

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍAS RENOVABLES



**“ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE GENERACIÓN EN DOS
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON TECNOLOGÍA
TRANSPARENTE CON DIFERENTE GRADO DE
INCLINACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN EN LA
EDIFICACIÓN DE LA EPIER-UNAJ-AYABACAS”**

Presentado por:

Bach. Arnold Francisco Luque Quispe

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Asesor:

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra



JULIACA - PERÚ

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍAS RENOVABLES



**“ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE GENERACIÓN EN DOS
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON TECNOLOGÍA
TRANSPARENTE CON DIFERENTE GRADO DE
INCLINACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN EN LA
EDIFICACIÓN DE LA EPIER-UNAJ-AYABACAS”**

Presentado por:

Bach. Arnold Francisco Luque Quispe

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Asesor:

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra



JULIACA - PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE GENERACIÓN EN DOS
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON TECNOLOGÍA
TRANSPARENTE CON DIFERENTE GRADO DE INCLINACIÓN
PARA LA INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN DE LA EPIER-
UNAJ-AYABACAS”**

Bach. Arnold Francisco Luque Quispe

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor:

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra

Juliaca, 2024

Ficha Catalográfica

LUQUE, A. (2024). *Análisis de la potencia de generación en dos módulos fotovoltaicos con tecnología transparente con diferente grado de inclinación para la integración en la edificación de la EPIER-UNAJ-Ayabacas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Arnold Francisco Luque Quispe

TÍTULO: Análisis de la potencia de generación en dos módulos fotovoltaicos con tecnología transparente con diferente grado de inclinación para la integración en la edificación de la EPIER-UNAJ-Ayabacas

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (114 pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables – Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 02-000028-02/L99

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: M. Sc. Reynaldo Condori Yucra

PALABRAS CLAVE: Energía solar, sistemas de Energía Eléctrica Fotovoltaica Integrada en el edificio (BIPV), sostenibilidad en edificios, tecnología fotovoltaica transparente TPV, traslucidos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES

**“ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE GENERACIÓN EN DOS MÓDULOS
FOTOVOLTAICOS CON TECNOLOGÍA TRANSPARENTE CON DIFERENTE
GRADO DE INCLINACIÓN PARA LA INTEGRACIÓN EN LA EDIFICACIÓN
DE LA EPIER-UNAJ-AYABACAS”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentado por:

Arnold Francisco Luque Quispe

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito
PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Jhon Eduardo Abarca Suca
JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

M. Sc. Alex Mario Lerma Coaquira
JURADO (vocal)



3° MIEMBRO



M. Sc. Reynaldo Condori Yucra
ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

ANÁLISIS DE LA POTENCIA DE GENERACIÓN EN DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CON TECNOLOGÍA TRANSPARENTE CON

AUTOR

Arnold Francisco Luque Quispe

RECUENTO DE PALABRAS

25074 Words

RECUENTO DE CARACTERES

129806 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

115 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.3MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 20, 2024 4:42 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 20, 2024 4:44 PM GMT-5

● 5% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Msc. REYNALDO CONDORI YUCRA
ASESOR

Resumen

DEDICATORIA

Con todo mi corazón a mis padres Francisco Luque y Elena Quispe por su motivación y apoyo incondicional, a mi hermana Maribel por sus consejos y llamadas de atención que me formaron el profesional que soy.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser mi principal motivación., a mi asesor por guiarme con sus conocimientos y experiencia. Agradecer a los docentes de la escuela profesional de Ingeniería en Energías Renovables, por haberme compartido sus mejores enseñanzas, experiencias y alientos durante todos estos años. También quiero agradecer a mis amigos y compañeros de clase, que sin ellos nada hubiese sido como lo que es ahora.

ÍNDICE

Dedicatoria	vii
Agradecimientos	viii
Índice de figuras	xiii
Resumen	xx
Abstract	xxi
Introducción	22
CAPÍTULO I.....	23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.1 Formulación del problema.....	23
1.1.1 Problema general.....	23
1.1.2 Problemas específicos	23
1.2 Objetivos de la investigación	24
1.2.1 Objetivo general	24
1.2.2 Objetivos específicos.....	24
1.3 Justificación de la investigación.....	24
1.3.1 Justificación técnica	24
1.3.2 Justificación económica	25
1.3.3 Justificación ambiental	25
1.3.4 Justificación social	25
CAPÍTULO II.....	26
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	26
2.1 Antecedentes	26
2.1.1 Internacional.....	26
2.1.2 Nacional	29
2.1.3 Regional	29
2.2 Bases teóricas de la investigación	29
2.2.1 Radiación solar.....	29
2.2.2 Irradiación diaria recibida por el generador	30
2.2.3 Irradiancia.....	31
2.2.4 Constante Solar	31
2.2.5 Masa de Aire (AM)	31

2.2.6	Hora solar pico (HSP)	32
2.2.7	Orientación	32
2.2.8	Módulo solar fotovoltaico	33
2.2.9	Transmisión luminosa	33
2.2.10	Reflexión luminosa	34
2.2.11	Factor solar	34
2.2.12	Clasificación de los sistemas fotovoltaicos en edificaciones	34
2.2.13	Building-integrated Photovoltaics – BIPV	34
2.2.14	Barreras para la integración de sistemas - BIPV	35
2.2.15	Módulo solar transparente	36
2.2.16	Características de los módulos solares – transparentes	36
2.2.17	Aplicaciones de los sistemas BIPV	39
CAPITULO III		41
MATERIALES Y MÉTODOS		41
3.1	Formulación de hipótesis	41
3.1.1	Hipótesis general	41
3.1.2	Hipótesis específico	41
3.2	Metodología de investigación	41
3.2.1	Diagrama de flujo	41
3.3	Recursos y materiales	43
3.3.1	Ubicación del proyecto	43
3.3.2	Recursos humanos	44
3.3.3	Materiales y componentes eléctricos	44
3.3.4	Materiales de construcción de la estructura	48
3.3.5	Software para el desarrollo	49
3.4	Cálculos justificativos	49
3.4.1	Irradiación diaria recibida por el generador	49
3.4.2	Energía diaria producida por el generador (Edc)	49
3.4.3	Productividad de referencia o reference yield (YR)	51
3.4.4	Productividad del generador fotovoltaico o array yield (Ya)	52
3.4.5	Pérdidas de captura (Lc)	52
3.4.6	Eficiencia del array (Na)	53
3.4.7	Factor de forma	54
3.4.8	Temperatura de la célula fotovoltaica teórica	54

CAPÍTULO IV.....	57
RESULTADOS Y DISCUSIONES	57
4.1 Período en ejecución	57
4.2 Análisis del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación	57
4.2.1 Comportamiento de la temperatura de la celda del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación.....	58
4.2.2 Comportamiento de la temperatura ambiente del módulo fotovoltaico	58
4.2.3 Comportamiento de la irradiancia y potencia vs tiempo del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación.....	59
4.2.4 Análisis de la eficiencia del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación	60
4.2.5 Curva I – V del módulo fotovoltaico transparente a 22° de inclinación	60
4.3 Análisis del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación	62
4.3.1 Análisis de la temperatura de la celda del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación	62
4.3.2 Análisis de la temperatura ambiente del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación	63
4.3.3 Análisis de la irradiancia vs potencia del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación.....	63
4.3.4 Análisis de la eficiencia del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación	64
4.3.5 Curva I – V del módulo fotovoltaico transparente a 90° de inclinación	64
4.4 Proyección del generador fotovoltaico para la inserción al instituto de energías renovables de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas.	66
4.4.1 Análisis para el área techada de policarbonato	66
4.4.2 Análisis de la energía para el área de ventanas orientadas al norte.....	66
4.5 Análisis comparativo con otros trabajos de investigación	67
CAPÍTULO V.....	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
5.1 Conclusiones	71
5.2 Recomendaciones.....	72
CAPÍTULO VI.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
Anexo 1. Especificaciones técnicas del sistema de adquisición de datos	77

Anexo 2. Cálculo de parametros de evaluación del sistema según el desarrollo de la norma UNE – EN 61724 “Monitorización de sistemas fotovoltaicos, guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis”	85
Anexo 3. Cantidad de módulos fotovoltaicos transparentes a utilizar	89
Anexo 4. Cálculo de pérdidas y eficiencia del módulo fotovoltaico (MFV)	93
Anexo 5. Proceso de construcción de la estructura, montaje y conexión del módulo fotovoltaico transparente.	96
Anexo 6. Trazador de curvas	98
Anexo 7. Programación del sistema de adquisición de datos	99
Anexo 8. Materiales y dispositivos utilizados.....	103
Anexo 9. Resumen de datos promedio mensual (ago – set).....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mega estructura ubicada en Dubai, potencia instalada de 5MW.....	28
Figura 2. Edificación ubicada China, con una cantidad de MFV BIPV de 307 unid.....	28
Figura 3. Estadio de Miami Heat EE.UU. cantidad de MFV BIPV de 300 unidades y 34.5 MW de potencia instalada.....	28
Figura 4. Tipos de radiación.....	30
Figura 5. Longitud de onda aprovechable por un módulo fotovoltaico	30
Figura 6. Irradiación diaria recibida por el generador – kWh/m ² /día del SFV del CERUNI de 4.3kW tomado el 09 de enero del 2020.....	31
Figura 7. Masa de aire, según la diferencia de ángulos con respecto al sol.....	32
Figura 8. Comportamiento de las HSP en el transcurso del día.....	32
Figura 9. Orientación e inclinación de un módulo fotovoltaico.....	33
Figura 10. Módulo solar fotovoltaica convencional.....	33
Figura 11. Edificios con sistemas fotovoltaicos (a) BAPV y (b) BIPV.....	34
Figura 12. Clasificación de los sistemas BIPV.....	35
Figura 13. Módulo solar transparente.....	38
Figura 14. Módulos solares de colores de película delgada.....	38
Figura 15. Paneles solares transparentes en edificaciones.....	39
Figura 16. Aplicaciones de sistemas BIPV.....	39
Figura 17. Diagrama de flujo del proyecto de investigación.....	42
Figura 18. Ubicación de del proyecto.....	43
Figura 19. Módulo fotovoltaico de tecnología transparente a diferente inclinación.....	43
Figura 20. Módulo fotovoltaico transparente.....	45
Figura 21. Tablero para la adquisición de datos.....	45
Figura 22. Temperatura diaria promedio mensual a 22° de inclinación de la célula FV medida vs célula FV teórica.....	55
Figura 23. Temperatura diaria promedio mensual a 90° de inclinación de la célula FV medida vs célula FV teórica.....	56

