

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad De Ingeniería En Ciencias Aplicadas
Carrera De Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y EL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED EN EL CANTÓN IBARRA – IMBABURA PARA LA EMPRESA NORSOLAR.

Trabajo de grado presentado ante la Ilustre Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Santiago Israel Quiguango Terán

Director:

Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc

Ibarra-Ecuador

2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003185434
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quiguango Terán Santiago Israel
DIRECCIÓN:	Cananvalle callo los higos 1-48
EMAIL:	siquiguangot@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	N/A
TELÉFONO MÓVIL:	0993021697

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Estudio de la influencia de la temperatura y el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre un sistema fotovoltaico conectado a red en el cantón Ibarra – Imbabura para la empresa NORSOLAR.
AUTOR:	Quiguango Terán Santiago Israel
FECHA:	26/01/2024
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
DIRECTOR:	Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días de enero de 2024.

EL AUTOR:



Santiago Israel Quiguango Terán



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACION DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc. En calidad de director del trabajo de titulación del señor Quiguango Terán Santiago Israel CERTIFICO que ha culminado con las normas establecidas para la elaboración del trabajo de titulación titulado "ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y EL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED EN EL CANTÓN IBARRA – IMBABURA PARA LA EMPRESA NORSOLAR". Previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico, aprobando la defensa, impresión y empastado.

Ing. Olger Gilberto Arellano Bastidas MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, enero del 2024

RESUMEN

En la actualidad, la implementación de energías renovables, especialmente los sistemas fotovoltaicos, es limitada a nivel mundial y nacional debido a que constituyen una tecnología que se ha venido aprovechando últimamente. Ecuador, al encontrarse en la línea ecuatorial, ofrece un entorno propicio para maximizar el aprovechamiento de la energía solar. A pesar de su potencial para aprovechar la energía solar, estos sistemas presentan diversos factores tanto en deficiencias en como en eficiencia y producción energética debido a que su rendimiento depende netamente de las condiciones ambientales. En este trabajo, se analizó el comportamiento de dos factores preponderantes en la producción de energía eléctrica de una planta de generación fotovoltaica implementada por la empresa NORSOLAR S.C.C., ubicada en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. Los dos factores seleccionados fueron la temperatura y el ángulo de incidencia de la radiación solar. Para obtener datos de estas variables y su comportamiento sobre las placas solares que conforman el sistema de generación fotovoltaica, se implementaron dos sistemas de monitoreo y recolección de datos, los sistemas son capaces de tomar datos ya que cuentan con un sensor de temperatura (PT100) y un sensor de radiación (piranómetro) esto se realiza en lapsos de quince minutos. De esta manera, se obtuvieron los valores necesarios para crear una base de datos, estableciendo curvas de comportamiento de cada uno de los factores en diferentes escenarios climáticos (días despejados, nublados, lluviosos, etc.). Finalmente, durante el proceso de análisis, se comparó el comportamiento de cada factor con la producción energética de la planta fotovoltaica. De esta manera, fue posible cuantificar el nivel de incidencia de cada variable climática durante el proceso de generación eléctrica de la planta.

Palabras clave: Adquisición de Datos, Monitoreo, Radiación Solar, Seguidor Solar y Sistemas Fotovoltaicos.

ABSTRACT

Currently, the implementation of renewable energies, especially photovoltaic systems, is limited worldwide and nationally because they constitute a relatively new technology in the utilization of renewable energy. Ecuador, being located on the equator, provides a conducive environment to maximize the use of solar energy. Despite its potential for harnessing solar energy, these systems have deficiencies in efficiency and energy production because their performance depends solely on environmental conditions. In this study, the behavior of two predominant factors in the electricity production of a photovoltaic generation plant implemented by the company NORSOLAR S.C.C. in the city of Ibarra, Imbabura province, was analyzed. The two selected factors were temperature and the angle of incidence of solar radiation. To obtain data on these variables and their behavior on the solar panels that make up the photovoltaic generation system, two monitoring and data collection systems were implemented, the systems are capable of taking data since they have a temperature sensor (PT100) and a radiation sensor (pyranometer), this is done in periods of fifteen minutes. In this way, the necessary values were obtained to create a database, establishing behavior curves for each of the factors in different climatic scenarios (clear days, cloudy days, rainy days, etc.). Finally, during the analysis process, the behavior of each factor was compared with the energy production of the photovoltaic plant. This made it possible to quantify the level of incidence of each climatic variable during the electricity generation process of the plant.

Keywords: Data acquisition, Monitoring, Photovoltaic Systems, Solar radiation, and Solar tracker.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
Introducción	13
Contextualización	13
Planteamiento del problema	14
Formulación del problema	15
Objetivos	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos	15
Alcance	16
Viabilidad del proyecto	16
Justificación	16
Capítulo I	18
Marco Referencial	18
1.1. Energía	18
1.2. Energías alternativas	18
1.3. Energía solar.....	19
1.4. Energía Solar Fotovoltaica	21
1.5. Energía Solar Fotovoltaica En Ecuador.....	23
1.6. Parámetros Que Influyen En Un Sistema Fotovoltaico	24
1.6.1. <i>Ángulo De Incidencia De La Radiación Solar</i>	24
1.6.2. <i>Temperatura De La Celda Fotovoltaica</i>	25
1.7. Sistema solar fotovoltaico conectado a red	25
1.7.1. <i>Inversor Fotovoltaico</i>	26
1.7.2. <i>Panel Fotovoltaico</i>	27
1.8. Herramientas De Monitorización, Optimización Y Control	27
1.8.1. <i>Monitorización</i>	28
1.8.2. <i>Sensor de radiación (Piranómetro)</i>	28
1.8.3. <i>Sensor de temperatura (PT100)</i>	29
1.8.4. <i>Seguidor Solar de un solo eje</i>	29
1.8.5. <i>Actuadores lineales</i>	30
1.8.6. <i>Arduino</i>	30
Capítulo II	32
Metodología	32
2.1. Modelo De Investigación Aplicado	32

2.2.	Descripción Del Lugar De Estudio.....	32
2.3.	Análisis Del SFV Implementado En Norsolar	34
2.3.1.	<i>Componentes Del SFV Conectado A Red.....</i>	34
2.3.2.	<i>Sistema de Monitoreo</i>	36
2.3.3.	<i>Conexiones eléctricas</i>	38
2.3.4.	<i>Seguidor Solar</i>	39
2.3.4.1.	Modo manual del seguidor solar.....	40
2.3.4.2.	Modo Automático del seguidor solar.	41
2.4.	Sistema De Adquisición De Temperatura Y Ángulo De Incidencia De La Radiación.....	43
2.4.1.	<i>Esquema Del Diseño Del Sistema De Adquisición De Datos</i>	43
2.4.2.	<i>Descripción general del sistema de adquisición de datos.....</i>	43
2.4.3.	<i>Selección Del Microcontrolador Por El Método De Criterios Ponderados</i>	44
2.4.3.1.	Evaluación De Los Criterios Establecidos Para La Selección.....	45
2.4.3.2.	Evaluación De Las Alternativas Bajo El Criterio De Costo.....	46
2.4.3.3.	Evaluación De Las Alternativas Bajo El Criterio De Accesibilidad	46
2.4.3.4.	Evaluación De Las Alternativas Bajo El Criterio De Obtención	47
2.4.3.5.	Matriz Morfológica	47
2.5.	Selección Del Sensor De Temperatura	48
2.6.	Selección Del Sensor De Ángulo De Incidencia De Radiación.....	49
2.7.	Programa del Sistema de Adquisición.....	49
Capítulo III.....		55
Resultados.....		55
3.1.	Implementación Del Sistema De Adquisición De Datos Al Sistema Fotovoltaico	55
3.1.1.	<i>Sensor de Radiación (Piranómetro)</i>	55
3.1.2.	<i>Sensor de Temperatura (PT100).....</i>	56
3.2.	Análisis Del Microsistema De Generación Fotovoltaica Ante La Influencia Del Ángulo De Incidencia.....	57
3.2.1.	<i>Rendimiento del Sistema Fotovoltaico</i>	60
3.2.1.1.	Generación Energética Simulada De Un Panel Solar De 500W	60
3.2.1.2.	Comparativa De Rendimiento Energético.....	61
3.3.	Análisis Del Microsistema Ante De La Influencia De La Temperatura	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		65
CONCLUSIONES.....		65
RECOMENDACIONES.....		66
ANEXOS.....		67
ANEXO A – PANEL FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR VERTEX.....		67

ANEXO B – INVERSOR FOTOVOLTAICO GROWATT MIN3000 TL-X.....	69
ANEXO C – INVERSOR FOTOVOLTAICO SMA SUNNY BOY	71
ANEXO D – PIRANÓMETRO	74
ANEXO E – SENSOR DE TEMPERATURA PT100.....	84
ANEXO F – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN	88
ANEXO G – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DEL PIRANÓMETRO	90
REFERENCIAS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicación de la energía solar fotovoltaica	21
Figura 2. Aplicación de sistemas aislados.....	22
Figura 3. Conexión de un sistema solar a la red	26
Figura 4. Símbolos utilizados para el panel fotovoltaico	27
Figura 5. Sistema de monitoreo y control.....	28
Figura 6. Piranómetro	29
Figura 7. Sensor de temperatura PT100	29
Figura 8. Esquema de Metodología Aplicada.....	32
Figura 9. Ubicación geográfica del SFV	33
Figura 10. Disposición de las placas solares en la terraza de la empresa NORSOLAR S.C.C.	33
Figura 11. Monitoreo del sistema fotovoltaico implementado	35
Figura 12. Paneles solares TRINA SOLAR de 500Watts	35
Figura 13. Interfaz de la plataforma de monitoreo Sunny Portal.....	36
Figura 14. Historial de día, mes, año y total de energía generada por el SFV	37
Figura 15. Interfaz de monitoreo de la plataforma de GROWATT	38
Figura 16. Gráficos de los históricos diarios, mensuales, anuales y total	38
Figura 17. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico	39
Figura 18. Diagrama de flujo del modo manual del seguidor solar	40
Figura 19. Esquema del proceso en lazo abierto	41
Figura 20. Diagrama de flujo del modo automáticos del seguidor solar.....	42
Figura 21. Diagrama de bloques del sistema de adquisición.....	43
Figura 22. Descripción general del sistema de adquisición	44
Figura 23 Curva de equivalencia del sensor PT100	49
Figura 24. Diagrama de conexión del Sistema de Adquisición de Temperatura.....	50
Figura 25. Componentes reales del Sistema de Monitorización	50
Figura 26. Sistema de seguimiento Montado en el tablero de control	51
Figura 27. Sensor de temperatura del sistema de adquisición	51
Figura 28. Conexiones del conductor de sensor de temperatura	52
Figura 29. Interfaz del sistema de lectura de temperatura.....	52
Figura 30. Interfaz de lectura del Piranómetro	53
Figura 31. Piranómetro instalado en el SFV de la empresa NORSOLAR S.C.C.	56
Figura 32. Sensor de temperatura instalado en el SFV de NORSOLAR S.C.C.....	57
Figura 33. Curvas de la radiación según su ángulo de incidencia día nublado.....	58
Figura 34. Curvas de la radiación según su ángulo de incidencia día despejado.....	59

Figura 35. Generación energético anual de un panel solar de 505Watts	60
Figura 36. A) Curva de generación fotovoltaica de SFV con seguidor, B) Curva de generación fotovoltaica de SFV sin seguidor.....	61
Figura 37. Generación energética mensual del SFV	62
Figura 38. Curva de temperatura y potencia de la placa fotovoltaica	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de la energía solar.....	20
Tabla 2. Especificaciones de microcontrolador Arduino ATmega 328.....	31
Tabla 3. Valores de ponderación	45
Tabla 4. Ponderación de los criterios establecidos para la selección	45
Tabla 5. Evaluación del criterio del costo en las alternativas.....	46
Tabla 6. Evaluación del criterio de accesibilidad en las alternativas.....	46
Tabla 7. Evaluación del criterio de obtención en las alternativas.....	47
Tabla 8 Evaluación de las alternativas	47
Tabla 9. Matriz morfológica del microcontrolador	48
Tabla 10. Matriz de ponderación del sensor de temperatura.....	48

Introducción

Contextualización

De acuerdo con (Mejía, 2019), a partir del siglo XIX los cambios estructurales y sociales originados por la revolución industrial, dieron apertura a que los niveles de producción en masa aumenten, implicando así el uso de la energía eléctrica a gran escala. La industria automotriz, extractiva y energética ha generado una serie de efectos negativos en el medio, los cuales se evidencian con el daño a los recursos naturales no renovables y con el desequilibrio a nivel hombre-naturaleza (Lastra & Rifkin, 2017).

Bajo este escenario, en los últimos años se ha propuesto varios métodos que busquen revertir el daño causado, apareciendo las conocidas como energías alternativas, siendo una de las más destacadas la energía solar, especialmente en lugares con buena radiación como Ecuador, donde se puede aprovechar el recurso solar (Crespo, 2019).

Por otro lado, según (Gámez, Casados, Hernández, & Palacios, 2017), el aprovechamiento de elementos naturales, la facilidad de instalación, los bajos costos de montaje y mantenimiento permitan adaptarse a las necesidades de las personas.

El sistema fotovoltaico se presenta como una alternativa relacionada con el uso de energía limpia, promoviendo un adecuado uso de los recursos naturales y ofreciendo a la población una propuesta innovadora que procura un mejor cuidado del ambiente y, por lo tanto, una mejor calidad de vida de las personas.

El carácter de los generadores fotovoltaicos puede ser utilizado dentro de un amplio rango de potencia de suministro eléctrico, considerando así tres grupos de aplicaciones: aisladas, de consumo y conectadas, siendo este último el más utilizado dentro de los sistemas instalados en hogares y en grandes centrales a lo largo de países importantes el desarrollo industrial (Díaz F. D., 2018).

Según (Stadler, Wolfram, Carmona, & Orte, 2017), los niveles de radiación en la superficie terrestre dependen de factores como: la posición del sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera, la reflexión terrestre, entre otras. Además, como ya se ha determinado, en la zona ecuatorial los rayos solares caen más directamente que en las latitudes medias y la radiación solar resulta ser más intensa en esa área (Sulca & Paulino, 2019).

Un medio para lograr una optimización del sistema fotovoltaico es conocido como seguidor solar, dicho dispositivo está conformado por una parte fija y una móvil, permite la captación de radiación solar de manera maximizada, debido a la superficie que posee para permanecer perpendicular a los rayos del sol durante el día (Mejía, Londoño, & Osorio, 2019).

El seguidor solar de un solo eje es uno de los dispositivos de más uso por su menor grado de complejidad y costos bajos en comparación a los demás, este tipo de instrumento tiene una limitación para realizar un seguimiento completo al sol, es decir solo puede seguir la inclinación solar o el azimut de manera individual (Mejía, Londoño, & Osorio, 2019).

En cuanto a temperatura se refiere, (Fernández, 2018) menciona que se considera que a alta temperatura se tendrá un mejor rendimiento del sistema fotovoltaico, pero ocurre lo contrario, debido a que la conductividad de los semiconductores aumenta al aumentar la temperatura, provocando que el campo eléctrico se aleje de la capa límite, dando como resultado una disminución de la tensión entre las dos capas.

Planteamiento del problema

(Lonegro Birovchez, 2020) menciona que las energías alternativas aportan a la conservación del medio ambiente, es decir, causan un impacto negativo reversible y en menor medida que el uso de las fuentes de energía convencionales como el petróleo, gas y carbón.

Dentro de estas alternativas, al considerar que el sol es un recurso inconmensurable de energía renovable, la energía solar pretende ser la mejor opción (Daza, Garzón, Prieto, & Ramírez, 2020). El sol emite alrededor de 3.8×10^{23} kW, de los que el planeta Tierra solo intercepta un estimado de 1.8×10^{14} kW (Ávila, 2017).

La energía solar se transforma en eléctrica gracias al efecto fotovoltaico mediante células solares fabricadas a partir de un material semiconductor (Vianey & Urrea, 2020), estas pueden ser usadas para diversas aplicaciones, las cuales van desde instalaciones aisladas con baterías, hasta redes eléctricas conectadas (Orts, y otros, 2020).

Según datos del CONELEC analizados por (Mantilla, 2020), en el país habría instalado una potencia de 20 kW de energía fotovoltaica, estas cifras corresponden

principalmente a los paneles fotovoltaicos que han sido implementados por diferentes instituciones o proyectos estatales.

(Almacaña & Blandon, 2019), mencionan que los estudios publicados por la Comisión para la Investigación Energética han determinado que la ubicación geográfica del Ecuador lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere, debido a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a la superficie de este, lo que no es posible en otros lugares del planeta.

Sin embargo, es importante determinar los parámetros que permitan un diseño eficiente de los sistemas fotovoltaicos, considerando en este caso el estudio del ángulo de inclinación, el cual depende de la latitud del sitio y la influencia que este tiene sobre la producción energética (Díaz, Santos, Castro, & Vilaragut, 2018). Por otro lado, se ha de considerar un análisis de la temperatura de las celdas de un sistema fotovoltaico y su relación eficiencia-producción (Vera, Pérez, Pardo, & Benavides, 2019).

Por lo tanto, pese a la existencia de estudios relacionados con el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos en zonas estratégicas, se ha determinado que son escasas las investigaciones que tratan de optimizar los componentes de un sistema fotovoltaico instalado. Es por esto por lo que el presente trabajo se basa en proponer una metodología experimental que mediante un sistema de adquisición de datos permita maximizar la producción energética existente.

Formulación del problema

¿Cómo determinar la influencia de la temperatura ambiental y el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre un sistema fotovoltaico conectado a red en el cantón Ibarra – Imbabura para determinar la producción de energía eléctrica de la empresa NORSOLAR?

Objetivos

Objetivo General

Analizar la influencia de la temperatura ambiental y el ángulo de incidencia de la radiación solar en la producción de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico conectado a red de la empresa NORSOLAR, ubicado en el cantón Ibarra – Imbabura.

Objetivos Específicos

- Analizar la estructura de los sistemas fotovoltaicos con conexión a red y la literatura relacionada con el tema.
- Diseñar un sistema para la adquisición de los parámetros de estudio.
- Evaluar el funcionamiento del sistema fotovoltaico con conexión a red de la empresa NORSOLAR.

Alcance

Se realizará un estudio experimental de la influencia de la temperatura ambiental de la ciudad Ibarra y el ángulo de incidencia de radiación solar sobre un sistema fotovoltaico mediante el uso de un seguidor solar de un solo eje y la variación del ángulo de incidencia en el momento de máxima producción, con el fin de analizar dichos parámetros obtenidos con el sistema de adquisición de datos y la influencia sobre la producción de energía eléctrica.

El sistema fotovoltaico implementado por la empresa NORSOLAR, tiene una conexión a red con una potencia de 4kW, consta de 8 paneles SMA Sunny Boy de 500W y 2 inversores bifásicos de 5kWp. El seguidor solar se encuentra implementado sobre dicho sistema, a una inclinación máxima de 45° sobre el panel fotovoltaico, el mismo que está elaborado en hierro galvanizado, controlado mediante un actuador electromecánico de tornillo y temporizado con un PLC LOGO 8 12/24RCE de Siemens con conexión ethernet.

Viabilidad del proyecto

El presente proyecto se basa en el estudio de la producción energética del sistema implementado por la empresa NORSOLAR, el cual tiene una conexión a red con una potencia de 4kW, consta de 8 paneles VERTEX TRINA SOLAR de 500W cada uno y 2 inversores bifásicos de 5kW (SMA Sunny Boy) y de 3 kW (Growatt MIN 3000 TLX) respectivamente.

Además, cuenta con una estación meteorológica, un seguidor solar y para la medición una sonda de temperatura. Todo el sistema se encuentra ya implementado por dicha empresa, por lo que el costo de desarrollo del proyecto se centra solo en el estudio de dichos parámetros dentro del sistema, implicando un costo viable de desarrollo.

Justificación

La energía eléctrica es un factor importante en el desarrollo de la humanidad (Valer, 2016). Por lo que, la implementación de fuentes de energía alternativas representa un factor relevante para cubrir la demanda nacional. Entre las que más destacan se menciona a la energía solar, eólica, bioenergía, hidráulica, geotérmica o fusión nuclear, entre otras.

(Collaguazo, 2021), ha demostrado que el sol tiene la energía suficiente para satisfacer la demanda existente en el mundo. Además, esta es considerada como la energía del futuro debido a que su impacto no es perjudicial para el ambiente, es decir, no afecta el equilibrio de los ecosistemas existentes, a diferencia de la explotación de recursos de origen fósil (Daza, Garzón, Prieto, & Ramírez, 2020).

En la actualidad, los sistemas de generación fotovoltaica se encuentran instalados en poblaciones rurales con poco acceso, donde las diferentes empresas eléctricas no pueden abastecer este servicio mediante redes de distribución (Rincon & Rosas, 2019).

Ecuador por su ubicación geográfica es un referente que posee recursos suficientes para aprovechar el uso de energías renovables, como la energía solar, la eólica, hídrica, y geotérmica provenientes de los recursos naturales. La provincia de Imbabura está ubicada en una zona con alta radiación solar (Almacaña & Blandon, 2019), lo que implica que se puede cubrir la demanda de producción de energía eléctrica.

El sistema fotovoltaico propuesto permite analizar la temperatura y el impacto que causa el uso de esta energía, permitiendo identificar el ángulo de incidencia en determinadas horas y temporadas donde el uso de la energía fotovoltaica se maximiza. Además, la viabilidad de la propuesta sugiere una alternativa de energía con efectos que beneficiarán a la población, en cuanto a la implementación de energía limpia, evitando problemas subsecuentes como la falta de luz, el daño natural, entre otros.

Capítulo I

Marco Referencial

A lo largo de este capítulo se presentará todo el marco teórico que se utilizó a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación, desde conceptos básicos de los sistemas fotovoltaico para autoconsumo y los parámetros de incidencia más determinantes en el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos.

1.1. Energía

La energía no es más que la capacidad que tiene los cuerpos de realizar un trabajo, a partir de la variación de la posición, propiedades, constitución o estado de un cuerpo, cuyo trabajo es realizado por fuerzas exteriores como el viento, oleaje o cualquier otra cosa, o de fuerzas internas en el caso de una explosión.

Considerando que el acceso a la energía eléctrica es un factor importante en el desarrollo de la humanidad (Niño Vega, Fernández Morales , & Duarte, 2019), en la actualidad esta producción depende importantemente de los recursos fósiles o no renovables como los derivados de petróleo (Mejía E. , 2019).

