altura: 1.05m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación natural
Alimentación	Red de agua potable
Potencia útil transferida al fluido	389.9 W
Principio de funcionamiento	Diferencia de densidad del fluido

Fuente: [24]

Tabla 9. Características técnicas del panel

Detalle	Panel
Peso Total	28.8 kg.
Dimensiones	Largo: 1.07 m, Ancho: 1m Altura: 0.1m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Natural (Termosifón)
Alimentación	Red de Agua Potable
Volumen máximo del fluido	3.07 lt
Área Total	1.07 m ²
Área Efectiva	0.99 m ²
Caudal del fluido	1 lt/min
Inclinación	18°
Temperatura máxima registrada	75°C
Cubierta	Vidrio Templado Low-E
Placa de Absorción	Aluminio
Serpentín	Tipo rejilla (Cobre)
Aislante	Lana de vidrio

Fuente: [24]

Tabla 10. Características técnicas del tanque de almacenamiento

Detalle	Tanque de Almacenamiento
Peso Total	44.2 kg.
Dimensiones	Longit.:1.01 m, Diámet.: 0.46m
Fluido	Agua
Tipo de circulación	Circulación Natural
Alimentación	Red de Agua Potable
Volumen del tanque exterior	167.3 lt
Volumen máximo del fluido (tanque interior)	118.1 lt o 31.2 gal.
Aislante	Lana de vidrio
Otras	Herméticamente sellado

Fuente: [24]

- **Panel térmico solar de tubos al vacío**

El efecto de los tubos sellados al vacío permite obtener temperaturas elevadas en el proceso de calentamiento de agua, por otra parte, las pérdidas de energía térmica se reducen debido a los aislamientos con lo que cuenta el panel térmico y de esta manera el medio ambiente climático y las condiciones geográficas de la comunidad de Rio Blanco no afectan de manera considerable a la eficiencia del panel térmico de tubos al vacío con un valor de 81,8 %. Los datos que se proporcionan el trabajo de titulación [25],

indican que en la ciudad de Ambato con los valores de radiación promedio se puede alcanzar una temperatura máxima de 62 °C con un periodo de exposición de seis horas logrando captar una cantidad de energía de 1854,61 W provenientes de la radiación electromagnética solar.

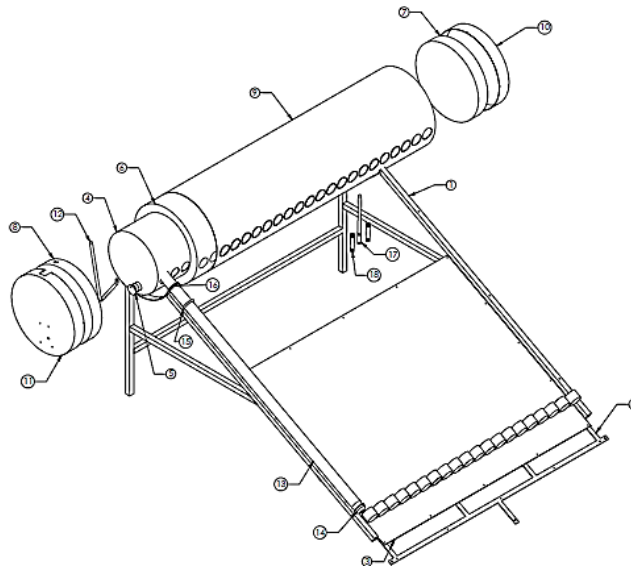


Figura 19. Panel térmico solar de tubos al vacío

Fuente: [25]

1.2.2.8. Diseño propuesto

Para realizar el diseño del convertidor de energía, se inicia por considerar las condiciones climáticas de funcionamiento, debido a que en la comunidad de Rio Blanco al encontrarse en la zona montañosa con un clima frío, y el objetivo central del proyecto es el calentamiento de agua, se analizan aspectos como los recursos disponibles para preservar la ganancia de temperatura del agua con los respectivos medios de transferencia de calor.

El esquema del convertidor se centra en aprovechar la energía eléctrica almacenada en baterías que proviene de fuentes eólicas y fotovoltaicas, accionando un grupo de tres resistencias térmicas que se encuentran en contacto directo con el fluido y generar transferencia de calor por el mecanismo de conducción.

El sistema de recirculación de agua emplea para su funcionamiento una bomba eléctrica que permite desplazar el fluido internamente para alcanzar y mantener un equilibrio térmico en la temperatura del agua que se encuentra dentro del convertidor.

El funcionamiento del convertidor se acciona mediante los datos recopilados por dos sensores que miden la magnitud de temperatura del agua a la entrada y salida del convertidor. Se inicia el proceso de calentamiento cuando el agua alcanza una temperatura de entrada de 25 °C obtenidos previamente por los paneles térmicos solares, el convertidor incrementa la temperatura del agua hasta alcanzar los 30 °C considerado como temperatura de confort. En caso de ser una temperatura inferior a los 25 °C, no se encienden las resistencias térmicas y si el agua supera los 30 °C de la misma forma no inicia el funcionamiento del convertidor.

En la figura 20 se puede observar un modelo tentativo para el diseño y la posterior construcción del convertidor.

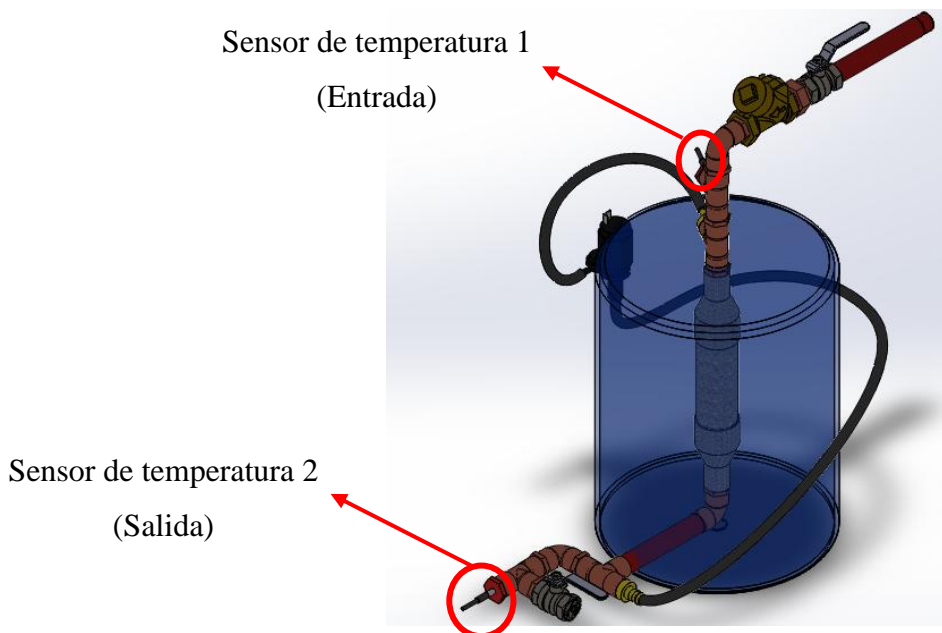


Figura 20. Diseño propuesto para el convertidor

Fuente: Autor

1.2.2.9. Selección del aislante

Para el proceso de selección del material que actuará como aislante del sistema se realizó en primer lugar una matriz de criterios ponderados para determinar la mejor opción en lo que respecta al material del elemento aislante que permitirá reducir la pérdida de calor por el medio de convección al ambiente. En la tabla 11 se presenta la matriz de selección de alternativa para el material aislante con una valoración de 1 a 7 para cada aspecto considerado.

Tabla 11. Matriz de criterios ponderados

MATERIAL	COSTO	DISPONIBILIDAD	FACILIDAD DE INSTALACIÓN	EFICIENCIA DE AISLAMIENTO	TOTAL
Lana de vidrio	2	4	2	7	15
Espuma de poliuretano	3	4	6	4	17
Espuma elastomérica	5	5	6	5	21
Poliestireno expandido	4	6	3	5	18

Fuente: Autor

Se selecciona como material de aislamiento a la espuma elastomérica debido a su disponibilidad y facilidad de adquisición, en conjunto con su alto rendimiento en el proceso de aislamiento en función a su relativo bajo costo. Las propiedades del material ofrecen una baja tasa de pérdida de calor.

Las propiedades térmicas del material se especifican en el anexo 3 en la tabla 17, valores que posteriormente permitirán los cálculos respectivos para determinar la eficiencia y el tiempo de mantenimiento de la temperatura en el agua dentro de dos puntos de control determinados por una temperatura máxima y una mínima.

Dimensiones del aislante

Para mejorar las condiciones térmicas y reducir las pérdidas de calor y disminución de temperatura en el sistema de calentamiento, se procedió a llenar los espacios vacíos alrededor de las resistencias térmicas eléctricas cubriendo de forma cilíndrica la zona interna, empleándose una plancha con las siguientes dimensiones.

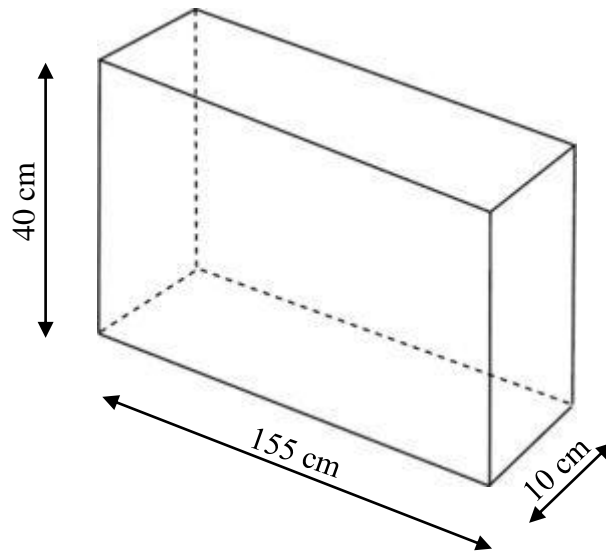


Figura 21. Dimensiones del aislante

Fuente: Autor

1.2.3. Específico N° 3

Realizar pruebas de funcionamiento del convertidor para determinar el rango de temperaturas que se podrán obtener en el proceso de calentamiento de agua al usar como suministro el voltaje obtenido por el sistema de generación híbrido y paneles térmicos solares.

Para las pruebas de funcionamiento se tomaron datos mediante el sistema de monitoreo y control en los meses anteriores, se recopiló información sobre la radiación solar y el voltaje disponible de las baterías, así como también la variación de temperatura a la entrada y salida del convertidor de energía.

En base a los datos bibliográficos obtenidos de la radiación solar [8] se determinaron valores de temperatura que se obtendrían en los meses previos al desarrollo del proyecto.

La medición de la magnitud de temperatura se realiza mediante dos sensores DS18B20 que se conectan al sistema de monitoreo para determinar la variación que se presenta, los resultados se esquematizan en el anexo 4 en las tablas de toma de datos.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA.

2.1 Materiales



Tabla 12. Materiales eléctricos

N°	Denominación	Cantidad	Descripción	Fotografía	Costo
1	Conductor eléctrico	1	Cable multifilar número 10		\$ 8.00
2	Resistencia eléctrica térmica	3	Resistencia de constantán diámetro de alambre 1 milímetro y 10 espiras.		\$ 12.00
3	Cable de termofusión	1	Reduce su diámetro al exponerse a una fuente de calor hasta la mitad de su diámetro, generando un aislante de alta calidad.		\$ 6.00


4	Cable de aislamiento eléctrico	1	Recubrimiento para evitar el riesgo de electrocución entre los componentes del convertidor.		\$ 4.00
5	Espuma de poliuretano para aislamiento	1	Permite disminuir la tasa de pérdida de calor		\$ 23.50
6	Arduino uno	1	Permite el control del sistema con sus 14 entradas digitales y 6 analógicas, funcionamiento con 5V		\$ 16.00
7	Sensores de temperatura para fluidos	2	DS18B20		\$ 18.00

Fuente: Autor

Tabla 13. Materiales hidráulicos

N°	Denominación	Cantidad	Descripción	Fotografía	Costo
1	Tubería PVC ½	1	6 metros de tubería para agua caliente		\$ 14.00
2	Contenedor térmico de agua	1	Recipiente metálico con cubierta plástica termorresistente		\$ 65.00
3	Acople ½" a 1" acero galvanizado	2	Intercambio de medidas de 1" a ½ pulgada.		\$ 1.50
4	Tubería de acero galvanizado	1	Neplo largo de acero galvanizado de 1"		\$ 3.00
5	Codos ½	6	Permite el cambio de dirección de una tubería en un sentido de 90°.		\$ 4.00
6	Unión T de ½	4	Empleado para realizar empates en una tubería.		\$ 4.00

7	Unión tipo neplo perdido 1/2 “	11	Permite realizar uniones entre elementos de tuberías de 1/2 pulgadas.		\$ 5.50
8	Tapón para tubería de 1/2 tipo macho	1	tapón de 1/2 tipo macho roscable.		\$ 0.75
9	Manguera negra de 1/2”	1	20 metros de manguera para agua de 1/2		\$ 40.00
10	Manguera de alta presión de 1/4	1	Presión máxima de funcionamiento de 300 PSI		\$ 12.00
11	Manguera de alta presión de 5/8 “	1	Presión máxima de funcionamiento de 300 PSI		\$ 18.00
12	Bomba de agua de corriente continua	1	Facilita el proceso de recirculación interna de fluido del convertidor. Funcionamiento a 12 voltios.		\$ 25.00
13	Abrazaderas metálicas	4	Realiza la fijación del acople para manguera.		\$ 2.00

14	Acoples de acero 1/2		Acople para conexión entre manguera y tubería de pvc. 1/2 a 5/8" 1/2 a 1/2 1/2 a 1/4"		\$ 25.00
Total					\$ 307.25

Fuente: Autor

2.2 Métodos

Documental.- Este tipo de metodología se empleó para fundamentar teóricamente los temas requeridos para la compresión y posterior realización del proyecto. [26]

Correlacional.- Las variables que intervienen en el proyecto se determinan por el voltaje que se genera en los paneles solares fotovoltaicos y en el generador eólico, el nivel de carga de las baterías, la temperatura de entrada y salida del agua. Es necesario conocer y controlar la relación entre cada una de las variables citadas, es necesario el uso de un método correlacional para el manejo de los datos. [26]

Longitudinal.- Los datos que se obtienen son recogidos en un periodo que comprende un total de 12 meses entre recopilación bibliográficos y datos propios tomados por el autor mediante el sistema de monitoreo, para poder analizar y verificar el correcto funcionamiento del convertidor, la información es obtenida en diversos periodos de tiempo y se realiza una comparación de los datos con la finalidad de identificar los cambios que sufre la variable de temperatura de salida. [27]

Experimental.- La relación directa se mantiene entre el voltaje de las baterías que se determina como variable independiente y la temperatura que alcanza el fluido por la transferencia de calor de las resistencias térmicas eléctricas, la variación de la variable independiente cambia el resultado esperado de la temperatura final obtenida y posteriormente se analiza la mencionada variación que se origina por la variación del voltaje producto de la descarga parcial de la batería. [27]

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados.

De los datos obtenidos a través del sistema de control y monitoreo que se encuentra instalado en la estación de generación de recursos energéticos no convencionales en la comunidad de Rio Blanco, se analiza el funcionamiento que ha presentado el convertidor de voltaje basándose en datos estadísticos históricos y toma de datos en la zona finalizando las pruebas de funcionamiento en el mes de noviembre.

Se puede apreciar el calentamiento de agua a través de la generación de calor por las resistencias térmicas que obtienen el voltaje para su funcionamiento de las baterías de corriente continua que se mantienen cargadas debido al aprovechamiento del potencial energético solar mediante un sistema de paneles solares fotovoltaicos.

➤ Promedio de irradiancia anual

Para los datos presentados en resultados se consideran los valores de radiación significantes que superan el valor de irradiancia de $150 \frac{w}{m^2}$, que es un periodo de estudio comprendido entre las 8 de la mañana hasta las 4 de la tarde, representando las horas del día en las que se cuenta con una radiación solar alta dentro de las horas solares picos aprovechables en función a las condiciones geográficas de la zona de estudio.

El horario en el que se realizan las pruebas de funcionamiento se considera dentro del periodo de tiempo en el cual la radiación presente en la zona de estudio genera una variación significativa en la temperatura del agua mediante el accionamiento de los paneles térmicos solares de tubos al vacío y placa parabólica.

Se toman datos mediante el sistema de control por cada cinco minutos dentro del rango de horas establecido para proceder a realizar un promedio por cada hora y finalmente estos resultados se promedian entre todos los días del mes para llegar al valor de radiación mensual estimado.

Este proceso se realiza por cada mes y finalmente se muestra la gráfica general que permite conocer la tendencia de irradiancia de la zona y determinar si el proyecto puede garantizar un correcto funcionamiento durante todo el año, los resultados se presentan en la figura 21 que permite apreciar el comportamiento variable de la intensidad de irradiancia.