Figura 24. Ubicación de los sensores de temperatura de la celda fotovoltaica y temperatura ambiente.....	57
Figura 25. Temperatura diaria promedio mensual de la celda FV a 22° de inclinación. ...	58
Figura 26. Temperatura diaria promedio mensual ambiente (ago – set).....	59
Figura 27. Curva de irradiancia y potencia vs tiempo a 22° de inclinación.....	59
Figura 28. Curvas I – V, P – V, I – V STC, datos proporcionados por el trazador de curvas modelo EI – MEDFAS – SISTSO – 400.....	61
Figura 29. Módulo fotovoltaico transparente a 90° de inclinación.	62
Figura 30. Temperatura diaria promedio mensual a 90° de inclinación.	62
Figura 31. Temperatura ambiente diaria promedio mensual a 90° de inclinación.....	63
Figura 32. Curva de irradiancia y potencia vs tiempo a 90° de inclinación.....	63
Figura 33. Curvas I – V, P – V, I – V STC, datos proporcionados por el trazador de curvas modelo EI – MEDFAS – SISTSO – 400.....	65
Figura 34. Área techada de policarbonato del instituto EPIER – UNAJ.	66
Figura 35. Fachada del instituto de la EPIER con ventanas orientadas al norte.	67
Figura 36. Imagen del software Helioscope con el cual se proyectó el sistema fotovoltaico de tecnología convencional (monocristalino).....	69
Figura 37. Visualización de MFV instalados en el techo.....	70
Figura 38. Raspberry Pi4.....	77
Figura 39. Medidor de energía.	78
Figura 40. Diagrama de conexión de la placa de medición de temperatura PTA 8D08 con los sensores PT – 100.....	80
Figura 41. Sensor de temperatura PT – 100.	81
Figura 42. Resistencia SHUNT 10 A.	82
Figura 43. Módulo convertidor USB a RS485.....	83
Figura 44. Diagrama unifilar del tablero de control.....	84
Figura 45. Área techada de policarbonato del instituto de energías renovables – UNAJ.	89
Figura 46. Área a ocupar por los MFV transparentes – UNAJ.....	90

Figura 47. Ubicación de las ventanas de la fachada del instituto de energías renovables – UNAJ	91
Figura 48. Edificio del banco de la nación considerado el más alto del Perú con 140 metros de altura.....	91
Figura 49. Edificio hotel Westin Libertador cuenta con una altura de 120m.....	92
Figura 50. Torre Begonia dist. San Isidro cuenta con una altura de 120m.	92
Figura 51. Armado de estructura con soldadura SMAW	96
Figura 52. Montaje de módulo fotovoltaico a diferente grado de inclinación juntamente con el gabinete de adquisición de datos.....	96
Figura 53. Montaje y conexionado de dispositivos de medición.	97
Figura 54. Modelo y marca del trazador de curvas.	98
Figura 55. Realizando las pruebas con el trazador de curvas, sensor de radiación solar.....	98
Figura 56. Diagrama de procedimiento para la adquisición de datos.....	100
Figura 57. Programación del sistema de adquisición de datos en Python.....	100
Figura 58. Archivos recolectados con su extensión en texto.....	101
Figura 59. Visualización en tiempo real del proceso de adquisición de datos.....	101
Figura 60. Pantalla de inicio del aplicativo TeamViewer.	102
Figura 61. Pantalla de inicio del aplicativo RealVNC Viewer.....	102
Figura 62. Características del módulo solar fotovoltaico transparente.	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Especificación técnica del producto modelo FG-135WM</i>	44
Tabla 2 <i>Componentes del tablero de adquisición de datos</i>	46
Tabla 3 <i>Materiales de construcción para la estructura del MFV</i>	48
Tabla 4 <i>Cálculo de irradiación diaria promedio mensual de agosto a noviembre</i>	49
Tabla 5 <i>Cálculo de energía diaria promedio mensual de agosto a noviembre a diferentes grados de inclinación</i>	50
Tabla 6 <i>Energía producida a diferente ángulo de inclinación</i>	50
Tabla 7 <i>Cálculo de productividad de referencia diaria promedio mensual a diferentes grados de inclinación</i>	51
Tabla 8 <i>Cálculo de productividad del generador fotovoltaico diario promedio mensual</i>	52
Tabla 9 <i>Cálculo de pérdidas de captura del generador fotovoltaico diario promedio mensual a diferentes grados de inclinación</i>	52
Tabla 10 <i>Cálculo de la eficiencia del generador fotovoltaico diario promedio mensual a diferentes grados de inclinación</i>	53
Tabla 11 <i>Interpretación de colores del trazador de curvas</i>	60
Tabla 12 <i>Comparación de parámetros eléctricos y ambientales proporcionados por el trazador de curvas</i>	61
Tabla 13 <i>Interpretación de colores del trazador de curvas</i>	64
Tabla 14 <i>Comparación de parámetros eléctricos y ambientales proporcionados por el trazador de curvas</i>	65
Tabla 15 <i>Datos de los dos sistemas fotovoltaicos a comparar</i>	68
Tabla 16 <i>Datos técnicos característicos de Raspberry Pi4</i>	76
Tabla 17 <i>Datos técnicos característicos del medidor de energía DCM 230</i>	77
Tabla 18 <i>Datos técnicos característicos de la placa de medición temperatura PTA 8D08</i>	80
Tabla 19 <i>Datos técnicos característicos del sensor de temperatura PT – 100 (tipo B)</i>	81
Tabla 20 <i>Resistencia SHUNT</i>	82
Tabla 21 <i>Módulo Convertidor USB a RS485</i>	82

Tabla 22 <i>Pérdidas porcentuales en la generación de energía eléctrica del módulo fotovoltaico transparente a 22° de inclinación.....</i>	94
Tabla 23 <i>Pérdidas porcentuales en la generación de energía eléctrica del módulo fotovoltaico transparente a 90° de inclinación.....</i>	94
Tabla 24 <i>Parámetros eléctricos y ambientales.....</i>	105

ABREVIATURAS Y SIGLAS

SFV	– Sistema fotovoltaico
MFV	- Módulo fotovoltaico
HSP	- Hora solar pico
M.D.	- Máxima demanda
FF	- Factor de forma
BIPV	- Building integrated Photovoltaics
TPV	- Energía fotovoltaica transparente
FV	- Fotovoltaico
UNAJ	- Universidad Nacional de Juliaca
CERUNI	- Centro de energías renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería
BAPV	- Building Applied Photovoltaics
SI	- Sistema internacional
AM	- Masa de aire
AC	- Corriente alterna
DC	- Corriente continua
SCT	- Condiciones estándares de prueba
TONC	- Temperatura de operación nominal de la célula

LISTA DE SÍMBOLOS

- Edc - Energía diaria producida por el generador ($\text{Wh/m}^2 \cdot \text{día}$)
- Lc - Pérdidas de captura ($\text{kWh/kWp} \cdot \text{día}$; hora)
- Yr - Productividad de referencia ($\text{kWh/kWp} \cdot \text{día}$) ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}$; hora)
- Ya - Productividad del generador fotovoltaico ($\text{kWh/kWp} \cdot \text{día}$; hora)
- Na - Eficiencia del módulo fotovoltaico (%)
- H - Irradiación diaria recibida por el generador ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{día}$)
- Gi - Irradiancia en el plano del generador ($\text{W/m}^2 \cdot \text{día}$)
- T.amb - Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
- T. cell - Temperatura de la celda FV ($^{\circ}\text{C}$)
- Isc - Corriente de cortocircuito (A)
- Ippm - Corriente en el punto de máxima potencia (A)
- Voc - Tensión de circuito abierto (V)
- Vppm - Tensión en el punto de máxima potencia (V)
- Wp - Vatios pico (W)
- A - Área (m^2)