Con el pasar de los años y ante la presencia de los actos cotidianos de la gente se ha presenciado la existencia de las energías alternativas, siendo alguna de estas desconocidas por diversas razones, una de estas siendo la prioridad del factor económico sobre el ambiental.

1.2. Energías alternativas

La disminución de los combustibles fósiles y la conciencia gradual emergente sobre la degradación del medio ambiente conducen a la principal preocupación de los recursos de energía renovable. El campus verde es un paso hacia la independencia del combustible fósil (Gáleas, Mora, Freire, & León, 2020).

Las energías alternativas están comprendidas por todas aquellas que no son de origen fósil y no han participado dentro del mercado mundial de la energía. (Posso, 2017) Es decir aquellas alternativas no necesariamente de nuevo origen. Algunas de las energías renovables que más destacan por su impacto menor al ambiente son: la eólica, la hidroeléctrica, la bioenergía (Ballesteros & Gallego, 2019) (Gasparatos, 2017) y el tipo de energía que se genera a partir de la energía solar es la denominada energía solar fotovoltaica, cuyo efecto fue reconocido por primera vez en 1839, y teniendo como pilares científicos la electricidad, la óptica y el magnetismo (Yang, y otros, 2020).

La energía eólica se presenta como una energía limpia y no contaminante, ya que no deteriora el medio ambiente ni consume recursos naturales, (Clementi & Jacinto,

2021) como lo fuente fósiles procedentes del petróleo y el carbón, que son altamente nocivas para la atmósfera y en general para todos los ecosistemas del planeta (Henderson, Offshore Wind Energy in Europe, 2018).

La radiación proveniente del sol puede utilizarse para proporcionar desde actividades relacionadas con el confort como la calefacción, el alumbrado y el agua caliente en edificios hasta para generar electricidad. El astro rey también influye en los sistemas climáticos mundiales, siendo la fuente indirecta de la energía hidráulica, eólica y mareomotriz (Castaño & García, 2020).

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos que permiten transformar la luz obtenida de la fuente solar en electricidad gracias al efecto fotovoltaico. (Sánchez & Rivera, 2019). En la actualidad, la mayor eficiencia de las celdas solares de silicio comerciales es del 18%, aunque también existen de otros materiales, como el arseniuro de galio, que alcanzan una eficiencia del 30% (Fonseca, Hernández, Acosta, & Rolón, 2022).

Estas y otras alternativas de energía son atractivas por su amigabilidad con el ambiente y por la capacidad de suplir la creciente demanda de la sociedad en cuanto a suministro constante de energía.

En los últimos años se ha encontrado diferentes trabajos académicos que centran su temática en la generación de energía eléctrica para viviendas, por medio del uso de energía solar fotovoltaica; como por ejemplo India ha desarrollado investigaciones con proyectos de energías renovables, destacando la aplicación de la energía fotovoltaica gracias a las condiciones geográficas. Así un ejemplo de empresas enfocada al desarrollo de este tipo de proyectos en la India es Punjab Energy Development Agency, que propone la utilización de energías renovables como la hidroeléctrica, la biomasa y la fotovoltaica en la aplicación de los proyectos que desarrollan (Téllez, Sierra, Zárraga, & Álvarez, 2019).

1.3. Energía solar

La energía solar pretende ser la mejor opción como energía alternativa, considerado así porque es un recurso inconmensurable de energía renovable (Ávila, 2017). El sol emite alrededor de 3.8×10^{23} kW, de los que el planeta Tierra solo intercepta un estimado de 1.8×10^{14} kW (Ballesteros & Gallego, 2019).

Luego de varios casos de estudio queda demostrado que el sol tiene la energía suficiente para satisfacer la demanda existente en el mundo (Ávila, 2017). Además, esta es considerada como la energía del futuro debido a que su impacto no es perjudicial para el ambiente, es decir no afecta el equilibrio de los ecosistemas existentes, y es

mucho menos perjudicial que la explotación de recursos de origen fósil (Ballesteros & Gallego, 2019).

La energía solar puede ser utilizada mediante dos vías: el aprovechamiento de la energía solar basado en la vía térmica puede ser de baja, mediano y alta temperatura, donde esto se usan para aplicaciones en calefacción, climatización de los locales, producción de agua caliente sanitaria, producción de energía eléctrica (Fonseca, Hernández, Acosta, & Rolón, 2022).

Por otro lado, la energía solar que se convierte en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico, esto a través de células solares fabricadas a partir de un material semiconductor, y estos pueden ser usados para aplicaciones diversas desde instalaciones aisladas en pequeñas baterías hasta redes eléctricas conectadas (Marín, La energía solar fotovoltaica en España, 2019).

Con la investigación realizada y la información recopilada sea obtenido que el uso de esta alternativa de energía con la aplicación de celdas fotovoltaicas es muy solicitado en la actualidad debido a sus grandes ventajas en comparación a las demás en el mercado a un bajo costo.

Además, existen diversas aplicaciones desde sistemas conectados a la red eléctrica hasta aplicaciones aisladas de consumo diario, inclusive en aplicaciones tan pequeñas como calculadoras, relojes y teléfonos móviles. Partiendo de esto y según (DeGunther, 2018) se tiene las siguientes ventajas y desventajas en la Tabla 1.

Tabla 1.

Ventajas y Desventajas de la energía solar

	Ventajas	Desventajas
Sociedad	<ul style="list-style-type: none"> - Aprovechamiento de espacio urbano. - Bajo costo de mantenimiento. - Diversidad de aplicaciones. - Desarrollo tecnológico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de inversión inicial. - Requiere sistemas de almacenamiento (baterías). - Baja eficiencia de producción energética. - Falta de información y soporte técnico.
Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> - Energía alternativa. - Energía renovable. - Baja emisión de gases invernadero. 	<ul style="list-style-type: none"> - Depende del clima. - Variabilidad de la luz solar. - Afectada por la contaminación del aire.

Planeta	<ul style="list-style-type: none"> - Aprovechamiento de regiones desérticas. - Disponibilidad a nivel mundial. - Acceso en sitios apartados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grandes extensiones de tierra para producción a gran escala. - Disposición y reciclaje de los materiales tóxicos. - Sitios ideales de producción (desiertos) alejados de los centros poblados.
----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nota. Tomado de (DeGunther, 2018).

1.4. Energía Solar Fotovoltaica

Los sistemas que usan energía solar fotovoltaica permiten generar electricidad proveniente de la radiación solar, siendo una alternativa ecológica que permita aumentar la eficiencia y reducir el consumo de energía (Gáleas, Mora, Freire, & León, 2020).

El carácter de los generadores fotovoltaicos implica un amplio rango de potencia la hora del suministro de energía eléctrica por lo cual las aplicaciones que éste deba se han dividido en 3 grupos: aplicaciones conectadas, aisladas y de consumo (GRUPO NAP, 2020).

Figura 1.

Aplicación de la energía solar fotovoltaica



Nota. Tomado de (GRUPO NAP, 2020).

Las aplicaciones conectadas actualmente se observan que es la mayor parte del uso de este tipo de energía, incluyendo los sistemas instalados en las casas y grandes centrales a lo largo de países importantes el desarrollo industrial como Japón, Alemania y España (GRUPO NAP, 2020).

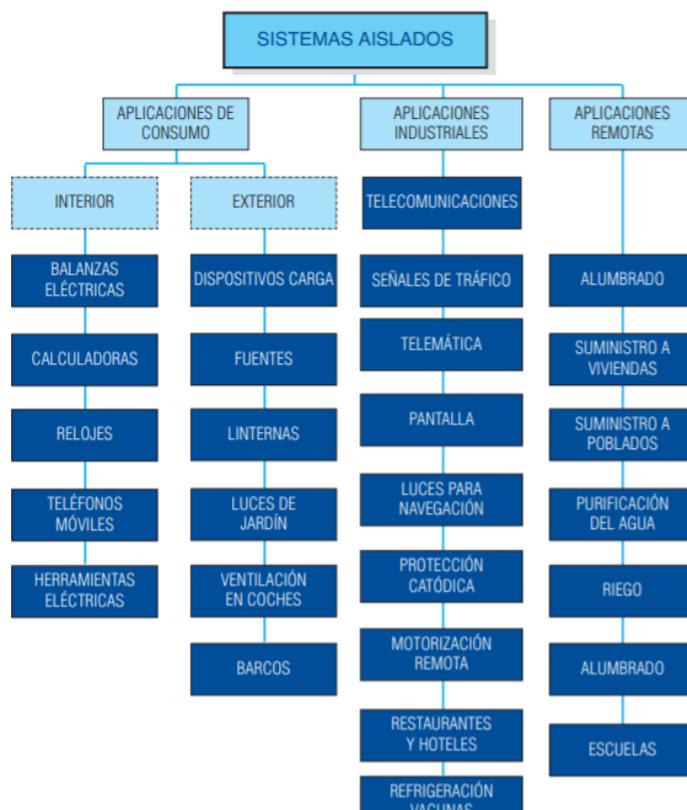
Así también las aplicaciones de sistemas aislados y de consumo, han sido introducidas en sectores donde se producen aplicaciones variadas, a continuación, se

muestran en la Figura 1, todo esto gracias a la intervención de la ingeniería de aplicaciones.

Los sistemas autónomos de electrificación pueden ser de amplias aplicaciones, y están clasificados en 3 grupos por su aplicación asociada, los cuales son profesionales, electrificación rural y pequeño consumo (Fonseca, Hernández, Acosta, & Rolón, 2022), esta clasificación se muestra en la Figura 2.

Figura 2.

Aplicación de sistemas aislados



Nota. Tomado de (GRUPO NAP, 2020).

Teniendo así que para las aplicaciones de pequeño consumo se necesitan módulos fotovoltaicos encargados de alimentar equipos electrónicos como (Fonseca, Hernández, Acosta, & Rolón, 2022) calculadoras o relojes.

- Cargadores De Móviles.
- Pequeñas Herramientas Eléctricas.
- Balizas Domésticas.
- Entre Otros.

Las aplicaciones profesionales son variadas como, por ejemplo:

- Los Radioenlaces.
- La Protección Catódica De Gasoductos.
- Hoteles.
- Señales De Tráfico Y Navegación Aérea.
- Refrigeración De Vacunas.

Cada una de estas aplicaciones tienen un requerimiento de fiabilidad muy elevada, debido al elevado coste en el corte de suministro de energía en el uso de estas. Además, para eliminar los fallos suelen incorporarse un generador fotovoltaico y un acumulador electroquímico sobre dimensionado (Fonseca, Hernández, Acosta, & Rolón, 2022).

1.5. Energía Solar Fotovoltaica En Ecuador

Ecuador tiene un alto nivel de ignorancia sobre el uso de las energías renovables o alternativas, este desconocimiento se presenta a todo nivel, lo que origina desconfianza y esto a su vez un alto grado de resistencia para incursionar en proyectos de generación con energías renovables (Sulca & Paulino, 2019).

En Ecuador entidades como el CONELEC han comenzado a impulsar políticas energéticas, así como el estudio y ejecución de proyectos enfocados al uso de energías renovables, ya que estas se encuentran produciendo de forma continua, denominándolas inagotables para la humanidad; entre ellas las más importantes son: eólica, solar, hidráulica y biomasa (Marín, La energía solar fotovoltaica en España, 2019).

Las energías alternativas aportan a la conservación del medio ambiente, es decir causan un impacto negativo al ambiente, pero en menor medida que el uso de las fuentes de energía convencionales como el petróleo, gas, carbón, donde dicho impacto negativo es calificado como reversible (DIAZ N. Hedier, Analisis, Modelado, Simulación y Validacion de un sistema de generacion de energia solar autónomo., 2017).

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable no convencionales en la que más se ha trabajado en el país, en términos de área de cobertura y cantidad de proyectos. Sin embargo, los proyectos relacionados con este tipo fuente de suministro de energía son utilizados a pequeña escala.

En el año de 2008 el CONELEC publicó el primer Atlas Solar, el cual incluye la cuantificación del potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas mensuales de radiación directa, global. Esto ha permitido ubicar

proyectos locales de generación eléctrica: 2,8 MW, en fase de construcción, además, de 907,94 MW de otros proyectos potenciales. Además, se promueven proyectos fotovoltaicos con el fin de electrificar el área rural (Peláez & Esponiza, 2018).

Actualmente la generación fotovoltaica es escasa a comparación de la común y los sistemas instalados se encuentran ubicados en poblaciones rurales, donde no es posible abastecerse de energía eléctrica de las redes eléctricas de distribución (Marín, La energía solar fotovoltaica en España, 2019). Según datos del CONELEC (Sulca & Paulino, 2019), en el país habría instalada una potencia de 20 kW de energía fotovoltaica, estas cifras corresponden principalmente a los paneles instalados por el estado mediante diversos programas e instituciones estatales.

En la provincia de Morona Santiago, se encuentra en ejecución el proyecto Luz de Nuestro Sol, que busca instalar y dar mantenimiento continuo a 2.500 sistemas fotovoltaicos aislados. Estos sistemas tienen una potencia pico de 150 W, y están compuestos por dos paneles de 75 W, el diseño contempla una autonomía de tres días, con lo cual es posible iluminar 5 horas por día y el uso de un artefacto, como por ejemplo un radio (CENTROSUR, 2022).

En 2013 se conectó oficialmente la Central Fotovoltaica de Peragachi de 1 MW de potencia a la red ecuatoriana de electricidad, donde se constituye por 4.160 paneles fotovoltaico de 240 Wp, convirtiéndose en la primera planta solar en Ecuador. La planta ocupa 3,5 hectáreas y está ubicada en la provincia de Imbabura, una de las zonas con mayor irradiación solar de Ecuador (Gáleas, Mora, Freire, & León, 2020).

Un gran ejemplo es los proyectos de FEDETA. Modelo propio para solución de necesidades energéticas para poblaciones aisladas. Se ha puesto a prueba en más de 415 instalaciones de energía solar fotovoltaica, beneficiando a 13 comunidades indígenas de la Amazonía ecuatoriana (Marín, La energía solar fotovoltaica en España, 2019), que operan en buenas condiciones y son evaluadas constantemente por agentes nacionales e internacionales, estatales y privados.

1.6. Parámetros Que Influyen En Un Sistema Fotovoltaico

Según (Stadler, Wolfram, Carmona, & Orte, 2017), los niveles de radiación en la superficie terrestre dependen de factores como: la posición del sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmósfera, la reflexión terrestre, entre otras.

1.6.1. Ángulo De Incidencia De La Radiación Solar

Un estudio realizado por (Qamar, 2019) que buscaba implementar un proyecto solar en Pakistán indica que existen lugares donde la radiación solar dura entre 8 a 9 horas al día, lo que significa un potencial energético de 2,9 millones de megavatios anuales.

Este es el caso de Ecuador al estar localizado sobre la zona ecuatorial, donde los rayos solares caen más directamente que en las latitudes medias y la radiación solar resulta ser más intensa en esa área (Sulca & Paulino, 2019).

1.6.2. Temperatura De La Celda Fotovoltaica

En cuanto a temperatura se refiere, (Fernández, 2018) menciona que se considera que a alta temperatura se tendrá un mejor rendimiento del sistema fotovoltaico, pero ocurre lo contrario, debido a que la conductividad de los semiconductores aumenta al aumentar la temperatura, provocando que el campo eléctrico se aleje de la capa límite, dando como resultado una disminución de la tensión entre las dos capas.

1.7. Sistema solar fotovoltaico conectado a red

Este tipo de instalaciones consta de dos elementos principales, un generador fotovoltaico y un inversor, permitiendo que dicho sistema se conecte directamente a la red de distribución nacional. El inversor va instalado entre el generador fotovoltaico y el punto de conexión de la red.

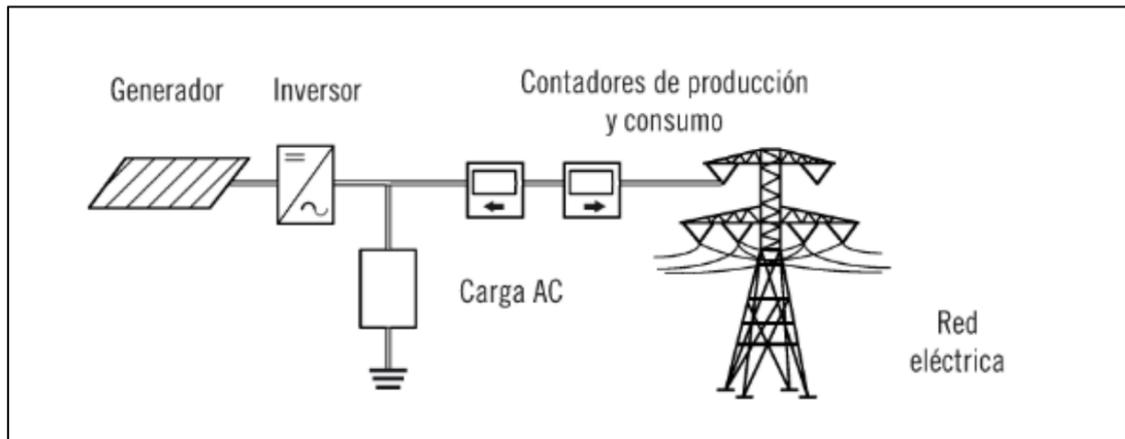
Es importante considerar ciertas protecciones y contadores de energía dentro de la instalación del sistema permitiendo que ayuden a determinar la energía que se está produciendo.

El objetivo de las protecciones es la de desconectar o conectar el suministro del sistema fotovoltaico o también si se dé el caso que la red eléctrica ponga en peligro la continuidad del suministro (Innovacion y Cualificacion, S. L, 2017).

Tal y como lo muestra la Figura 3 un SFV conectado a red cuenta con diferentes elementos que lo componen, el detalle y características técnicas de los elementos del SFV utilizado para el desarrollo de este trabajo de investigación se detallan a continuación.

Figura 3.

Conexión de un sistema solar a la red



Nota. Tomado de (Innovacion y Cualificacion, S. L, 2017).

1.7.1. Inversor Fotovoltaico

El inversor es un dispositivo encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna dentro de una instalación, este tiene ciertas especificaciones relacionadas a la tensión que debe generar y a la potencia proveniente de los paneles solares que debe ser capaz de soportar (Labarta, 2012). El desarrollo del presente trabajo de investigación emplea dos inversores, los cuales tienen características diferentes, los 2 inversores forman parte del SFV implementado en la empresa NORSOLAR S.C.C.

A. SMA SUNNY BOY

Es un inversor diseñado para reducir costos en cada etapa operacional del mismo, cuenta con tecnología solar SMA que optimiza el rendimiento del sistema, genera una mayor cantidad de energía y cuenta con sistemas automáticos para la reparación y mantenimiento (SMA, 2017), las especificaciones técnicas del inversor se detallan en su hoja de datos ANEXO C – INVERSOR FOTOVOLTAICO SMA SUNNY BOY.

B. GROWATT MIC 3000TL-X

Este es un inversor de calidad y con un diseño compacto que se conecta a la red eléctrica para poder inyectar la energía que producen las placas y ahorrar en la factura de la luz. La ventaja de este dispositivo es su relación calidad-precio y el contribuir sobre la red eléctrica gracias a la energía que proporcionan los paneles solares (GROWATT, 2022). Las características técnicas del dispositivo se detallan en el ANEXO B – INVERSOR FOTOVOLTAICO GROWATT MIN3000 TL-X.

1.7.2. Panel Fotovoltaico

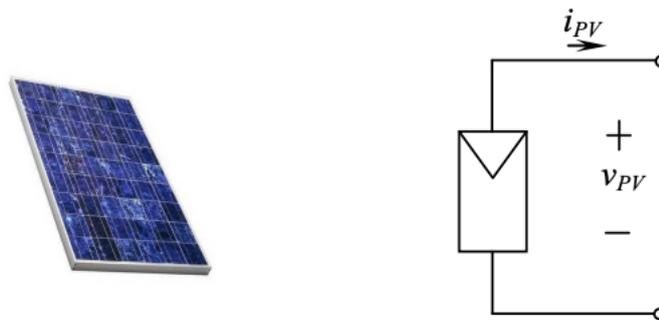
Está formado por un conjunto de células conectadas eléctricamente en serie o paralelo hasta obtener los valores de voltaje y corriente deseados, a su vez estas se encuentran encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte (Chavarría, 2010). Existen tres tipos de paneles solares.

- Monocristalino
- Policristalino
- Amorfo

La simbología de los paneles fotovoltaicos es la mostrada en la Figura 4.

Figura 4.

Símbolos utilizados para el panel fotovoltaico



Nota. Tomado de (Chavarría, 2010)

A. TRINA SOLAR VERTEX TSM-DE18M(II) de 500W

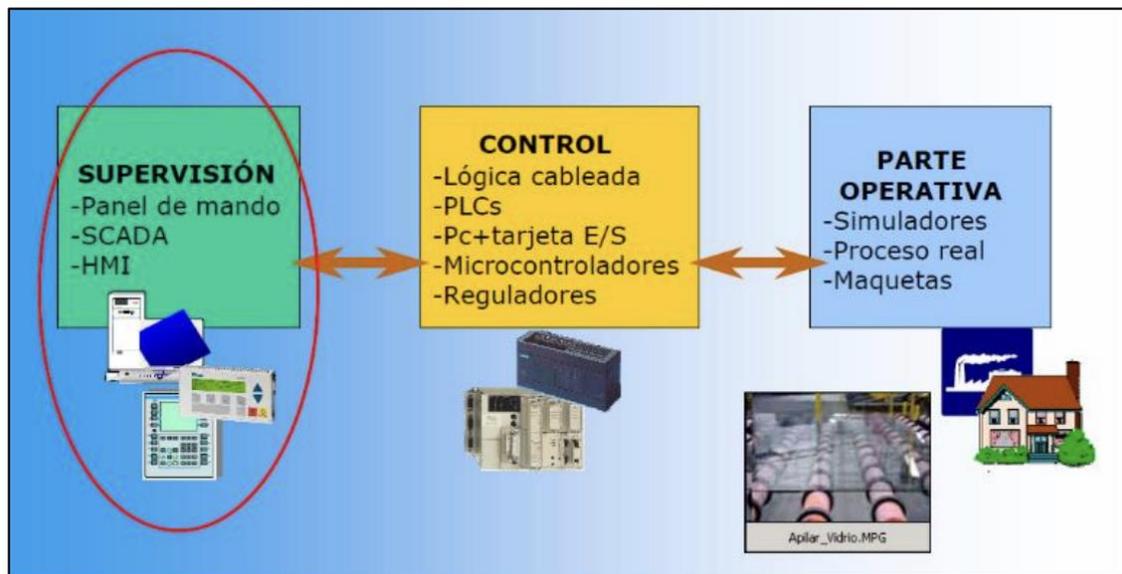
Es un módulo fotovoltaico monocristalino con cables largos y de marco plateado, posee una tecnología Half-Cut Cell, características innovadoras que permiten una mayor potencia de los módulos. La tecnología multi-busbar con capacidad para aumentar la absorción de luz, encaja perfectamente con la célula de gran superficie (Trina Solar, 2022). Las características técnicas de la placa solar se detallan en el ANEXO A – PANEL FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR VERTEX.