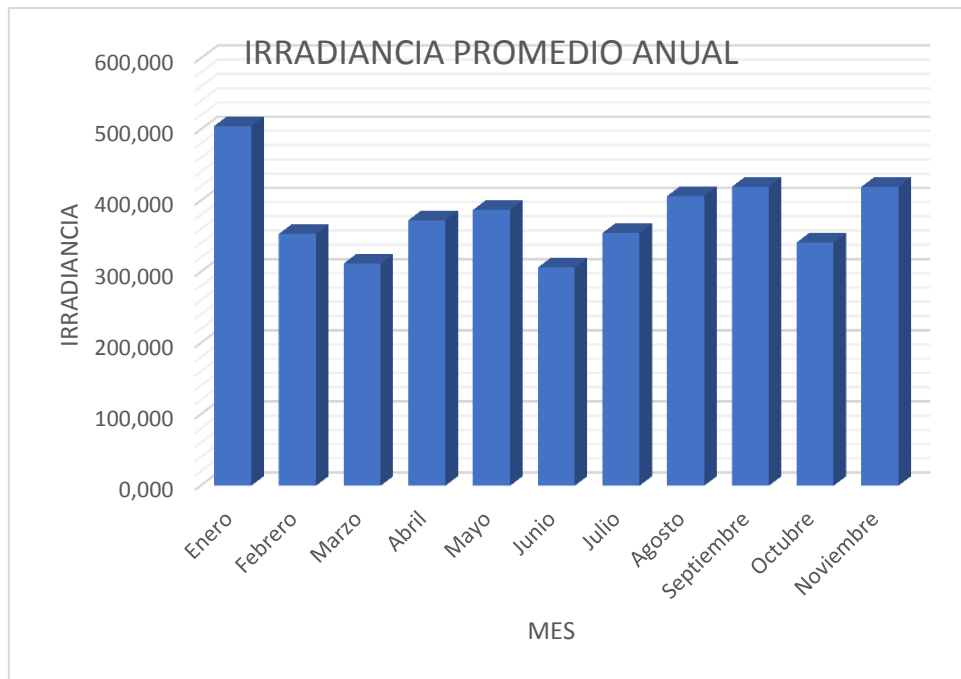


Figura 22. Promedio de irradiancia anual

Fuente: Autor

Con los valores obtenidos del promedio general mensual de la irradiancia en la comunidad de rio blanco que se presentan en la figura 21, se puede determinar que los meses con un mayor potencial de aprovechamiento de recursos energético solar son enero, septiembre y noviembre alcanzando valores de irradiancia que se encuentran en un rango comprendido entre 500 y 400 $\frac{W}{m^2}$, frente a los meses de marzo, junio y octubre que promedian valores de irradiancia en un rango de 320 a 300 $\frac{W}{m^2}$.

Tomando como referencia la gráfica 21 que esquematiza la irradiancia promediada desde el mes de enero hasta noviembre, se puede realizar la proyección de tendencia y se representa en la gráfica 22 que permite evidenciar de mejor manera la variación y el comportamiento de la magnitud del potencial solar de la zona de estudio.

La eficiencia de los paneles térmicos solares alcanza su potencial máximo de funcionamiento en los meses de enero, mayo y septiembre debido a los valores de irradiancia que se obtienen al realizar el promedio mensual.

Considerando los valores más bajos de irradiancia, se determinó que tanto los paneles térmicos como el convertidor de voltaje son capaces de operar de forma que alcanzan una eficiencia promediada de 85% de temperatura de calentamiento de agua.

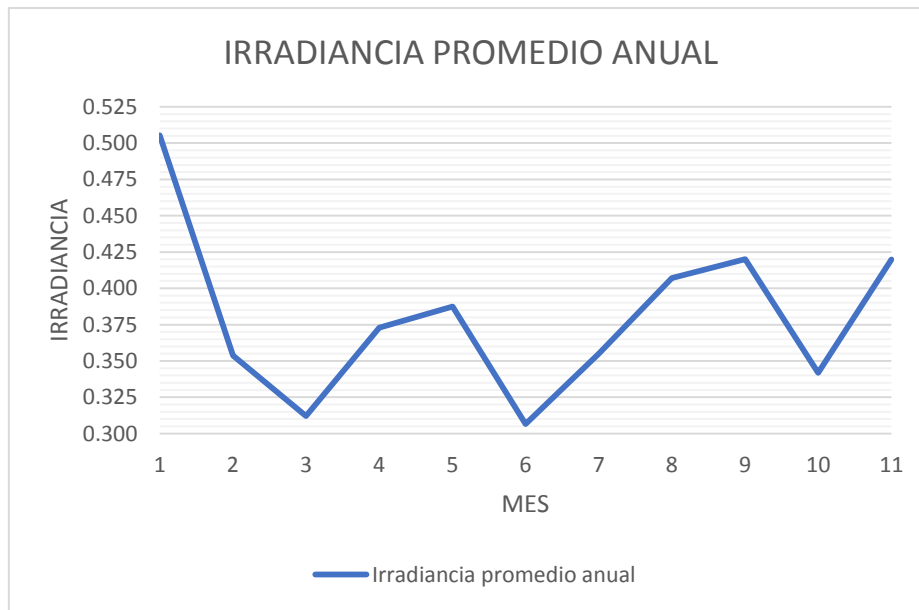


Figura 23. Tendencia de la irradiancia anual promedio

Fuente: Autor

Mediante los valores de radiación que en forma general son considerados dentro del periodo de tiempo de estudio comprendido desde las 8 de la mañana hasta las 4:00 de la tarde superan el valor de los $150 \frac{w}{m^2}$ y en promedio general mensual tienden a un valor de $350 \frac{w}{m^2}$, se determina que la zona tiene un potencia aprovechable para el funcionamiento del proyecto de forma adecuada debido a que el proceso de precalentamiento de agua se realiza de forma apropiada y se obtiene la energía eléctrica suficiente para abastecer el potencial de consumo instalado en la zona y dar abasto suficiente para los periodos de funcionamiento del convertidor de voltaje que accionan las resistencias térmicas eléctricas.

➤ **Análisis de temperatura**

La temperatura ambiente del agua se determinó realizando las mediciones entre el periodo de tiempo de estudio mediante el sensor DS18B20 de temperatura de fluidos que trabaja con programación Arduino, se obtuvieron resultados de un rango de valores entre 5 y 7 °C evidenciando una semejanza con relación a la temperatura ambiente de la zona.

Las mediciones de temperatura posterior a la instalación de los paneles térmicos solares son representadas en la figura 23 que evidencia los resultados de temperaturas en el

orden de los 21 a los 23 °C con un tiempo de autonomía de 26 minutos. El mencionado tiempo se obtuvo consumiendo el agua del interior del tanque y verificando que tiempo tarda en llegar la temperatura del agua a un nivel inferior a los 13 °C. El convertidor de voltaje permitió abastecer 8 minutos de agua caliente entrando en funcionamiento una vez que la temperatura del agua llegó a los 12°C y mantuvo dicha temperatura por el mencionado tiempo.

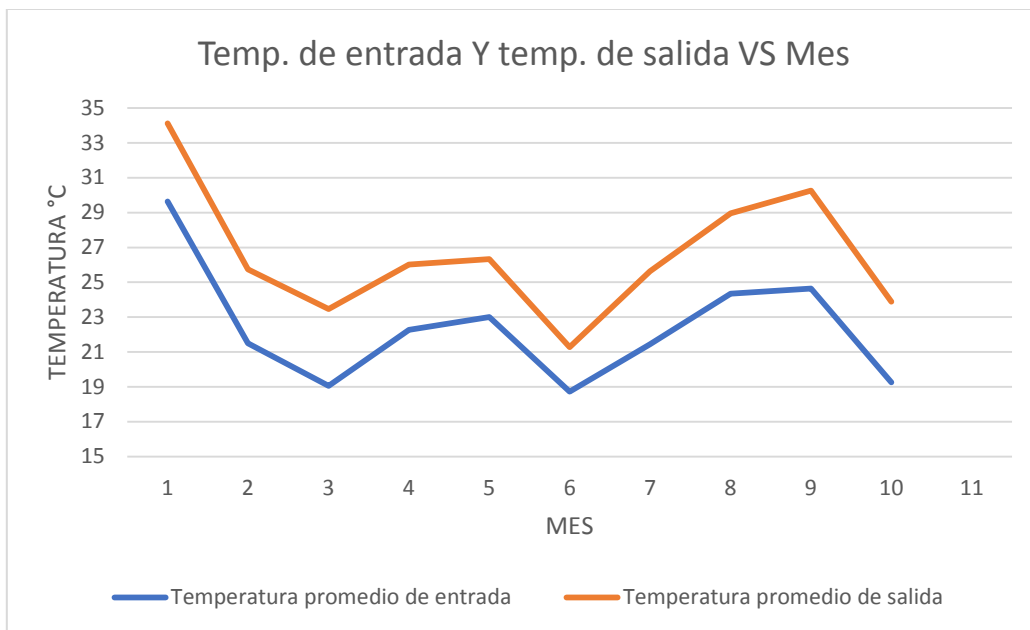


Figura 24. Variación de temperatura anual

Fuente: Autor

La irradiancia de la zona garantiza el correcto funcionamiento del sistema de calentamiento de agua que para la etapa de precalentamiento alcanza los 22 °C y en el convertidor de voltaje en promedio llega a una temperatura general promediada de 26 °C. Como datos iniciales la etapa de diseño la temperatura del agua debe alcanzar los 30 °C. Se obtiene un calentamiento de 4 °C empleando las resistencias seleccionadas en la etapa de diseño, el potencial energético eléctrico de las baterías instaladas, el sistema de recirculación forzada y el proceso de precalentamiento mediante los paneles solares térmicos.

➤ **Eficiencia del convertidor**

Para la obtención de la eficiencia general del convertidor de voltaje con el calentamiento de agua, se determina como temperatura de confort los 30°C y mediante el cálculo promediado de los valores finales de temperatura obtenidos por el convertidor

se alcanza un valor de 26 °C, de esta manera se llega a una eficiencia de funcionamiento promedio con un valor de 86,6 % que se puede evidenciar en la figura 24. Se observa que los meses con mayor nivel de irradiancia permiten obtener temperaturas más altas únicamente con la acción de los paneles térmicos y por consiguiente un menor funcionamiento del convertidor.

$$n = \frac{\text{Temp. obtenida}}{\text{Temp. esperada}}$$

$$n = \frac{26\text{ }^{\circ}\text{C}}{30\text{ }^{\circ}\text{C}}$$

$$n = 86,67\%$$

Los meses de mayor exigencia para el funcionamiento del convertidor son marzo y octubre, que la radiación mantiene valores por debajo de los 320 $\frac{w}{m^2}$ y exige un mayor consumo eléctrico por parte de las resistencias para suplir con la demanda de consumo. La eficiencia en los meses antes mencionados se encuentra por debajo del 80% debido a que la temperatura del agua alcanza un valor máximo de 26 °C a la salida del convertidor y 22 °C a la salida de los paneles térmicos solares.

El comportamiento de la variación de la eficiencia con respecto al funcionamiento del convertidor se presenta en la figura 24, se puede apreciar que los valores oscilan entre el 79% en los meses de menor presencia de irradiancia solar y alcanza los valores máximos de eficiencia del 88% en los meses con mayor presencia de irradiancia como enero y noviembre.

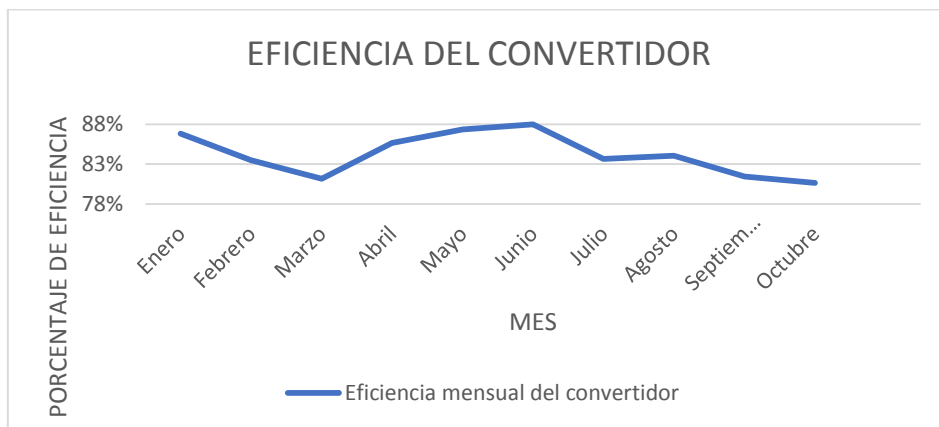


Figura 25. Eficiencia del convertidor

Fuente: Autor

De esta manera se demuestra que el convertidor en promedio incrementa la temperatura del agua en un valor de 4°C supliendo con la demanda requerida para incrementar la temperatura del agua y alcanzar el estado de confort. El incremento de temperatura se mantiene constante en todo el año variando únicamente la temperatura final obtenida en función a la cantidad de irradiación que se tiene en la zona.

➤ **Tiempo de autonomía y funcionamiento**

El tiempo en que los paneles térmicos solares y el convertidor de energía mantienen una temperatura de agua a nivel de confort alcanza un total de 34 minutos y previamente con la medición del caudal en la tabla 7 con magnitud de $Q = 1,243 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$ se determina el volumen de agua caliente que se obtiene para establecer la autonomía de funcionamiento del sistema de calentamiento de agua.

$$Q = \frac{\text{volumen (m}^3\text{)}}{\text{tiempo (s)}}$$

$$v = Q * t$$

$$v = \left(1,243 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right) (2040 s)$$

$$v = 0,2536 m^3$$

$$v = 253,6 l$$

Según los datos expuestos por la organización mundial de la salud (OMS) [28], se indica que una persona promedio en aspectos de aseo e higiene personal consume un aproximado de 60 litros de agua caliente, existe un excedente que representa un 20% adicional que puede ser empleado para servicios de limpieza como lavamanos, por lo tanto el suministro que se encuentra instalado en la zona tiene la capacidad de abastecer a un total de 4 personas con un consumo de agua eficiente y con un consumo medio bajo.

➤ **Eficiencia del aislamiento**

La eficiencia del aislamiento se determina en función de las características del material que se empleó para la construcción del proyecto. Se determina la razón de pérdida de calor sin aislante y con aislante en función de la ecuación de pérdidas por convección en cilindros de pared delgada. [29]

- Pérdida de calor sin aislante térmico

$$q_x = \frac{A_0(T_{agua} - T_{aire})}{R}$$

Para el cálculo del valor R del aislante se requiere del coeficiente de conducción térmica en $\frac{W}{m \cdot K}$ y el espesor del aislante siendo en este caso considerado el aire.

$$R = \frac{\lambda \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)}{d (m)}$$

$$R = \frac{0,026 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)}{0,01 (m)}$$

$$R = 2.6 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$$

Con el cálculo del valor R se procede a determinar la pérdida de calor.

$$q_x = \frac{(0,04 m^2)(299 - 283^\circ K)}{2.6 \frac{W}{m \cdot K}}$$

$$q_x = 0,2584 W$$

Temperatura final

$$T_2 = T_1 - T_1 \left(\frac{q_x}{k} \right) L$$

$$T_2 = 293 K - \left(293^\circ K - \left(\frac{0,2584 W}{0,16 \frac{W}{m}} \right) (1,15 m) \right)$$

$$T_2 = 1,9^\circ C$$

- Pérdida de calor con aislante térmico

El valor R para el caso de la espuma de poliuretano se obtiene de la tabla 17 en los anexos:

$$R = 6.3 \left(\frac{W}{\text{m} K} \right)$$

Con el cálculo del valor R se procede a determinar la pérdida de calor.

$$q_x = \frac{(0,04 \text{ m}^2)(299 - 283^\circ K)}{6.3 \frac{W}{\text{m} K}}$$

$$q_x = 0,102 \text{ W}$$

$$T_2 = 293 \text{ K} - \left(293 \text{ K} - \left(\frac{0,102 \text{ W}}{0,16 \frac{W}{m}} \right) (1,15 \text{ m}) \right)$$

$$T_2 = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

En la tabla 14 se esquematizan los valores de temperaturas iniciales y finales variando las condiciones del tipo de aislamiento, en el primer caso sin la presencia de aislante y en el segundo caso con un aislamiento térmico. La pérdida de calor para el primer caso de estudio demostró que existe una variación de temperatura con una magnitud de 1.9 °C representando un valor de pérdida de calor considerable para aspectos de calentamiento de energía mediante la utilización de recursos energéticos no convencionales.

Por otra parte, se puede establecer la relación que mantiene de una pérdida de calor de tipo lineal dependiendo directamente de la temperatura de entrada a la que se encuentre el fluido. De esta manera la tendencia de pérdida de calor se mantiene constante y permite identificar la normalidad del fenómeno.

Para el caso de la presencia de aislamiento, el agua pierde únicamente 0.5 °C de temperatura lo que indica que se reduce el fenómeno de pérdida de calor en un 26,3 % demostrando de esta manera que el aislante térmico incrementa el tiempo que se puede mantener el agua a la temperatura deseada garantizando de esta manera que el consumo energético se mantenga dentro de los parámetros controlados.