RESUMEN

La energía fotovoltaica transparente (TPV) y los sistemas de Energía Eléctrica Fotovoltaica Integradas en el edificio (BIPV), combinan la transparencia visible y la transformación de energía solar en energía eléctrica, reemplazando las ventanas de vidrio de los edificios y aumentando el área disponible para los módulos solares (Kangmin, 2020). Para la evaluación del proyecto se instaló el MFV de tecnología transparente y un sistema de adquisición de datos en la EPIER-UNAJ sede Ayabacas. Para los meses de agosto y setiembre el ángulo de inclinación del MFV es de 22°, y para los meses de octubre y noviembre el ángulo de inclinación del MFV es de 90°. Teniendo como resultado que la energía diaria promedio mensual generada por el módulo fotovoltaico de tecnología transparente a 22 y 90 grados de inclinación es de 0.87 y 0.31 kWh/día respectivamente, esto quiere decir que, al instalar el MFV a 90° de inclinación tendremos una pérdida de generación de energía eléctrica del 64% con respecto al de 22°. Por otro lado, la temperatura de célula máxima promedio mensual a 22° de inclinación es de 46.5°C y la temperatura ambiente máxima promedio mensual es de 28.2°C y con una inclinación de 90° la temperatura de célula máxima promedio mensual es de 32.9°C. La eficiencia del módulo fotovoltaico a 22° de inclinación es de 13.491 % y a 90° de inclinación es de 6.114 %. Para la proyección del sistema FV a 22° de inclinación se instalará un total de 514 unidades de MFV en un área de 805.438 m² suministrando 13.415 MWh/mes de energía eléctrica. Y de la misma forma se desarrolla para las ventanas orientadas al norte con una inclinación de 90°, ocupando un área de 53.89 m² y con un total de 34 unidades de MFV generando así 326.74 kWh/mes de energía eléctrica.

Palabras clave: Energía solar, sistemas de Energía Eléctrica Fotovoltaica Integrada en el edificio (BIPV), sostenibilidad en edificios, tecnología fotovoltaica transparente TPV, traslucidos.

ABSTRACT

Transparent photovoltaics (TPV) and Building Integrated Photovoltaic (BIPV) systems combine visible transparency and the conversion of solar energy into electrical energy, replacing glass windows in buildings and increasing the area available for solar modules (Kangmin, 2020). For the evaluation of the project, the transparent technology MFV and a data acquisition system were installed at the EPIER-UNAJ Ayabacas campus. For the months of August and September, the inclination angle of the MFV is 22°, and for the months of October and November, the inclination angle of the MFV is 90°. Given that the average daily monthly energy generated by the transparent technology photovoltaic module at 22 and 90 degrees inclination is 0.87 and 0.31 kWh/day respectively, this means that, when installing the MFV at 90° inclination we will have a loss of electrical energy generation of 64% compared to 22°. On the other hand, the average maximum monthly cell temperature at 22° inclination is 46.5°C and the average maximum monthly ambient temperature is 28.2°C and with a 90° inclination the average maximum monthly cell temperature is 32.9°C. The efficiency of the photovoltaic module at 22° inclination is 13.491 % and at 90° inclination it is 6.114 %. For the projection of the PV system at 22° inclination, a total of 514 PV units will be installed in an area of 805,438 m² supplying 13,415 MWh/month of electric energy. And the same is developed for the windows facing north with an inclination of 90°, occupying an area of 53.89 m² and with a total of 34 PV units thus generating 326.74 kWh/month of electric energy.

Keywords: Solar energy, Building Integrated Photovoltaic Electrical Energy (BIPV) systems, sustainability in buildings, transparent TPV photovoltaic technology, translucent.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 12 años, el avance tecnológico de los paneles solares ha sido muy acelerado. Los cambios en los materiales empleados, la potencia, los tamaños y otros aspectos han sido de gran importancia. Esto ha permitido que sea más accesible y que más personas en el mundo puedan aprovechar esta tecnología (PROJECT, 2022).

Hoy en día, los avances en la tecnología de paneles solares continúan progresando rápidamente. Existen paneles diseñados como ventanas, los cuales, aunque son estéticamente atractivos, aún presentan una baja eficiencia. Esta tecnología enfrenta un gran reto en cuanto a la producción a gran escala, y sus especificaciones varían considerablemente dependiendo de cada aplicación. Además, la confiabilidad de los procesos productivos las hace tecnologías muy costosas para aplicaciones generales (PROJECT, 2022).

En nuestra región de Puno, aún no se cuenta con investigaciones con relación a la utilización de módulos fotovoltaicos transparentes o traslucidos aplicados en edificaciones de menor a mayor envergadura.

En este proyecto de investigación daremos a conocer las virtudes de este tipo de tecnología aplicado a la infraestructura del instituto de energías renovables UNAJ sede Ayabacas, interpretando los parámetros eléctricos y ambientales, su eficiencia y la proyección en el techo de policarbonato y en las ventanas de la fachada del instituto, además conoceremos que son las construcciones Building integrated Photovoltaics (BIPV) - Sistemas de Energía Eléctrica Fotovoltaica Integrada en el edificio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cuarenta por ciento de la energía generada en el mundo se consume en edificaciones y, a medida que avanza la industrialización, se espera que aumente la porción de energía consumida en los edificios.

De acuerdo con los investigadores de la Universidad Estatal de Michigan - 2019, la versión actual de los paneles solares transparentes presenta una eficiencia inferior, mientras que los paneles solares tradicionales alcanzan una eficiencia de entre el 15% y el 18%. Como podemos comprobar, actualmente, las células fotovoltaicas transparentes son menos eficientes que las fotovoltaicas convencionales, pero los investigadores confían en seguir desarrollando este prototipo de células y así, mejorar su eficiencia energética (Podo, 2019).

Los avances iniciales en el uso del vidrio fotovoltaico ya están en marcha, incorporando tecnología fotovoltaica en edificios a través de ventanas y lucernarios, como una forma de contribuir a la mejora de su eficiencia energética. Este enfoque orienta convertir a los usuarios en productores. En otras palabras, se busca un modelo en el que las personas generen electricidad al mismo tiempo que la consumen, combinando ambos procesos.

Teniendo en cuenta los antecedentes, se realizará este estudio para determinar la producción de energía a través de módulos fotovoltaicos transparentes y la integración de estos mismos en los edificios, para las condiciones del centro poblado de Ayabacas – Juliaca.

1.1 Formulación del problema

Bajo los argumentos propuestos se plantea las siguientes interrogantes de investigación:

1.1.1 Problema general

¿En qué medida influirá el ángulo de inclinación de módulos fotovoltaicos transparentes en la potencia de generación para su integración en la edificación de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera influirá las condiciones ambientales y climatológicas en los parámetros eléctricos de módulos fotovoltaicos transparentes para su integración en la edificación?

- ¿Será posible determinar y evaluar la potencia de salida de dos módulos fotovoltaicos transparentes con diferente inclinación para su integración en una edificación?
- ¿Se podrá estimar la capacidad de un generador fotovoltaico con tecnología transparente para ser integrados en ventanas y techo de policarbonato de la edificación de la EPIER - UNAJ sede Ayabacas?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Implementar y analizar el comportamiento de potencia de salida de dos módulos fotovoltaicos transparentes con diferente inclinación para su integración en la edificación de la EPIER - UNAJ sede Ayabacas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros ambientales y eléctricos de módulos fotovoltaicos transparentes con diferente inclinación para su integración en la edificación de la EPIER - UNAJ sede Ayabacas.
- Analizar mediante los registros de datos ambientales y eléctricos la potencia de salida generada de dos módulos fotovoltaicos transparentes con diferente inclinación para su integración en la edificación de la EPIER - UNAJ sede Ayabacas.
- Proyectar un generador fotovoltaico con tecnología transparente para su integración en ventanas y techo de policarbonato de la edificación de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación técnica

El presente trabajo de investigación dedicado al tema de generación de energía con módulos solares fotovoltaicos transparentes para su integración en edificaciones servirá de precedente para la aplicación y desarrollo de los sistemas llamados BIPV (Building Integrated Photovoltaics) en nuestra región, propiciando así el desarrollo y avance tecnológico en nuestra región y país.

1.3.2 Justificación económica

Con el uso de sistemas fotovoltaicos transparentes integrados en edificaciones, podríamos llevar a que nuestras infraestructuras no solo cumplan la misión como estructuras de protección y/o división, sino también que estas puedan generar energía eléctrica para su propio uso, a través de los llamados sistemas BIPV, lo cual conllevaría a un gran ahorro en cuanto a la facturación mensual por consumo de energía eléctrica.

1.3.3 Justificación ambiental

Al implementar sistemas BIPV en las edificaciones, no solo se habla de ahorro energético, sino también del aspecto arquitectónico, pero más importante aún es que con estos sistemas podremos contribuir con la mitigación del impacto al medio ambiente, puesto que nuestros edificios podrían llegar a ser autosostenibles, valiéndose de la energía generada por su misma infraestructura, además, contribuiría a reducir la dependencia de la energía producida a partir de la quema de combustibles fósiles, promoviendo un modelo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1.3.4 Justificación social

El presente trabajo impulsará la investigación en los estudiantes y docentes de la comunidad universitaria de la UNAJ en cuanto al desarrollo y aplicación de los sistemas BIPV y nuevas tecnologías de módulos fotovoltaicos, propiciando así la implementación de estos sistemas en las futuras edificaciones en nuestra región y/o país.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

El siguiente capítulo contiene la revisión de la literatura relevante para llevar a cabo el presente proyecto de investigación.