1.8. Herramientas De Monitorización, Optimización Y Control

Según (Suárez, 2018) un sistema de control y monitoreo debe estar conformado por tres partes esenciales, supervisión, control y parte operativa, tal y como se muestra en la Figura 5.

Figura 5.

Sistema de monitoreo y control



Nota. Tomado de (Suárez, 2018)

1.8.1. Monitorización

Este proceso en general permite observar en tiempo real los datos obtenidos durante el proceso de adquisición del sistema (Junco & Rabelo, 2018). Además, dentro de un sistema este proceso genera una serie de advertencias, evitando problemas dentro del ciclo o proceso normal, se debe utilizar tecnología normalizada, en este caso se emplea un panel de mando, un sistema SCADA o un HMI (Semantic Systems, 2018).

Un HMI permite la interacción entre el usuario y algún hardware en específico, se debe mostrar los datos básicos de todos los sistemas de control de procesos mediante el uso de componentes gráficos y digitales, de la misma manera los términos deben ser claros para la comprensión del usuario final (Ortiz & Cáceres, 2015). En resumen, un HMI debe proporcionar una explicación transparente y oportuna en tiempo real de lo que ocurre en el proceso.

1.8.2. Sensor de radiación (Piranómetro)

El piranómetro mostrado en la Figura 6, es un instrumento empleado para medir la radiación solar global entre 0 y 1500 W/m², funciona como termopila, es decir absorbe la radiación y la transforma en calor para medirla (Perdigones, Peralta, Nolasco, Muñoz, & Pacual, 2019). Generalmente se utilizan tres medidas de radiación: semiesférica total, difusa y directa. Para las medidas de radiación difusa y semiesférica la radiación directa se suprime utilizando un disco parasol.

Figura 6.

Piranómetro



1.8.3. Sensor de temperatura (PT100)

Es un tipo de resistencia eléctrica donde un conductor metálico aumenta con la temperatura, por lo que es posible realizar sensores metálicos de temperatura siempre que se puedan relacionar fácilmente las respectivas variaciones entre los 100 ohmios a 0°C y 138,5 ohmios a los 100°C.

Una ventaja de las sondas Pt100 mostrado en la Figura 7, es que la distancia entre sensor y sistema de adquisición de datos no influye en la medida; además, cuenta con una protección categorizada IP54 (Perdigones, Peralta, Nolasco, Muñoz, & Pacual, 2019).

Figura 7.

Sensor de temperatura PT100



1.8.4. Seguidor Solar de un solo eje.

Un medio para lograr una optimización del sistema fotovoltaico es conocido como seguidor solar, dicho dispositivo está conformado por una parte fija y una móvil, permite la captación de radiación solar de manera maximizada, debido a la superficie

que posee para permanecer perpendicular a los rayos del sol durante el día (Mejia, Londoño, & Osorio, 2019).

El seguidor solar de un solo eje es uno de los dispositivos de más uso por su menor grado de complejidad y costos bajos en comparación a los demás, este tipo de instrumento tiene una limitación para realizar un seguimiento completo al sol, es decir solo puede seguir la inclinación solar o el azimut de manera individual (Mejia, Londoño, & Osorio, 2019).

- **Sistema de control del seguidor solar**

El sistema de control del seguidor solar tiene el objetivo de recibir y enviar las señales de los distintos componentes, manejando instrucciones específicas a partir de la adquisición de información obtenida. Un sistema de control es el ordenamiento de componentes físicos conectados de tal manera que puedan dirigirse o regularse a sí mismo o a otro sistema, las tecnologías usadas en los sistemas de control son los PLC o también el uso de microcontroladores (Caguao & Hernandez, 2018).

Un controlador lógico programable es una máquina electrónica programable que realiza funciones de automatización lógica incorporando funciones especiales no solo para procesamiento lógico, sino también para cálculo numérico, retroalimentación, y regulación PID (Pérez & Gomez, 2018).

1.8.5. Actuadores lineales

Los actuadores lineales están compuestos de un motor eléctrico constituido por un tornillo sinfín y varios engranajes; dicho tornillo desplaza un émbolo o vástago que, dependiendo del sentido de giro del motor, podrá retraerse o extenderse. No obstante, la desventaja que presentan es que carecen de altas velocidades de desplazamiento (Cánovas, 2020). Los tipos de actuadores lineales se pueden dividir en:

- Hidráulicos: transforma en energía mecánica la energía hidráulica que recibe.
- Neumáticos: transforma un movimiento de rotación en la entrada en un movimiento lineal a la salida.
- Eléctricos: transforman señales eléctricas en movimientos mecánicos, tienen la principal ventaja de carecer de restricciones de distancia entre el actuador y la fuente de energía.

1.8.6. Arduino

Esta es una plataforma de código abierto, dispone de diferentes tarjetas de procesamiento capaces de leer señales analógicas y digitales, y manejar dicha

información a través de instrucciones, mediante lenguaje de programación del microcontrolador.

El microcontrolador Arduino UNO mostrado en la figura 14, se basa en ATmega 328, tiene 14 entradas y salidas digitales, de las cuales se puede usar 6 pines como salida PWM y 6 entradas analógicas (Hidayanti, Rahmah, & Agosto, 2020).

Además, presenta un oscilador de Cristal de 16 MHz, encabezado ICSP y un botón de reinicio, dicho microcontrolador funciona con un voltaje de 5 V que se utiliza como un convertidor de USB a serie para la comunicación en serie con la computadora a través del puerto USB (Hidayanti, Rahmah, & Agosto, 2020). Por otro lado, hay que considerar las especificaciones técnicas del microcontrolador presentado, las cuales se muestran de manera detallada en la Tabla 2.

Tabla 2.

Especificaciones de microcontrolador Arduino ATmega 328

Características	Magnitudes
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada recomendado	7-12V
Voltaje de entrada límite	6-20V
E/S digitales	14
Entradas analógicas	6
Corriente CC por pin E/S	40mA
Corriente cc por pin 3,3V	150mA
Memoria Flash	32KB
Velocidad del reloj	16MHz

Nota. Tomado de (Saucedo, 2018).

Capítulo II

Metodología

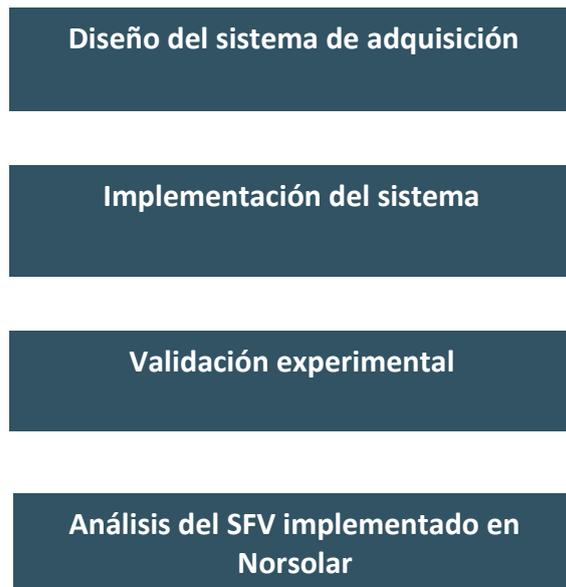
En este capítulo se describe el proceso de investigación y aplicación tecnológica llevada a cabo; el cumplimiento de los objetivos planteados y el diseño de un sistema para la adquisición de datos relacionados con el ángulo de incidencia y temperatura del sistema fotovoltaico implementado.

2.1. Modelo De Investigación Aplicado

Dentro del desarrollo del presente trabajo se ha implementado un modelo de investigación que se basa en una investigación bibliográfica, científica y aplicada, la cual se muestra de manera secuencial y detallada en la Figura 8.

Figura 8.

Esquema de Metodología Aplicada.



2.2. Descripción Del Lugar De Estudio

El presente proyecto se ha implementado sobre un sistema fotovoltaico de la empresa NORSOLAR ubicado en la ciudad de Ibarra, provincia Imbabura – Ecuador; cabe mencionar que la ciudad de Ibarra cuenta con abundante recurso solar.

Figura 9.

Ubicación geográfica del SFV



Nota. Tomada de Google Maps.

La Figura 9 muestra una imagen satelital de la ubicación geográfica de la edificación cuya dirección es la esquina de las calles Eduardo Almeida Proaño y José Migue Leoro; esto es en el sector de Yacucalle, a media cuadra del parque de “La Familia”, los paneles solares se encuentran colocados en la terraza del inmueble de la empresa NORSOLAR S.C.C.

Figura 10.

Disposición de las placas solares en la terraza de la empresa NORSOLAR S.C.C.



Los paneles solares cuentan con una orientación ESTE-OESTE con una inclinación de 45° con respecto al eje horizontal, sin embargo, la orientación cambia dependiendo de la ubicación del sol, este movimiento es posible gracias a que el sistema cuenta con un sistema

de seguimiento solar, en la sección 2.3.4 se detalla el funcionamiento y los componentes del seguidor, esto se muestra en la Figura 10.

2.3. Análisis Del SFV Implementado En Norsolar

En esta sección del capítulo se detalla los componentes, dispositivos, características técnicas y conexiones eléctricas que posee el SFV instalado en la empresa NORSOLAR S.C.C. Además, se muestran los sistemas que el SFV ya posee (monitoreo, seguidor solar), su lógica de funcionamiento, parámetros de lectura y alcance con los que cuenta cada uno de estos sistemas.

2.3.1. Componentes Del SFV Conectado A Red

El SFV de 4kWp de la empresa NORSOLAR está compuesto por los siguientes dispositivos:

- 8 paneles TRINA SOLAR Vertex TSM-DE18M(II) de 500W,
- 1 inversor SMA Sunny Boy de 5kW,
- 1 inversor GROWATT MIC 3000TL-X de 3kW,
- 1 seguidor solar con una inclinación máxima de 45° sobre el panel fotovoltaico,
- 1 PLC SIEMENS LOGO 8! 12/24RCE,
- 1 caja de protecciones.

El sistema fotovoltaico posee una particularidad, la potencia total del sistema es de 4 kWp, sin embargo, cabe mencionar que esta potencia se divide en los 2 inversores, cada inversor cuenta con 2kWp de potencia en paneles, o lo que es lo mismo, cada uno de los inversores cuenta con 4 paneles fotovoltaicos de 500W encargados de la generación de energía fotovoltaica.

La Figura 11 es una imagen real de los inversores, la caja de protecciones y el control del seguidor solar que se encuentra instalado en las oficinas de la empresa NORSOLAR; en esta imagen se observa los 2 inversores fotovoltaicos, la caja del PLC y la caja de protecciones.

Figura 11.

Monitoreo del sistema fotovoltaico implementado



Las placas solares se encuentran montadas sobre la estructura del seguidor solar anclada a la terraza de las oficinas de la empresa, la Figura 12 es una toma de los paneles solares con un grado de inclinación de aproximadamente 15°, cabe mencionar que, el motivo de este grado de inclinación se debe a que la fotografía fue capturada alrededor de las 11 am.

Figura 12.

Paneles solares TRINA SOLAR de 500Watts



2.3.2. Sistema de Monitoreo

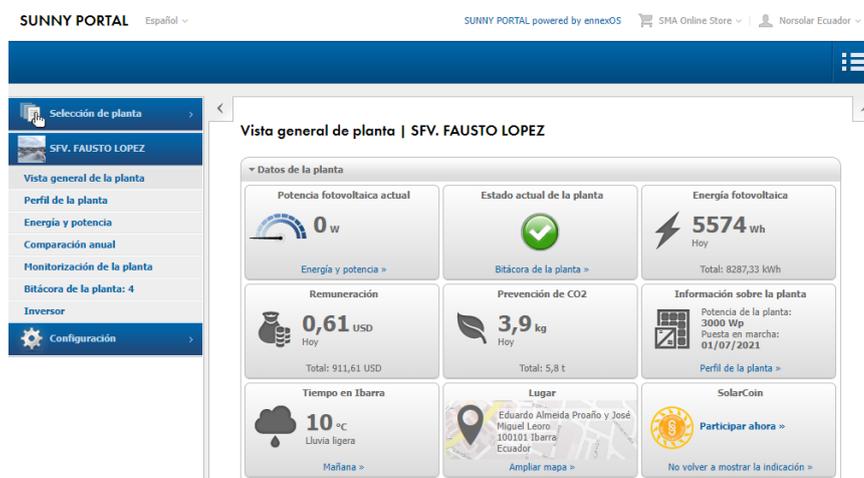
El SFV cuenta con un sistema de monitoreo propio de las marcas, en este caso particular el SFV cuenta con 2 sistemas de monitoreo, esto se debe a que, el sistema posee 2 inversores de diferentes marcas.

El inversor de la marca SMA cuenta con una plataforma de monitoreo virtual que la marca denomina “Sunny Portal”, la interfaz principal se muestra en la Figura 13. Tal y como se muestra en la figura la interfaz es amigable para el usuario y, muestra en su pantalla principal los datos más relevantes para que el instalador o usuario sea capaz de conocer aspectos como:

- Potencia fotovoltaica actual,
- Estado actual de la planta,
- Producción de energía fotovoltaica del día,
- Remuneración,
- Prevención de CO2 del día,
- Información de la planta,
- Tiempo en la ciudad de la instalación,
- Lugar geográfico específico donde la planta se instaló,
- Solar Coin.

Figura 13.

Interfaz de la plataforma de monitoreo Sunny Portal



Nota. Tomada de la plataforma Sunny Portal.

Además, la interfaz cuenta con un historial capaz de mostrar la producción fotovoltaica a lo largo del día, mes, año y total desde que la planta fue puesta en marcha; las gráficas que ofrece la plataforma se muestran en la Figura 14.

Figura 14.

Historial de día, mes, año y total de energía generada por el SFV



Nota. Tomada de Sunny Portal

El SFV de NORSOLAR al contar con un segundo inversor de la marca GROWATT posee un segundo sistema de monitoreo propio de la marca, dicho sistema de monitoreo es denominado “server.growatt”, la interfaz de este sistema de monitoreo que se muestra en la Figura 15 es amigable para instalador y usuario, sin embargo, no ofrece tanta información, la plataforma permite observar los siguientes datos:

- Gráfica de rendimiento de producción fotovoltaica diaria,
- Energía generada en el día,
- Energía total generada desde que la puesta en marcha del sistema,
- Ahorro diario,
- Ahorro total desde la puesta en marcha del SFV.

Figura 15.

Interfaz de monitoreo de la plataforma de GROWATT

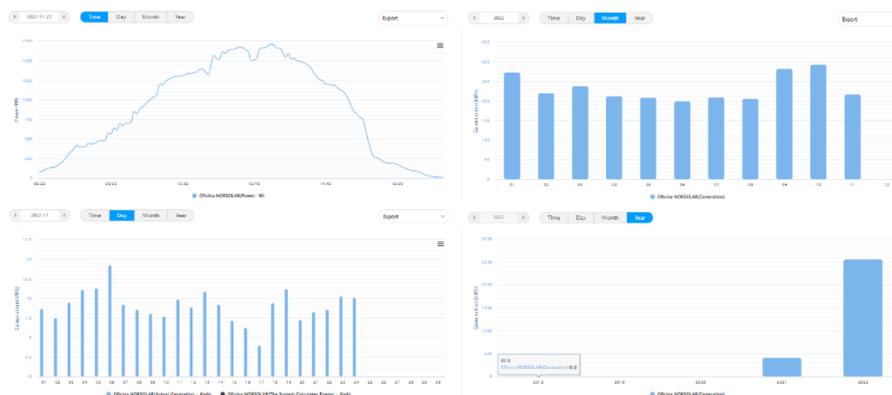


Nota. Tomada de Growatt Server

La plataforma de GROWATT ofrece un histórico de la generación energética, existen diferentes opciones de visualización de esta información tal y como se puede observar en la Figura 16; la plataforma ofrece la posibilidad de visualizar la energía fotovoltaica generada desde la puesta en marcha del sistema en el formato de rendimiento diario, mensual, anual y total.

Figura 16.

Gráficos de los históricos diarios, mensuales, anuales y total



Nota. Gráficas tomadas de Growatt Server.

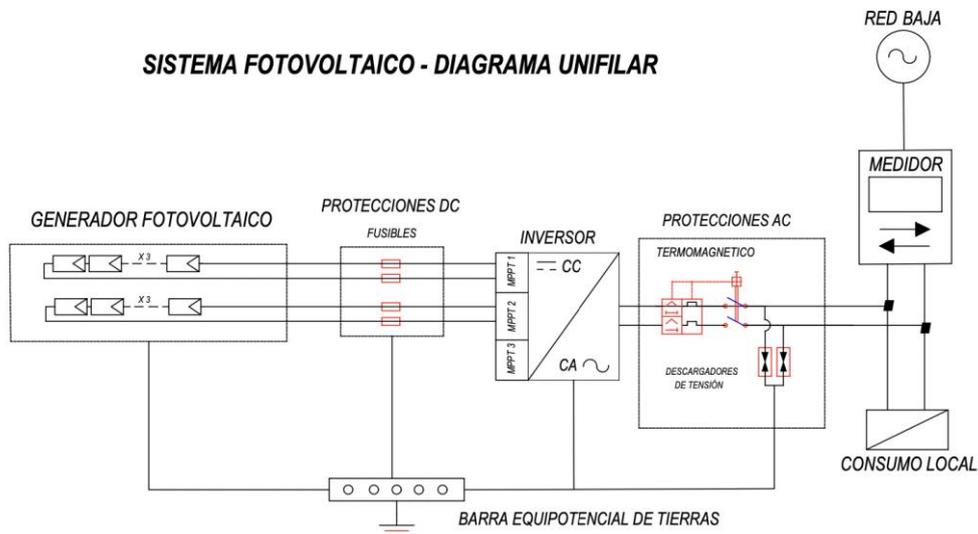
2.3.3. Conexiones eléctricas

En la Figura 17 se presenta el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico. Como se muestra en el diagrama de conexión el generador fotovoltaico (paneles solares) se conecta a los inversores por medio de fusibles; estos dispositivos cumplen la función de protección ante la posibilidad de sobrecargas de energía que pudieran afectar al inversor fotovoltaico. La

energía AC útil transformada por los inversores es protegida por protecciones termomagnéticas y entregada a la red de distribución eléctrica del inmueble.

Figura 17.

Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico



Dentro del diagrama unifilar se observa como el punto de entrega de la energía generada se localiza antes del medidor bidireccional, esto es así debido a que, si la energía generada supera al consumo local, su excedente se verterá a la red de distribución eléctrica de la empresa distribuidora encargada, en este caso EMELNORTE.

2.3.4. Seguidor Solar

El seguidor solar con el que cuenta el SFV es un sistema que actúa sobre un solo eje, el eje de rotación del seguidor solar se encuentra sobre las coordenadas Norte-Sur, de esta manera los paneles solares poseen un movimiento que va de ESTE a OESTE, es decir, siguen la trayectoria solar.

No es necesaria la implementación de un segundo eje de movilidad ya que, en el país por encontrarse sobre la línea del Ecuador la trayectoria solar es muy similar a lo largo de todo el año.

Los dispositivos que componen el sistema de seguimiento son:

- Estructura de acero galvanizado,
- Actuador lineal de 900 N,
- PLC SIEMENS LOGO 8! 12/24RCE,
- Tablero con indicadores, pulsadores y selector de modo de operación.

El seguidor solar cuenta con 2 modos de operación manual y automático.

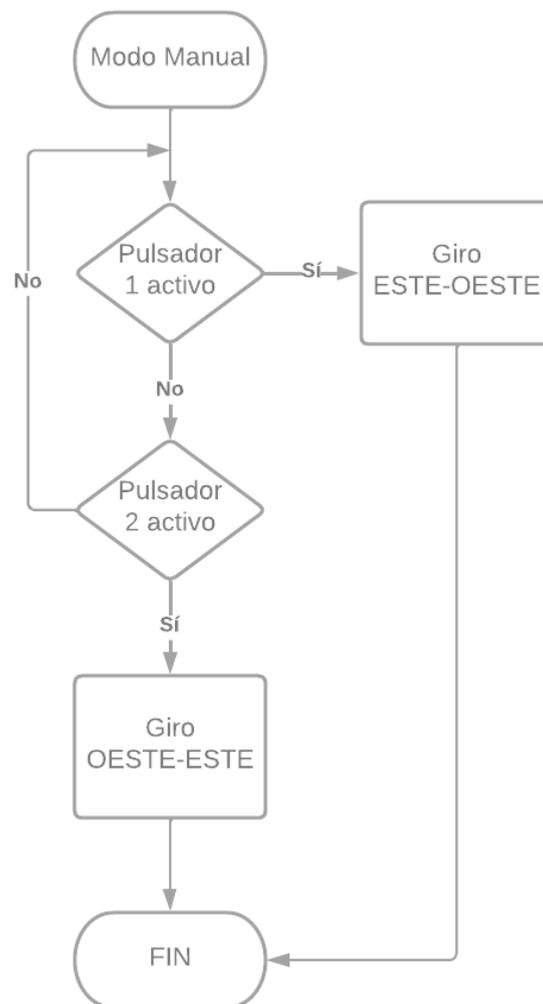
2.3.4.1. Modo manual del seguidor solar.

El modo manual del seguidor solar ofrece la posibilidad de posicionar los paneles solares en la posición que al operario le parezca más conveniente, el tablero de control manual cuenta con 2 pulsadores, los mismos tienen la función de controlar la inclinación en 2 direcciones; realizar un giro de ESTE-OESTE y OESTE-ESTE.

La Figura 18 presenta el diagrama de flujo del modo manual del seguidor solar, en ella se observa claramente como se produce la elección del sentido de giro al accionar el pulsador 1 para un giro ESTE-OESTE, mientras que el pulsador 2 se activa para accionar el giro OESTE-ESTE.

Figura 18.