Tabla 14. Eficiencia del aislamiento térmico

Temperatura ambiente del agua (°C)	Pérdida de temperatura sin aislamiento (°C)	Pérdida de temperatura con aislamiento (°C)
20	18.1	19,5
18	16.1	17,5
16	14.1	15,5
14	12.1	13,5
12	10.1	11,5
10	8.1	9,5
8	6.1	7,5
6	4.1	5,5
4	2.1	3,5

Fuente: Autor

Se demostró la eficiencia del empleo de un aislante mediante el estudio de los dos posibles escenarios y sus respectivos resultados siendo evidente un menor consumo energético en aspecto de calentamiento de agua por parte del sistema que se realizaron los cálculos y la verificación con la instalación del aislante térmico.

- **Tiempo de mantención de agua caliente**

Para determinar el tiempo en que demora el proceso de pérdida de temperatura por el enfriamiento del agua debido al fenómeno de convección, se emplea la ecuación proporcionada por [7], se analizan los dos casos con la presencia y sin el aislante.

Sin presencia de aislante

$$\Delta T = \frac{m (T_2 - T_1)}{q}$$

$$\Delta T = \frac{(25 \text{ Kg}) (30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{0,2584 \text{ J/s}}$$

$$\Delta T = 483,74 \text{ s} \cong 8 \text{ minutos}$$

Con presencia de aislante

$$\Delta T = \frac{m (T_2 - T_1)}{q}$$

$$\Delta T = \frac{(25 \text{ Kg}) (30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})}{0,102 \text{ J/s}}$$

$$\Delta T = 1225,49 \text{ s} \approx 20 \text{ minutos}$$

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los parámetros iniciales considerados para la posterior etapa de diseño se determinaron por el voltaje de los paneles fotovoltaicos conectados en serie e instalados en la comunidad de Rio Blanco con un valor comprendido entre los 10 y 14 voltios, el generador eléctrico tiene la capacidad de proporcionar voltaje dentro de un rango entre 14 y 17 voltios. Esta capacidad energética permite contar con un suministro eléctrico constante que acciona las resistencias eléctricas y permite realizar el calentamiento de agua en función del consumo requerido.
- Para el diseño del convertidor se consideraron los parámetros de entrada y se calcularon las características de las resistencias eléctricas, se obtuvo como resultado que se requiere de un diámetro de filamento de 1 milímetro y un total de 10 espiras por cada resistencia, proporcionan una potencia individual con valores entre los 610 y 615 watts y generan un calor dentro del orden de 2 a $4 \frac{KJ}{s}$ y una transferencia directa de calor por conducción con magnitud que varía entre 19 y 20 watts, siendo necesario la utilización de tres resistencias térmicas para cumplir con el objetivo de funcionamiento de alcanzar una temperatura de confort en el agua.
- Se determinó que el convertidor en funcionamiento bajo condiciones de servicio determinadas por los parámetros iniciales de voltaje y temperatura ambiente de la comunidad de Rio Blanco y el poder de generación de energía eléctrica por medios no convencionales de la zona, se obtiene en promedio un incremento de temperatura del funcionamiento del convertidor de voltaje en energía térmica una magnitud de valores dentro del rango de 2 a 4 °C con el previo proceso de precalentamiento y el suministro constante de energía eléctrica de las baterías.
- El aislante térmico al presentar una tasa de pérdida de temperatura de 0.5 °C que le permite alcanzar un tiempo de 20 minutos para llegar desde los 30°C a los 25°C, esto demuestra que bajo las condiciones en las que se encuentra funcionando el convertidor de energía, este puede mantener una autonomía de temperatura que garantice la optimización del recurso energético.

4.2 Recomendaciones

- Durante el proceso de diseño de una máquina que se accione con energía eléctrica y su funcionamiento se base en mantener un uso de algún tipo de fluido reconocido previamente como conductor, es recomendable considerar una conexión a tierra mediante una varilla de cobre para evitar el riesgo de electrocución por parte de los usuarios.
- Un sistema de conducción de agua caliente debe mantener sus tuberías de bajo tierra a una distancia aproximada de 10 centímetros para el caso de encontrarse en zonas frías – templadas.
- Con referencia a la toma de datos experimentales para garantizar que no exista errores durante el muestreo se deben analizar cuidadosamente los datos obtenidos y evidencias la veracidad de los datos mediante métodos alternativos como estudios de campo in situ especialmente si se observa una dispersión elevada de los datos obtenidos en variables controladas.
- Con el potencial eléctrico instalado en la zona se cuenta con la posibilidad de incrementar el consumo energético con la instalación de diversos electrodomésticos para mejorar la calidad de vida de los habitantes del domicilio de la comunidad.
- El sistema actual de convertidor de energía instalado en la comunidad de Río blanco que incrementa la temperatura del agua dentro del rango de 25°C a 30 °C puede ser optimizado en su eficiencia de funcionamiento si el rango de temperatura se amplía tomando como mínima los 20°C, de esta manera el sistema sería capaz de operar en un lapso de 10°C. Para alcanzar dicha mejora se debe incrementar la potencia energética instalada en la zona con un aproximado de dos baterías adicionales en un arreglo en serie para duplicar el voltaje. Se debe considerar las características técnicas de funcionamiento de los equipos instalados para que soporten las condiciones bajo el arreglo de baterías propuesto.

CAPITULO V

5. MATERIALES DE REFERENCIA

5.1.Referencias bibliográficas

- [1] J. H. Ospina, "Estudio de energías renovables para determinar su posible utilización en Ecuador," Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, 2014.
- [2] V. C. Herrera Barros y C. Salcedo, "Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del ilustre municipio de Baños de agua santa," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2011.
- [3] C. A. Aguilar Castro y A. Mayorga, "Diseño de un aerogenerador de baja potencia en la comunidad de Río Blanco, provincia de Tungurahua," Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2017.
- [4] C. M. Castro Samaniego, "Análisis de la factibilidad de un sistema de generación híbrido eólico-fotovoltaico, para el mirador turístico La Tranca del cantón Chordeleg," Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, 2017.
- [5] J. M. Méndez y R. C. García, Energía Solar Fotovoltaica, Segunda ed., vol. I, Madrid: FC Editorial, 2007, p. 320.
- [6] Consejo Nacional de Electricidad, "Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica," Agosto 2008. [En línea]. Available: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>. [Último acceso: 9 Abril 2019].
- [7] Y. Cengel y A. Ghajar, Heat and mass transfer, Ney York: McGrawHill Education, 2015, pp. 742 - 746.
- [8] M. A. Guananga, "Diseño y construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia en el sector Rio Blanco perteneciente a la comunidad de Yatzaputzan," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.

- [9] M. A. Abella, "Sistemas fotovoltaicos," Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnología. CIEMAT, Madrid, 2011.
- [10] A. D. Rida, Paneles Solares Híbridos Termofotovoltaicos, Estados Unidos: Editorial Academia EspañolaEAE, 2013.
- [11] A. Bosco, R. Ramesh, J. Maglin, K. Moorthy, W. Christopher, C. Gopinath y C. Yaashuwanth, "Grid Connected Solar PV System with SEPIC Converter Compared with Parallel Boost Converter Based MPPT," *International Journal of Photoenergy*, vol. I, nº 1, p. 12, 2014.
- [12] O. Style, Energía solar autónoma. Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo, Primera ed., Madrid: Appropriate Technology, 2012, p. 167.
- [13] F. Cordova, "Energetika," Enero 2002. [En línea]. Available: <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html>. [Último acceso: 21 Agosto 2019].
- [14] J. J. Naranjo y A. Mayorga, "Determinación del potencial eólico disponible en el sector de río blanco perteneciente al cantón Ambato provincia de Tungurahua," Ambato, 2017.
- [15] J. Armengol, "Ecoticias," Ecoticias, 27 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.ecoticias.com/especial-renovables-2016/112731/energia-eolica-Espana>. [Último acceso: 15 Agosto 2019].
- [16] M. Villarubia, Ingeniería de la energía eólica, Barcelona: Marcombo, 2012.
- [17] A. Colmenar, D. Borge, E. Collado y M. Castro, Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes, Madrid, España: UNED, 2015.
- [18] D. Prats, R. García y J. Alonso, "Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras," *Ingeniería Mecánica*, vol. XIV, nº 1, pp. 22-30, Abril 2011.

- [19] J. Maciel, Fuentes de generación, México: Limusa, 2002, pp. 87-90.
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Calentadores eléctricos de agua para uso doméstico. Requisitos," INEN, Quito, 1992.
- [21] Instituto Ecuatoriano de normalización, "Símbolos gráficos para esquemas eléctricos variabilidad y elementos de circuitos," INEN, Quito, 1975.
- [22] A. Cruz, "Eléctrica aplicada," Eléctrica aplicada, 29 Abril 2014. [En línea]. Available: Duchas o regaderas eléctricas Instalación, funcionamiento, ahorro, ventajas. [Último acceso: 15 Agosto 2019].
- [23] B. P. Remache y G. R. Espín, "Diseño y construcción de un prototipo de ducha eléctrica de alta eficiencia," Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
- [24] S. R. Guanoluisa, "Estudio de la geometría del absorbedor del colector solar parabólico compuesto y su incidencia en la eficiencia para calentamiento de agua de uso sanitario," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [25] V. M. Salcedo Cobo y S. Cabrera, "Influencia del estudio de la tecnología de vacío en tubos sobre la eficiencia para el calentamiento de agua usando la energía solar," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [26] R. Hernández, Metodología de la investigación, Quinta ed., México: McGraw Hill, 2010, p. 612.
- [27] G. Naranjo, Fundamentos de la investigación, Cuarta ed., Quito: Gráficos Corona, 2004, p. 228.
- [28] SER, "Cadenaser," 20 Enero 2014. [En línea]. Available: https://cadenaser.com/ser/2014/01/20/sociedad/1390187610_850215.html. [Último acceso: 25 11 2019].
- [29] J. A. Mantilla y M. A. Casallas, "Diseño de un tanque de almacenamiento de agua caliente sanitaria, utilizando materiales de bajo costo," *Scientia et Technica*, vol. XX, nº 3, pp. 225-233, 3 Septiembre 2015.

[30] Ritar, "Baterias y amperios," 7 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://bateriasyamperios.com/wp-content/uploads/2013/10/RA-6200.pdf>. [Último acceso: 15 Agosto 2019].

[31] M. Arrayás y J. Trueba, Electromagnetismo, circuitos y semiconductores, Madrid: DYKINSON S. L. , 2007, pp. 84-88.

5.2. Anexos

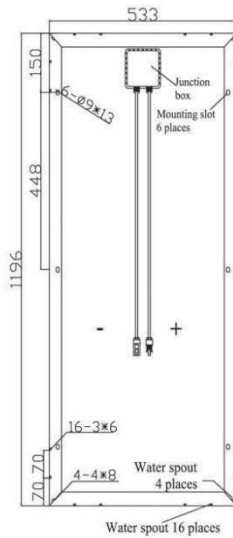
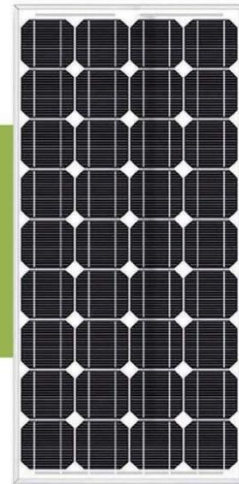
5.2.1. Eléctricos - electrónicos

Anexo 1. Panel solar fotovoltaico instalado en la comunidad de Rio Blanco



100 W Maximum Power

High Efficiency Mono-crystalline Solar Module



BENEFITS

- High and stable conversion efficiency based on over 8 years professional experience
- High reliability with guaranteed 0 - + 3 % output power tolerance
- Proven materials, tempered front glass and a sturdy anodized aluminum frame allow modules to operate reliably in multiple mountly configuration
- Combination of high efficiency and attractive appearance

QUALITY AND SAFETY

- 25-year output power warranty
- ISO9001: 2008 (Quality Management System) certified factory
- IEC 61215, Safety tested IEC 61730, CE
- Product Liability Insurance guarantee end users' benefit
- Hail impact: 277 g steel ball falling from 1 m height, 60 m/s wind speed increased snow load according to IEC 61215: up to 5400 N/m² wind load and suction according to IEC 61215: up to 2400 N/m²

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature coefficients		at 1000 W/m ² , 25 °C, air mass: 1.5
Voltage coefficient (V_{oc})	β	- 0.35 %/K
Current coefficient (I_{sc})	α	+ 0.055 %/K
Power coefficient (P_{mp})	γ	- 0.45 %/K
Minimum power tolerance		0 - + 3 %



SunLink PV Technology Co., Ltd.
Nanyuan Road, Zhangjiagang Economic Development Zone,
Jiangsu Province, 215600, China.
Tel: +86-512-58166568 58166568
Fax: +86-512-58166560
www.sunlink-pv.com

Figura 26. Ficha técnica del panel fotovoltaico

Fuente: [13]

100 W Maximum Power



TECHNICAL DATA

Solar cell	36 mono-crystalline 125 × 125 mm
Front glass	3.2 mm tempered glass
Junction box	IP65 rated
Bypass-diodes	1 pieces
Output cables	900 mm length cable, compatible with MC IV connectors
Frame	anodized aluminium
Weight	8 kg
Dimensions	1196 × 533 × 35 mm

ELECTRICAL DATA

Module Type	SL080-12M100	SL080-12M95	SL080-12M90	SL080-12M85	SL080-12M80
Nominal peak power (P_{max})	100W	95W	90W	85W	80W
Nominal voltage (V_{mpp})	17.2V	17.2V	17.2V	17.2V	17.2V
Nominal current (I_{mpp})	5.81A	5.52A	5.23A	4.94A	4.65A
Open circuit voltage (V_{oc})	21.6V	21.6V	21.6V	21.6V	21.6V
Short circuit current (I_{sc})	6.43A	6.11A	5.79A	5.47A	5.14A
Module efficiency	15.6%	14.9%	14.1%	13.3%	12.5%
Operating Temperature	-40~+85°C	-40~+85°C	-40~+85°C	-40~+85°C	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000 V DC	1000 V DC	1000 V DC	1000 V DC	1000 V DC

STC: Irradiation: 1000 W/m², module temperature: 25 °C, air mass: 1.5 (EN 60904-3)

Maximum power (P_{max})	72W	68W	65W	61W	58W
Nominal voltage (V_{mpp})	16.5V	16.5V	16.5V	16.5V	16.5V
Nominal current (I_{mpp})	4.37A	4.15A	3.94A	3.72A	3.50A
Open circuit voltage (V_{oc})	19.9V	19.9V	19.9V	19.9V	19.9V
Short circuit current (I_{sc})	4.79A	4.55A	4.31A	4.07A	3.83A

NOCT: Irradiation: 800 W/m², module temperature: 45 °C, air mass: 1.5

Performance under weak light conditions (200 W/m²) EN60904-1, 95.3 % or higher of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.

PACKING CONFIGURATION

Container	20' GP	40' GP
Pieces per pallet	40	40
Pallets per container	16	36
Pieces per container	640	1440

WARRANTY AND CERTIFICATIONS

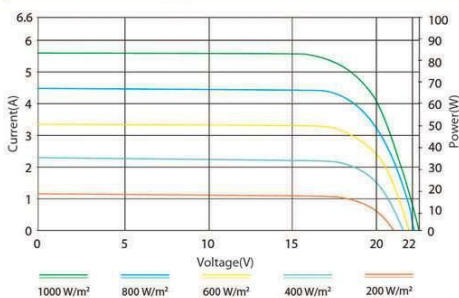
Warranty	10 years workmanship 12 years 90 % of the nominal power warranty 25 years 80 % of the nominal power warranty
----------	--

Certifications IEC 61215, Safety tested IEC 61730 part 2, CE

CAUTION: Read Safety And Installation Instructions Before Using The Product.
© April 2012 SunLink PV Technology Co., Ltd. All rights reserved.
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.
Printed on recycled paper.

SunLink PV APPOINTED DEALER

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (SL080-12M95)



www.sunlink-pv.com

Figura 27. Ficha técnica del panel solar

Fuente: [13]

Anexo 2. Características técnicas de la batería


	RA6-200D (6V200Ah)
<p>RA6-200D is AGM Deep cycle battery with 10 years floating design life, specially designed for frequent cyclic discharge usage. By using strong grid and specific paste plate, it makes battery have 30% more cyclic life time than standby series. It is applicable for solar energy system, golf cart, electric wheelchair, etc..</p>	
Specification	
Cells Per Unit	3
Voltage Per Unit	6
Capacity	200Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	Approx. 29.0 Kg
Max. Discharge Current	2000 A (5 sec)
Internal Resistance	Approx. 1.8 mΩ
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C~60°C Charge: 0°C~50°C Storage: -20°C~60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Float Charging Voltage	6.8 to 6.9 VDC/unit Average at 25°C
Recommended Maximum Charging Current Limit	60A
Equalization and Cycle Service	7.3 to 7.4 VDC/unit Average at 25°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using.
Terminal	Terminal F14/F16
Container Material	A.B.S. (UL94-HB) , Flammability resistance of UL94-V1 can be available upon request.