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacional

Ríos (2022) presento en su proyecto de tesis “Soluciones constructivas para la integración fotovoltaica en arquitectura” donde resalta la optimización energética en la edificación y acelerar la implementación de sistemas BIPV, acrónimo de “Building Integrated Photovoltaics” además de proponer el estudio a través de los diferentes ámbitos y tipologías de sistemas BIPV y BAPV teniendo como conclusiones que este tipo de tecnología está muy avanzada y existen numerosas opciones y variantes de esta, sin embargo, el factor económico es en gran parte el culpable de que la integración de estos sistemas se vea frenada frente a sus mejoras técnicas, en la actualidad muchas edificaciones tienen la capacidad de ser autónomas y autosustentables generando beneficios y reduciendo costos de operación en la edificación una vez finalizada, siendo su coste final mucho menor de lo que se cree.

Martínez (2020) “Metodología de diseño, montaje y evaluación de sistemas fotovoltaicos integrados a la estructura de edificaciones” tiene como objetivo validar técnica y económicamente la metodología de diseño propuesta en un caso de estudio de integración arquitectónica en edificaciones, donde los sistemas de generación fotovoltaicos BIPV, a diferencia de los sistemas solares tradicionales, son adaptados a las edificaciones haciéndolos parte funcional de la estructura del edificio permitiéndonos aprovechar las áreas de los techos y fachada reemplazando materiales de construcción del tipo convencional con paneles fotovoltaicos, dando como principal resultado que las instalaciones BIPV en techos representan en promedio un 30% más costosos que los techos tradicionales.

(Valle, 2023) presento en su tesis “Caracterización de un módulo de celdas fotovoltaicas transparentes” donde uno de sus objetivos es identificar y medir parámetros que determinen el desempeño y la eficiencia del sistema utilizando este tipo de tecnología, dando en conclusión que en condiciones de irradiancia solar se

midieron valores muy cercanos a los obtenidos en simulación a partir de los datos básicos proporcionados por el fabricante.

(Valle-Díaz, López-López, Alvarado Martínez, 2023) Presentaron su artículo denominado “Caracterización de celdas solares transparentes” el cual se planteó caracterizar el comportamiento de una CST evaluando los parámetros que miden el desempeño y la eficiencia de acuerdo a sus propiedades eléctricas y ópticas. Demostrando en su trabajo que los sistemas fotovoltaicos transparentes tienen un alto valor de efectividad en edificios vehículos de transporte, invernaderos y otros en donde resulte útil la transparencia de este tipo de celdas al mismo tiempo que se obtiene el beneficio de la generación de energía eléctrica.

(Moralejo Vázquez F. , 2013) Presento en su tesis llamada “Caracterización óptica de módulos fotovoltaicos semitransparentes de a-Si para integración en edificios comerciales” en el cual se planteó como objetivo la caracterización completa y comportamiento óptico de los diferentes módulos fotovoltaicos diseñados para su integración en fachadas, concluyendo con la descripción de reflectancia y transmitancia y todos aquellos aspectos que guardan relación con el rendimiento de los módulos en una situación desfavorable de operación (instalado como fachada vertical), teniendo en cuenta el ángulo de inclinación y dependencia espectral.

(Moralejo Vázquez F. , 2013) Presento en su tesis “Contribución a la mejora de la integración de la energía solar fotovoltaica en edificios” teniendo como uno de sus objetivos la caracterización óptica y eléctrica de los módulos fotovoltaicos para integración en edificios concluyendo que a pesar de que los métodos de caracterización eléctrica no estén adaptados a las peculiaridades de la integración en edificios, se pudo conocer el comportamiento eléctrico y su comportamiento en función a la temperatura; mientras que en la caracterización óptica, un módulo fotovoltaico con estructura de vidrio laminado se puede considerar equivalente a un vidrio convencional, solo que con conjuntos de células solares fotovoltaicos. Ejemplos de edificaciones con sistemas BIPV.



Figura 1. Mega estructura ubicada en Dubai, potencia instalada de 5MW (JinkoSolar, 2024).



Figura 2. Edificación ubicada China, con una cantidad de MFV BIPV de 307 unidades (JinkoSolar, 2024).



Figura 3. Estadio de Miami Heat EE.UU. cantidad de MFV BIPV de 300 unidades y 34.5 MW de potencia instalada (OnyxSolar, 2016).

2.1.2 Nacional

Silva (2020) “Business consulting - SOLS Perú” este proyecto de tesis tiene como objetivo evaluar la viabilidad de un modelo de negocio destinado a las constructoras del país para desarrollar proyectos ecológicamente sostenibles mediante el uso de tecnología solar fotovoltaica. Además, promueve la integración de sistemas fotovoltaicos en edificios arquitectónicos (BIPV), lo que implica incorporar estructuras fotovoltaicas como parte integral del diseño del edificio, reemplazando materiales de construcción tradicionales. La propuesta busca introducir la tecnología BIPV en el mercado inmobiliario peruano, donde actualmente no se encuentra disponible esta alternativa dentro del sector.

2.1.3 Regional

En la actualidad no se tiene algún tipo de investigación relacionado a los módulos fotovoltaicos con tecnología transparente que integran los sistemas BIPV (Building Integrated Photovoltaics), por lo tanto, es primordial el desarrollo de este proyecto de investigación dando a conocer las virtudes ya sea en el aspecto energético y arquitectónico de una vivienda y/o edificaciones, así mismo, contribuirá a futuras investigaciones que cada vez son más aplicables a nivel mundial.

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 Radiación solar

Se refiere al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, de acuerdo con la ley de Planck. Esta radiación abarca un rango que va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La intensidad de la radiación solar que alcanza la superficie terrestre se mide mediante la irradiancia, que cuantifica la energía recibida por unidad de tiempo y área., su unidad de medida es el W/m^2 . La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias, se mide normalmente con un instrumento denominado piranómetro (UCSM, 2016).

La radiación solar se divide en tres componentes:

- **Radiación Directa:** Está influenciada por el fenómeno de absorción. Su intensidad varía según la cantidad de nubosidad presente en el momento de la medición y también depende de la estación del año.

- Radiación Difusa: Es aquella que llega a nosotros como resultado de la dispersión de la radiación solar en las nubes, partículas del aire y otros elementos de la atmósfera.
- Radiación de albedo: O radiación reflejada, por ejemplo, en superficies como las de color blanco o similares, es especialmente útil en módulos bifaciales (Europe, 2019).

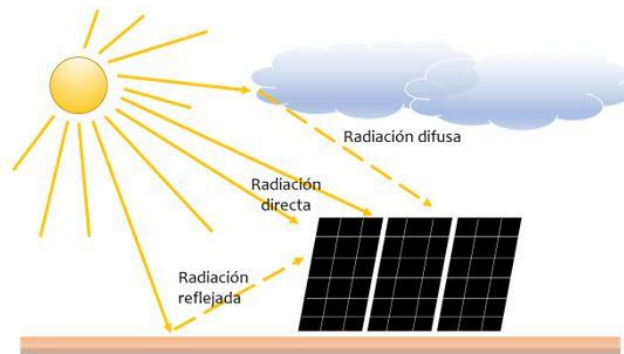


Figura 4. Tipos de radiación (Europe, 2019).

El tipo de radiación que capta el módulo solar fotovoltaico tiene una longitud de onda entre los 400 nm y 700 nm, según corresponde la imagen.

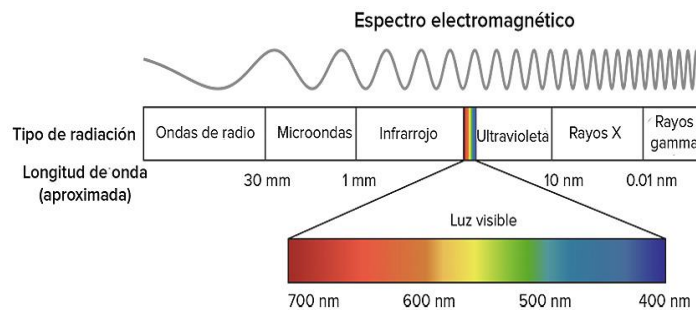


Figura 5. Longitud de onda aprovechable por un módulo fotovoltaico (Nevado, 2021).

2.2.2 Irradiación diaria recibida por el generador

Cantidad de irradiancia recibida con respecto al tiempo, es decir, la potencia recibida por tiempo y unidad de superficie. Se suele medir en Wh/m^2 o, en caso de un día, en $\text{KWh/m}^2/\text{día}$ o unidades equivalentes (Europe, 2019).

El 09 de enero del 2020 en la ciudad de Lima se obtuvo la sumatoria de irradiancia total de $351\,315.957 \text{ W/m}^2$ datos obtenidos del laboratorio solar de la UNI, donde el intervalo de tiempo medido es de 1 minuto representado en horas 0.01666667 horas, luego procedemos a multiplicar ambos datos hallados y obtenemos la irradianción

diaria recibida por el generador que es de 5855.26595 Wh/m²/día, en otras palabras, es el área bajo la curva de la figura 06.