Diagrama de flujo del modo manual del seguidor solar



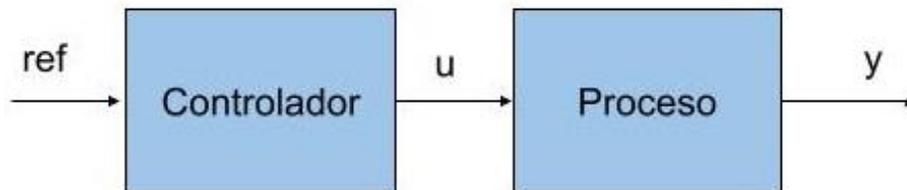
La lógica que sigue el diagrama de flujo es la misma que se usó en la programación del autómatas encargado de realizar el control del Elemento Final de Control (EFC), el mismo que en el sistema del seguidor solar se refiere al actuador lineal de 900N.

2.3.4.2. Modo Automático del seguidor solar.

El modo automático es controlado por medio del autómatas de la marca SIEMENS, el seguidor solar es un proceso de lazo abierto. El seguidor es un proceso de lazo abierto debido a que no cuenta con ningún tipo de sensor que se encargue de retroalimentar al controlador. El esquema del proceso del seguidor solar se muestra en la Figura 19.

Figura 19.

Esquema del proceso en lazo abierto



Donde:

- ref: es la posición de referencia del seguidor solar según el horario programado,
- u: es la señal del controlador (PLC),
- y: es la posición del seguidor solar.

La Figura 20 muestra el diagrama de flujo del proceso que sigue el seguidor solar, como se puede observar y, tal como se había mencionado, el seguidor es un sistema de lazo abierto que cambia la posición de las placas solares dependiendo del horario.

Figura 20.

Diagrama de flujo del modo automáticos del seguidor solar



2.4. Sistema De Adquisición De Temperatura Y Ángulo De Incidencia De La Radiación

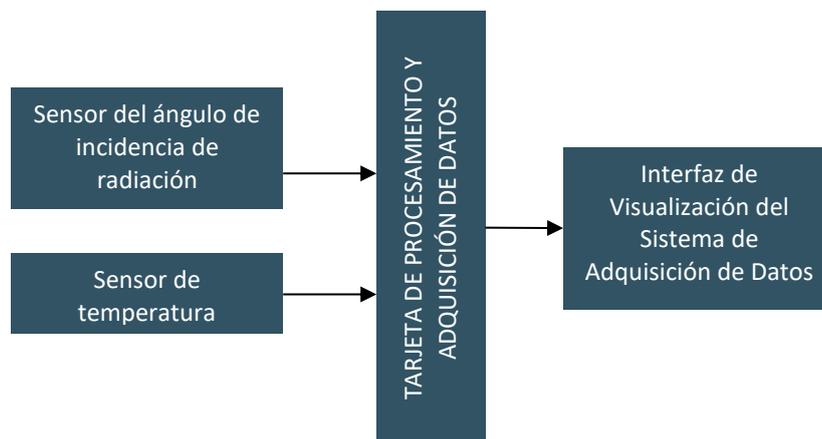
En esta sección del capítulo se detalla cada uno de los procedimientos que se siguió para el diseño del sistema de adquisición de datos de temperatura y ángulo de incidencia de la radiación solar que se instalará e implementará en el SFV de la empresa NORSOLAR S.C.C.

2.4.1. Esquema Del Diseño Del Sistema De Adquisición De Datos

A través de un diagrama de bloques se presentan los procesos funcionales que posee el sistema de adquisición de temperatura y radiación. El diagrama de bloques mencionado se muestra en la Figura 21.

Figura 21.

Diagrama de bloques del sistema de adquisición



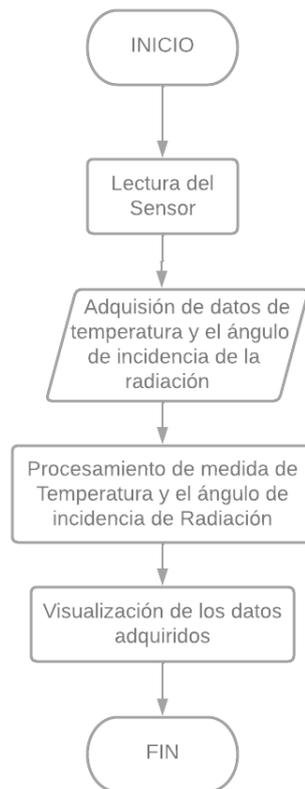
En el diagrama de bloques muestra el flujo de información y la jerarquía lógica del diseño de él sistema de adquisición.

2.4.2. Descripción general del sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos tiene el objetivo de determinar los valores de temperatura y ángulo de incidencia de la radiación; siendo estas variables las que más inciden sobre el rendimiento de un SFV. Se plantea el uso de un sensor del ángulo de incidencia de la radiación y otro de temperatura, los datos proporcionados serán adquiridos y procesados a través de una placa de adquisición de datos, el diagrama de flujo se muestra en la Figura 22.

Figura 22.

Descripción general del sistema de adquisición



El sistema inicia con la toma de datos por parte de los sensores del ángulo de incidencia de radiación y temperatura, los datos obtenidos son transmitidos a la tarjeta de adquisición donde son procesados y sus magnitudes son convertidas en unidades de $^{\circ}\text{C}$ en lo que se refiere a unidades de temperatura y W/m^2 en lo que compete a unidades de radiación solar.

En las siguientes secciones se realizará la elección de los elementos que conformarán el sistema de adquisición.

2.4.3. Selección Del Microcontrolador Por El Método De Criterios Ponderados

A la hora de la selección de los elementos del sistema de adquisición se ha empleado el método de criterios ponderados, el cual permite determinar la mejor alternativa en función de las características comunes. Para determinar esto se utiliza un valor de ponderación según las escalas mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3.*Valores de ponderación*

Escala	Ponderación
Mejor	1
Igual	0,5
Peor	0

Para la evaluación y selección de los elementos del sistema se emplean los siguientes criterios cuantitativos y cualitativos.

- **Costo:** Fácil adquisición del usuario en el mercado más cercano.
- **Accesibilidad:** Considerar que los elementos utilizados sean fáciles de reemplazar e instalar en el sistema fotovoltaico.
- **Obtención:** Facilidad y eficiencia en el manejo de los datos deseados.

El factor de ponderación (FP) se obtiene tras realizar una relación entre la suma de cada fila y el total de la columna como se muestra en la Ecuación 1:

$$FP = \frac{\Sigma + 1}{Total} \quad \text{Ecuación 1}$$

2.4.3.1. Evaluación De Los Criterios Establecidos Para La Selección

A partir de lo mostrado en la Tabla 3, se determina que el criterio de mayor relevancia es la obtención de los parámetros deseados para el sistema, seguido de la accesibilidad de los elementos en el mercado y finalmente el costo de adquisición.

Tabla 4.*Ponderación de los criterios establecidos para la selección*

Criterio	Costo	Accesibilidad	Obtención	Σ+1	FP
Costo	-	0	0	1	0,17
Accesibilidad	1	-	0	2	0,33
Obtención	1	1	-	3	0,5
Total				6	

Existen diversas opciones de dispositivos de control en el mercado, de los cuales se ha escogido tres alternativas para evaluarlas de acuerdo con el método de criterios establecidos en la Tabla 4.

Para implementar el método de criterios ponderados se ha de relacionar los criterios establecidos con las alternativas del mercado, tomando en cuenta que en el cálculo de peso de la opción (PO) de cada parámetro se utiliza la misma ecuación del factor de ponderación (FP).

2.4.3.2. Evaluación De Las Alternativas Bajo El Criterio De Costo

A partir de la Tabla 5, se determina que el controlador PIC 16F887 tiene un costo accesible a comparación de los demás propuestos.

Tabla 5.

Evaluación del criterio del costo en las alternativas

Costo	Arduino UNO	PLC Logo	PIC 16F887	$\Sigma+1$	PO
Arduino UNO	-	1	0	2	0,33
PLC Logo	0	-	0	1	0,17
PIC 16F887	1	1	-	3	0,5
Total				6	

2.4.3.3. Evaluación De Las Alternativas Bajo El Criterio De Accesibilidad

En la Tabla 6 se determina que el controlador con mayor accesibilidad en el mercado nacional es el Arduino UNO, seguido del PIC 16F887 y el PLC Logo.

Tabla 6.

Evaluación del criterio de accesibilidad en las alternativas

Accesibilidad	Arduino UNO	PLC Logo	PIC 16F887	$\Sigma+1$	PO
Arduino UNO	-	1	0,5	2,5	0,42
PLC Logo	0	-	0	1	0,16
PIC 16F887	0,5	1	-	2,5	0,42
Total				6	

2.4.3.4. Evaluación De Las Alternativas Bajo El Criterio De Obtención

De acuerdo con la evaluación realizada, además, al tener en cuenta que el criterio de obtención es el que más peso posee al momento de decantarse por una de las alternativas presentadas, se determina de la Tabla 7 que el controlador más eficiente es el Arduino UNO.

Tabla 7.

Evaluación del criterio de obtención en las alternativas

Obtención	Arduino UNO	PLC Logo	PIC 16F887	$\Sigma+1$	PO
Arduino UNO	-	1	1	3	0,5
PLC Logo	0	-	1	2	0,33
PIC 16F887	0	0	-	1	0,17
Total				6	

Una vez realizada la evaluación por medio del método de criterios ponderados se determinó que el controlador que satisface mejor las necesidades es el Arduino Uno, para determinar los valores de la Tabla 8 y establecer las prioridades se multiplica el valor de cada criterio con el peso determinado en la Tabla 4.

Tabla 8

Evaluación de las alternativas

Criterio	Costo	Accesibilidad	Obtención	Σ	Prioridad
Arduino UNO	0,06	0,14	0,25	0,45	1
PLC Logo	0,03	0,05	0,17	0,25	3
PIC 16F887	0,09	0,14	0,09	0,32	2

2.4.3.5. Matriz Morfológica

A continuación, en la Tabla 9 se observa una matriz morfológica en la que se plantea las diferentes alternativas de solución para la selección de los controladores, así como el lenguaje de programación a utilizar.

Tabla 9.*Matriz morfológica del microcontrolador*

Componente	Alternativas		
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Microcontrolador	Arduino UNO	PIC	PLC logo
Software de programación	Arduino IDE	C++	Ladder

Se determinó que la alternativa A es la más adecuada, debido a la facilidad de acceso en el mercado, el costo que representa, el abundante flujo de información con respecto a la programación, la capacidad de memoria que brinda y su enfoque multidisciplinario. Además, es necesario considerar la optimización del sistema, ya que, el dispositivo trabaja con una gran cantidad de datos en tiempo real, por lo que, se utiliza esta tarjeta electrónica.

2.5. Selección Del Sensor De Temperatura

Los datos de temperatura de las placas solares provienen de un sensor de temperatura colocado directamente sobre la superficie de estas; se consideró 3 opciones de sensores, se utiliza el método de matriz de ponderación para realizar la elección del sensor, la matriz se muestra en la Tabla 10.

Los criterios de elección considerados fueron:

- **Accesibilidad.** – Se refiere a la disponibilidad en el mercado del elemento,
- **Confiabilidad.** – Este criterio se refiere al grado de veracidad y margen de error que ofrece cada uno de los elementos,
- **Robustez.** – Contar con un elemento robusto capaz de soportar las condiciones climáticas a las que va a estar sometido es muy importante.

Tabla 10.*Matriz de ponderación del sensor de temperatura*

Sensor	Accesibilidad	Confiabilidad	Robustez	Total
PT100	1	1	2	4
PT1000	0	1	2	3
LM35	2	0	0	2

Al elaborar la matriz de ponderación los resultados arrojan al sensor de temperatura PT100 como el elemento idóneo a ser implementado en el sistema de adquisición, los datos técnicos del sensor se detallan en el ANEXO E – SENSOR DE TEMPERATURA PT100.

2.6. Selección Del Sensor De Ángulo De Incidencia De Radiación

El sensor de ángulo de incidencia solar es un elemento de difícil acceso en el mercado nacional por su falta de disponibilidad; un sensor que satisfaga las necesidades de lectura del ángulo de incidencia de radiación es el dispositivo denominado Piranómetro, siendo este sensor el considerado para el diseño del sistema de adquisición. Los datos técnicos del piranómetro se presentan en el ANEXO D – PIRANÓMETRO.

2.7. Programa del Sistema de Adquisición

El sistema de adquisición toma la lectura de los sensores cada 15 minutos, el intervalo de tiempo elegido se toma a partir del criterio del movimiento solar y que, su traslado no requiere de intervalos de tiempo más pequeños.

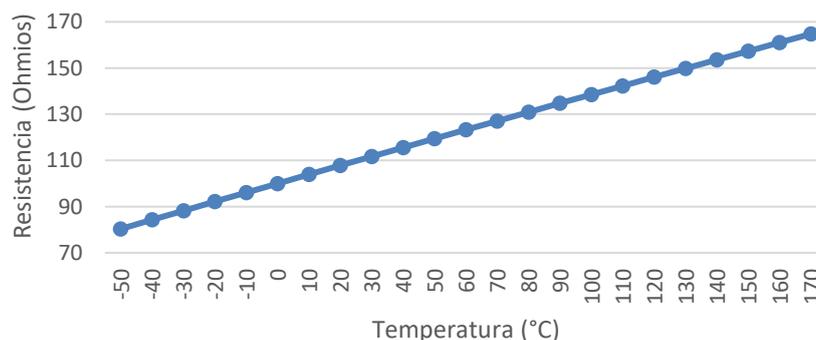
- **Sistema de Lectura de Temperatura de la Placa Solar**

El sistema de lectura de temperatura del panel solar se realizó con el controlador Arduino y el sensor de temperatura PT100. El código del programa implementado en el controlador se muestra en el ANEXO F – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN.

Cabe mencionar que para realizar el proceso de lectura del sensor de temperatura PT100, hizo falta utilizar los datos proporcionados en la tabla de equivalencia del sensor, en ella se detalla los valores de la resistencia (ohmios) y su equivalente en grados centígrados, esta tabla se muestra en el ANEXO E – SENSOR DE TEMPERATURA PT100, los cálculos requeridos para este proceso se detallan en el código de programación del sistema de adquisición.

Figura 23

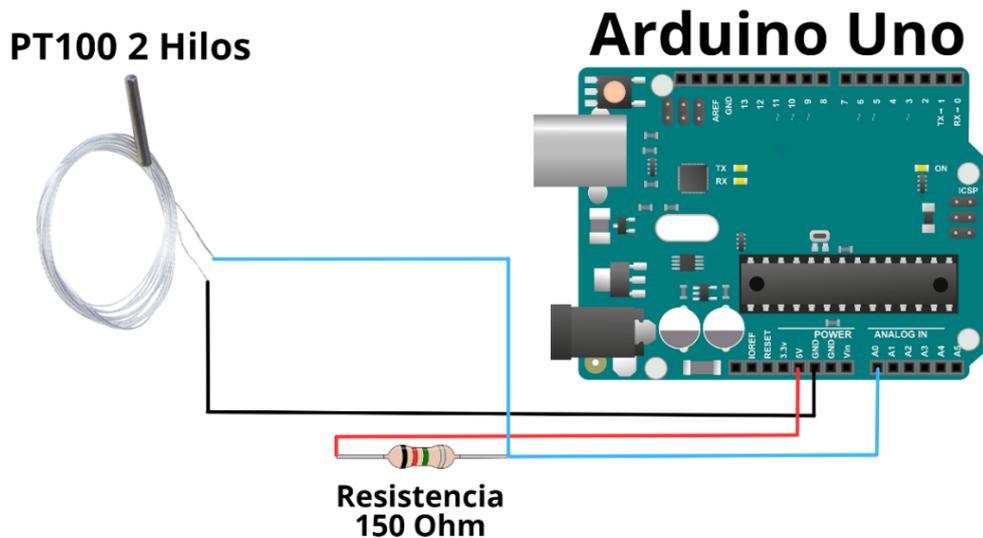
Curva de equivalencia del sensor PT100



La muestra traza la curva que representa los valores en ohmios del sensor y sus respectivos equivalentes en grados centígrados, estos valores fueron tomados directamente de la hoja de datos del sensor y, son los que fueron utilizados en el sistema de adquisición para obtener los datos de temperatura de la placa fotovoltaica.

Figura 24

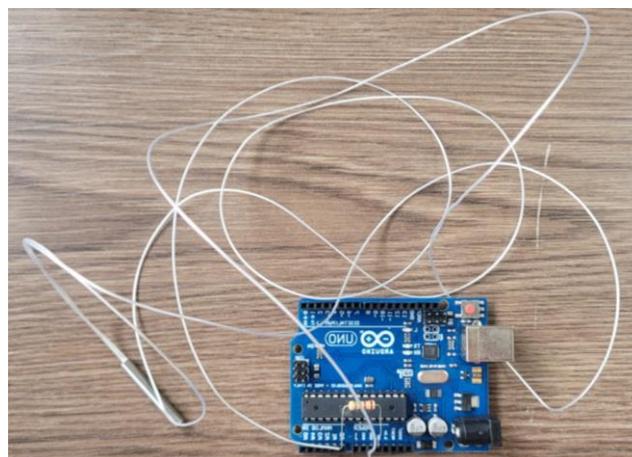
Diagrama de conexión del sistema de adquisición de temperatura



El diagrama de conexión del sistema se muestra en la Figura 24, además, se utilizó una resistencia de 150 Ohm, recomendada por el fabricante, para estos rangos de temperatura.

Figura 25.

Componentes reales del Sistema de Monitorización



Los dispositivos reales que componen el sistema de monitoreo de la temperatura se muestran en la Figura 25, en la figura se observa el ARDUINO UNO, el sensor de temperatura

PT100 y la resistencia de 150 Ohmios. Las conexiones se realizaron según el diagrama de la Figura 24.

El sistema de adquisición fue montado en el tablero de control del sistema de seguimiento solar con el que cuenta la empresa, el montaje final del sistema se muestra en la Figura 26; en la figura se aprecia la tarjeta de adquisición conectada a la fuente de poder de 12V.

Figura 26.

Sistema de seguimiento Montado en el tablero de control



La señal de temperatura es transmitida a través de un conductor que, conecta el sensor de temperatura ubicado sobre la superficie de las placas fotovoltaicas (tal y como se observa en la Figura 27 y en la Figura 31) con la placa de Arduino, el conductor va desde las placas fotovoltaicas, pasa por una caja de conexiones ubicada en la terraza del inmueble (Figura 28) para finalmente llegar al tablero de control mostrado en la Figura 26.

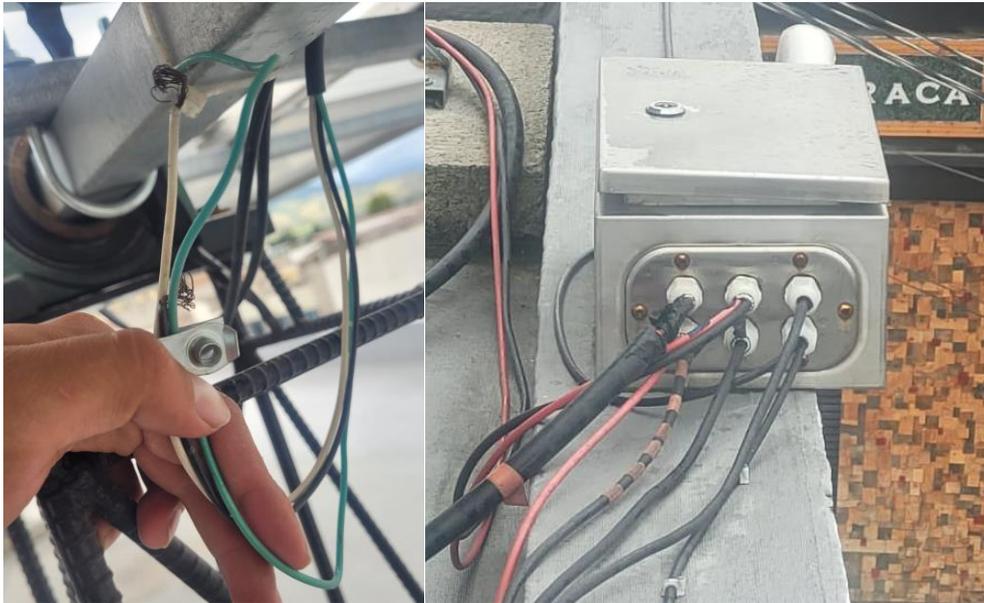
Figura 27.

Sensor de temperatura del sistema de adquisición



Figura 28.

Conexiones del conductor de sensor de temperatura



La toma y lectura de datos del sistema se realizó directamente con el IDE de Arduino; en la Figura 29 se muestra la pantalla de lectura del sistema, en ella se observa la hora de la lectura del dato, el valor tomado del sensor de temperatura y el valor de la Temperatura en °C.

Figura 29.

Interfaz del sistema de lectura de temperatura

```
COM6
10:03:29.290 -> Sensor PT100 = 31      Temperatura = 19.00°C
10:08:29.690 -> Sensor PT100 = 30      Temperatura = 20.00°C
10:13:30.106 -> Sensor PT100 = 26      Temperatura = 24.00°C
10:18:30.531 -> Sensor PT100 = 27      Temperatura = 23.00°C
10:23:30.915 -> Sensor PT100 = 34      Temperatura = 16.00°C
10:28:31.355 -> Sensor PT100 = 30      Temperatura = 20.00°C
10:33:31.758 -> Sensor PT100 = 32      Temperatura = 18.00°C
10:38:32.186 -> Sensor PT100 = 32      Temperatura = 18.00°C
10:43:32.597 -> Sensor PT100 = 29      Temperatura = 21.00°C
10:48:32.991 -> Sensor PT100 = 27      Temperatura = 23.00°C
10:53:33.420 -> Sensor PT100 = 33      Temperatura = 17.00°C
10:58:33.814 -> Sensor PT100 = 31      Temperatura = 19.00°C
11:03:34.224 -> Sensor PT100 = 27      Temperatura = 23.00°C
11:08:34.639 -> Sensor PT100 = 30      Temperatura = 20.00°C
```

Toma de datos de Temperatura

El sensor de temperatura se montó directamente sobre las placas solares, tal y como se muestra en la Figura 32, de esta manera, se aseguró que los datos recolectados por el sistema de adquisición sean confiables y proporcionen la temperatura deseada.

Las conexiones eléctricas de la placa de adquisición (Arduino UNO) se realizaron tal y como se muestran en la Figura 25. La muestra traza la curva que representa los valores en ohmios del sensor y sus respectivos equivalentes en grados centígrados, estos valores fueron tomados directamente de la hoja de datos del sensor y, son los que fueron utilizados en el sistema de adquisición para obtener los datos de temperatura de la placa fotovoltaica. y, fue colocada dentro de las oficinas de NORSOLAR S.C.C., específicamente en el mismo tablero donde se encuentra ubicado el controlador del seguidor solar el mismo que se muestra en la Figura 26.