Figura 28. Características técnicas de la batería

Fuente: [29]

Anexo 3. Resistividad de los materiales

Tabla 15. Resistividad de los materiales

Sustancia	Resistividad(Ohm/m) (Ohmios Metro)
<i>Conductores</i>	
Plata	1.47×10^{-8}
Cobre	1.72×10^{-8}
Oro	2.44×10^{-8}
Aluminio	2.75×10^{-8}
Tungsteno	5.25×10^{-8}
Platino	10.6×10^{-8}
Aceros	20×10^{-8}
Plomo	22×10^{-8}
Mercurio	95×10^{-8}
Manganina	44×10^{-8}
Constantán	49×10^{-8}
Nicromo	100×10^{-8}
<i>Semiconductores</i>	
Carbono puro (grafito)	3.5×10^{-5}
Germanio puro	0.60
Silicio puro	2300
<i>Aislantes</i>	
Ámbar	5×10^{-14}
Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
Lucita	$> 10^{11}$
Mica	$10^{11} - 10^{13}$
Cuarzo (fundido)	75×10^{10}
Azufre	10^{25}
Teflón	$> 10^{11}$
Madera	$10^8 - 10^{11}$

Fuente: [30]

Tabla 16. Valor R espuma de poliuretano

MATERIAL	PRECIO	VALOR R	IMPACTO AMBIENTAL	INFLAMABLE	NOTAS
Fibra de vidrio	€	R - 3.1	NO	NO	No absorbe agua
Lana de roca	€€	R - 3.1	NO	NO	No se funde ni ayuda a la combustión
Celulosa	€€	R - 3.7	NO	SI	Contiene gran cantidad de material reciclado
Espuma de poliuretano	€€€	R - 6.3	SI	SI	Es un gran aislante acústico
Poliestireno (EPS)	€	R - 4	SI	SI	Difícil de usar en situaciones con muchas imperfecciones

Fuente: [30]



Provincia: 302 pl. 2
08025 BARCELONA
Tel. 93 446 27 80
Fax 93 456 90 32

www.salvadorescodas.com

TARIFA DE PRECIOS

I.V.A. NO INCLUIDO. CONSULTE POSIBLES ACTUALIZACIONES

01 AISLAMIENTO PARA FORRAR

• Aislamiento de espuma de polietileno reticulado

Características técnicas:

- Resistencia térmica λ (EN 12667): (-20°C) (Declarado) = 0,033 W/m²K - (0°C) (Declarado) = 0,035 W/m²K - (-20°C) (Declarado) = 0,040 W/m²K
- Temperatura de empleo: -80 a 100° C
- Factor: M > 7000
- Densidad: 30 kg/m³
- Euroclase: Bs2, d0



Forrado: Depósitos
Tubos, etc.

Código	Artículo	€/m ²
ROLLOS		
• 50 metros x 1,5 m (75 m ²)		
Al 01 911	Espeor 5 mm UNE 23727 - M1 sobre chapa	3,33
Al 01 912	Espeor 10 mm UNE 23727 - M1 sobre chapa * Suministro SÓLO rollo completo	6,48
ROLLOS AUTOADHESIVOS		
• Color gris		
• 50 metros x 1,5 m (75 m ²)		
Al 01 930	Espeor 5 mm UNE 23727 - M1 sobre chapa	6,73
Al 01 931	Espeor 10 mm UNE 23727 - M1 sobre chapa	9,90
PLANCHAS		
• 1,5 metros x 2 m (3 m ²)		
Al 01 913	Espeor 15 mm AUTOEXTINGUIBLE	34,90
Al 01 914	Espeor 20 mm AUTOEXTINGUIBLE	44,49



Forrado interior: Conductos
Tubos circulares, etc.



SUMINISTRO ROLLO COMPLETO

Código	Artículo	m ² /rollo	€/m ²
ROLLO AUTOADHESIVO			
• Para forrado interno de conductos de chapa			
Al 01 721	Espeor 6 mm (1,5 x 30)	45	14,28
Al 01 722	Espeor 8 mm (1,5 x 25)	37,5	18,93
Al 01 723	Espeor 10 mm (1,5 x 20)	30	19,91
Al 01 724	Espeor 12 mm (1,5 x 15)	22,5	23,68
Al 01 725	Espeor 15 mm (1,5 x 12)	18	28,88
Al 01 726	Espeor 20 mm (1,5 x 10)	15	29,50
Al 01 727	Espeor 30 mm (1,5 x 6)	9	40,11
ROLLO AUTOADHESIVO CON ALUMINIO EXTERIOR			
• Para forrado externo de conductos de chapa • Protección externa con aluminio 80 micras			
Al 01 731	Espeor 6 mm (1,5 x 30)	45	27,21
Al 01 732	Espeor 8 mm (1,5 x 25)	37,5	30,73
Al 01 733	Espeor 10 mm (1,5 x 20)	30	33,38
Al 01 734	Espeor 12 mm (1,5 x 15)	22,5	36,22
Al 01 735	Espeor 15 mm (1,5 x 12)	18	42,25
Al 01 736	Espeor 20 mm (1,5 x 10)	15	47,19
Al 01 737	Espeor 30 mm (1,5 x 6)	9	62,41

DUCT

M1
QUITAVOLANTE

Aplicación:

- Exterior de conductos
- Interior máquinas
- Acumuladores
- Etc...

Figura 29. Propiedades de la espuma de poliuretano

Fuente: [30]

Anexo 4. Tablas de toma de datos

Tabla 17. Irradiancia promedio por hora – Enero 2019

Enero	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	20,223
7:00:00	155,268
8:00:00	370,933
9:00:00	544,098
10:00:00	677,697
11:00:00	740,181
12:00:00	745,298
13:00:00	697,348
14:00:00	607,373
15:00:00	403,419
16:00:00	162,600
17:00:00	87,081
18:00:00	8,942
19:00:00	0,000
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	5053,173

Fuente: [8]

Tabla 18. Variación estadística de temperatura – Enero 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
19,603	1	1
135,697	8	8
294,444	19	19
366,067	27	27
452,994	34	34
457,709	37	37
519,779	37	39,00
521,656	35	36,00
446,158	31	33
378,951	20	21
193,789	8	11
73,786	4	4
2,964	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 19. Irradiancia promedio por hora – Febrero 2019

Febrero	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	8,121
7:00:00	82,159
8:00:00	216,860
9:00:00	321,554
10:00:00	429,896
11:00:00	483,523
12:00:00	523,844
13:00:00	474,721
14:00:00	445,545
15:00:00	329,923
16:00:00	265,691
17:00:00	117,156
18:00:00	10,753
19:00:00	0,000
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	3537,979

Fuente: [8]

Tabla 20. Variación estadística de temperatura – Febrero 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
19,603	0	0
135,697	4	4
294,444	11	11
366,067	16	19
452,994	22	23
457,709	24	25
519,779	26	28,19
521,656	24	25,72
446,158	22	23
378,951	17	21
193,789	13	14
73,786	6	6
2,964	1	1
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 21. Irradiancia promedio por hora – Marzo 2019

Marzo	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	12,433
7:00:00	97,534
8:00:00	205,548
9:00:00	277,474
10:00:00	367,078
11:00:00	404,255
12:00:00	450,077
13:00:00	466,205
14:00:00	407,237
15:00:00	273,449
16:00:00	203,391
17:00:00	75,675
18:00:00	5,796
19:00:00	0,000
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	3120,726

Fuente: [8]

Tabla 22. Variación estadística de temperatura – Marzo 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
19,603	1	1
135,697	5	5
294,444	10	10
366,067	14	18
452,994	18	21
457,709	20	23
519,779	23	24,48
521,656	23	25,29
446,158	20	22
378,951	14	16
193,789	10	12
73,786	4	4
2,964	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 23. Irradiancia promedio por hora – Abril 2019

Abril	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	19,603
7:00:00	135,697
8:00:00	294,444
9:00:00	366,067
10:00:00	452,994
11:00:00	457,709
12:00:00	519,779
13:00:00	521,656
14:00:00	446,158
15:00:00	378,951
16:00:00	193,789
17:00:00	73,786
18:00:00	2,964
19:00:00	0,000
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	3729,572

Fuente: [8]

Tabla 24. Variación estadística de temperatura – Abril 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
19,603	1	1
135,697	7	7
294,444	15	15
366,067	18	18
452,994	23	23
457,709	23	25
519,779	26	27,99
521,656	26	28,08
446,158	22	23
378,951	19	21
193,789	10	11
73,786	4	4
2,964	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 25. Irradiancia promedio por hora – Mayo 2019

Mayo	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	23,499
7:00:00	151,661
8:00:00	292,742
9:00:00	389,136
10:00:00	448,042
11:00:00	542,052
12:00:00	565,768
13:00:00	537,170
14:00:00	425,402
15:00:00	340,217
16:00:00	221,939
17:00:00	77,023
18:00:00	2,267
19:00:00	0,000
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	3874,988

Fuente: [8]

Tabla 26. Variación estadística de temperatura – Mayo 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
23,499	1	1
151,661	8	8
292,742	15	15
389,136	20	20
448,042	23	23
542,052	27	29,11
565,768	28	30,30
537,170	27	28,86
425,402	21	21
340,217	17	17
221,939	11	11
77,023	4	4
2,267	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 27. Irradiancia promedio por hora – Junio 2019

Junio	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	15,519
7:00:00	101,323
8:00:00	187,027
9:00:00	280,502
10:00:00	334,841
11:00:00	365,098
12:00:00	507,234
13:00:00	509,231
14:00:00	353,071
15:00:00	282,459
16:00:00	174,732
17:00:00	67,327
18:00:00	1,846
19:00:00	0.00
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	3064,563

Fuente: [8]

Tabla 28. Variación estadística de temperatura – Junio 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
15,519	1	1
101,323	5	5
187,027	9	9
280,502	14	14
334,841	17	17
365,098	18	18
507,234	25	27
509,231	26	27
353,071	18	18
282,459	14	14
174,732	9	9
67,327	3	3
1,846	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 29. Irradiancia promedio por hora – Julio 2019

Julio	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	10,508
7:00:00	104,451
8:00:00	205,984
9:00:00	300,339
10:00:00	365,768
11:00:00	363,268
12:00:00	521,320
13:00:00	623,960
14:00:00	587,230
15:00:00	309,530
16:00:00	204,281
17:00:00	95,330
18:00:00	5,510
19:00:00	0,00
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	3550,270

Fuente: [8]

Tabla 30. Variación estadística de temperatura – Julio 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
15,519	1	0
101,323	5	0
187,027	10	10
280,502	15	15
334,841	18	19
365,098	18	19
507,234	26	28
509,231	31	33
353,071	30	32
282,459	16	18
174,732	10	15
67,327	5	0
1,846	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 31. Irradiancia promedio por hora – Agosto 2019

Agosto	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	16,088
7:00:00	109,351
8:00:00	258,413
9:00:00	371,350
10:00:00	459,798
11:00:00	557,898
12:00:00	568,508
13:00:00	562,790
14:00:00	513,661
15:00:00	411,474
16:00:00	298,043
17:00:00	119,855
18:00:00	5,863
19:00:00	0.00
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	4070,173

Fuente: Autor

Tabla 32. Variación estadística de temperatura – Agosto 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
15,519	1	0
101,323	5	0
187,027	13	13
280,502	19	19
334,841	23	24
365,098	28	29
507,234	29	30,56
509,231	28	30
353,071	26	28
282,459	21	25
174,732	15	17
67,327	6	0
1,846	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 33. Irradiancia promedio por hora – Septiembre 2019

Septiembre	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	37,763
7:00:00	187,221
8:00:00	322,701
9:00:00	409,098
10:00:00	479,189
11:00:00	509,049
12:00:00	557,481
13:00:00	560,623
14:00:00	554,628
15:00:00	407,743
16:00:00	254,748
17:00:00	102,910
18:00:00	2,863
19:00:00	0.00
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	4200,056

Fuente: Autor

Tabla 34. Variación estadística de temperatura – Septiembre 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
15,519	2	0,00
101,323	9	0,00
187,027	16	16,00
280,502	21	21,00
334,841	24	27,00
365,098	26	28,00
507,234	28	30,01
509,231	28	30,17
353,071	28	29,87
282,459	20	24,00
174,732	13	20,00
67,327	5	0,00
1,846	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 35. Irradiancia promedio por hora – Octubre 2019

OCTUBRE	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	10,850
7:00:00	73,429
8:00:00	190,336
9:00:00	242,562
10:00:00	470,905
11:00:00	565,105
12:00:00	658,918
13:00:00	254,057
14:00:00	237,001
15:00:00	449,355
16:00:00	310,114
17:00:00	133,019
18:00:00	6,663
19:00:00	0,00
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	341,726

Fuente: Autor

Tabla 36. Variación estadística de temperatura – Octubre 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
10,850	1	0
73,429	4	0
190,336	10	10,00
242,562	12	12,00
470,905	24	24,00
565,105	28	31,00
658,918	17	35,00
254,057	17	22,00
237,001	20	23,00
449,355	12	21,00
310,114	16	19,00
133,019	7	0,00
6,663	0	0,00
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 37. Irradiancia promedio por hora – Noviembre 2019

NOVIEMBRE	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	19,603
7:00:00	135,697
8:00:00	294,444
9:00:00	366,067
10:00:00	503,488
11:00:00	509,049
12:00:00	557,481
13:00:00	560,623
14:00:00	554,628
15:00:00	449,355
16:00:00	310,114
17:00:00	133,019
18:00:00	6,663
19:00:00	0.00
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	419,854

Fuente: Autor

Tabla 38. Variación estadística de temperatura – Noviembre 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
19,603	1	0
135,697	7	0
294,444	15	15,00
366,067	18	18,00
503,488	25	25,00
509,049	26	31,00
557,481	28	31,00
560,623	28	33,00
554,628	28	32,00
449,355	25	28,00
310,114	16	22,00
133,019	7	0,00
6,663	0	0,00
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 39. Irradiancia promedio por hora – Diciembre 2019

Diciembre	
Hora	Irradiancia
0:00:00	0,000
1:00:00	0,000
2:00:00	0,000
3:00:00	0,000
4:00:00	0,000
5:00:00	0,000
6:00:00	33,295
7:00:00	161,683
8:00:00	281,262
9:00:00	402,559
10:00:00	501,825
11:00:00	622,902
12:00:00	631,197
13:00:00	541,341
14:00:00	513,309
15:00:00	444,873
16:00:00	200,961
17:00:00	50,782
18:00:00	2,814
19:00:00	0,000
20:00:00	0,000
21:00:00	0,000
22:00:00	0,000
23:00:00	0,000
Promedio	425,889

Fuente: Autor

Tabla 40. Variación estadística de temperatura – Diciembre 2019

Radiación	Temperatura de entrada	Temperatura de salida
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
33,295	2	2
161,683	8	9
281,262	14	15
402,559	20	21
501,825	25	27
622,902	31	32
631,197	32	34,00
541,341	27	31,00
513,309	26	29
444,873	22	27
200,961	10	12
50,782	3	3
2,814	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0
0,000	0	0

Fuente: Autor

Tabla 41. Radiación promedio anual

PROMEDIO ANUAL	
MES	IRRADIANCIA
Enero	5053,173
Febrero	3537,979
Marzo	3120,726
Abril	3729,572
Mayo	3874,988
Junio	3064,563
Julio	3550,270
Agosto	4070,173
Septiembre	4200,056
Octubre	3417,264
Noviembre	4198,536
Diciembre	425,889
Promedio	3419,887