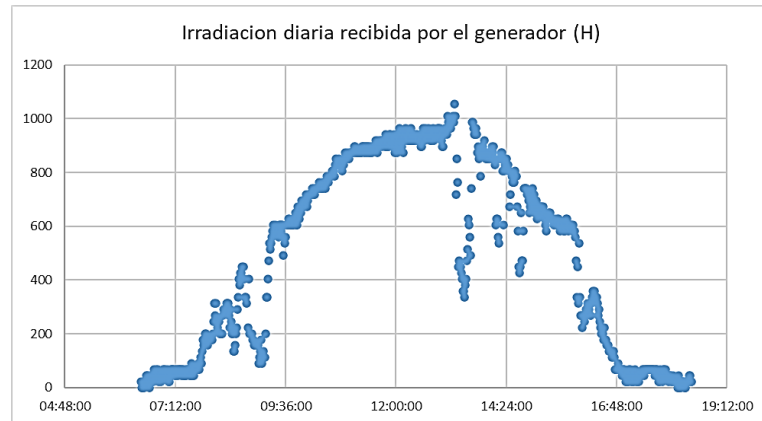


Figura 6. Irradiación diaria recibida por el generador – KWh/m²/día del SFV del CERUNI de 4.3kW tomado el 09 de enero del 2020 (elaboración propia).

2.2.3 Irradiancia

Es la magnitud de energía suministrada por el sol que llega hasta nosotros, medida como potencia instantánea por unidad de área. Sus unidades en el SI (Sistema Internacional) son el W/m² (Europe, 2019).

2.2.4 Constante Solar

Se representa como B_0 y es la irradiancia que incide a una superficie perpendicular al sol al exterior de la capa atmosférica. Tiene un valor de unos 1 353 W/m². La irradiancia terrestre que reciben las placas fotovoltaicas se verá reducida por las variaciones en el transcurso del día y la noche, presencia de nubes, ángulo de inclinación, orientación y suciedad (Europe, 2019).

2.2.5 Masa de Aire (AM)

Es el recorrido óptico que realiza un rayo solar en la atmósfera terrestre y el recorrido mínimo que tendría si incidiera perpendicularmente a la superficie terrestre (es decir, con un ángulo cenital de 0°). Este valor está relacionado con la altura solar (α). Cuando la altura solar es $\alpha = 90^\circ$ (el sol se encuentra en el cenit, directamente sobre el observador), $AM = 1$, que representa el valor mínimo de la masa de aire. En la Figura 4, nos menciona que cuanto más bajo esta el sol, mayor será el valor del ángulo cenital y su correspondiente valor AM. (Europe, 2019).

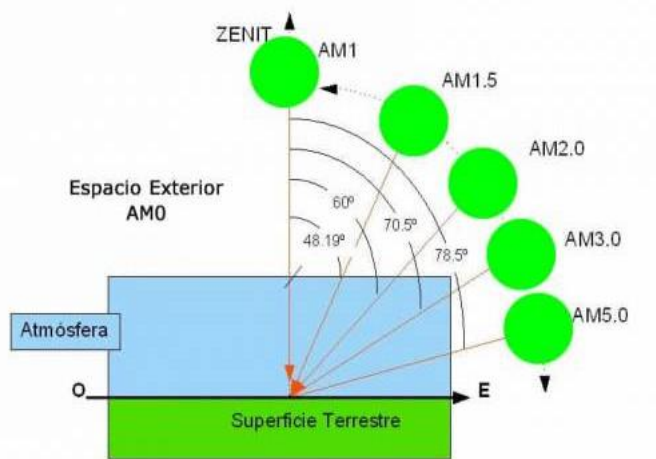


Figura 7. Masa de aire, según la diferencia de ángulos con respecto al sol (Europe, 2019).

2.2.6 Hora solar pico (HSP)

Es la cantidad de energía que percibimos en horas por m^2 , además, varía dependiendo de la localización (si nos aproximamos más cerca del Ecuador mayor será este dato) depende también la época del año. No hay el mismo sol en un día de invierno que de verano (Admin, 2018).

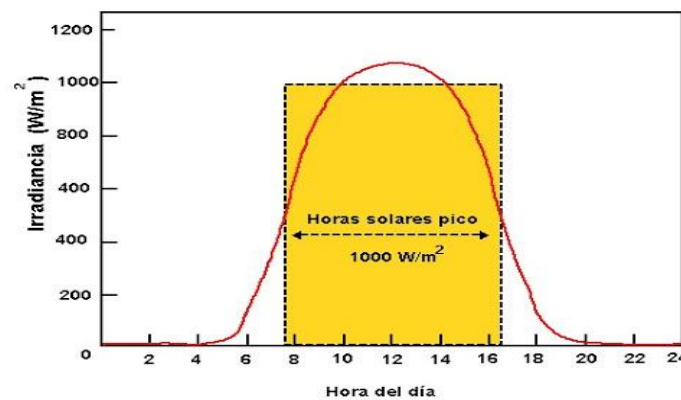


Figura 8. Comportamiento de las HSP en el transcurso del día (Yago, 2013).

2.2.7 Orientación

La inclinación de los rayos del sol y en consecuencia la radiación incidente respecto a la superficie horizontal es variable a lo largo del año, en Perú está ubicado por debajo de la línea ecuatorial y a la vez muy próximo a dicha línea, el panel ha de estar orientado hacia el norte y los ángulos óptimos están entre 10° y 30° (AutoSolar, 2018).

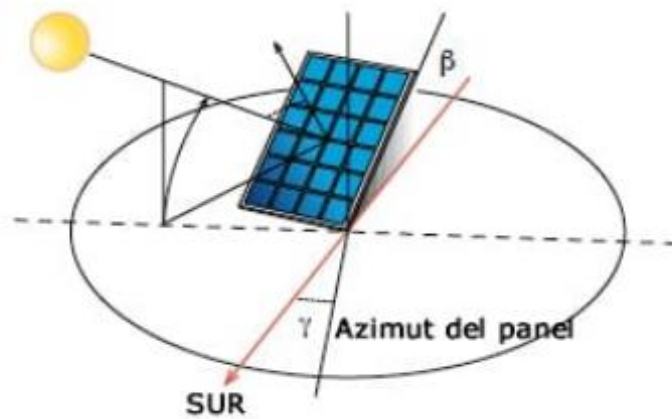


Figura 9. Orientación e inclinación de un módulo fotovoltaico (Europe, 2019).

2.2.8 Módulo solar fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico está diseñado para aprovechar la energía solar fotovoltaica. Su función principal es convertir la energía del sol en electricidad dándose en corriente continua DC. Viene en diferentes tecnologías, las más conocidas son del tipo monocristalino, policristalino y amorfo, variando su eficiencia en cada modelo (Planas, 2020).



Figura 10. Módulo solar fotovoltaica convencional (Soliclima, 2019).

2.2.9 Transmisión luminosa

La transmisión luminosa es el porcentaje de luz visible que pasa a través del vidrio de una ventana, nos indica cuanto de transparente es un vidrio, es decir, el porcentaje de luz visible que llega al interior, se calcula que este coeficiente debe ser igual o superior al 70% (Ramos, 2022).

2.2.10 Reflexión luminosa

Porcentaje de luz visible, procedente de la radiación solar reflejada en el vidrio (Ramos, 2022).

2.2.11 Factor solar

Porcentaje de irradiancia solar que un vidrio deja pasar a través de él. Cuanto más bajo sea este factor, reducirá la entrada de irradiancia solar al interior y, por ende, menor entrada de calor. Cuanto más bajo sea el valor g , mejor (Ramos, 2022).

2.2.12 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos en edificaciones

Los mecanismos fotovoltaicos en edificaciones se clasifican en dos grupos: BAPV (Building Applied Photovoltaics) sistemas fotovoltaicos que se adaptan en una edificación y los BIPV (Building integrated Photovoltaics) sistemas fotovoltaicos que se integran en una edificación. Las BAPV se consideran como complementos al edificio en cambio las BIPV son parte funcional del edificio lo cual lo hace estar integrado en la edificación. (Martinez Gómez , 2020)



(a)

(b)

Figura 11. Edificios con sistemas fotovoltaicos (a) BAPV y (b) BIPV (Martinez Gómez , 2020).

2.2.13 Building-integrated Photovoltaics – BIPV

Los BIPV es una de las nuevas tecnologías con el cual podemos aprovechar la energía solar a través de módulos solares de vidrio integrándose en diferentes partes de las edificaciones. Las instalaciones BIPV requieren ser multifuncionales puesto que no solo deben generar energía eléctrica sino también deben cumplir con los requisitos que cumplen los elementos de las fachadas convencionales. (Loor & Lata Garcia, 2023).

Los sistemas BIPV están conformados por instalaciones fotovoltaicas cuyos elementos activos sustituyen los elementos pasivos tradicionales empleados en las fachadas, cubiertas, lucernarios, etc. (Calderón, 2022).

La integración de sistemas fotovoltaicos en los edificios aparte de generar energía eléctrica también mejora la capacidad térmica de las envolventes de los edificios. (Loor & Lata Garcia, 2023).

Los sistemas BIPV tiene una amplia posibilidad de integración en las edificaciones sin embargo es importante que el elemento constructivo en este caso los sistemas fotovoltaicos estén expuestos al exterior donde pueda incidir la radiación solar. A continuación, se muestra una clasificación de los sistemas BIPV según la IEA (International Energy Agency) (Calderón, 2022).