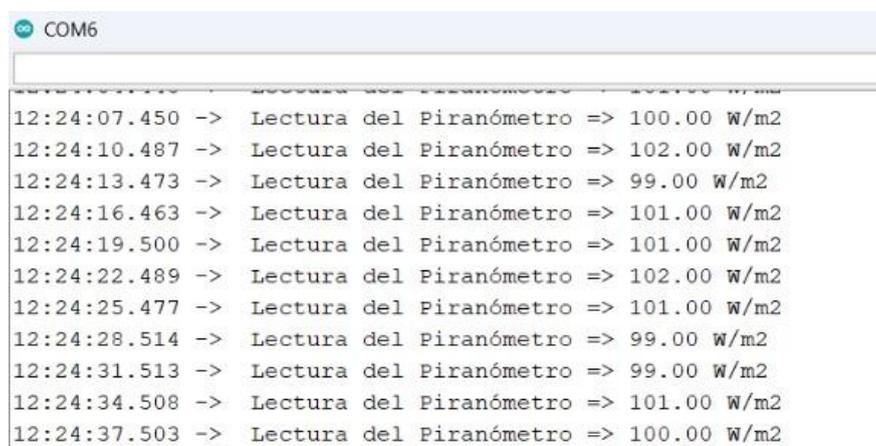
Los valores de los datos de temperatura se tomaron diariamente a partir de las seis de la mañana hasta las siete de la noche, en periodos de tiempo de quince minutos, el rango de tiempo se seleccionó ya que esas son las horas en las que el SFV se encuentra trabajando.

Sistema de Lectura del Ángulo de Incidencia

La lectura de datos del sensor del ángulo de inclinación se realizó con el controlador Arduino y el sensor de incidencia solar denominado Piranómetro. El código del programa implementado en el controlador se muestra en el ANEXO G – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DEL PIRANÓMETRO; la interfaz gráfica de este sistema de adquisición se presenta en la Figura 30.

Figura 30.

Interfaz de lectura del Piranómetro



```
COM6
12:24:07.450 -> Lectura del Piranómetro => 100.00 W/m2
12:24:10.487 -> Lectura del Piranómetro => 102.00 W/m2
12:24:13.473 -> Lectura del Piranómetro => 99.00 W/m2
12:24:16.463 -> Lectura del Piranómetro => 101.00 W/m2
12:24:19.500 -> Lectura del Piranómetro => 101.00 W/m2
12:24:22.489 -> Lectura del Piranómetro => 102.00 W/m2
12:24:25.477 -> Lectura del Piranómetro => 101.00 W/m2
12:24:28.514 -> Lectura del Piranómetro => 99.00 W/m2
12:24:31.513 -> Lectura del Piranómetro => 99.00 W/m2
12:24:34.508 -> Lectura del Piranómetro => 101.00 W/m2
12:24:37.503 -> Lectura del Piranómetro => 100.00 W/m2
```

La interfaz de lectura se encarga de tomar los datos de las lecturas del ángulo de incidencia expresado en W/m² que son las unidades en las que se mide el ángulo de

incidencia solar. Los datos de lectura corresponden a la irradiación que cae sobre la posición del piranómetro.

Toma de datos del ángulo de incidencia

El sensor de ángulo de incidencia de la radiación se montó junto a las placas fotovoltaicas, tal y como se muestra en la Figura 31, de esta manera, se aseguró que los datos recolectados por el sistema de adquisición sean confiables y proporcionen el ángulo de incidencia idéntico al que son sometidos los paneles solares.

Los conductores del sensor encargados de la transmisión de la señal van desde la terraza hasta el tablero de control ubicado en el primer piso de las oficinas de NORSOLAR S.C.C., el tablero se muestra en la Figura 26.

Los conductores fueron llevados por medio de la misma tubería por la pasan los conductores del seguidor solar, el conductor utilizado para la conexión fue un cable UTP categoría 5e para exteriores, el conductor pasa por la caja de conexiones de la Figura 28.

Los valores de los datos del ángulo de incidencia se tomaron diariamente a partir de las seis de la mañana hasta las siete de la noche, en periodos de tiempo de quince minutos, el rango de tiempo se seleccionó ya que, esas son las horas en las que el SFV se encuentra trabajando, además, es el mismo intervalo de tiempo que se estableció para la toma de datos de la temperatura, esto último se realizó de esta manera con la intención de tener una relación directa entre las dos variables.

Capítulo III

Resultados

A lo largo de este capítulo se presenta los resultados obtenidos tras la implementación del sistema de adquisición del ángulo de incidencia y temperatura; de esta manera, se determinó la influencia que poseen estos dos parámetros sobre el rendimiento de un SFV.

3.1. Implementación Del Sistema De Adquisición De Datos Al Sistema Fotovoltaico

El sistema de adquisición de datos del sistema fotovoltaico tal y como se detalló en secciones anteriores se compone por un sensor del ángulo de incidencia (piranómetro) y de un sensor de temperatura.

3.1.1. Sensor de Radiación (Piranómetro)

Al ser el objetivo principal del presente trabajo de investigación determinar la incidencia que las variables de ángulo de incidencia de la radiación y temperatura tienen sobre el rendimiento del sistema fotovoltaico.

La primera variable en ser determinada fue el ángulo de incidencia de la radiación sobre las placas solares, para ello se hizo uso del piranómetro. De acuerdo con las indicaciones mostradas en el manual de usuario el piranómetro debe ser colocado sobre una superficie plana, donde no exista la presencia de sombras provenientes de obstáculos cercanos.

El piranómetro fue instalado junto a las placas solares que conforman el SFV de la empresa NORSOLAR S.C.C., se tubo precaución para que ningún tipo de objeto provoque sombra que afecten a la lectura del sensor.

La ubicación se determinó de tal manera que el ángulo de irradiancia tenga el mismo efecto que tendría al actuar sobre las placas solares. La Figura 31 muestra el sensor instalado junto a una de las placas solares.

Los datos de la irradiación solar son recopilados al hacer uso de la tarjeta de procesamiento denominada ARDUINO UNO. Este dispositivo es el encargado de poner en marcha el sistema de adquisición, tal y como se explicó en la sección 2.6.

Figura 31.

Piranómetro instalado en el SFV de la empresa NORSOLAR S.C.C.



3.1.2. Sensor de Temperatura (PT100)

El sensor de temperatura fue colocado directamente sobre la superficie de una de las placas solares que componen el SFV, la Figura 32 muestra el sensor sobre a una de las placas solares del sistema fotovoltaico.

Los datos de temperatura se obtienen gracias al programa implementado, dicho programa se detalla en la sección 2.7. El periodo de tiempo de recolección de datos de temperatura es el mismo periodo de tiempo que el sistema de generación fotovoltaico se encuentra en funcionamiento.

Esto se decidió ya que, a pesar de que en la noche el sistema de adquisición de datos es capaz de recolectar los datos de temperatura; los valores recolectados serían irrelevantes para la investigación planteada por motivo de que el sistema de generación fotovoltaica no estaría generando energía.

El sensor se encuentra directamente en contacto con la superficie del panel solar por lo que, será capaz de medir la temperatura exacta a la que las placas solares son sometidas, esto se muestra en la Figura 32.

Cabe destacar que, se realizó cambios periódicos de la posición del sensor de temperatura, esto se realizó con la intención de contar con una base de datos confiable repetibles.

Figura 32.

Sensor de temperatura instalado en el SFV de NORSOLAR S.C.C.



3.2. Análisis Del Microsistema De Generación Fotovoltaica Ante La Influencia Del Ángulo De Incidencia

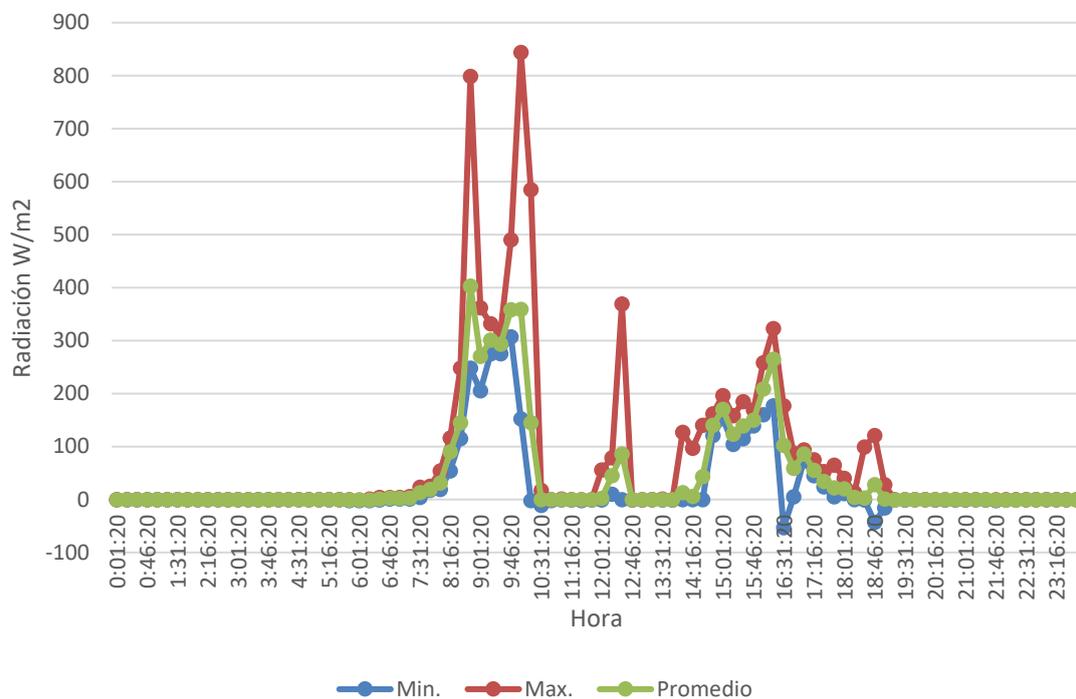
En esta sección se analizará los datos obtenidos gracias a la implementación del sistema adquisición en lo que corresponde al ángulo de incidencia. De acuerdo con los datos recopilados fue posible establecer un comportamiento recurrente en el comportamiento de las curvas de radiación, por lo que, se decidió realizar el análisis de dos casos puntuales donde se refleja la radiación en condiciones muy diferentes.

La Figura 33 muestra los datos tomados de un día nublado en la ciudad de Ibarra. En la gráfica claramente se aprecia tres diferentes curvas que representan diferentes tipos de irradiación que inciden sobre la zona, los mismo que son:

- la curva **roja** corresponde al nivel de radiación máxima,
- la curva **azul** corresponde al nivel de radiación mínima,
- la curva **verde** corresponde a la radiación promedio.

Figura 33.

Curvas de la radiación según su ángulo de incidencia día nublado



En la curva de radiación promedio se aprecia que su máximo nivel de radiación alcanza los 400 W/m²; esto sucede alrededor de las 10 am, mientras que, en la tarde el valor máximo de radiación medida por el sensor estuvo alrededor de los 280 W/m², este pico se genera alrededor de las 4 pm.

A partir de la Figura 33 se observa como el ángulo de incidencia de la radiación solar comienza a manifestarse a partir de las 6h00 hasta aproximadamente las 10h00, en este punto el sensor registra una medida de cero, esto quiere decir que el sol se encuentra totalmente perpendicular y el ángulo de incidencia de la radiación es de noventa grados con respecto al eje horizontal del planeta.

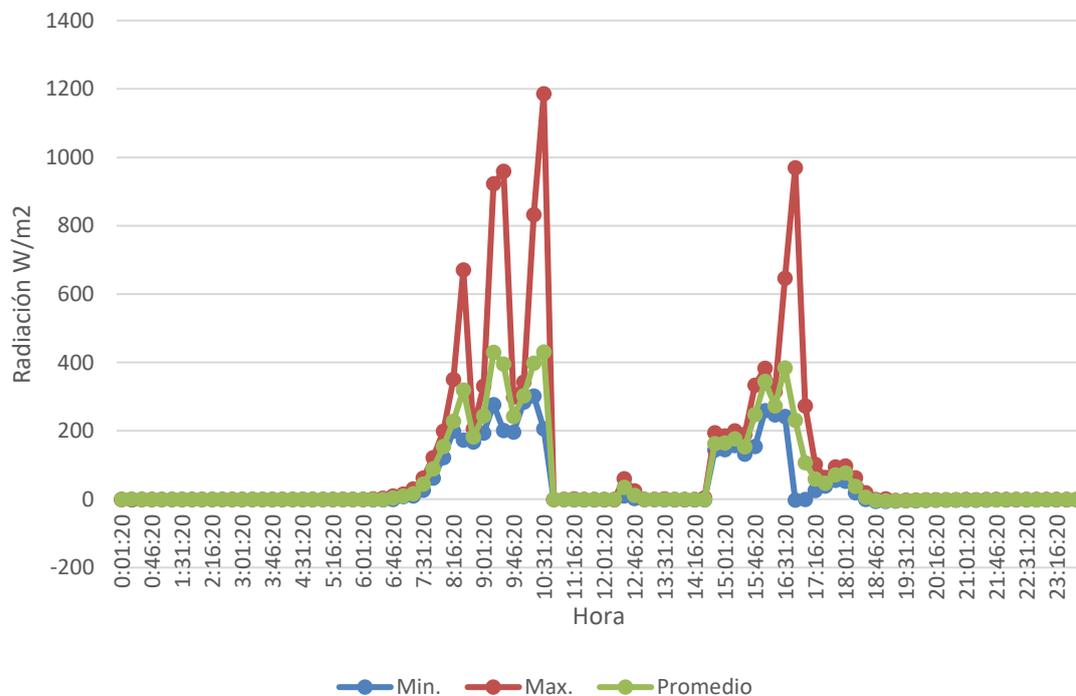
El comportamiento mencionado se mantiene constante hasta las 14h15, a partir de este momento el sol deja de estar totalmente perpendicular con respecto al eje horizontal del sensor, en ese momento se aprecia un incremento en el nivel de radiación, este comportamiento se mantiene así hasta alcanzar un nuevo pico alrededor de las 16h00, donde, a partir de entonces comienza a descender hasta llegar a cero, esto se da alrededor de las 18h45.

Las curvas de radiación de la Figura 34 corresponden a un día despejado en la ciudad de Ibarra. El comportamiento de la radiación a lo largo del día posee un patrón muy similar al

mostrado en la Figura 33, sin embargo, cabe destacar que los niveles de radiación de un día despejado son más elevados.

Figura 34.

Curvas de la radiación según su ángulo de incidencia día despejado



En la Figura 34 la radiación traza un comportamiento con dos picos, uno en la mañana, alrededor de las 10h00 y otro en la tarde alrededor de las 16h15; mientras que al medio día se observa como la radiación es cero, esto ocurre al igual que en la Figura 33 debido a que el ángulo de incidencia es 90° durante ese lapso.

De acuerdo con los dos casos presentados uno de un día nublado y otro de un día despejado donde, se observó como a pesar de cambiar los niveles de radiación el comportamiento de la curva es muy similar, se plantea el siguiente escenario.

Para determinar la influencia que tiene el ángulo de incidencia de la radiación en el rendimiento del SFV, en la siguiente subsección se establece una comparativa entre un sistema fotovoltaico con paneles fijos y otro sistema fotovoltaico con paneles que cuenten con un seguidor solar.

El objetivo de este análisis es obtener datos de generación energética de un sistema con paneles fijos donde el ángulo de incidencia varía alrededor del día y compararlos con los datos de un sistema que cuenta con un seguidor solar que permitirá que el ángulo de incidencia sea perpendicular la mayor cantidad de tiempo posible.

3.2.1. Rendimiento del Sistema Fotovoltaico

Esta sección contiene dos subsecciones; en la primera se especifica la cantidad de energía que será capaz de generar una sola placa solar de 500W, mientras que la segunda parte de la sección se realiza una comparativa entre un sistema con paneles solares fijos y uno con un seguidor solar implementado en sus placas.

3.2.1.1. Generación Energética Simulada De Un Panel Solar De 500W

En primer lugar, cabe recordar las características de las placas solares del SFV instalado en las oficinas de la empresa Norsolar S.C.C., las placas solares cuentan con los parámetros que se especifican en el ANEXO A – PANEL FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR VERTEX su potencia pico es de 500 Watts.

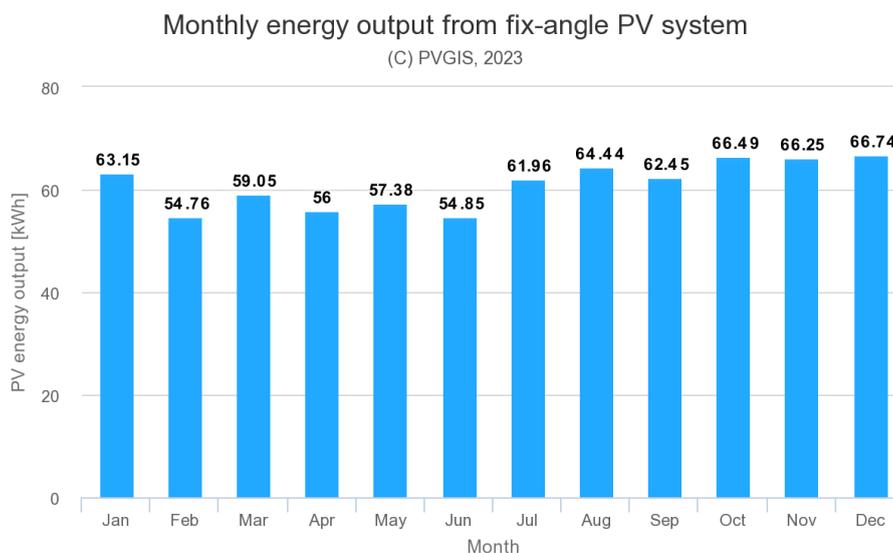
El rendimiento energético anual de una placa solar de 500 Watts se calculó a partir de la simulación realizada en el software PVGIS. La Figura 35 presenta una gráfica de barras del rendimiento anual del panel solar.

Al realizar la simulación se estableció como parámetros un escenario donde la placa solar tenga una inclinación de 5° con un porcentaje de pérdida del 14% en su producción (porcentaje estándar), además, también se especificó el tipo de tecnología de la placa solar.

De acuerdo con la simulación el rendimiento promedio de cada placa solar de 500 Watts será de **61,12 kWh-mes.**

Figura 35.

Generación energética anual de un panel solar de 500 Watts



3.2.1.2. Comparativa De Rendimiento Energético

A lo largo del desarrollo de esta sección se estableció 2 escenarios.

En el primer escenario los paneles fotovoltaicos conectados al sistema fotovoltaico cuentan con el seguidor solar, mientras que en el segundo escenario los paneles solares se encuentran en una posición fija.

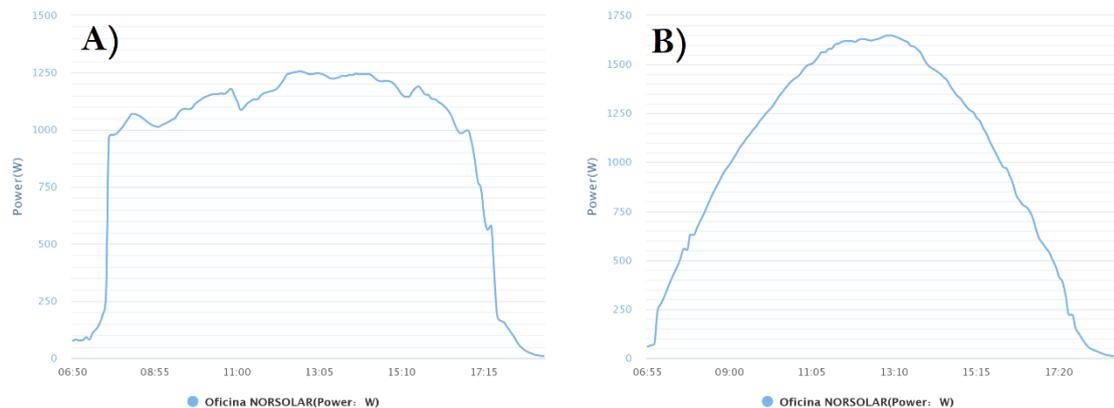
El comportamiento del seguidor solar se programó en función de los horarios del ángulo de incidencia de irradiación solar mostrados en la Figura 33 y la Figura 34, con la finalidad de que el ángulo de incidencia sea perpendicular a las placas solares durante la mayor cantidad de tiempo.

La Figura 36 A) corresponde a una curva de generación que cuenta con seguidor solar, mientras que, la Figura 36

Figura 36 B) corresponde a la curva de generación de un SFV con paneles fijos.

Figura 36.

A) Curva de generación fotovoltaica de SFV con seguidor, B) Curva de generación fotovoltaica de SFV sin seguidor



La forma característica de una curva de generación de un SFV en condiciones ideales tiene la forma de una campana de GAUSS, sin embargo, cuando los paneles que componen el SFV cuentan con un seguidor solar la curva de generación su curva característica se ve alterada, esta nueva forma se asemeja a la de una meseta.

Dichos comportamientos se apreciarán con mucha claridad en condiciones ideales, es decir, en días despejados donde no exista la presencia de nubosidad que perturben la generación energética.