Fuente: Autor

➤ **MES DE ENERO**

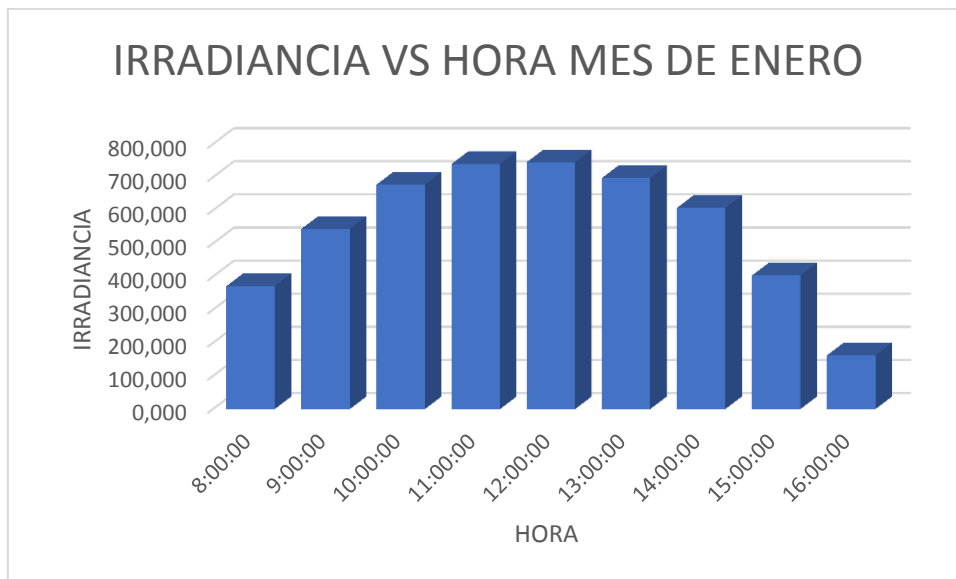


Figura 30. Irradiancia promedio por hora – Enero

Fuente: Autor

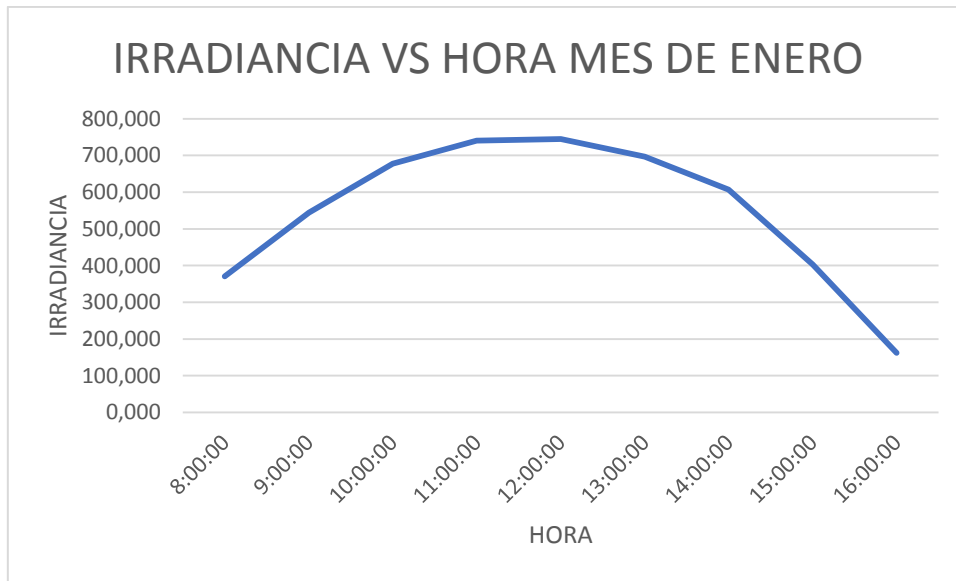


Figura 31. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Enero

Fuente: Autor

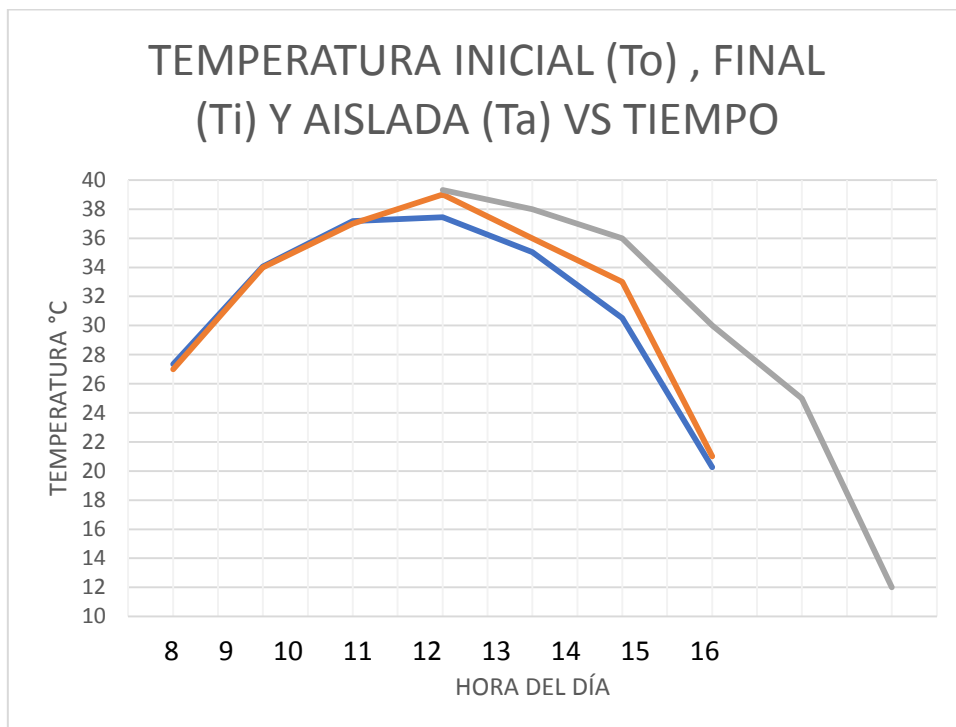


Figura 32. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Enero

Fuente: Autor

➤ **MES DE FEBRERO**

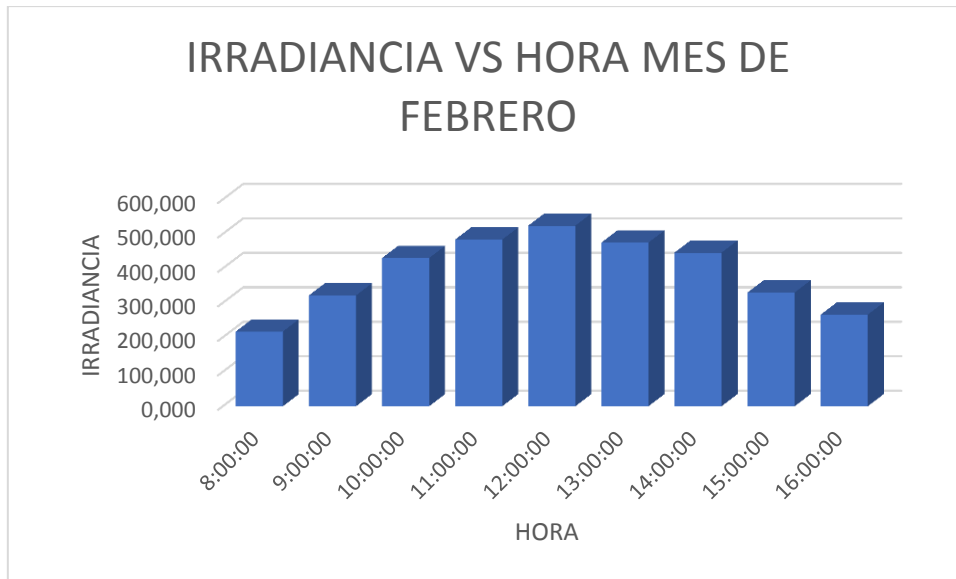


Figura 33. Irradiancia promedio por hora – Febrero

Fuente: Autor

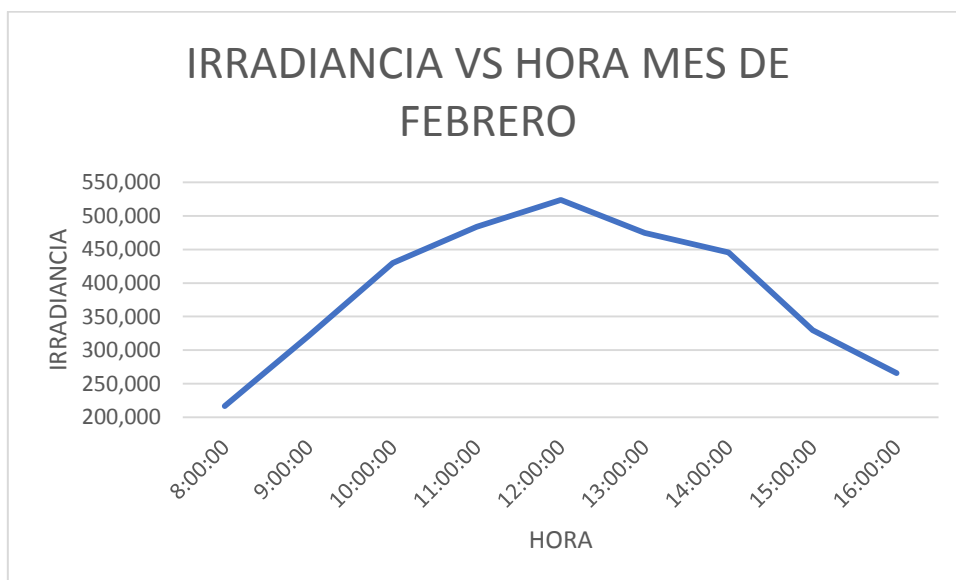


Figura 34. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Febrero

Fuente: Autor

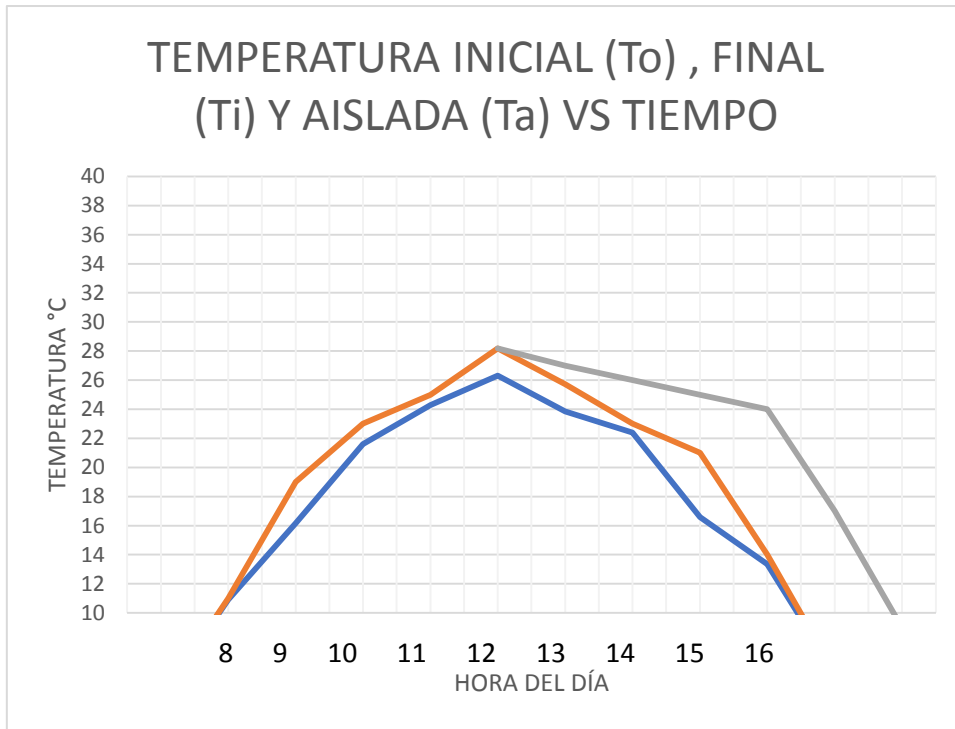


Figura 35. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Febrero

Fuente: Autor

➤ **MES DE MARZO**

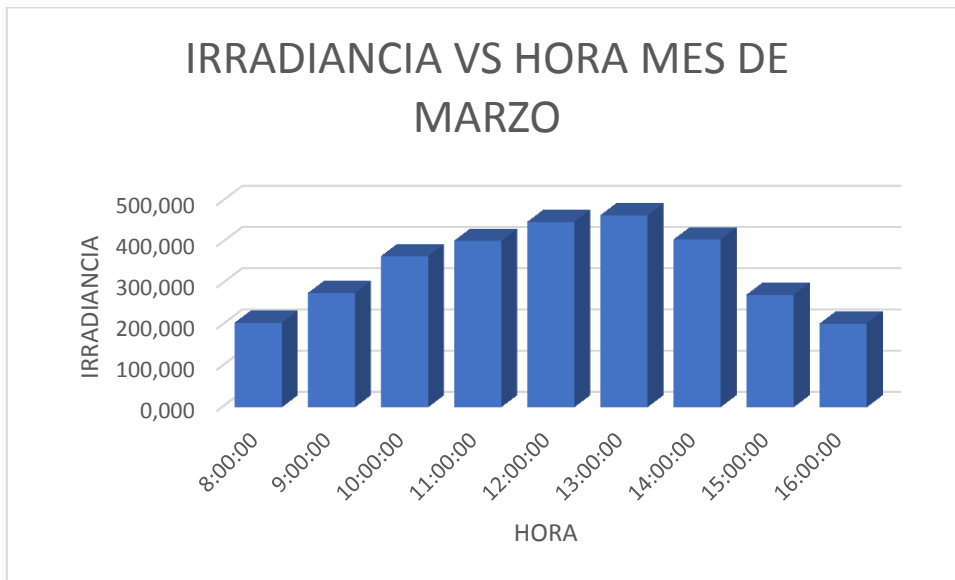


Figura 36. Irradiancia promedio por hora – Marzo

Fuente: Autor

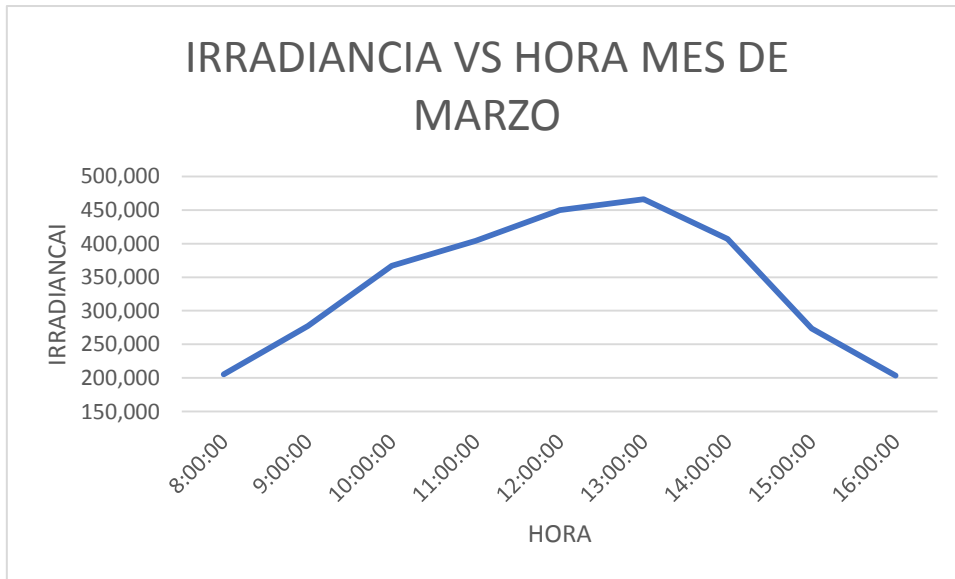


Figura 37. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Marzo

Fuente: Autor

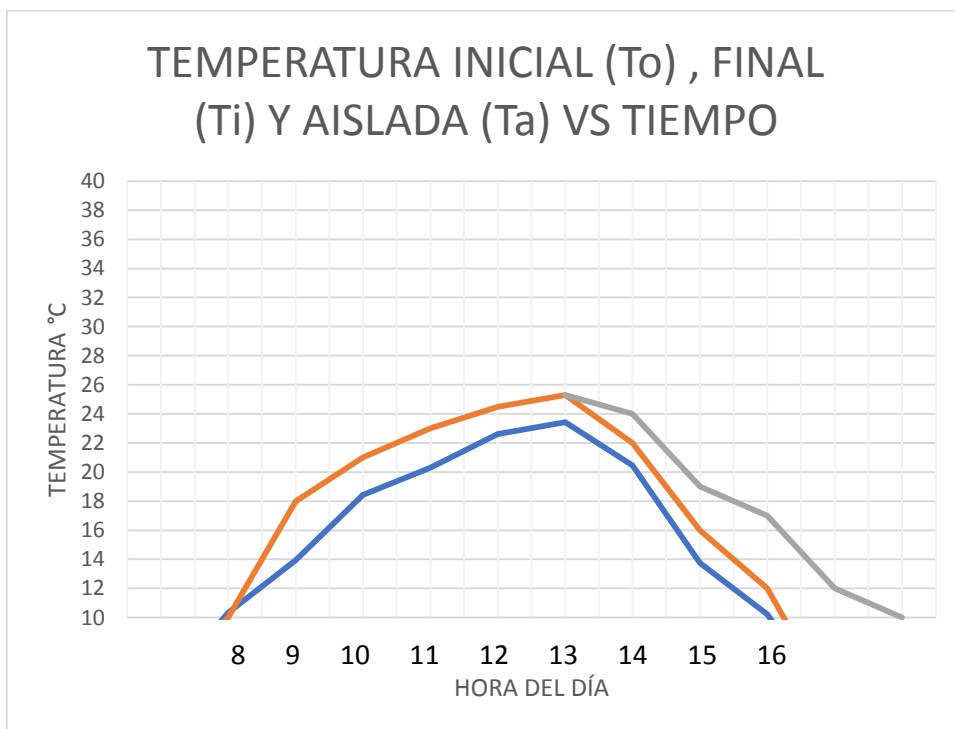


Figura 38. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Marzo