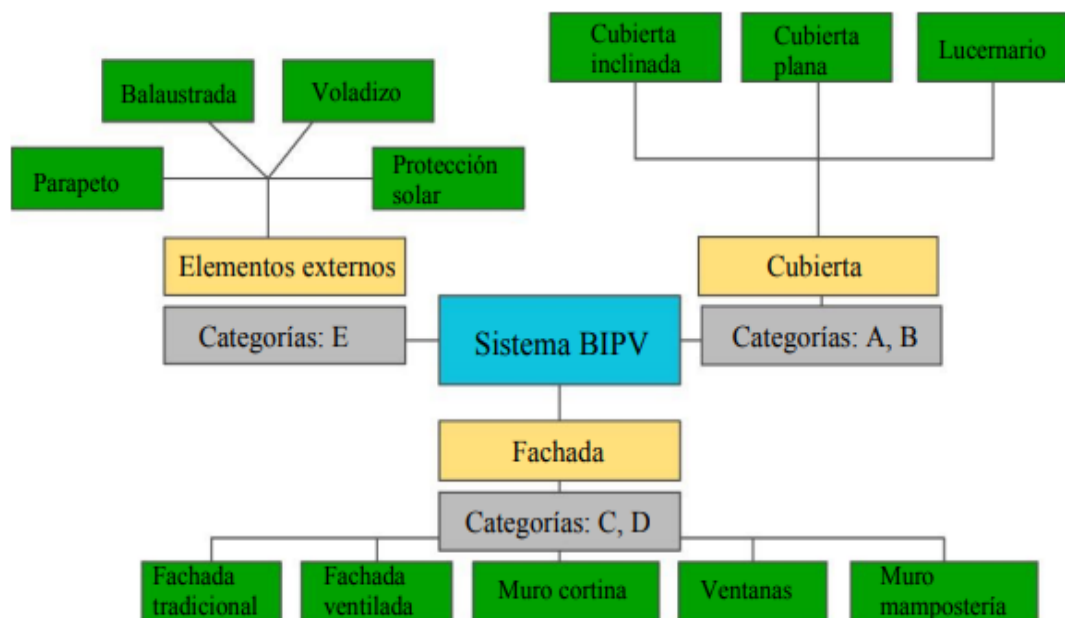


Figura 12. Clasificación de los sistemas BIPV (Calderón, 2022).

2.2.14 Barreras para la integración de sistemas BIPV

A través de un análisis de diversos escritos acerca de la integración de sistemas BIPV podemos mencionar las siguientes limitaciones para la integración de sistemas BIPV:

- Alto costo: El alto costo inicial para un sistema BIPV se considera la principal barrera para su implementación (Martinez Gómez , 2020).
- Baja eficiencia: La eficiencia de estos sistemas son inferiores al 20% comparado con los sistemas convencionales (Martinez Gómez , 2020).

- Falta de conocimiento técnico: Se carece de profesionales con formación específica en el área para la integración de los sistemas BIPV en las edificaciones (Martinez Gómez , 2020).
- Factores arquitectónicos: En su mayoría los módulos se encuentran en medidas estándar lo cual no siempre puede integrarse en las edificaciones de manera estética (Martinez Gómez , 2020).
- Gubernamental: Falta de incentivos y/o subsidios para los generadores de energía eléctrica a partir de sistemas BIPV (Martinez Gómez , 2020). Específicamente en Perú falta de normativa la cual pueda regular la inserción de estos sistemas en las edificaciones.

2.2.15 Módulo solar transparente

Las placas solares transparentes, también conocidas como vidrios fotovoltaicos, son dispositivos en desarrollo que convierten la energía solar en electricidad. Están compuestas por una base diáfana recubierta con una película fotosensible de materiales como carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, que generan pequeñas células fotovoltaicas orgánicas. La película es capaz de ofrecer diferentes grados de transparencia dependiendo de la cantidad de luz solar disponible, también es capaz de filtrar y separar las radiaciones solares; por un lado, filtran la radiación ultravioleta, hasta un 99%, y por otro la infrarroja, con una efectividad de hasta el 95% (Podo, 2019).

Dentro del mercado se pueden encontrar diversos módulos disponibles con diferentes índices de transparencia y/o diferentes tecnologías. Dentro de ellos podemos encontrar los siguientes: Células cristalinas transparentes, células con la parte posterior transparente con células cristalinas estándar, módulos amorfos transparentes de película fina (World, 2022).

2.2.16 Características de los módulos solares transparentes

Los sistemas BIPV se constituyen básicamente de módulos solares fotovoltaicos transparentes, los cuales tienen un amplio abanico de configuraciones estéticas y constructivas, fabricadas de acuerdo a la necesidad de cada proyecto. Dentro de las características tenemos:

- Vidrio: Esta opción nos permite la configuración del tamaño del módulo, grosor del vidrio, además del vidrio a utilizar. Como pueden ser el vidrio laminado,

vidrio templado flotado, vidrio templado de seguridad ESG y vidrio laminado de seguridad VSG (ELMITEC, 2024).

- **Diseño:** Los módulos de los sistemas BIPV permiten personalizar y diseñar patrones para el panel posterior, lo que nos lleva a obtener diversos estilos arquitectónicos y diferentes transparencias (ELMITEC, 2024).
- **Colores:** esta característica tiene gran importancia por el tema estético, sin embargo, en el mercado actual se pueden encontrar módulos BIPV de diversos colores (ELMITEC, 2024).
- **Estructura celular:** esta característica nos permite realizar la configuración energética y luminosidad del panel BIPV. Las células son opacas, pero existen espacios que permiten filtración de luz. De esta forma, la cantidad de luz que atraviesa el módulo dependerá de la separación de las celdas FV. Por este motivo, los módulos BIPV permiten configurar el número de células, así como, la distancias entre ellas (ELMITEC, 2024).
- **Color de la célula:** además de poder elegir el color del módulo BIPV también existe una gama de colores para las células del módulo, de esta forma se cuenta con una amplia variedad de configuraciones (ELMITEC, 2024).

En la figura 13, mostramos los diversos módulos BIPV que existen en el mercado actualmente, además contamos con diferentes proveedores a nivel internacional como son: Mitrex, empresa de tecnología fotovoltaica con sede en Toronto , Ontario, Canadá. La empresa se especializa en proporcionar fachadas, techos y paneles de edificios integrados con tecnología solar; Onyx Solar es una empresa española especializada en energía fotovoltaica integrada en edificios (BIPV), entre otras (HIITIO, 2024).

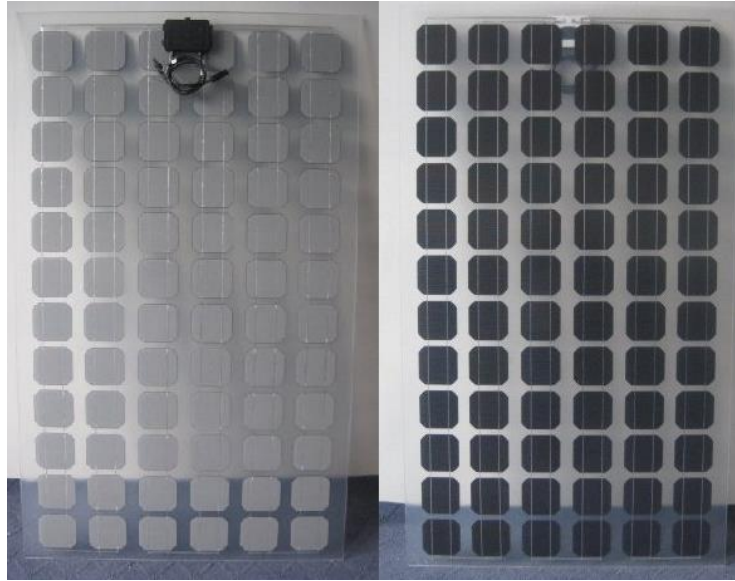


Figura 13. Módulo solar transparente (Solar Constructions, 2023).



Figura 14. Módulos solares de colores de película delgada (Solar Constructions, 2023).

a. Ventajas de los paneles solares transparentes

- Son excelentes para instalar en áreas metropolitanas, puesto que sus construcciones no se modificarán en gran medida.
- Los arquitectos tienen un margen de maniobra para incorporarlos en su diseño.
- Reduce el calor generado por la radiación solar
- Tienen una vida útil de hasta 25 años.
- Requieren una menor cantidad de espacio disponible para su instalación, puesto que pueden integrarse en la construcción de edificios (ventanas, techos, fachadas, etc.)

b. Desventajas de los paneles solares transparentes

- Son menos comerciales.
- Son de menor eficiencia, en comparación de los paneles solares fotovoltaicos convencionales.
- Requieren constante mantenimiento (limpieza), en comparación a los paneles fotovoltaicos convencionales.



Figura 15. Paneles solares transparentes en edificaciones (RXS, 2024).