Con el objetivo de cuantificar la diferencia en el rendimiento de un sistema fotovoltaico con paneles fijos y un ángulo de radiación con incidencia variable (SFV paneles fijos) y un

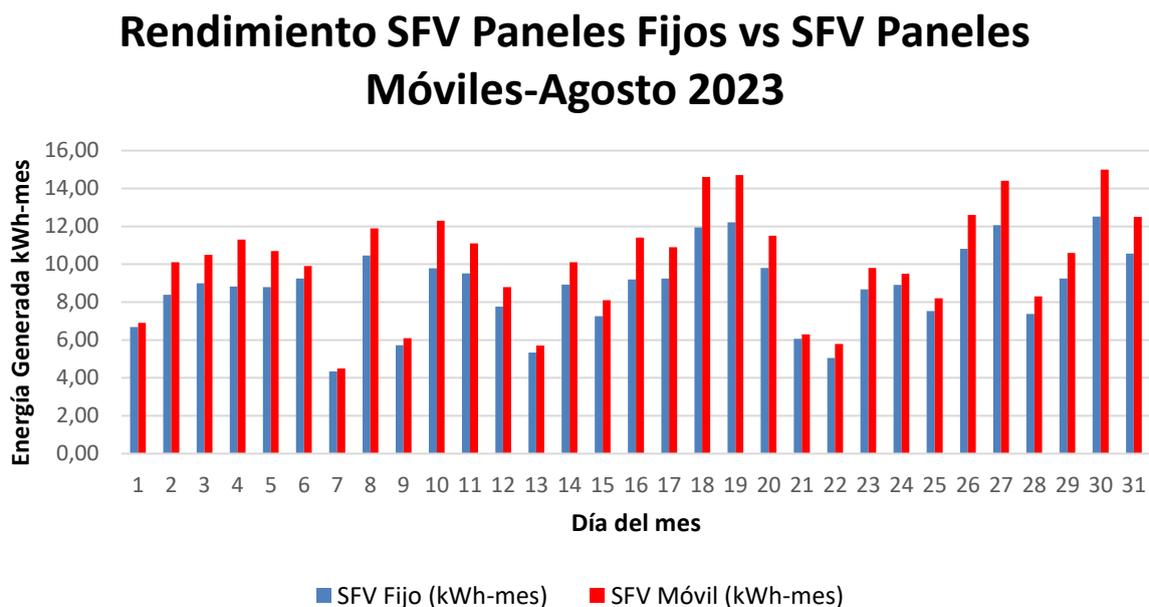
sistema fotovoltaico con paneles móviles y ángulo de incidencia perpendicular se decidió realizar la recolección de datos de rendimiento energético a lo largo de un mes, los dos sistemas cuentan con un inversor de 3 kW y 4 placas solares de 500 W, es decir, cuentan con 2 kWp.

El mes elegido para la recolección de datos es el mes de agosto del 2023, la Figura 37 muestra un gráfico de barras que corresponde al rendimiento de los dos sistemas, las barras de color azul corresponden al SFV con paneles fijos, mientras que las barras de color rojo corresponden al SFV con paneles móviles.

De acuerdo con los datos de rendimiento obtenidos el SFV con paneles fijo generó 271,28 kWh-mes o 8,75 kWh-día, mientras que, el SFV con paneles móviles generó 314,1 kWh-mes o 10,13 kWh-día.

Figura 37.

Generación energética mensual del SFV



El rendimiento de los dos sistemas se comparó usando el criterio de porcentaje, el rendimiento diario promedio a lo largo del mes equivale al 100% del rendimiento energético de los dos sistemas fotovoltaicos.

$$\text{Porcentaje de Rendimiento} = \frac{10,13 * 100}{8,75} = 115,77\%$$

En la ecuación anterior se estableció la relación del rendimiento de los dos sistemas, aquí se determinó que la generación energética del sistema fotovoltaico con paneles móviles genera alrededor de un **15%** de energía más que el sistema fotovoltaico con paneles fijos.

3.3. Análisis Del Microsistema Ante De La Influencia De La Temperatura

El análisis desarrollado en esta sección hace uso de las especificaciones técnicas descritas en el brochure del panel solar **ANEXO A – PANEL FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR VERTEX**, los valores de rendimiento que se muestran en el brochure son con una temperatura de la célula fotovoltaica igual a 25°C.

Cuando la temperatura es superior a los 25°C existe una pérdida de potencia de generación. La pérdida de potencia de generación viene dada por la siguiente fórmula:

$$P = 500W + \left(-2\frac{W}{^{\circ}C}\right)(T_{panel} - 25^{\circ}C)$$

Donde:

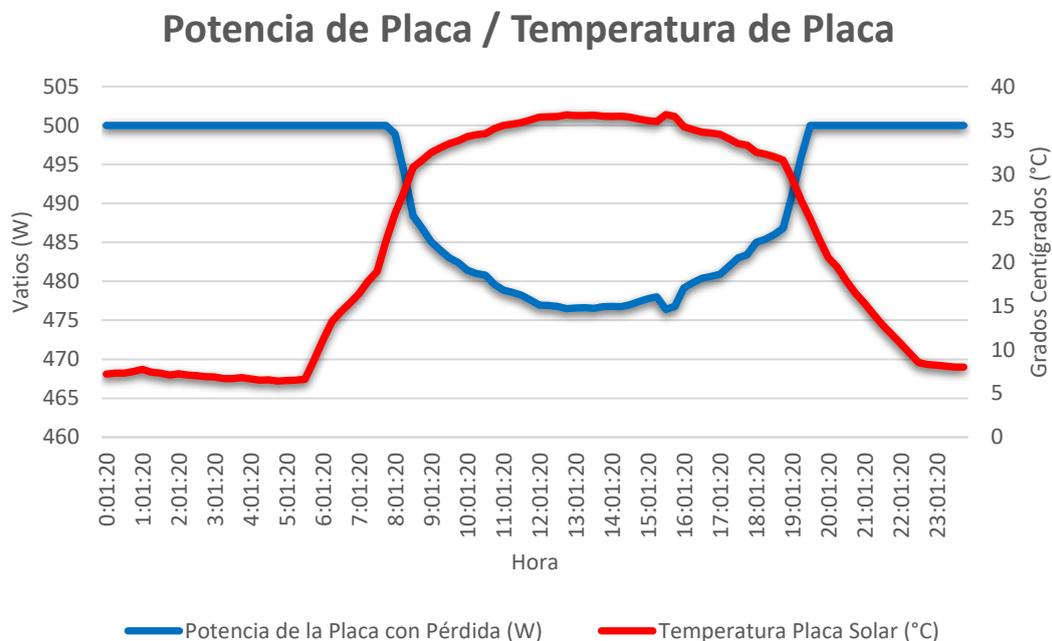
P : Potencia del panel fotovoltaico,

T_{panel} : Temperatura del panel fotovoltaico.

A partir de los datos recolectados por el sistema de adquisición se graficó una curva en color “rojo” que representa la temperatura, esto se muestra en la Figura 38.

Figura 38

Curva de temperatura y Potencia de la placa fotovoltaica



La curva de roja dibuja la forma de una campana de GAUSS alcanzando su pico alrededor del mediodía. Se aprecia como la temperatura de la placa comienza a elevarse de

manera exponencial a partir de la salida del sol, esto se da alrededor de las 6h00 y comienza a disminuir alrededor de las 18h30 que es, cuando termina las horas sol.

Además, en la Figura 38 también es posible observar una curva de color “azul”, esta se realizó a partir de los datos de potencia del panel fotovoltaico, su forma es totalmente opuesta al comportamiento mostrado por la curva de temperatura; esto se debe a que, entre más alto sea la temperatura la potencia de la placa solar disminuirá, y por ende la generación energética del SFV.

De acuerdo con los datos obtenidos se observa como la temperatura genera pérdidas en la potencia de generación de las placas solares y de acuerdo con la fórmula se corrobora que la potencia disminuye **2W** por cada **°C** que la temperatura de la célula sea mayor a 25°C que es la temperatura ideal de funcionamiento dada por el fabricante.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Tras realizar el análisis de la estructura de los sistemas fotovoltaicos con conexión a red y revisar la literatura relacionada con el tema, es posible mencionar varios aspectos importantes comenzando por la importancia de comprender la complejidad de estos sistemas; la eficacia y confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red están intrínsecamente ligados a su diseño, componentes y la correcta sincronización con la red eléctrica. Además, en la literatura recolectada se subraya la importancia de considerar los aspectos técnicos, económicos y regulatorios al momento de diseñar e implementar un sistema fotovoltaico conectado a red.
- La instalación de los componentes que integran el sistema de adquisición (sensores, conductores, tarjeta de adquisición de datos) resalta la significativa influencia de una selección apropiada de componentes para lograr resultados confiables y consistentes. La ubicación precisa de los sensores de temperatura y radiación solar demostró ser un factor crítico para la obtención de datos confiables. Además, la identificación correcta de los conductores encargados de transmitir la información de los sensores, así como la elección adecuada de su calibre, se posiciona como igualmente crucial para asegurar la fiabilidad del sistema de adquisición de datos.
- El ángulo de incidencia solar influye directamente sobre el rendimiento de un SFV, de acuerdo con los datos recolectados el SFV instalado en las oficinas de NORSOLAR S.C.C. al contar con seguidor solar es capaz de mantener el ángulo de incidencia directamente perpendicular sobre sus placas solares generando un 15% de energía más que un SFV que tenga las placas solares en una posición fija donde el ángulo de incidencia varíe a lo largo del día. Mientras que, con respecto a la temperatura y de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante los paneles solares alcanzan su máximo rendimiento cuando la temperatura es menor o igual 25°C, por cada grado centígrado excedente a esta temperatura la potencia del panel fotovoltaico disminuye en 2 vatios, estos datos fueron corroborados con los valores obtenidos por el sistema de adquisición de temperatura que fue implementado.

RECOMENDACIONES

- Dada la complejidad e interdependencia de los factores que presentan los sistemas fotovoltaicos conectados a red, se sugiere realizar un análisis profundo y exhaustivo que abarque tanto los aspectos técnicos, económicos y regulatorios. Es fundamental adoptar un enfoque integral en el diseño e implementación de estos sistemas, priorizando el aspecto técnico y la calidad de sus componentes; esto garantizará la eficacia, confiabilidad y sostenibilidad a largo plazo de los sistemas.
- El presente trabajo de investigación constituye el paso inicial de un interesante nicho de investigación relacionado a los sistemas fotovoltaicos y las variables que intervienen en su rendimiento de generación, estudiantes interesados en este tema podrían plantear trabajos de investigación en temas como, por ejemplo: realizar un análisis económico donde se determine si la inversión requerida para el diseño e implementación del seguidor se justifica por la energía extra que se va a obtener; dentro de los sistemas fotovoltaicos, el ángulo de inclinación y el ángulo AZIMUT son variables que llegan a tener una importante influencia en el rendimiento de un SFV; un posible trabajo de investigación podría consistir en determinar el ángulo de inclinación y el ángulo AZIMUT ideales para la ciudad de Ibarra, utilizando el rendimiento energético como parámetros de rendimiento. Finalmente, sería interesante la implementación del sistema de adquisición en una zona diferente, de esta manera se podría establecer nuevos valores de porcentaje de rendimiento de un SFV e investigar si los valores obtenidos en el presente trabajo de investigación se mantienen o varían.

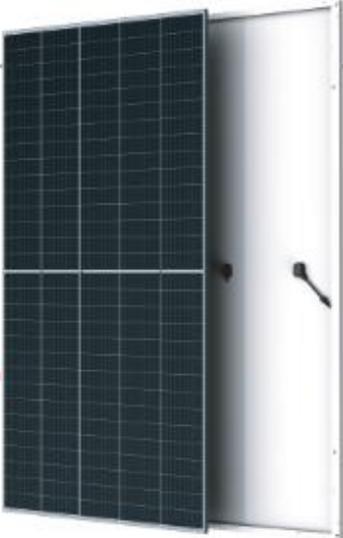
ANEXOS

ANEXO A – PANEL FOTOVOLTAICO TRINA SOLAR VERTEX

Mono Multi Solutions

THE Vertex

BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE



500W+
MAXIMUM POWER OUTPUT

21.1%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

PRODUCTS | POWER RANGE

TSM-DE18M(II) | 480-505W

High customer value

- Lower LCOE (Levelized Cost Of Energy), reduced BOS (Balance Of System) cost, shorter payback time
- Lower guaranteed first year and annual degradation
- Designed for compatibility with existing mainstream system components
- Higher return on Investment

High power up to 505W

- Large area cells based on 210mm silicon wafers and 1/3-cut cell technology
- Up to 21.1% module efficiency with high density interconnect technology
- Multi-busbar technology for better light trapping effect, lower series resistance and improved current collection

High reliability

- Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology
- Ensured PID resistance through cell process and module material control
- Resistant to harsh environments such as salt, ammonia, sand, high temperature and high humidity areas
- Mechanical performance up to 5400 Pa positive load and 2400 Pa negative load

High energy yield

- Excellent IAM (Incident Angle Modifier) and low irradiation performance, validated by 3rd party certifications
- The unique design provides optimized energy production under inter-row shading conditions
- Lower temperature coefficient (-0.36%) and operating temperature

Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading total solution provider for solar energy. With local presence around the globe, Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and deliver our innovative, reliable products with the backing of Trina as a strong, bankable brand. Trina Solar now distributes its PV products to over 100 countries all over the world. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaborations with installers, developers, distributors and other partners in driving smart energy together.

Comprehensive Products and System Certificates

IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62710
 ISO 9001: Quality Management System
 ISO 14001: Environmental Management System
 ISO 14004: Greenhouse Gases Emissions Verification
 ISO 45001: Occupational Health and Safety Management System

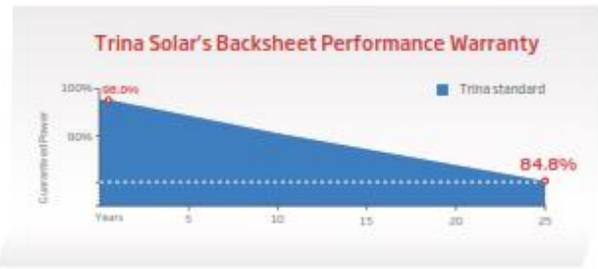




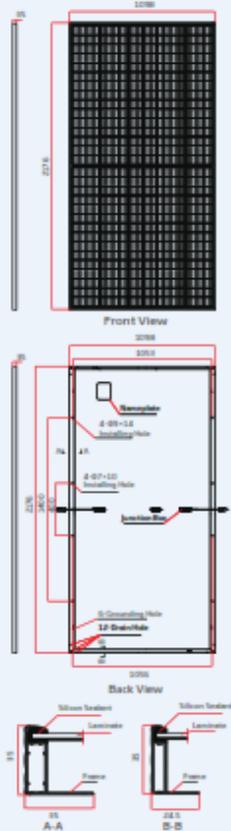
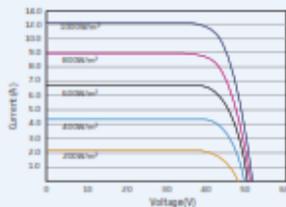
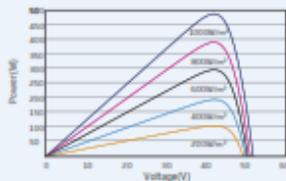


TrinaSolar

Trina Solar's Backsheet Performance Warranty



Years	Guaranteed Power (%)
0	98.0%
25	84.8%

DIMENSIONS OF PV MODULE(mm)

I-V CURVES OF PV MODULE(490 W)

P-V CURVES OF PV MODULE(490W)

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	480	485	490	495	500	505
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- V_{MPV} (V)	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0
Maximum Power Current- I_{MPV} (A)	11.42	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	50.8	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	11.99	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35
Module Efficiency η_1 (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	363	367	371	375	379	382
Maximum Power Voltage- V_{MPV} (V)	39.6	39.8	40.0	40.2	40.4	40.6
Maximum Power Current- I_{MPV} (A)	9.15	9.20	9.26	9.32	9.37	9.43
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	48.0	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	9.65	9.72	9.77	9.83	9.89	9.94

NMOT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 2m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2176 × 1098 × 35 mm (85.67 × 43.23 × 1.38 Inches)
Weight	26.3 kg (58.0 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 Inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 Inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 Inches ²), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02Inches) Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm (55.12/55.12 Inches)
Connector	MC4 EVO2 / T54*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NMOT (Nominal Module Operating Temperature)	41 C (±3 C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	-0.36%/C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.20%/C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.04%/C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85 C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	20A

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Power Warranty
2% first year degradation
0.55% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per box: 30 pieces
Modules per 40' container: 600 pieces

MIN 2500~6000TL-X

- Eficiencia máxima 98.4%
- Doble seguidor MPP
- Control de exportación opcional
- Pantalla OLED y botón táctil
- Hasta 25 años de almacenamiento de datos



Growatt



www.ginverter.com

P O W E R
- I N G O
T O M O -
R R O W O

Ficha de datos	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
Datos de entrada (CD)							
Máxima potencia PV recomendada	3500W	4200W	5040W	5880W	6440W	7000W	8100W
Máximo voltaje CD	500V						
Voltaje de arranque	100V						
Rango de voltaje de MPPT / Voltaje nominal	80V-500V /360V						
Máximo corriente por MPPT	13.5A/13.5A						
Corriente de corto circuito por MPPT	16A/16A						
Número de MPPTs / Cadenas por MPPT	2/1						
Salida (CA)							
Potencia nominal CA	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Potencia aparente máxima	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Corriente máxima de salida	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Voltaje nominal CA (Rango*)	Predeterminado: 240V fase dividida, opcional: 208V & 240V monofásico, 183-228@208V 211-264@240V						
Frecuencia de red CA (Rango*)	50Hz/60Hz (45-55Hz/55-65Hz)						
Factor de potencia nominal ajustable	>.99 / +0.8 ... -0.8						
Distorsión armónica total	<.3%						
Tipo de conexión CA	Monofásico						
Eficiencia							
Máxima eficiencia	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
Eficiencia europea	97.1%	97.1%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
Eficiencia del MPPT	99.9%						
Dispositivos de protección							
Protección de polaridad inversa CD	Si						
Interruptor CD	Si						
Protección contra sobretensión CA/CD	Clase II / Clase II						
Protección de corto circuito CA	Si						
Protección contra sobretensión AC	Si						
Monitoreo de falta a tierra	Si						
Monitoreo de red	Si						
Protección anti-iso	Si						
Monitoreo de corriente residual	Si						
AFCI	Si						
Datos generales							
Dimensiones	375/350/160mm						
Peso	10.8kg						
Rango de temperatura de operación	-25°C ... +60°C						
Altitud	4000m						
Autoconsumo (noche)	<.1W						
Topología	Sin transformador						
Enfriamiento	Convección natural						
Grado de protección	IP65						
Humedad relativa	100%						
Conexión DC	HMCA (opcional)						
Conexión AC	Conector						
Pantalla	OLED+LED						
Comunicación: RS485 / USB / WiFi / GPRS / RF/LAN	S/S/Opc/Opc/Opc/Opc						
Garantía: 5 años / 10 años	S/Opc						
CE, IEC62109, G98, G99, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116, INMETRO, UL1741, IEEE1547							

* El rango de voltaje y frecuencia de CA puede variar dependiendo del estándar de la red del país. Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

ANEXO C – INVERSOR FOTOVOLTAICO SMA SUNNY BOY

SUNNY BOY
3.0-US / 3.8-US / 5.0-US / 6.0-US / 7.0-US / 7.7-US



Value-Added Improvements	Reduced Labor	Optimized Power Production	Trouble-Free Service
<ul style="list-style-type: none"> • SunSpec certified technology for cost-effective module-level shutdown • Advanced AFCI compliant to UL 1699B for arc fault protection 	<ul style="list-style-type: none"> • New Installation Assistant with direct access via smartphone minimizes time in the field • Advanced communication interface with fewer components creates 30% faster setup and commissioning 	<ul style="list-style-type: none"> • ShadeFix, SMA's proprietary shade management solution, produces more power than alternatives • Reduced component count provides maximum system reliability 	<ul style="list-style-type: none"> • SMA Service Mobile App provides simplified, expedited field service • Equipped with SMA Smart Connected, a proactive service solution that is integrated into Sunny Portal

SUNNY BOY 3.0-US / 3.8-US / 5.0-US / 6.0-US / 7.0-US / 7.7-US

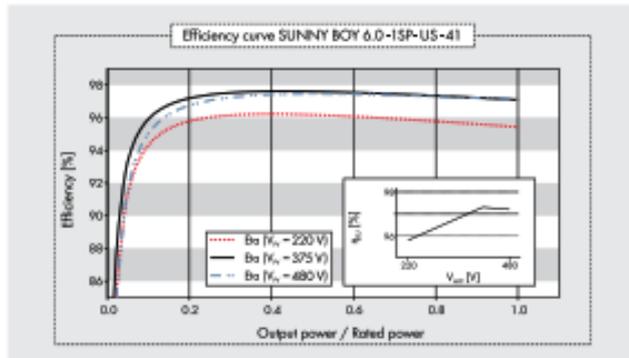
Power with a purpose

The residential PV market is changing rapidly. Your bottom line matters more than ever—so we've designed a superior residential solution to help you decrease costs at every stage of your business operations. The Sunny Boy 3.0-US/3.8-US/5.0-US/6.0-US/7.0-US/7.7-US join the SMA lineup of field-proven solar technology backed by the world's #1 service team. This improved residential solution features ShadeFix, SMA's proprietary technology that optimizes system performance. ShadeFix also provides superior power production with a reduced component count versus competitors, which provides maximum reliability. No other optimized solution generates more power or is as easy as systems featuring SMA ShadeFix and SunSpec certified devices. Finally, SMA Smart Connected will automatically detect errors and initiate the repair and replacement process so that installers can reduce service calls and save time and money.

www.SMA-America.com

Technical data	Sunny Boy 3.0-US		Sunny Boy 3.8-US		Sunny Boy 5.0-US		
	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V	
Input (DC)							
Max. PV power	4800 Wp		6144 Wp		8000 Wp		
Max. DC voltage	480 V		600 V		480 V		
Rated MPPT voltage range	135 - 480 V		195 - 480 V		220 - 480 V		
MPPT operating voltage range			100 - 330 V				
Min. DC voltage / start voltage			100 V / 125 V				
Max. operating input current per MPPT			10 A				
Max. short circuit current per MPPT			18 A				
Number of MPPT tracker / string per MPPT tracker			2/1		3/1		
Output (AC)							
AC nominal power	3000 W	3000 W	3330 W	3840 W	3000 W	3000 W	
Max. AC apparent power	3000 VA	3000 VA	3330 VA	3840 VA	3000 VA	3000 VA	
Nominal voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	
AC grid frequency			60 Hz / 50 Hz				
Max. output current	14.5 A	12.5 A	16.0 A	16.0 A	24.0 A	21.0 A	
Power factor (cos φ) / harmonics			1 / < 4 %				
Output phases / line connections			1 / 2				
Efficiency							
Max. efficiency	97.2 %	97.6 %	97.3 %	97.6 %	97.3 %	97.6 %	
CEC efficiency	96.0 %	96.5 %	96.5 %	96.5 %	96.5 %	97.0 %	
Protection devices							
DC disconnect device / DC reverse polarity protection			● / ●				
Ground fault monitoring / Grid monitoring			●				
AC short circuit protection			●				
All-pole sensitive residual current monitoring unit (RCMU)			●				
Arc fault circuit interrupter (AFCI)			●				
Protection class / overvoltage category			I / IV				
General data							
Dimensions (W / H / D) in mm (in)			535 x 730 x 198 (21.1 x 28.5 x 7.8)				
Packaging dimensions (W / H / D) in mm (in)			600 x 800 x 300 (23.6 x 31.5 x 11.8)				
Weight / packaging weight			26 kg (57 lb) / 30 kg (66 lb)				
Temperature range: operating / non-operating			-25 °C ... +60 °C / -40 °C ... +60 °C				
Environmental protection rating			NEMA 3R				
Noise emission (typical)			39 dB(A)				
Internal power consumption at night			< 5 W				
Topology / cooling concept			transformerless / convection				
Features							
Ethernet ports			2				
Secure Power Supply			● 1)				
Display (2 x 16 characters)			●				
2.4 GHz WLAN / External WLAN antenna			▲ / ○				
ShadeFix technology for string level optimization			●				
Cellular (4G / 3G) / Revenue Grade Meter			○ / ○ 2)				
Warranty: 10 / 15 / 20 years			● / ○ / ○ 3)				
Certificates and approvals			UL 1741, UL 1741 SA incl. CA Rule 21 RSD, UL 1998, UL 16998 Ed. 1, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA V22.2 107.1-1, HECO Rule 14H, PV Rapid Shutdown System Equipment				
● Standard features ○ Optional features — Not available ▲ Subject to availability							
Data at nominal conditions 1) Not compatible with SunSpec shutdown devices 2) Standard in SBXX-1TP-US-41							
Type designation	SB3.0-1SP-US-41 / SB3.0-1TP-US-41		SB3.8-1SP-US-41 / SB3.8-1TP-US-41		SB5.0-1SP-US-41 / SB5.0-1TP-US-41		
Accessories							
	External WLAN antenna EXTANT-US-40			SunSpec Certified Rapid Shutdown Receivers			Revenue Grade Meter Kit RGM05KIT-US-10
						Cellular Modem Kit CELLM00KIT-US-10	

3) Listed warranty terms are applicable in SMA-designated primary support countries, including the U.S., Canada, and Mexico. Reduced terms or restrictions may apply in other Americas regions and territories including the Pacific and Caribbean.