Fuente: Autor

➤ **MES DE ABRIL**

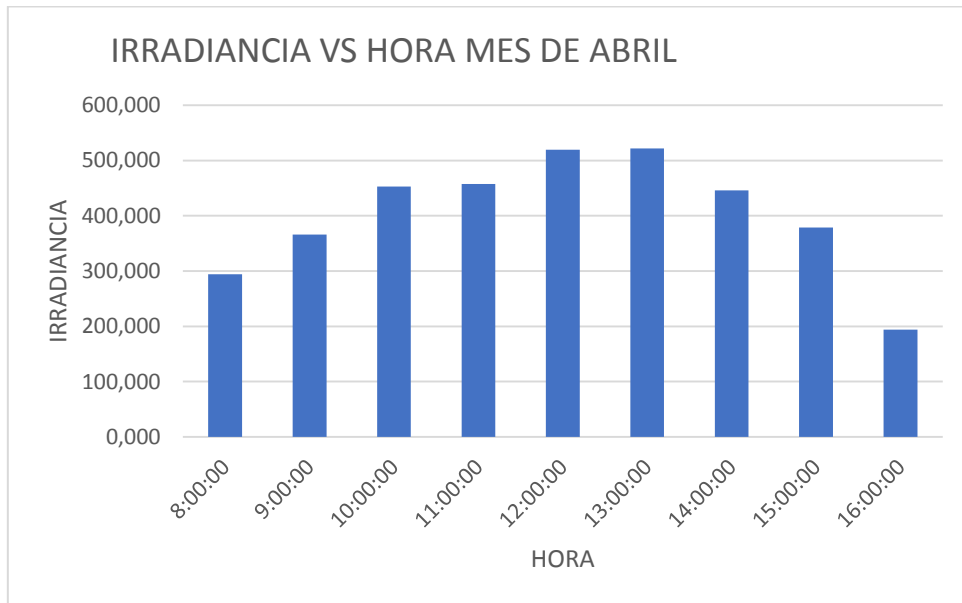


Figura 39. Irradiancia promedio por hora - Abril

Fuente: Autor

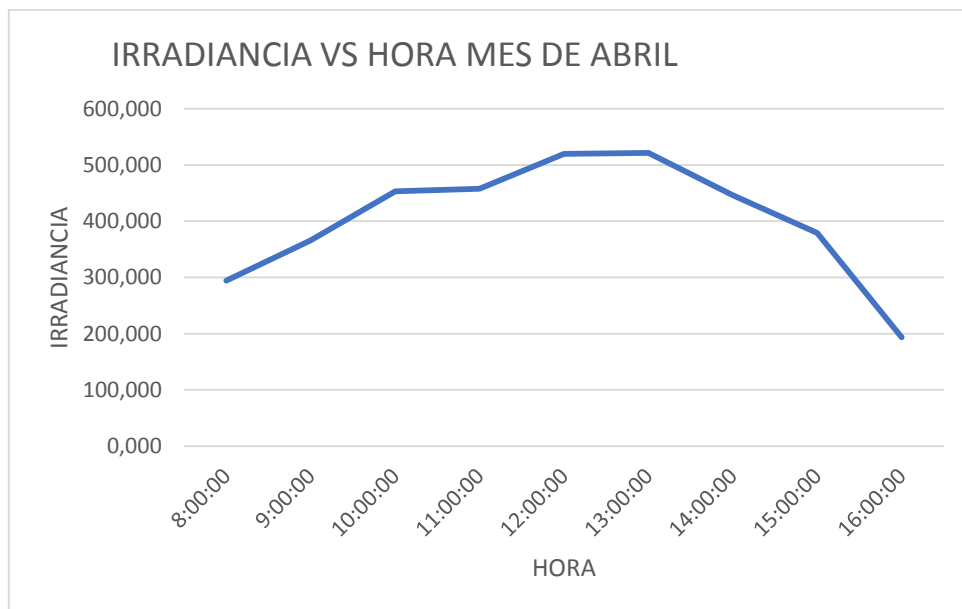


Figura 40. Tendencia de irradiancia promedio por hora - Abril

Fuente: Autor

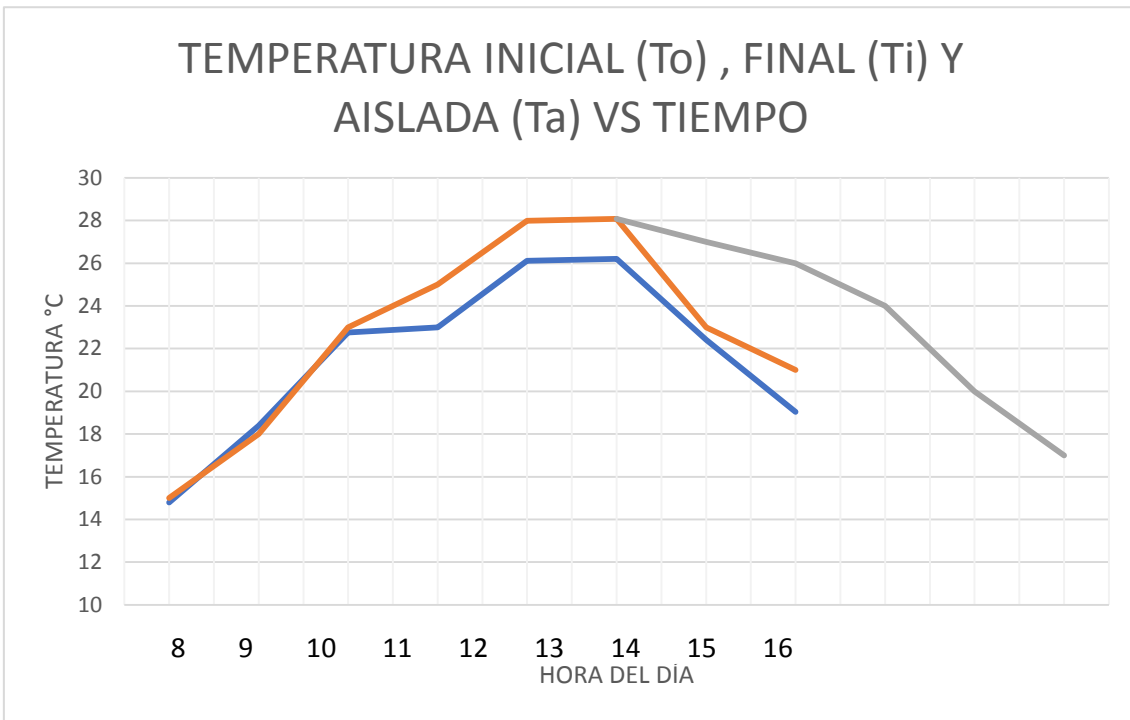


Figura 41. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor - Abril

Fuente: Autor

➤ **MES DE MAYO**

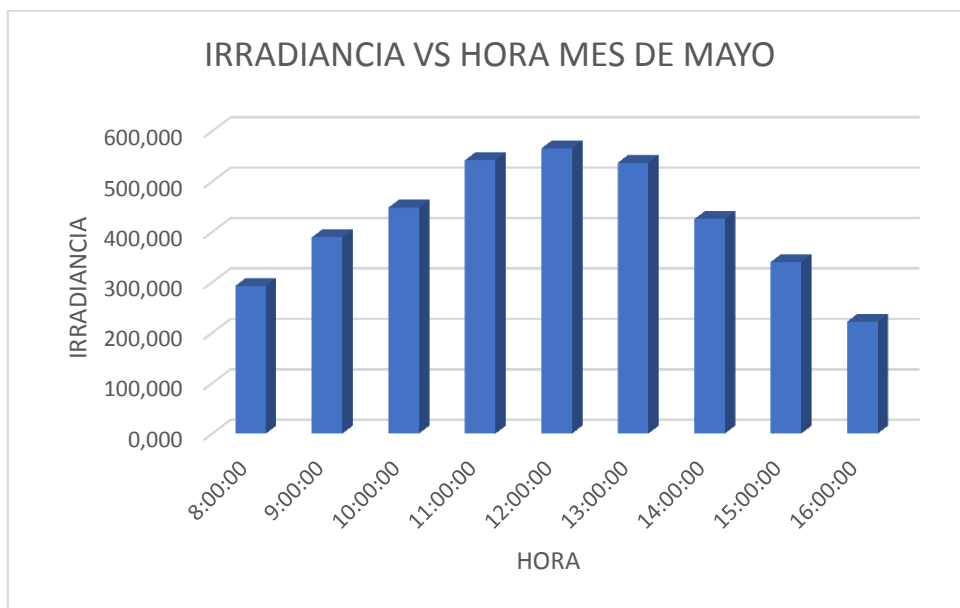


Figura 42. Irradiancia promedio por hora – Mayo

Fuente: Autor

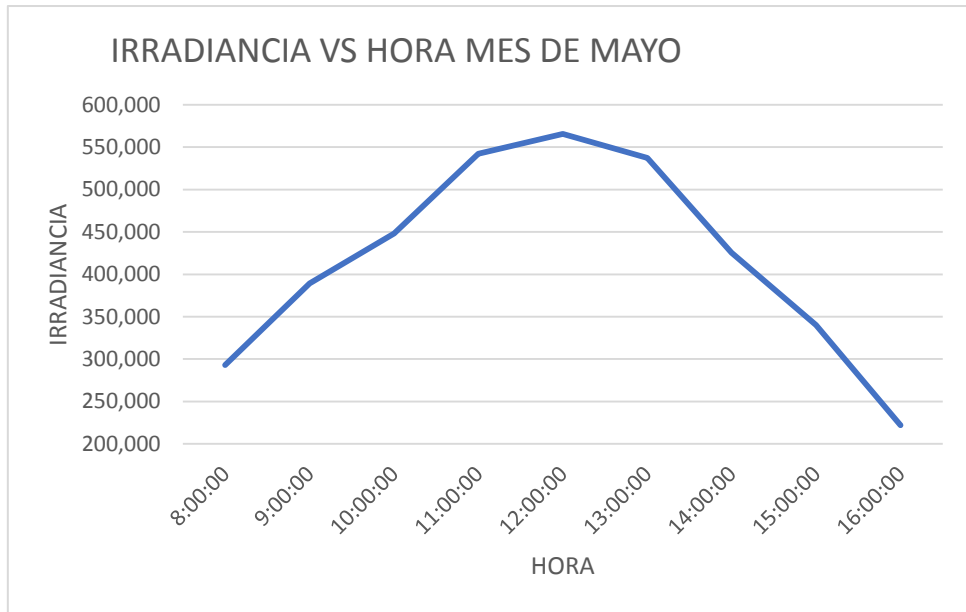


Figura 43. Tendencia de irradiancia promedio por hora - Mayo

Fuente: Autor

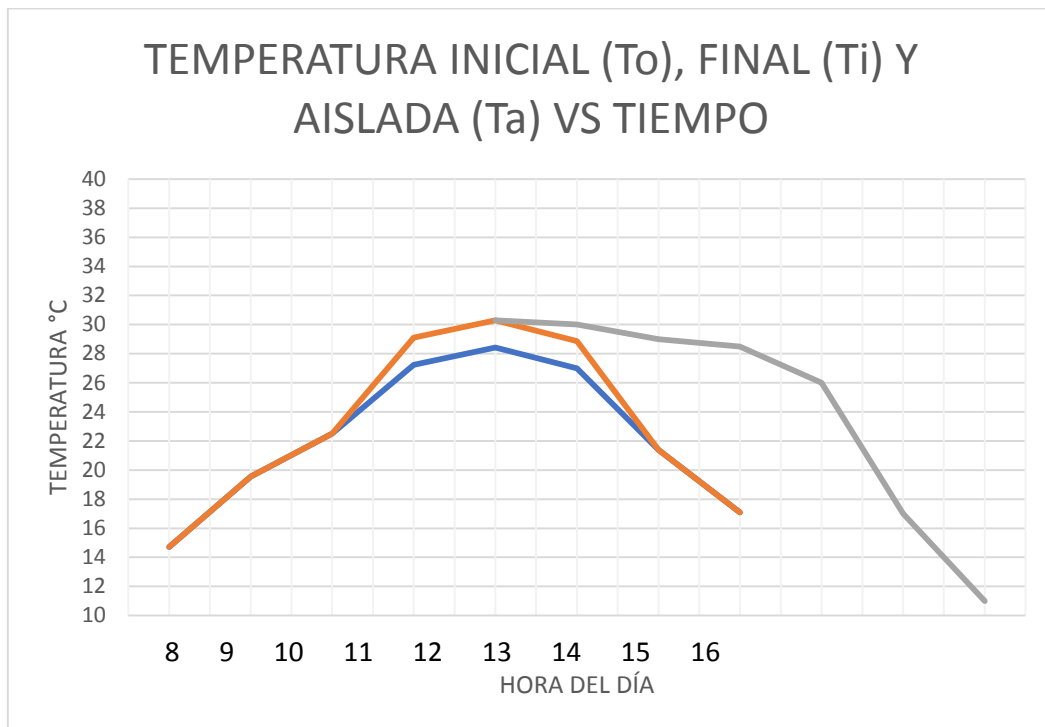


Figura 44. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Mayo

Fuente: Autor

➤ **MES DE JUNIO**

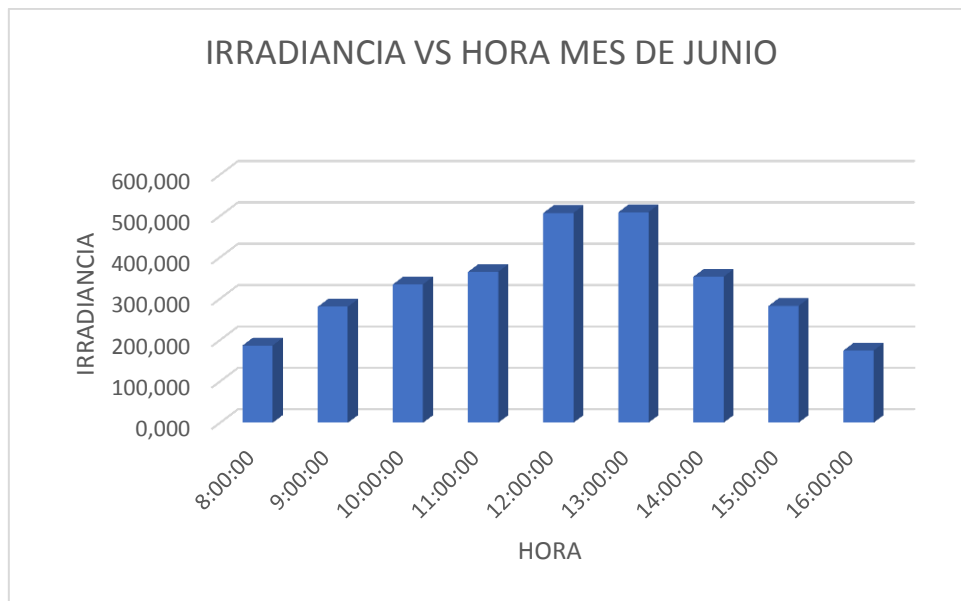


Figura 45. Irradiancia promedio por hora – Junio

Fuente: Autor



Figura 46. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Junio

Fuente: Autor

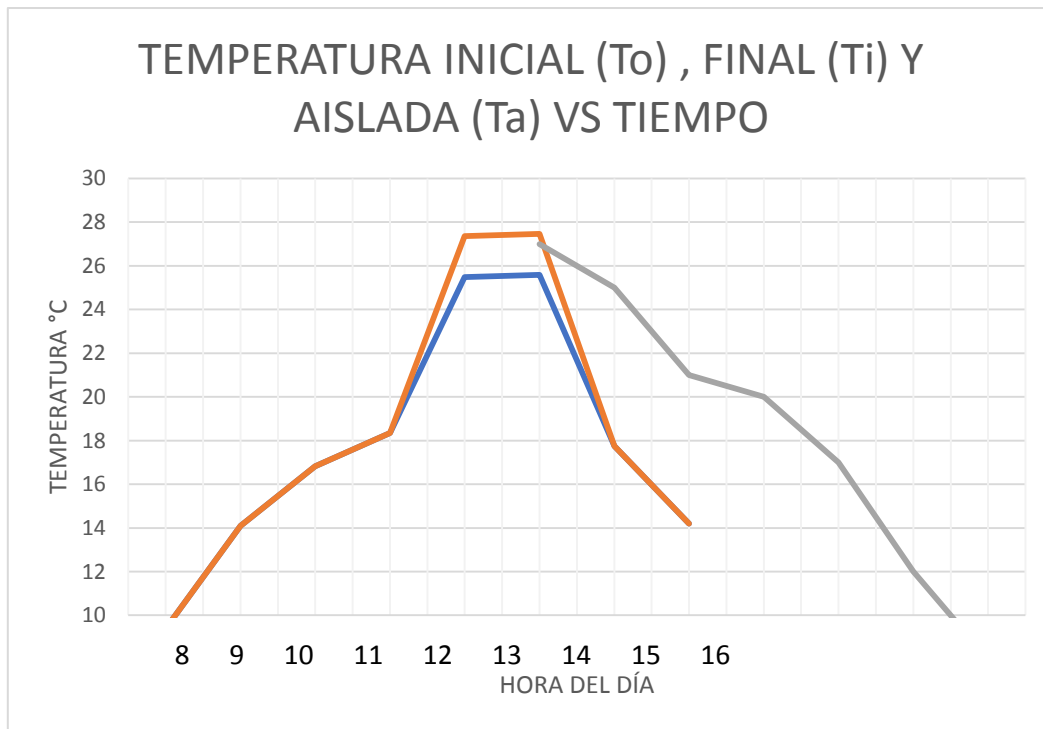


Figura 47. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Junio

Fuente: Autor