2.2.17 Aplicaciones de los sistemas BIPV

De acuerdo a la IEA (International Energy Agency) entre las principales aplicaciones de los sistemas BIPV podemos encontrar ya sea por su utilización o composición los siguientes:

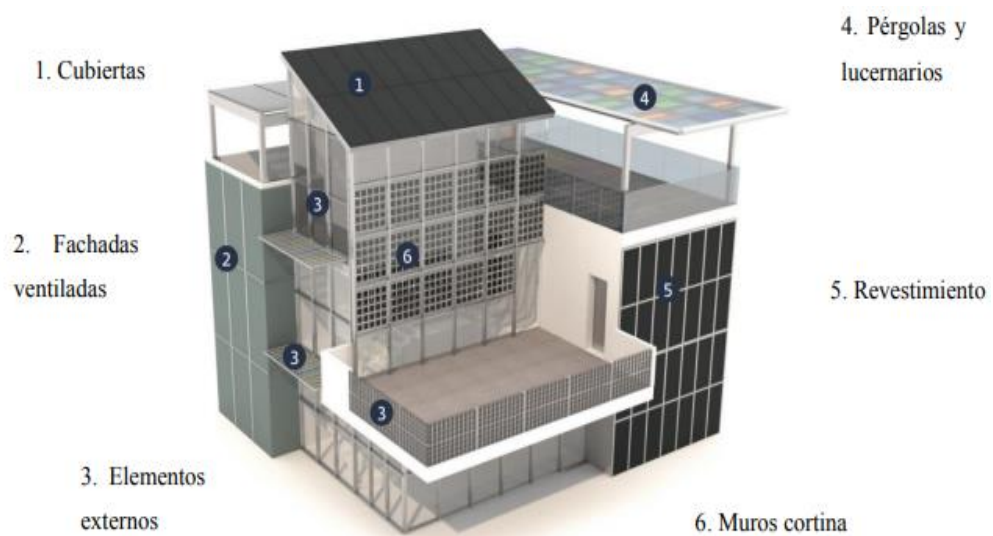


Figura 16. Aplicaciones de sistemas BIPV (Calderón, 2022).

- **Cubiertas inclinadas:** Esta integración de sistemas BIPV en los envolventes de los edificios fue la primera aplicación en donde los sistemas fotovoltaicos tuvieron éxito, debido a la orientación e inclinación de las cubiertas, permitiendo mayor captación solar (Calderón, 2022).
- **Lucernarios:** Encargados de permitir la entrada de la luz por la cubierta envolvente de los edificios, esta integración de sistemas BIPV no solo aporta en la generación de energía eléctrica sino también en el aislamiento térmico y acústico (Calderón, 2022).
- **Muros Cortina:** Sistema de fachada total o parcialmente vidriada, este tipo de fachada permite la entrada de luz de acuerdo a la transmitancia de los módulos, así mismo cumple la función de aislamiento térmico y acústico, para la integración de este sistema BIPV se requiere una estructura adecuada. (Calderón, 2022)
- **Fachada ventilada:** este sistema se compone de varias capas, un muro de soporte, una capa aislante, cámara de aire y material de revestimiento, este último se constituiría por los módulos fotovoltaicos. (Calderón, 2022)

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de hipótesis

Bajo el contexto del estudio realizado se plantea las siguientes hipótesis:

3.1.1 Hipótesis general

La potencia de generación dependerá de la inclinación de módulos fotovoltaicos transparentes para su integración en la edificación de la EPIER - UNAJ sede Ayabacas.

3.1.2 Hipótesis específico

- Realizando la medición de los parámetros eléctricos y ambientales se podrá desarrollar el análisis de dos módulos fotovoltaicos transparentes con diferente inclinación para la integración en la edificación de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas
- Analizando el registro de datos ambientales y eléctricos se podrá determinar la potencia de salida generada de los dos módulos fotovoltaicos transparentes con diferente inclinación para su integración en la edificación de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas.
- Con la proyección del generador fotovoltaico de tecnología transparente se planteará su integración en ventanas y techo de policarbonato de la edificación de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas.

3.2 Metodología de investigación

Tipo de investigación: Explicativa y diseño de investigación: Experimental

3.2.1 Diagrama de flujo

Para el presente proyecto se propuso el siguiente diagrama donde se explica visualmente el paso a paso de las principales actividades para alcanzar nuestros objetivos planteados y poder así contrastar nuestras hipótesis.

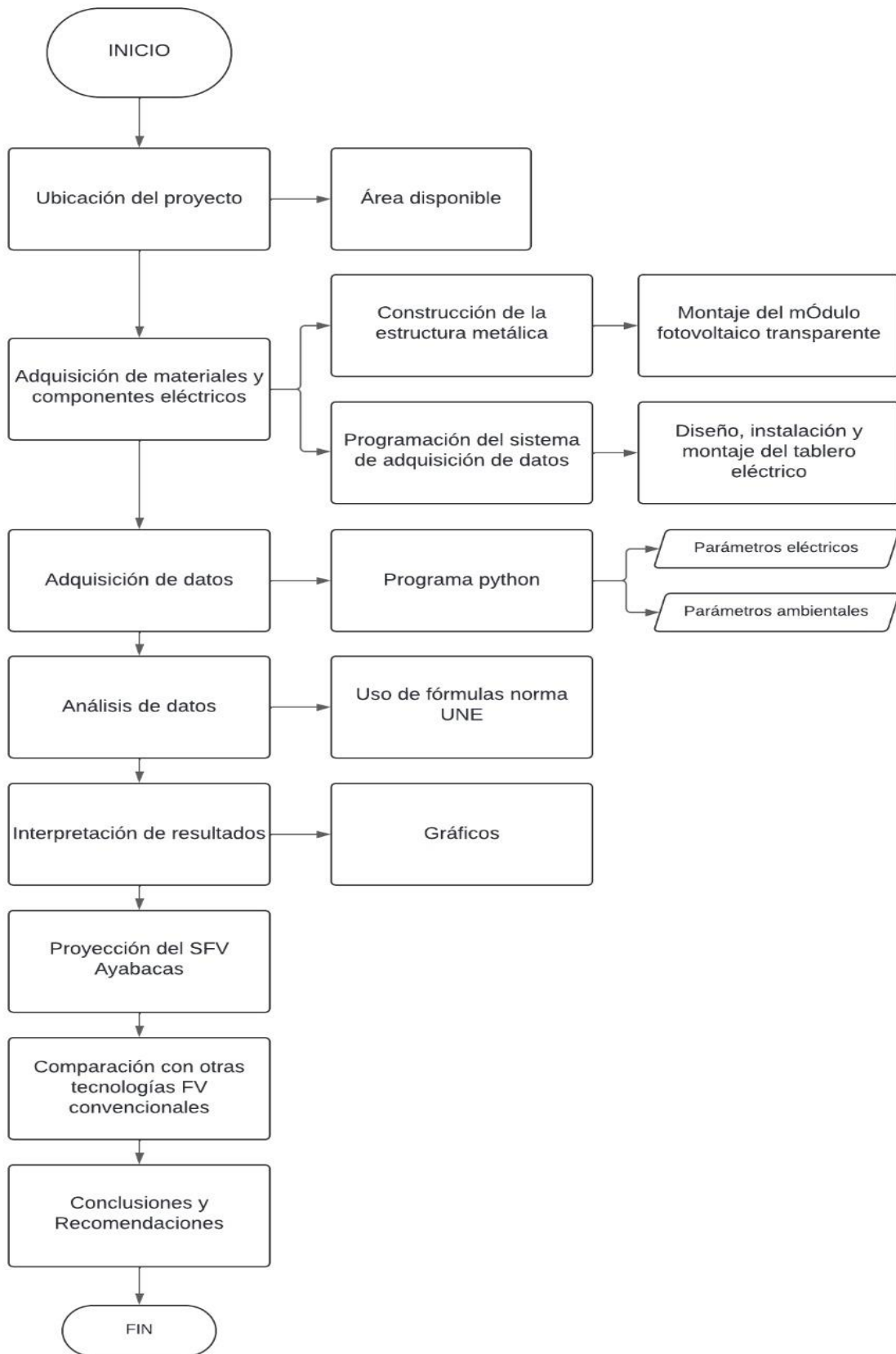


Figura 17. Diagrama de flujo del proyecto de investigación.

3.3 Recursos y materiales

3.3.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se realizará en el Instituto de investigación de energías renovables y eficiencia energética en la sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca, ubicado a 3832 m.s.n.m., cuenta con una latitud de: -15.4167 y longitud: -70.0667.



Figura 18. Ubicación de del proyecto (Google Earth, 2022).

La hora solar pico se hallará mediante la fórmula de irradiación sobre la irradiancia a condiciones estándar y en otras situaciones se dispone del software aplicativo de la NASA, POWER Data Access Viewer, esta aplicación proporciona la cantidad de energía en $\text{KWh/m}^2 \cdot \text{día}$, en el 2023, dando como resultado 6.147 horas que también es igual a $6.147 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{día}$.



Figura 19. Módulo fotovoltaico de tecnología transparente a diferente inclinación.

3.3.2 Recursos humanos

El tesista fue el único encargado del diseño, construcción y montaje del sistema solar fotovoltaico transparente en el instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la universidad nacional de Juliaca – sede Ayabacas.

3.3.3 Materiales y componentes eléctricos

- **Módulos fotovoltaicos transparentes**

En el proyecto de tesis propuesto se trabajará con el siguiente modulo que se detalla en la Tabla 1, donde se da a conocer las características eléctricas y porcentaje de eficiencia y tolerancia.

Tabla 1

Especificación técnica del producto modelo FG-135WM

Tipo de modulo	FG-135WM
Potencia Máxima	135W
Tolerancia	± 3%
Voltaje VOC	22.3 V
Corriente ISC	8.5 A
Voltaje VMPP	17.1 V
Corriente IMPP	7.9 A
Eficiencia del modulo	15.1 %
Eficiencia de la celda solar	17.5 %
Clasificación del fusible en serie	15 A
Caja de terminales	IP65
Voltaje máximo del sistema	DC1000
Transmisión luminosa	75%
Reflexión luminosa	8%
Factor solar	54 %

Este tipo de módulos fotovoltaicos forma parte integral y fundamental de una estructura permanente de un edificio, la energía generada mucho dependerá de la orientación e inclinación en la que se instale, los datos consignados en la tabla 1, son obtenidos de pruebas a condiciones estándar STC, que cambiará dependiendo en la ubicación geográfica en que se instale.