Technical data	Sunny Boy 6.0-US		Sunny Boy 7.0-US		Sunny Boy 7.7-US	
	208 V	240 V	208 V	240 V	208 V	240 V
Input (DC)						
Max. PV power	9600 Wp		11200 Wp		12320 Wp	
Max. DC Voltage	480 V		600 V		600 V	
Rated MPPT Voltage range	220 - 480 V		245 - 480 V		270 - 480 V	
MPPT operating voltage range			100 - 530 V			
Min. DC voltage / start voltage			100 V / 125 V			
Max. operating input current per MPPT			10 A			
Max. short circuit current per MPPT			18 A			
Number of MPPT tracker / string per MPPT tracker			3 / 1			
Output (AC)						
AC nominal power	3200 W	6000 W	6660 W	7000 W	6660 W	7680 W
Max. AC apparent power	3200 VA	6000 VA	6660 VA	7000 VA	6660 VA	7680 VA
Nominal voltage / adjustable	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●	208 V / ●	240 V / ●
AC voltage range	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V	183 - 229 V	211 - 264 V
AC grid frequency			60 Hz / 50 Hz			
Max. output current	25.0 A	25.0 A	32.0 A	29.2 A	32.0 A	32.0 A
Power factor (cos φ) / harmonics			1 / < 4 %			
Output phases / line connections			1 / 2			
Efficiency						
Max. efficiency	97.3 %	97.7 %	97.3 %	97.9 %	97.3 %	97.5 %
CEC efficiency	96.5 %	97.0 %	96.5 %	97.0 %	96.5 %	97.0 %
Protection devices						
DC disconnect device / DC reverse polarity protection			● / ●			
Ground fault monitoring / Grid monitoring			●			
AC short circuit protection			●			
All-pole sensitive residual current monitoring unit (RCMU)			●			
Arc fault circuit interrupter (AFCI)			●			
Protection class / overvoltage category			I / IV			
General data						
Dimensions (W / H / D) in mm [in]			535 x 730 x 198 [21.1 x 28.5 x 7.8]			
Packaging Dimensions (W / H / D) in mm [in]			600 x 800 x 300 [23.6 x 31.5 x 11.8]			
Weight / packaging weight			26 kg [57 lb] / 30 kg [66 lb]			
Temperature range: operating / non-operating			-23 °C ... +60 °C / -40 °C ... +60 °C			
Environmental protection rating			NEMA 3R			
Noise emission [typical]	39 dB(A)				45 dB(A)	
Internal power consumption at night			< 5 W			
Topology / cooling concept	transformerless / convection				transformerless / fan	
Features						
Ethernet ports			2			
Secure Power Supply			● 2)			
Display (2 x 16 characters)			●			
2.4 GHz WLAN / External WLAN antenna			▲ / ○			
ShadeFix technology for string level optimization			●			
Cellular (4G / 3G) / Revenue Grade Meter			○ / ○ 2)			
Warranty: 10 / 15 / 20 years			● / ○ / ○ 2)			
Certificates and approvals			UL 1741, UL 1741 SA incl. CA Rule 21 RSD, UL 1998, UL 1699B Ed. 1, IEEE1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA V22.2 107.1-1, HECO Rule 14H, PV Rapid Shutdown System Equipment			
● Standard features ○ Optional features – Not available ▲ Subject to availability						
Data at nominal conditions 1) Not compatible with SunSpec shutdown devices 2) Standard in SBXX-1TP-US-41						
Type designation	SB6.0-1SP-US-41 / SB6.0-1TP-US-41		SB7.0-1SP-US-41 / SB7.0-1TP-US-41		SB7.7-1SP-US-41 / SB7.7-1TP-US-41	

THE SMA ENERGY SYSTEM HOME

The SMA Energy System Home combines legendary SMA inverter performance and SunSpec certified shutdown devices in one cost-effective, comprehensive package. In addition, SMA ShadeFix technology optimizes power production and provides greater reliability than alternatives.

This rapid shutdown solution fulfills UL 1741, NEC 2014, and NEC 2017 requirements and is certified to the power line-based SunSpec Rapid Shutdown communication signal over DC wires, making it the most simple and cost-effective rapid shutdown solution on the market.

Visit www.SMA-America.com for more information.



ANEXO D – PIRANÓMETRO

LI-19



read-out unit

&

datalogger

with µV sensitivity

v 5.1

Introduction

The LI-19 is a low-cost, high-performance sensor readout unit with integrated datalogger.

The sensor sensitivity can be programmed into the LI-19 such that the readout will show calibrated engineering units, rather than millivolts or microvolts.

Use of the datalogger functions and programming the sensor sensitivity, requires a USB interface which is used to connect the LI-19 to a PC.

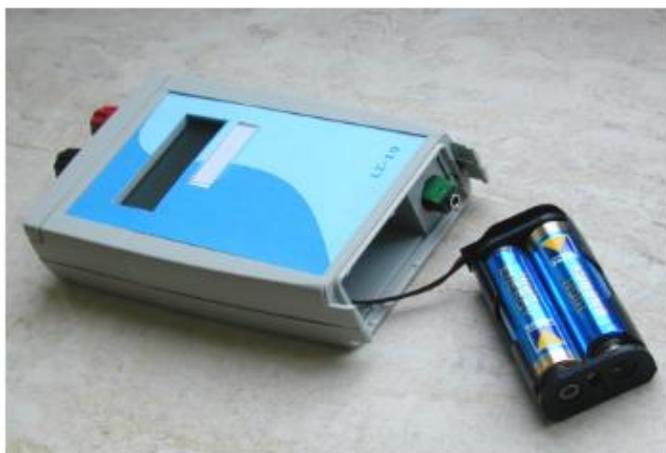
Specifications

A/D conversion	Full scale voltage	Internal counts	Internal resolution	16 bits
Input range (programmable)	+/- 200 mV	20,000		10 μ V
	+/- 100 mV	10,000		10 μ V
	+/- 50 mV	5,000		10 μ V
	+/- 25 mV	25,000		1 μ V
	+/- 12.5 mV	12,500		1 μ V
	+/- 6.25 mV	6,250		1 μ V
Basic accuracy after factory calibration				0.1%
Temperature sensitivity				< 0.5% over the full temperature range
Offset drift				< 3 μ V over the full temperature range
Operation temperature range				-10 .. +40 °C
Storage temperature range				-20 .. +60 °C
Relative humidity				< 95% RH non-condensing
Input circuit				> 2 M Ω // 680 nF
Input low-pass filter				5 Hz
Input connectors				2 x 4mm banana plug
Display				LCD 4 digits with sign
Decimal dot position (programmable)				8888 or 888.8 or 88.88 or 8.888
Display update				At least 1 per second
Computer interface				USB 1.1 / 2.0 low speed
Supply current				< 2 mA
Batteries				2 AA (penlight) alkaline
Battery life (alkaline)				> 600 hours (25 days) continuous use
Data logger memory				3518 samples
Data logger storage interval				2 .. 65535 seconds
Logged information				Min, max and average over log interval
Software compatibility				Windows 2000, Windows XP, Windows Vista

Operation

The LI-19 accepts two AA size (penlight) batteries. Use alkaline types for best results. New, good quality batteries should give up to 50 days of continuous operation.

Remove the bottom cover of the enclosure to access the battery compartment. Extract the battery holder from the compartment, and install two fresh batteries. Notice the polarization. Replace the bottom cover and connect the sensor. The LI-19 is now ready for use. Switch the LI-19 on with the push-button switch on the top.



To prevent that the LI-19 is switched off while logging, the on/off switch is mounted so that the button has to be pressed quite deep to switch the LI-19 on or off. You can feel it and hear it when the switch toggles. Press the small black button far enough with your nail or a pencil until you feel and hear it switch.

Software

Use of the software requires a PC with Windows (Vista or newer) operating system and a USB interface. The software has built-in functionality for:

- programming the sensor sensitivity
- data logging functions

For each of these functions, an interface cable is required. This cable is used to connect a LI-19 to the USB bus on a PC. If your LI-19 comes bundled with a sensor, it may be that your supplier already programmed the sensor sensitivity into the LI-19, and that this function is disabled in the software. In that case, the optional interface cable and the software give you access to the data logging functions only.

Main window

After installation, the software can be started from the Start menu. The main window allows you to open a previously stored file with logged data.



LI-19 window

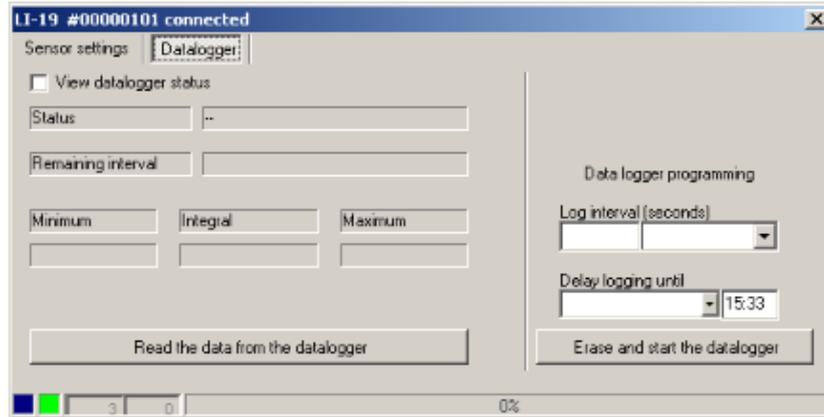


All other functions related to the LI-19 are available in special windows, that will open once you connect an LI-19 to the PC. You can connect more than one LI-19 to your PC, and for each of the devices a separate window will open. These windows may be on top of each other, move them around on your screen to reveal the ones that are covered.

Note that the buttons for 'Sensor settings' may not be available on your version of the software.

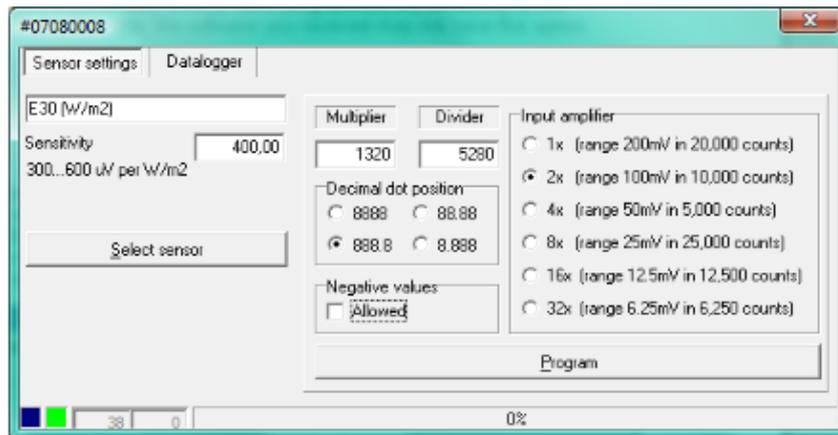
The PC will automatically detect the LI-19. If the PC does not detect the LI-19, then check if the LI-19 is switched on, and check the batteries.

Once the LI-19 is detected, the caption of the window will show the serial number of the LI-19 that was connected.



Programming the sensor sensitivity

The software is used to program the sensor sensitivity into the LI-19. If the LI-19 came bundled with a sensor, your supplier may already have programmed the sensitivity of this sensor into the LI-19. If that is the case, the software you received may not have this option.



Wizard

You can use the built-in wizard to determine optimal settings for the LI-19, depending on the type of sensor that you have, and its calibration factor.

Depending on the sensor sensitivity, the Wizard will select the optimal input stage amplification for the LI-19, and store appropriate settings for the input amplifier. The position of the decimal dot in the display is also set. After the wizard is used, the LI-19 only has to be programmed to make it suitable for use with the specified sensor.

Use the 'Select sensor' button to access the wizard. The Wizard accommodates many different sensors.



Use the wizard to select the sensor model that is to be used, and then enter the sensitivity of the sensor. The LI-19 is then ready to be programmed with the new settings. To do that, click the 'Program' button.

Once programmed this way, the LI-19 shows the sensitivity for a few seconds on the display when switched on, before it starts showing actual measurements. This way you can check the sensitivity setting before use.

Please note that the LI-19 only shows the sensitivity when programmed using the PC software at least once – so it may not yet do this when you receive the unit.

Manually

Your version of the software may not have manual selection of the input amplifier enabled. If it is enabled, and if you want to manually enter the sensor settings, the required LI-19 setup is determined in the following steps:

1. Go to the 'Sensor settings' page. The full range output voltage of the sensor should be less than or equal to the full scale input voltage of the LI-19. The full range output voltage is used to select the maximum input stage amplification factor of the LI-19 in the software. In the box that says 'Input amplifier' you can select the amplification that corresponds to the required full scale input.
2. Next to the amplification factor, you can read how many internal counts each input range will give you. The number that the LI-19 should display at the full scale input value is entered into the multiplier input field. The number of internal counts that corresponds to that full scale input, is entered into the divider field.
3. The decimal dot position for the display is selected.
4. Tick the 'Allowed' checkbox for negative values if the sensor can measure values less than zero. If you do not tick this box, the LI-19 will clip all negative values to zero.
5. The LI-19 is ready to be programmed with the new settings. To do that, click the 'Program' button.

Some examples:

We have a sensor with a calibration factor of 1.238 mV/W/m^2 . We want to measure in a test-room where the light intensity is 100 W/m^2 max.

Step 1: Set the input amplifier to give the required range. Select the 'Sensor settings' page.

The full scale output of the sensor is:

$$1.238 \text{ mV/W/m}^2 \times 100 \text{ W/m}^2 = 123.8 \text{ mV}$$

This should fit the selected range, so an amplification of 1x (input range 200 mV) is the right choice. From the table you can see that this range gives you 20000 counts.

Step 2: Determine the display reading. Enter the figure that the LI-19 should display at full scale in the multiplier field. You can use all 4 available digits, keeping in mind that we can add a decimal point later. So in this case we can enter 1000 for the multiplier.

Enter the number of counts that correspond with the full scale output of the sensor (here 20000 counts * 123.8mV / 200mV = 12380) in the divider field.

Step 3: Set the decimal dot to 888.8. The display will then read 100.0 at 100 W/m² input on the sensor.

Step 4: Select if you want to see negative values or not.

Step 5: Program the settings into the LI-19.

One more example.

We have a sensor with a calibration factor of 4.56 $\mu\text{V/W/m}^2$. We want to measure in the open field where the maximum expected irradiance is 1100 W/m².

Step 1: Set the input amplifier to give the required range. Select the 'Sensor settings' page.

The full scale output of the sensor is:

$$4.56 \mu\text{V/W/m}^2 \times 1100 \text{ W/m}^2 = 5.016 \text{ mV}$$

This should fit the selected range, so select an amplification of 32x, that gives an input range of 6.25 mV. From the table you can see that this range gives you 6250 counts.

Step 2: Determine the display reading. Enter the figure that the LI-19 should display at full scale in the multiplier field. You can use all 4 available digits, keeping in mind that we can add a decimal point later. So in this case we can enter 1100 for the full scale display value in the multiplier field.

Enter the number of counts that correspond with the full scale output of the sensor (here 6250 counts * 5.016mV / 6.25mV = 5016) in the divider field.

Step 3: Set the decimal dot to 8888. The display will then read 1100 at 1100 W/m² input on the sensor.

Step 4: Select if you want to see negative values or not.

Step 5: Program the settings into the LI-19.

Data logger

The PC software is used to enter the data logger setup, and to transfer the setup to the LI-19.

When the LI-19 is programmed with a new datalogger setup, the logger memory in the LI-19 is erased, and then the new settings are used to start a new logging sequence. The logging

only stops when the logger memory is full, when the batteries are depleted, or when the LI-19 is switched off. The PC software can be used to check the logging activities of the LI-19, and the LI-19 also shows some display characters to indicate what it is doing.



Log interval

The log interval is entered in seconds. The pull-down box can be used to preset the correct number of seconds for some popular log intervals. Note that the pull-down is only used for selecting a preset, the number on the left is the log interval that will be transferred to, and used by, the data logger in the LI-19.

Initial delay

When logging starts, an optional delay is used to postpone the start of the first logging interval until a specified date and time. This date and time at which the first interval will start, can be entered in the PC software. When the logger is busy counting down the delay for the first logging interval, the LCD on the LI-19 shows an 'I' that flashes at a slow (1 second on, one second off) rate.

Logging

Once the initial delay has elapsed (the initial delay can be 0) the first logging interval is started. The LI-19 is now actually logging, and the 'I' on the LCD flashes rapidly (1/2 second on, 1/2 second off)

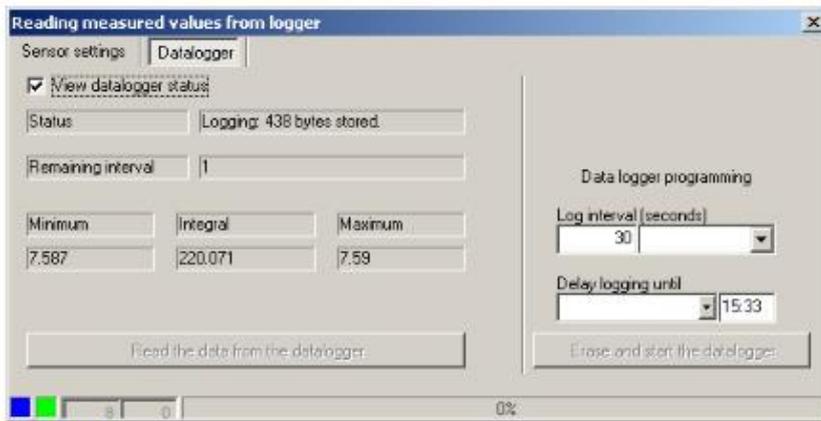
Logged values

During a logging interval, the LI-19 accumulates minimum input value, maximum input value, and average input value. Once the logging interval has elapsed, the values are stored in the logger memory and the next interval is started. Each time the LI-19 stores a new set of values in the logger memory, it flashes the 'm' sign on the display. Logging only stops when the logger memory is full, when the batteries are depleted, or when the LI-19 is switched off.

Read status

You can view the logger status while the logger is active. Reading the status will not interfere with the logging process.

The status will show what the logger is doing, how much time remains in the current interval (if the logger is logging) and what the measured values are. The logger measures an integral over the logging interval. The PC software uses the integral and the interval period to calculate an average value over the logging interval.



Read data

Use the PC software to read the logger memory from the LI-19. You can do this while the LI-19 is logging, reading data will not interfere with the logging process. When the data from the logger memory is collected, it will be presented in a chart.



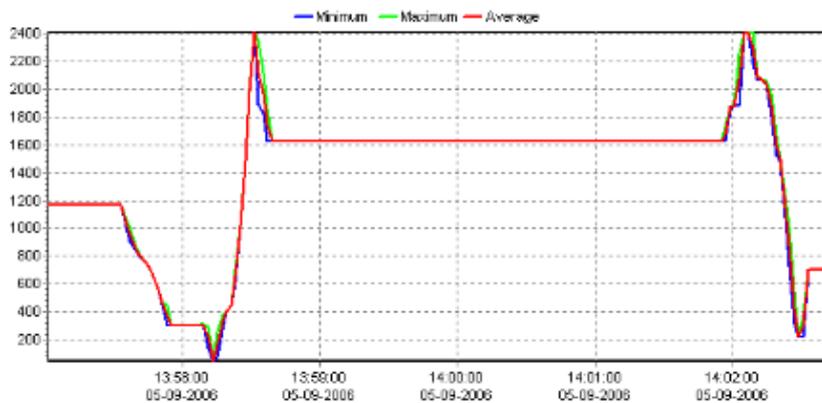
The Y scale can be manually set, and you can also use the mouse to zoom in on a specific area of the chart. Drag the mouse pointer from the top left corner of the area of interest, to the bottom right corner of the area of interest. When the mouse is released, the chart will zoom in on the selected area.



Drag the mouse from bottom right to top left to zoom out again.

Save the data in a logger data file, or export the data in a text format that can be imported in a spreadsheet.

Use the Copy button to place the chart on the clipboard, ready to be pasted into a word document.



Pt100-Temperature-Sensors Type TF101

General

TF101 temperature sensors use EN 60751/IEC 60751 platinum resistance temperature detectors (RTD). For precise temperature measurement the Platinum Resistance Thermometer offers the best overall advantages in repeatability and stability over a long period. High accuracy allows replacement of a sensor without

any need for re-adjust of the connected measuring devices or thermostats. TF101 temperature sensors are available in different designs.