➤ **MES DE JULIO**

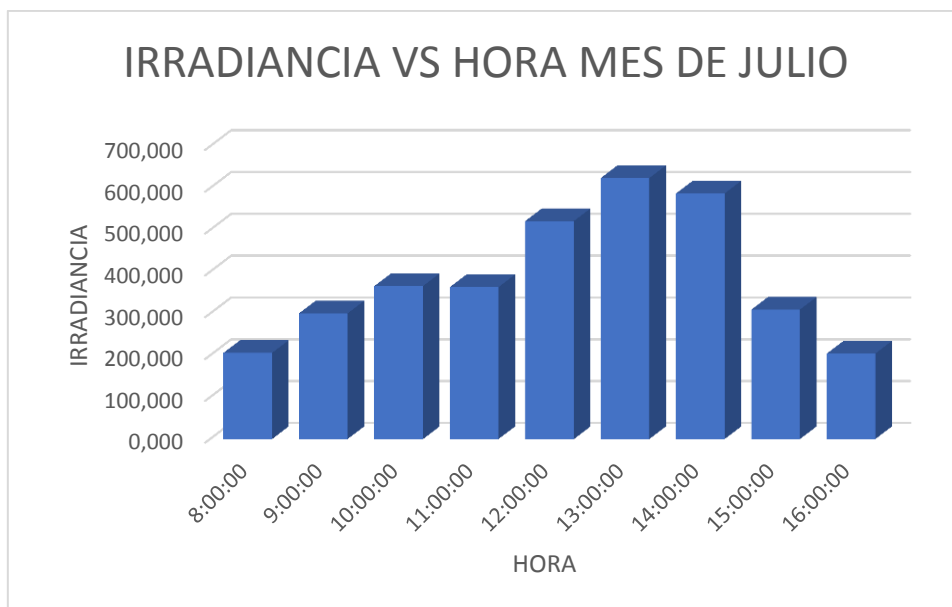


Figura 48. Irradiancia promedio por hora – Julio

Fuente: Autor

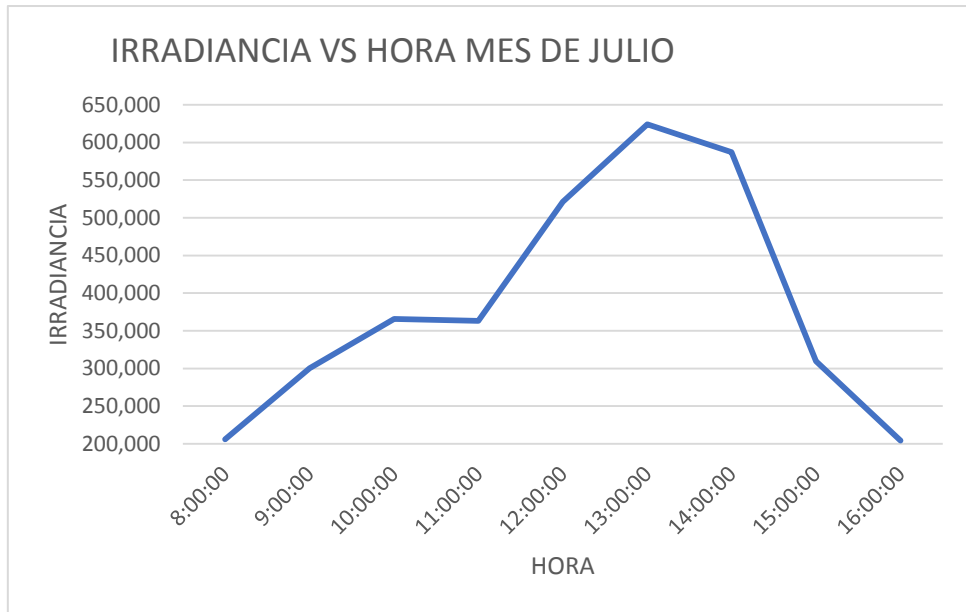


Figura 49. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Julio

Fuente: Autor

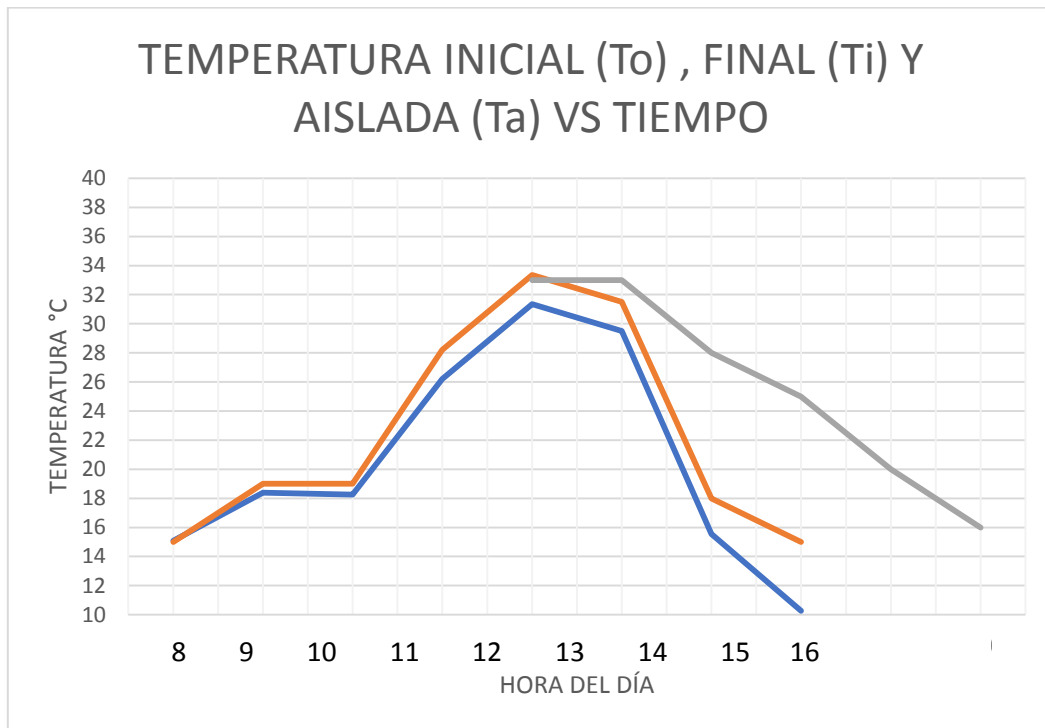


Figura 50. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Julio

Fuente: Autor

➤ **MES DE AGOSTO**



Figura 51. Irradiancia promedio por hora – Agosto

Fuente: Autor

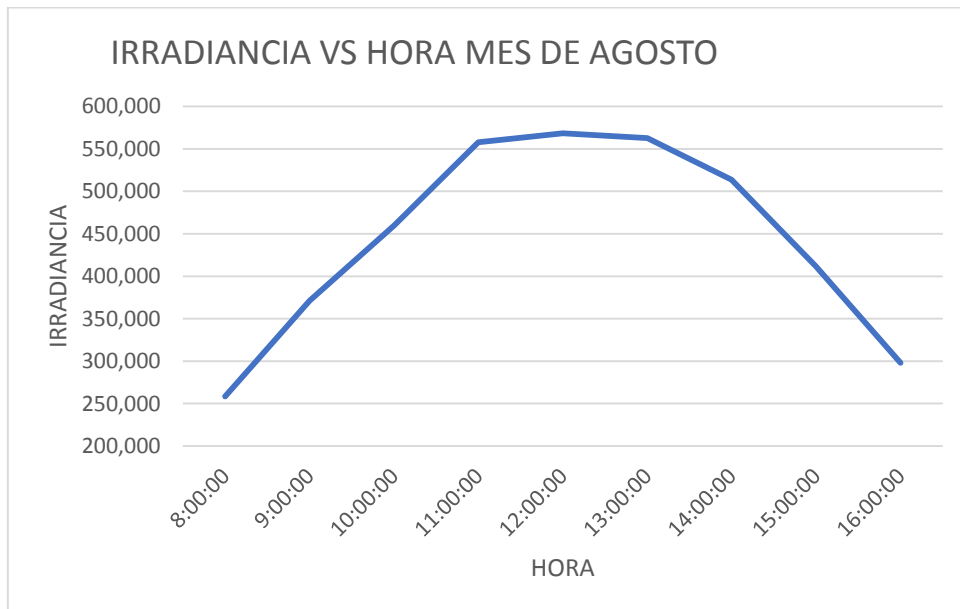


Figura 52. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Agosto

Fuente: Autor

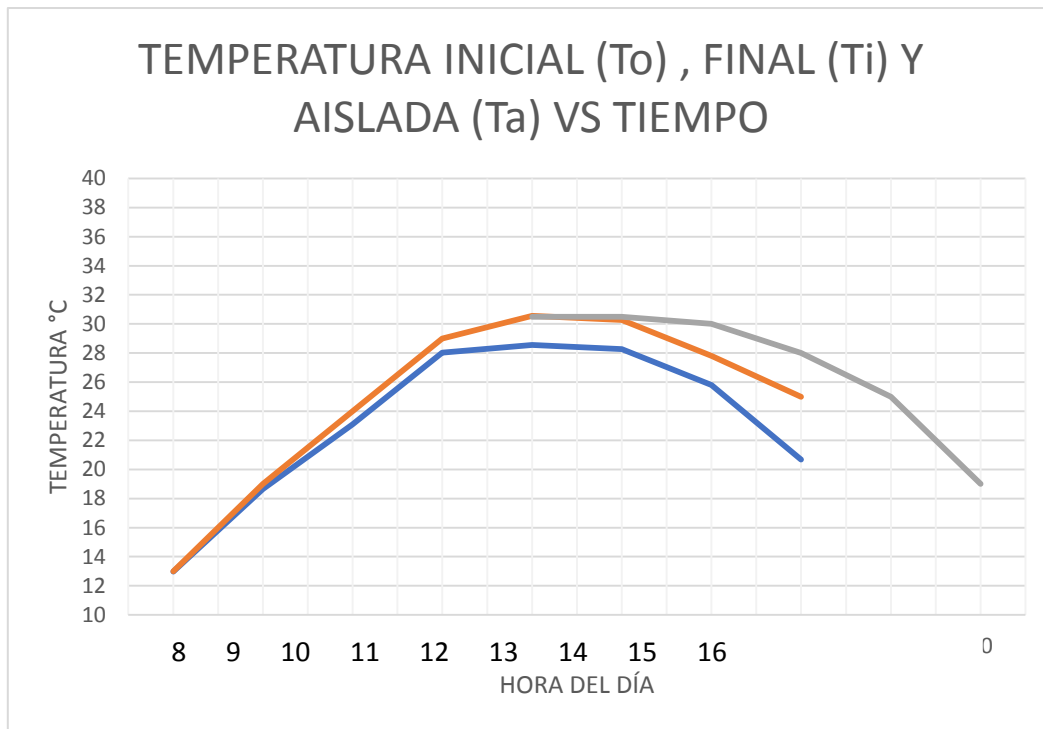


Figura 53. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Agosto

Fuente: Autor

➤ **MES DE SEPTIEMBRE**

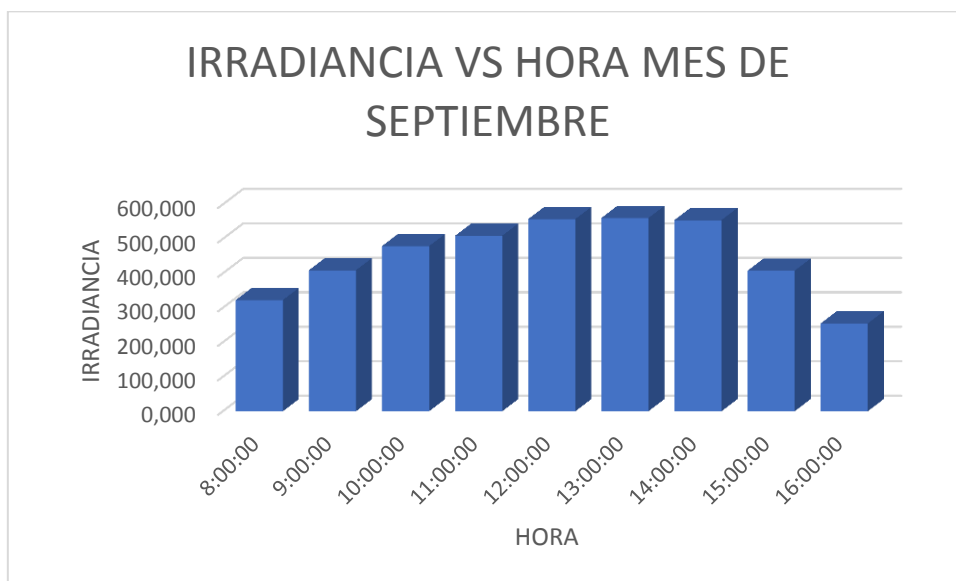


Figura 54. Irradiancia promedio por hora – Septiembre

Fuente: Autor

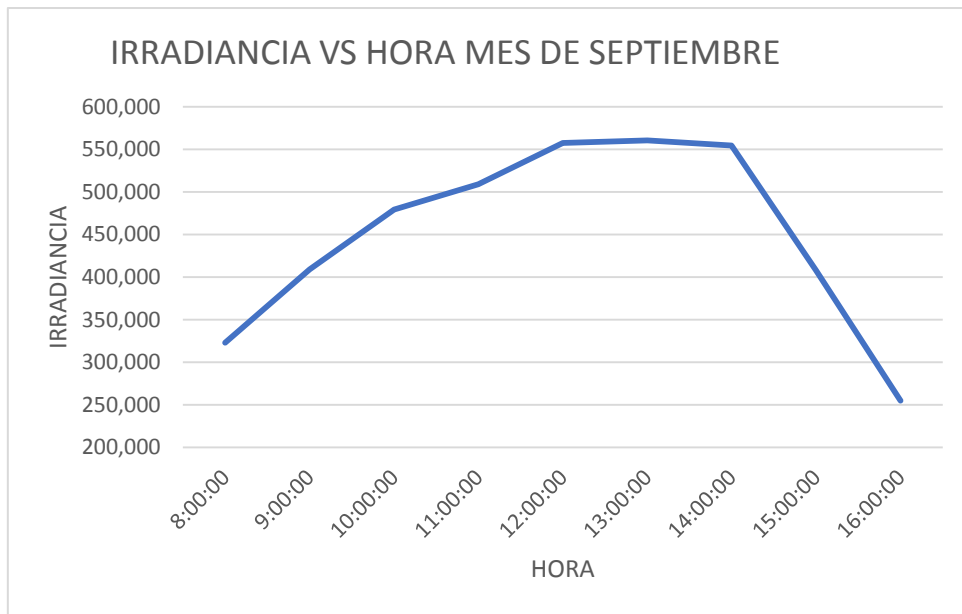


Figura 55. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Septiembre

Fuente: Autor

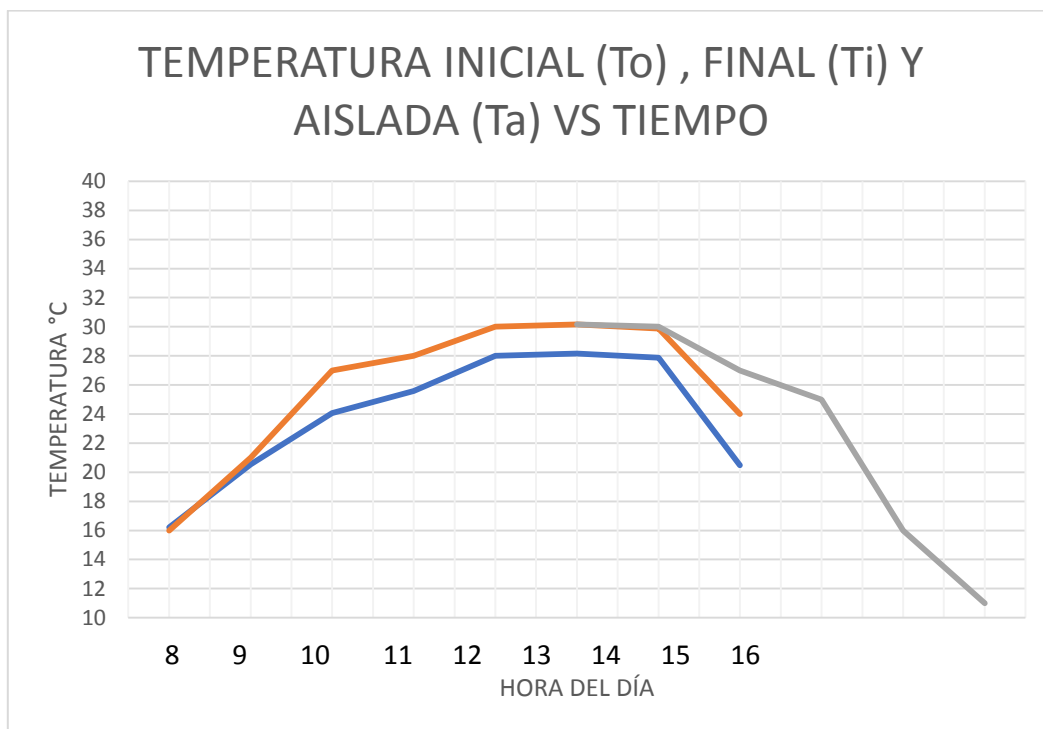


Figura 56. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Septiembre

Fuente: Autor

➤ **MES DE OCTUBRE**

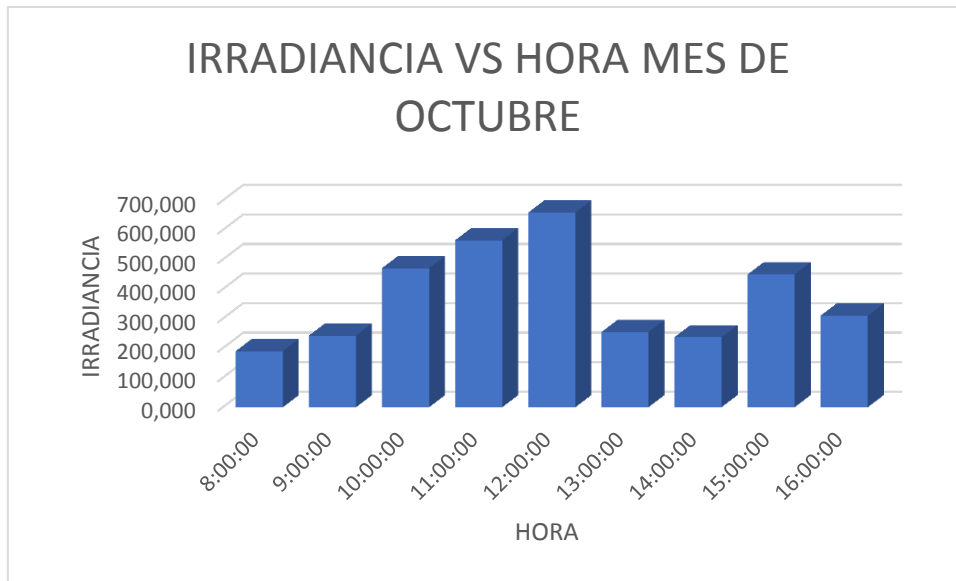


Figura 57. Irradiancia promedio por hora – Octubre

Fuente: Autor

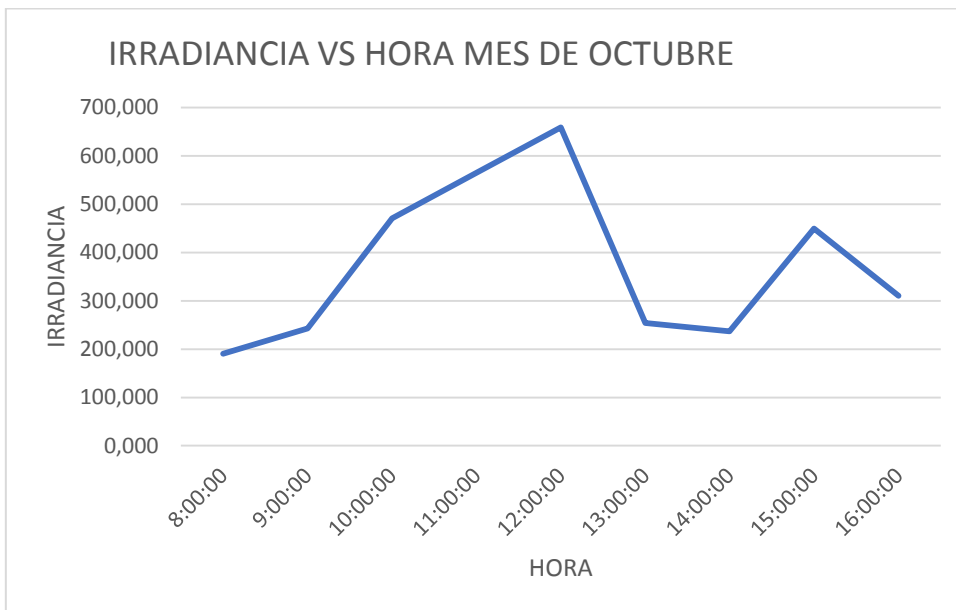


Figura 58. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Octubre

Fuente: Autor

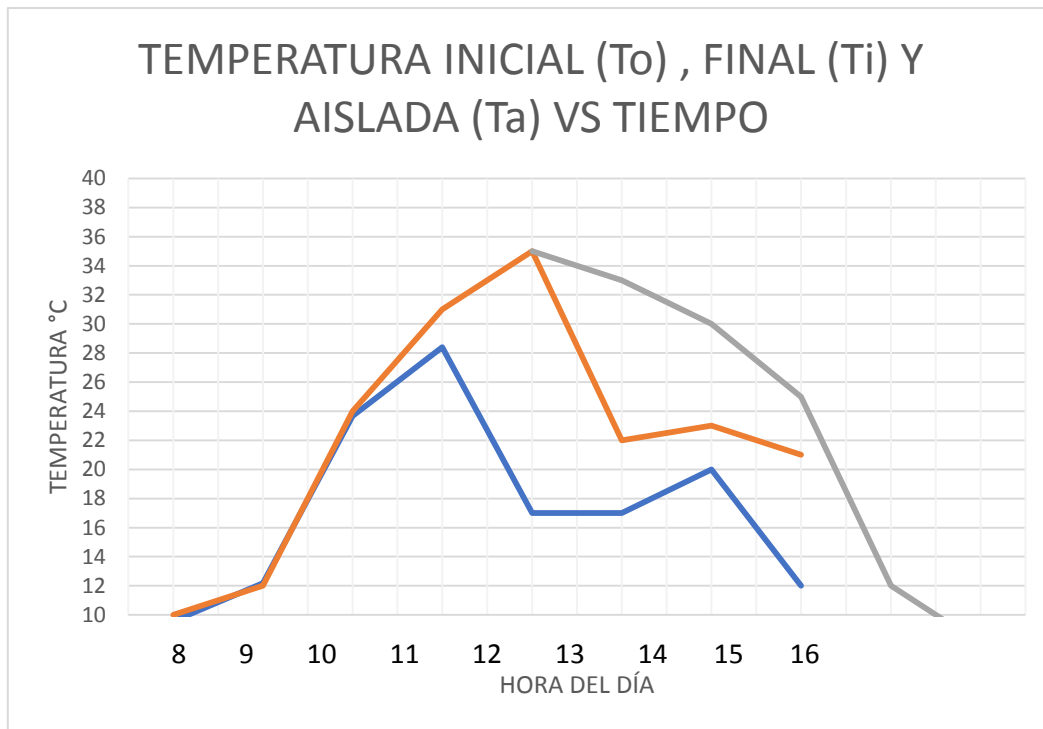


Figura 59. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Octubre

Fuente: Autor

➤ **MES DE NOVIEMBRE**

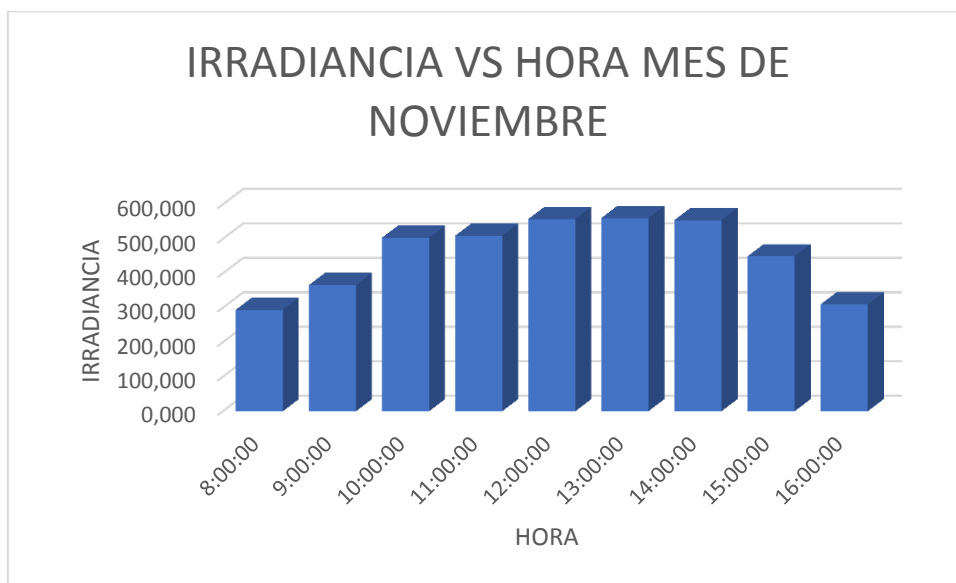


Figura 60. Irradiancia promedio por hora – Noviembre

Fuente: Autor

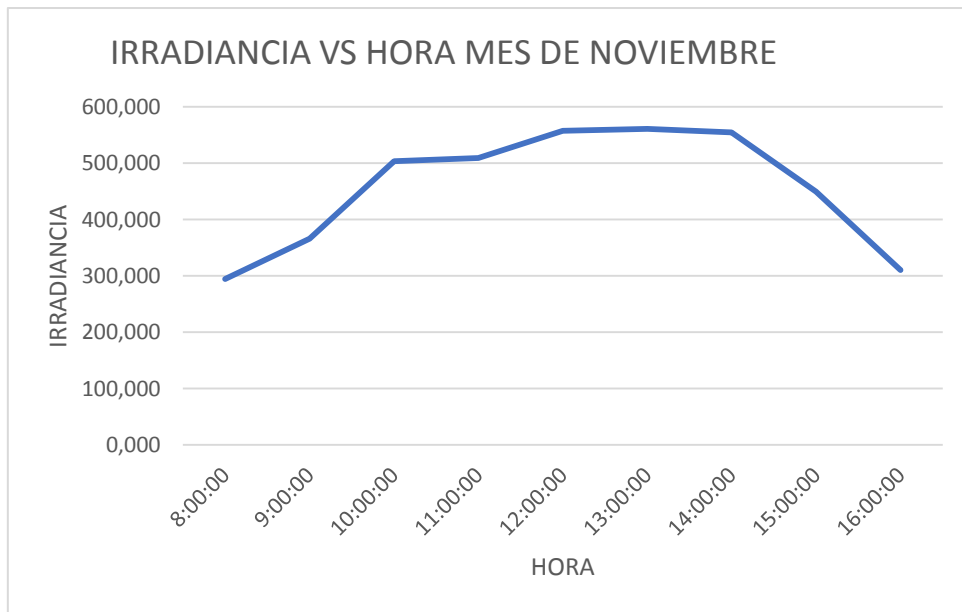


Figura 61. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Noviembre

Fuente: Autor

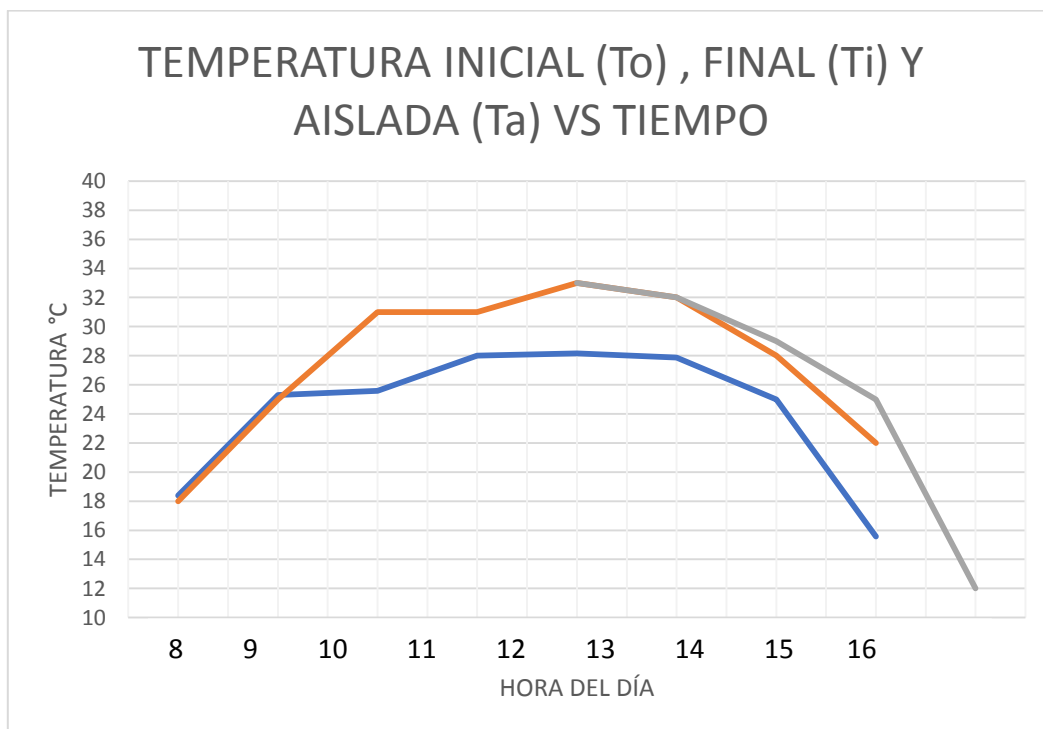


Figura 62. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Noviembre

Fuente: Autor



Figura 63. Irradiancia promedio por hora – Diciembre

Fuente: Autor

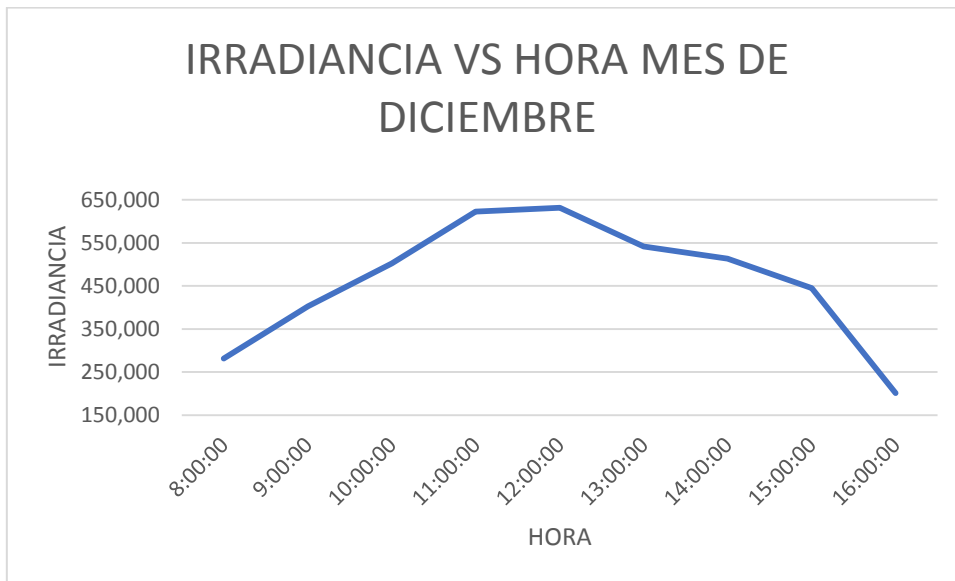


Figura 64. Tendencia de irradiancia promedio por hora – Diciembre

Fuente: Autor

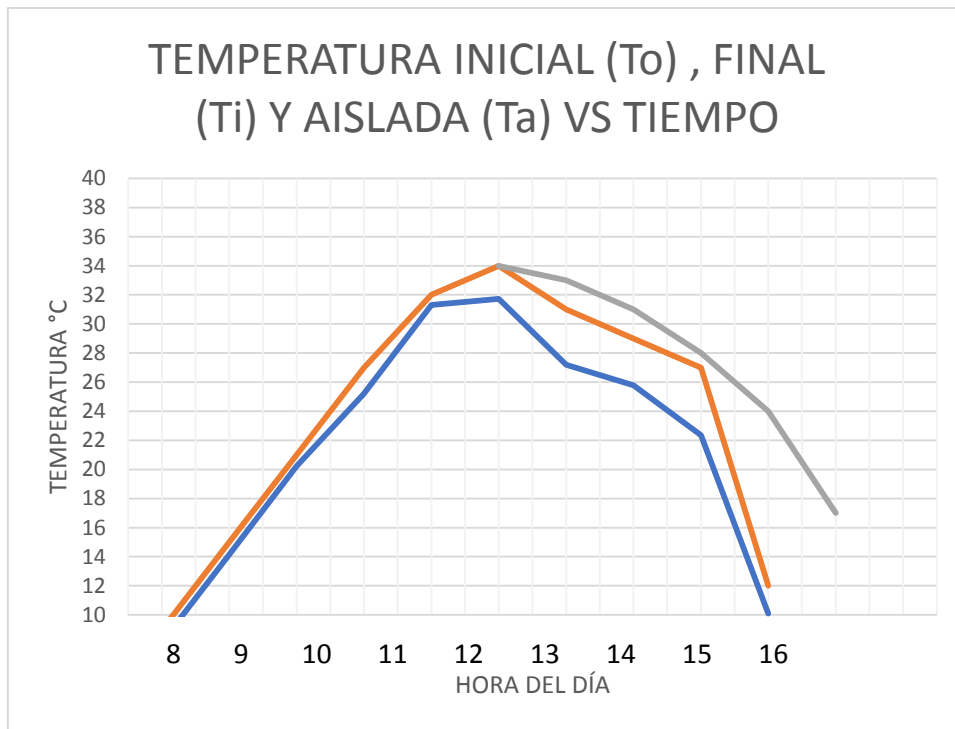


Figura 65. Variación de temperatura durante el funcionamiento del convertidor – Diciembre

Fuente: Autor