1

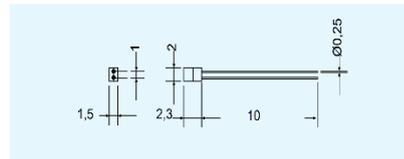
Types / Description

TF101N
-70°C...+500°C



Platinum resistance temperature sensor on ceramic substrate intended for installation into any housing depending to user's requirements. Very small and quick sensor, only suitable for further treatment. Notice: do not cut the sensor leads. Thermal response time refer to manufacturer data: $T_{0.9}$ in the air 10 s, in water <1 s.

Order number: **019061**



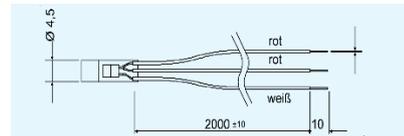
TF101K
-50°C...+170°C



Platinum resistance temperature sensor on ceramic substrate protected by a heat-shrinkable sleeve and with PTFE isolated stranded wire. The TF101K version can be installed in motor or transformer windings. When build-in into windings do not pressure the sensor element. Precautions should be taken to protect sensor and extension leads against push and pull forces. Thermal response time $T_{0.9}$ in the air 100 s, in water 19 s.

With 2-wire connection and cable-length of 2 m there is a temperature-failure of approx. $0.51 \Omega = 1.32 K$ caused by the line resistance.

Cable length: 2000 mm
Weight: 10 g
Order number: 2-wire **T223154**
3-wire **T223134**



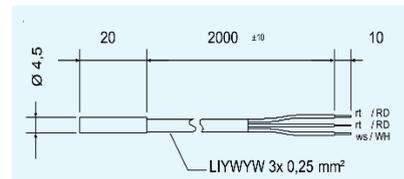
TF 101U2
-30°C...+105°C



Sensors TF101U2 are encapsulated in a stainless-steel-shell V4A. They are suitable for measuring temperatures in fluids, under isolations, at surfaces or for inside or outside applications. The protection class is IP 66. The version with PVC-insulated cable (3 x 0,25 mm² in one cable) can be easily wired. The maximum ambient temperature is 105 °C. The version with PTFE-insulation (3 x 0,14 mm² single wires) withstands peak-temperatures up to 200 °C

Cable length: 2 m / 10 m
Weight: 2m app. 50 g, 10 m app. 250g, PVC app. 20 g PTFE

Order number:
3-wire 2m PVC -30...+105°C **T223051**
3-wire 10m PVC -30...+105°C **T223058**
3-wire 2m TPFE -50...+170°C **T223052**



TF101G3
-50°C...+170°C
Screw-in housing



Platinum resistance temperature sensor on ceramic substrate built into a M6 brass threaded bush, especially suitable for being screwed into metal, e.g. for monitoring temperature of heat sinks or heating plates.

Please note that there will be a measuring error due to the design, as the sensor can lose heat via the connection strand.

Cable length: 2000 mm

Weight: 21 g.

(Dimensions see Dimension illustrations)

Order number: 3-wire **T223143**

TF101ZG2
-50°C...+170°C



Platinum resistance temperature sensor built into steel tube V4A, 1/2 inch, suitable for installation in pipes. Thermal response time $T_{0,9}$ in the air 255 s, in water 45 s.

Suitable for transmission in 2- or 3-wire technique.

Weight 120 g

(Dimensions see Dimension illustrations)

Order numbers:

110 mm insertion depth **T223137**

TF101R
-20...+70°C



Sensor for measuring ambient temperatures inside or outside.

Protection class IP 54. Cabling can be connected in 2- or 3-wire technique.

Housing W x H x D = 65 x 50 x 38 mm

Weight: app. 70 g

Order number: **T223060**

Technical Data

Nominal resistance
Temperature coefficient
Class B, DIN 43 760
Test voltage
Extension leads
Shrink sleeve
max. temperature at sensors
with max. 170°C

100 Ω at 0 °C
 $3,85 \times 10^{-3}/K$ (see table)
 $\Delta\theta = \pm (0,3 + 0,005 \theta)$ [°C]
2,5 kV AC (not TF101N)
PTFE; silver-plated stranded copper wire 0,14 mm²
Kynar
200 °C (max. 170 h)

Cabling

ZIEHL thermostats of TR series are generally insensitive to interference in the sensor line. Occasionally, however, undesirable switching is unavoidable, especially when temperature is near the switching point. For this reason it is highly recommended that cables are not laid parallel to power current lines over long distances. When appropriate, cables should be screened or twisted together.

Line-resistance

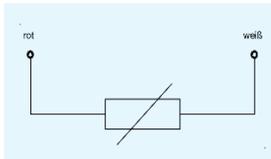
With RTD sensors the resistance of the connecting cable should be considered, otherwise there is an measuring error. The resistance must be compensated. The resistance of a connecting cable can be calculated as follows:

$$R [\Omega] = 2 \times l / (k \times A)$$

l = cable length [m],
 k = conductivity [S x m/mm²] e.g. Cu = 56,
 A = cross sectional area [mm²]

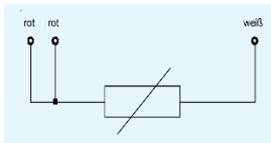
For example copper-wire: $l = 50$ m, cross sectional area 1 mm²: $R = 2 \times 50 / (56 \times 1) = 1,79 \Omega$, Resulting error = $1,79 \Omega / 0,385 \Omega \times K = 4,6$ K.

Linecompensation



2-wire technique

With 2-wire connection the line resistance is compensated for by a potentiometer in the thermostat, by programming (e.g. TR122D, TR600) or via wiring an external resistor. The advantage of the possibly simpler and more economical running of just two wires is counteracted by the disadvantage of the manual compensation required in the case of longer wiring. Differences in resistance caused by temperature changes cannot be compensated.



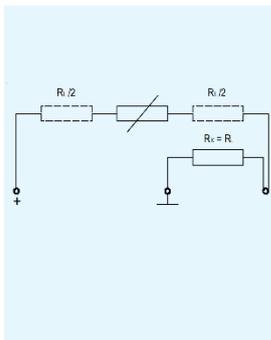
3-wire technique

With 3-wire connection, a third wire (sense) connected to the sensor registers the drop in voltage in one line. For compensation of line resistance it is assumed that the voltage drop in the second line is identical (i.e. the same wire and same wire temperature). Compensation is then performed automatically. Possible changes of resistance in the line due to temperature changes are also compensated for.



4-wire technique

With 4-wire connection, impressed current flows via two wires to the sensor. Via a two sensor line the drop in voltage is measured directly at the sensor. Possible differences in the sensor connection wiring can be disregarded. A disadvantage is the higher costs involved in running 4 wires.



Kombination of 2- and 3-wire technique

When connecting 2-wire-sensors to units with 3-wire input, the line resistance can be compensated by connecting a compensation resistor (R_k) between ground and sense-input. R_k must have the same value as the resistance of the line. The sensor then has to be connected to the + and the sense-input. R_k must be lower than the permitted resistance for 1 line of the 3-wire-input.

Units requiring 3-wire configurations can also be operated by 2-wire sensors. The sensor input is simply shortened. The line resistance need not be compensated.

3-wire sensors can be used as 2-wire sensors, simply by omitting one wire. 2-wire sensors can be branched at any desired position in a 3 or 4-wire connection system. In this case though, the line resistance of the two wires from the branching point to the sensor is not compensated.

ZIEHL thermostats, series TR are designed for use with 2 or 3-wire connection.

Pt100 resistance table

Basic values in Ω for measuring resistors Pt 100 according to DIN/ IEC 751

$^{\circ}\text{C}$	Ω										
-200	18,49	0	100,00	200	175,84	400	247,04	600	313,59	800	375,51
-190	22,80	10	103,90	210	179,51	410	250,48	610	316,80	810	378,48
-180	27,08	20	107,79	220	183,17	420	253,90	620	319,99	820	381,45
-170	31,32	30	111,67	230	186,82	430	257,32	630	323,18	830	384,40
-160	35,53	40	115,54	240	190,45	440	260,72	640	326,35	840	387,34
-150	39,71	50	119,40	250	194,07	450	264,11	650	329,51	850	390,26
-140	43,87	60	123,24	260	197,69	460	267,49	660	332,66		
-130	48,00	70	127,07	270	201,29	470	270,86	670	335,79		
-120	52,11	80	130,89	280	204,88	480	274,22	680	338,92		
-110	56,19	90	134,70	290	208,45	490	277,56	690	342,03		
-100	60,25	100	138,50	300	212,02	500	280,90	700	345,13		
-90	64,30	110	142,29	310	215,57	510	284,22	710	348,22		
-80	68,33	120	146,06	320	219,12	520	287,53	720	351,30		
-70	72,33	130	149,82	330	222,65	530	290,83	730	354,37		
-60	76,33	140	153,58	340	226,17	540	294,11	740	357,42		
-50	80,31	150	157,31	350	229,67	550	297,39	750	360,47		
-40	84,27	160	161,04	360	233,17	560	300,65	760	363,50		
-30	88,22	170	164,76	370	236,65	570	303,91	770	366,52		
-20	92,16	180	168,46	380	240,13	580	307,15	780	369,53		
-10	96,09	190	172,16	390	243,59	590	310,38	790	372,52		

Pt1000-Temperature-Sensor

The Pt1000 sensor is the "big brother" of the Pt100 sensor. Its nominal resistance at 0°C is 1000 Ω . Resistance values of the whole series are higher by a factor of 10. The sensor is used in the same way as the Pt100 sensor. Its dimensions are slightly larger (4 x 5 un-insulated). Thermostats and sensors for Pt1000 on request.

Pt1000 resistance table

values see Pt100, multiplied by the factor of 10.

ANEXO F – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN

```
const int analogInPin = A0; // Analog input pin that the potentiometer is attached to
const int analogOutPin = 9; // Analog output pin that the LED is attached to
float m = 0;
float tempF=0;
int sensorValue = 0; // value read from the pot
long int sensorValue1 = 0;
long int sensorValue2 = 0;
int temperatura1 = 67;
int temperatura2 = 21;
String inString = "";

int outputValue = 0; // value output to the PWM (analog out)
int SerialComando = 0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  calibracion();
}

void loop() {
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  Serial.print("Sensor PT100 = ");
  Serial.print(sensorValue);
  Serial.print("\t Temperatura = ");
  tempF=(float)(m*(sensorValue-sensorValue2)+temperatura2);
  Serial.print(tempF);
  Serial.println("°C"); delay(300000);
}

void calibracion() {
  Serial.println("Quieres iniciar con el proceso de calibracion? S/N");
  while (Serial.available() == 0) {}
  SerialComando = Serial.read();

  if (SerialComando == 'S') {
    calibracionProceso();
  }
  else if (SerialComando == 'N') {
    Serial.println("No se requiere calibracion, se muestran datos del sensor");
    delay(1000);
  }
  else {
    Serial.println("Comando erroneo, reinicie el programa!");
    while (1);
  }
}

void calibracionProceso() {
  Serial.println("Temperatura 1: Dejar sensor listo");
  Serial.println("Escribe un caracter y da ENTER para comenzar:");
  while (Serial.available() == 0) {}
  Serial.println("Espere.... tomando datos");
  for (int i = 0; i < 100; i++) {
    sensorValue1 += analogRead(analogInPin);
  }
}
```

```

    delay(1);
}
sensorValue1 = sensorValue1 / 100;
Serial.print("Dato del sensor :");
Serial.print(sensorValue1);
Serial.print(" Corresponde a :");
Serial.println(temperatura1);
while (Serial.available()) {
    Serial.read();
}
Serial.println("Temperatura 2: Dejar sensor listo");
Serial.println("Escribe un caracter y da ENTER para comenzar:");
while (Serial.available() == 0) {}
Serial.println("Espere.... tomando datos");
for (int i = 0; i < 100; i++) {
    sensorValue2 += analogRead(analogInPin);
    delay(1);
}
sensorValue2 = sensorValue2 / 100;
Serial.print("Dato del sensor:");
Serial.print(sensorValue2);
Serial.print(" Corresponde a :");
Serial.println(temperatura2);

Serial.print("La pendiente del sistema es m=(y2-y1)/(x2-x1)=");
m = (float)((temperatura1 - temperatura2)/(sensorValue1 - sensorValue2));
Serial.println(m);

while (Serial.available()) {
    Serial.read();
}
Serial.println("Escribe un caracter y da ENTER para comenzar la lectura de los datos:");
while (Serial.available() == 0) {}
}

```

ANEXO G – CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DEL PIRANÓMETRO

```
//Piranómetro
const int IrradianciaMax = 1000; //Irradiancia máxima en ecuador 1000 W/m2
int val;
float Irradiancia;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  val = analogRead(A1);
  Irradiancia = map (val, 0,1024,0, IrradianciaMax);
  imprimirPiranometro(Irradiancia);
  delay(1000);
}

void imprimirPiranometro(float Irradiancia){
  Serial.print(" Lectura del Piranómetro => ");
  Serial.print(Irradiancia);
  Serial.println(" W/m2 ");
}
```

REFERENCIAS

- Lonegro Birovchez, M. J. (2020). *Manual de buenas prácticas ambientales-Hotel Howard Johnson Villa Carlos Paz (Córdoba)*. Córdoba: Universidad Empresarial Siglo 21.
- Daza, I., Garzón, C., Prieto, B., & Ramírez, E. (2020). Aplicación de la energía solar térmica en la actualidad. *Actualización en Ingeniería Mecánica y electrónica*, 62(1), 37-47.
- Ávila, S. S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica CIDC*, 30(3), 263-278.
- Vianey, A., & Urrea, C. (2020). *Diseño e implementación de un panel de generación de energía eléctrica a partir de celdas solares unitarias de CdS y CdTe*. Mexicali: Universidad Autónoma de Baja California.
- Orts, S., Gimeno, F., Seguí, S., González, P., Balbestre, I., Palau, C., . . . Escriba, A. (2020). Instalación Fotovoltaica con Almacenamiento en Baterías de Litio para la Inclusión de los Objetivos de Desarrollo sostenibles en las Ingenierías. *XIV Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, 13(14), 153-160.
- Mantilla, R. M. (2020). *Análisis de la política energética y la dinámica de las hidroeléctricas en el Ecuador: 2011-2017*. Quito: PUCE-Quito.
- Almacaña, N. C., & Blandon, B. E. (2019). *Implementación de un seguidor solar de un eje para un sistema fotovoltaico de 100 W en el CEAA-ESPOCH*. Riobamba: Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Díaz, R., Santos, A., Castro, M., & Vilaragut, M. (2018). Análisis de la influencia del ángulo de inclinación en la generación de una central fotovoltaica. *Ingeniería Energética*, 146-156.
- Vera, Y. E., Pérez, L. F., Pardo, L. A., & Benavides, C. H. (2019). Análisis Comparativo del Rendimiento de los Módulos Fotovoltaicos Monocristalino y Policristalino bajo Condiciones Climáticas de Fusagasugá. *Ingeniería*, 49-63.
- Valer, L. R. (2016). Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 15(1), 20-26.
- Collaguazo, G. I. (2021). *Estudio de factibilidad técnica económica para la implementación de un sistema de generación fotovoltaica en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicada*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

- Rincon, J. F., & Rosas, C. M. (2019). *Sistemas de generación solar como alternativa para superar la pobreza energética del municipio de vigía del fuerte del departamento de antioquia*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD.
- Mejía, C. (2019). *Expectativas de la cuarta revolución industrial, Doctoral dissertation*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Lastra, J., & Rifkin, J. (2017). La Tercera Revolución Industrial. *Boletín mexicano de derecho comparado*, 50(150), 1457-1462.
- Crespo, J. (2019). *Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL)*. Cuenca: Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Gámez, J., Casados, H., Hernández, J., & Palacios, E. (2017). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PANEL SOLAR EN LA UT DE ALTAMIRA. *Pistas Educativas*, 38(124), 134-151.
- Díaz, F. D. (2018). *Dimensionamiento de una minicentral solar fotovoltaica aislada para el suministro de energía eléctrica al centro poblado Guarrago ubicado en el distrito de Súcota, provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Stadler, C., Wolfram, E., Carmona, F., & Orte, F. (2017). *Estudio del impacto de la radiación solar Ultravioleta en las personas por medio de información de satélite*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro, Facultad de Ciencias.
- Sulca, L., & Paulino, C. (2019). *Estimación de la radiación solar global mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow–Campbell en la región Pasco*. Cerro De Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Mejia, A., Londoño, M., & Osorio, J. (2010). Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico. *Scientia et technica*, 1(44), 245-250.
- Fernández, I. (2018). *Caracterización espectral del aumento de temperatura en células solares fotovoltaicas*. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.
- Posso, F. (2017). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(1-2), 54-73.
- Chinchilla, M. A. (2006). Control of permanent-magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid. *IEEE Transactions*, 130-135.
- Henderson, A. M. (2003). Offshore Wind Energy in Europe. *A Review of the State-of-the-Art*. *Wind energy*, 35-52.

- SALVADOR, A. R. (2010). APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES. *R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, 104(2), 331-345.
- Torres, D. C. (2014). *Celdas solares orgánicas: energía alternativa ecológica*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Chapin DM, F. C. (1954). A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. . *Journal of Applied Physics*, 25(5), 676-677.
- Chakraborty, S., Sadhu, P., & Pal, N. (2015). Technical mapping of solar PV for ISM-an approach toward green campus. *Energy Science and Engineering*.
- Juan Carlos Ardilla, J. C. (2013). Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa. *Ing. Eléctrica - Electrónica*, 9(2), 234-236.
- DIAZ N. Hedier, y. D. (2007). *Análisis, Modelado, Simulación y Validación de un sistema de generación de energía solar autónomo*. Cali: Universidad Autónoma.
- Rosso-Cerón, A. M. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy systems in Colombia. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 10, 103-110.
- Kannan, N. y. (2016). Solar energy for future world: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62(1), 1092-1105.
- Gasparatos, A. D. (2017). Crossmark. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70(1), 161-184.
- MARKVART, T. (2001). *Solar Electricity*. Inglaterra: British Library.
- ARIAS NAVARRO, A. (2009). *Casa Rural Sostenible*. Barcelona: Universidad de Cataluña.
- Carlos., R. G. (2010). *Proyecto de instalaciones para el ahorro de energía y agua en una vivienda unifamiliar situada en Sant Gregori (Girona)*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- MCNELIS, B. (2007). Renewable Energy Powered Water Services. *En: International Energy Agency.Hampshire*, 1-4.
- SCHEUERMANN, K. (2003). Just How Big Is a 2 kW Photovoltaic System? *En: Home Energy*, 24-29.
- Lewis, N. S. (2007). Toward Cost-Effective Solar Energy Use. *Science*, 315(5813), 798-801.
- Lúcio, G. F. (2016). Solar Energy Materials & Solar Cells Study of the energy balance and environmental liabilities associated with the manufacture of crystalline Si photovoltaic

- modules and deployment in different regions. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 144, 383-394.
- Ghasemi Mobtaker, H. A. (2016). Solar energy conservation in greenhouse: Thermal analysis and experimental validation. *Renewable Energy*, 96, 509-519.
- Marín, C. E. (2004). La energía solar fotovoltaica en España. *Nimbus*, 13(14), 5-31.
- GREENPEACE. (2003). *Guía Solar. Cómo disponer de energía solar fotovoltaica conectada a la red eléctrica*. Madrid: GREENPEACE.
- UNESA. (1991). *La energía solar*. Madrid: Madrid.
- GRUPO NAP. (2002). *energía Solar fotovoltaica*. Madrid: Ibergraphi.
- Laminguero, O. P. (2013). *Energía Solar fotovoltaica*. España: Creative commons.
- Roldan, P. (2009). *Evaluación de las energías renovables no convencionales factibles de desarrollarse en el Ecuador*. Quito: Escuela politécnica nacional.
- Peláez, M., & Esponiza, J. (2018). *Energías Renovables en Ecuador: Situación actual, tendencias y perspectivas*. Cuenca: Gráficas Hernández.
- Beate, B. (2008). *Perfil del Proyecto Geotérmico Chalupas y Resumen de Otras Áreas Geotérmicas en el Ecuador*. Quito: CONELEC.
- CENTROSUR. (2012). *Trayectoria*. Cuenca: CENTROSUR.
- FEDETA. (2008). Amazonía: Energías renovables, electrificación rural y Desarrollo humano sostenible. *Seminario Regional Quito y Coca*. Quito: FEDETA.
- DeGunther, R. (2018). *Alternative Energy for Dummies*. Wiley Publishing.
- Innovacion y Cualificacion, S. L. (2017). *Montaje electrico y electronico en instalaciones solares fotovoltaicas*. IC ENAE0108 : El Libro.
- Qamar, U. (2019). . Design and implementation of solar tracker to defeat energy crisis in Pakistan. *International Journal of Engineering and Manufacturing*, 31.
- Suárez, V. (2018). *Introducción SCADAS y HMI*. Introducción SCADAS y HMI.
- Semantic Systems. (2018). ¿En que consiste la monitorización de sistemas? *semantic Systems*.
- Junco, G., & Rabelo, S. (2018). Los recursos de red y su monitoreo. *Cuba. Inform. Méd*, 76-83.
- Ortiz, F., & Cáceres, P. (2015). Programación de PLC, HMI y comunicaciones en la industria. *In Journal of Chemical Information and Modeling*.

- Caguao, G., & Hernandez, C. (2018). *Propuesta de diseño de un sistema de lavado de plástico reciclado para la Planta de Plásticos R.F.C., C.A.* Universidad de Carabobo: El libro.
- Pérez, C., & Gomez, M. (2018). Performance-centered adaptive curriculum for employment needs. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*, 1-21.
- Labarta, J. (2012). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. San Sebastián: Editorial Donostiarra Sa.
- SMA ShadeFix. (2017). SUNNY BOY 3.0-US / 3.8-US / 5.0-US / 6.0-US / 7.0-US / 7.7-US. *Datasheet*.
- GROWATT. (2022). *Datasheet*.
- Chavarría, J. (2010). *Diseño e Implementación de un Inversor Multinivel para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red*. Barcelona: ETSETB.
- Trina Solar. (2022). The Vertex Backsheet monocrystalline module. *Datasheet*.
- Hidayanti, F., Rahmah, F., & Agosto, J. (2020). Diseño de seguidor solar en panel solar con concentrador Fresnel. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Avanzadas*, 29(05), 1014-1025.
- Saucedo, M. (2018). Comparación de tarjetas arduino uno originales y clones como instrumento de medición. *Pistas Educativas*(39), 128.
- Cánovas, D. (2020). *Diseño de actuadores lineales para dispositivos protésicos robotizados*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena .
- Perdigones, A., Peralta, I., Nolasco, J., Muñoz, M., & Pacual, V. (2004). Sensores para el control climático en invernadero. *Tecnología de Producción*, 44-49.