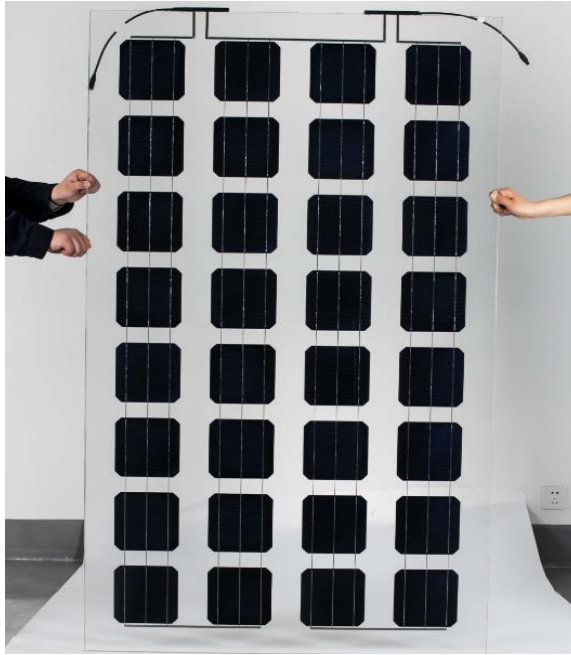


Figura 20. Módulo fotovoltaico transparente (RXS, 2024).

- **Dispositivos del sistema de control**



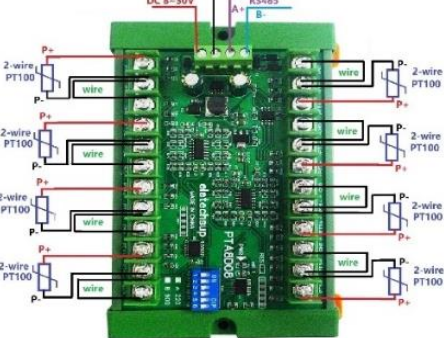


En la tabla 2, se detalla los componentes, equipos y material eléctrico utilizados en el tablero de control.



Figura 21. Tablero para la adquisición de datos.

Tabla 2

Componentes del tablero de adquisición de datos

Nombre	Figura	Descripción
Raspberry pi4 computer model B, 8GB RAM		<p>Marca: Raspberry Pi4 Computer RAM: 8 GB N.º puertos USB: 04 (02/2.0 Y 02/3.0), 02 salidas a micro HDMI Alimentación: tipo C, 5VDC</p>
Medidor de energía 230VAC mod. DCM30 marca EASTRON		<p>Marca: EASTRON Entrada: Analógica DC Alimentación: 230VAC</p>
Placa de medición de temperatura mod. PTA8D08 marca ELETECHSUP		<p>Marca: Eletechsup Entrada: 08 entradas analógicas Salida: 01, RS-485 Alimentación: 8-30 VDC</p>
Convertidor de USB a RS485		<p>Marca: SAISAC Entrada: USB 2.0 Salida: RS-485</p>
Barra SHUNT		<p>Marca: NQQK Corriente: 10 A</p>

Continuación

Inversor DC - AC



Inversor de 12Vdc a
230Vac, 150W marca
POWER INVERTER mod.
DY-8102

Regulador o controlador



Regulador de carga SOLAR
CHARGE CONTROLLER
color azul, 20A

Batería de gel



01 batería de gel 12V, 18Ah,
20HR mod. RT12180 marca
RITAR

Sensor de temperatura PT-
100



Sonda térmica de tubo de
acero inoxidable,
controlador de temperatura
de termistor

Llave termomagnética
monofásica



Llave termomagnética
monofásica de 16A, 1Ø
marca CHINT

3.3.4 Materiales de construcción de la estructura

En la Tabla 3, se muestra los diferentes materiales y equipos que se utilizó en la construcción del soporte metálico para el módulo fotovoltaico, montaje del tablero eléctrico auto soportado y conexionado de los dispositivos eléctricos y electrónicos del sistema fotovoltaico aislado.

Tabla 3

Materiales de construcción para la estructura del MFV

Nombre	Figura	Descripción
Tubo metálico cuadrado		Longitud: 6 m Ancho: 1 ½” Altura: 1 ¼” espesor: 1mm
Electrodos 6011 indura		Código: 6011 Marca: indura
Angulo de acero estructural		Longitud: 6m Ancho: 1 ¼” Altura: 1 ¼” Espesor: 1mm
Perno hexagonal acero negro		Diámetro: 3/8” Longitud: 2 ½”
Pernos de expansión de acero inoxidable		Pernos de expansión 5/8” x 2 ½” inox

3.3.5 Software para el desarrollo

- Microsoft Excel
- Python
- Autocad
- Team Viewer
- Real VNC Viewer
- PV - Analysator

3.4 Cálculos justificativos

3.4.1 Irradiación diaria recibida por el generador

Irradiación diaria recibida en el generador (H): Es el resultado de integrar la irradiancia sobre la superficie del generador, sus unidades Wh/m²*día (Española, 2022).

$$H(\alpha, \beta) = \int G(t)dt \quad (1)$$

Para determinar la irradiación diaria necesitamos un intervalo de tiempo en horas y la irradiancia en la superficie del generador (W/m²), para luego obtener la irradiación diaria Wh/m²* día, otra forma de poder hallar este dato es mediante el uso del software de la NASA, donde los datos sufren algún porcentaje de error.

Tabla 4

Cálculo de irradiación diaria promedio mensual de agosto a noviembre

Irradiación	
Módulo fotovoltaico con inclinación de 22° agosto - setiembre	Módulo fotovoltaico con inclinación de 90° octubre - noviembre
Tiempo: 0.016666667 horas	Tiempo: 0.016666667 horas
Sumatoria de irradiancia: 478 150 W/m ²	Sumatoria de irradiancia: 376 746W/m ²
Irradiación diaria: 7969.167 Wh/m ² *día	Irradiación diaria: 6 279.1 Wh/m ² *día

Para hallar irradiación no es necesario tener en cuenta el ángulo de inclinación del MFV.

3.4.2 Energía diaria producida por el generador (Edc)

Es la integral de la potencia de salida del generador (Española, 2022).

$$H(\alpha, \beta) = \int P * gen(t)dt \quad (2)$$

Para determinar la energía diaria producida por el generador FV necesitamos la suma de la potencia DC del MFV en vatios y el periodo de tiempo en horas en el que se viene registrando cada dato de potencia.

Tabla 5

Cálculo de energía diaria promedio mensual de agosto a noviembre a diferentes grados de inclinación

Energía diaria producida por el generador a 22° de inclinación	Energía diaria producida por el generador a 90° de inclinación
Tiempo: 0.016666667 horas	Tiempo: 0.016666667 horas
Sumatoria de potencia DC: 52 251.03 W	Sumatoria de potencia DC: 18 657.98 W
Energía diaria: 870.8 Wh/día	Energía diaria: 310.9 Wh/día

En el siguiente cuadro realizaremos una comparación porcentual de la energía diaria promedio mensual producida por el generador FV tanto a 22° y 90° de inclinación.

Tabla 6

Energía producida a diferente ángulo de inclinación

	Ángulo de Inclinación	
	22° (ago – set)	90° (oct – nov)
Energía producida por el MFV (kWh)	0.870	0.310

Utilizando la siguiente fórmula de decrecimiento porcentual

$$\%_{decrecimiento} = \frac{cant. decre}{cant. original} * 100 \quad (3)$$

$$\%_{decrecimiento} = \frac{0.870 - 0.310}{0.870} * 100 = 64 \%$$

- Si instalamos el MFV a 90° de inclinación tendremos una pérdida de energía producida del 64%.

Teniendo en consideración que el ángulo de inclinación optima (β) es de:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * I\Phi I \quad (4)$$

Donde:

- Latitud del lugar es de 15.4167

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * 15.4167 = 14.337 \text{ grados}$$

3.4.3 Productividad de referencia o reference yield (Y_R)

Se expresa como la energía continua diaria disponible que un sistema fotovoltaico puede convertir en energía eléctrica. Es el cociente entre la radiación solar incidente sobre el plano del generador y la irradiancia en condiciones estándar (Española, 2022).

$$Y_R = \frac{H_d(\alpha, \beta)}{G_{STC}} = \frac{kWh/m^2 * dia}{W/m^2 * dia}; horas \quad (5)$$

Donde:

Y_R : Productividad de referencia (hora)

$H_d(\alpha, \beta)$: Irradiación diaria recibida por el generador (Wh/m²*día)

G_{STC} : Irradiancia en condiciones estándar STC (W/m²)

Veamos la siguiente tabla.

Tabla 7

Cálculo de productividad de referencia diaria promedio mensual a diferentes grados de inclinación.

Productividad de referencia Y_R	Productividad de referencia Y_R
Ángulo de inclinación: 22° (ago-set)	Ángulo de inclinación: 90° (oct – nov)
$H_d(\alpha, \beta)$: 7.969 kWh/m ² *día	$H_d(\alpha, \beta)$: 6.279 kWh/m ² *día
G_{STC} : 1 000 W/m ² *día	G_{STC} : 1 000 W/m ² *día
Y_r : 7.96 horas	Y_r : 6.279 horas

Por lo tanto; a 22 y 90 grados de inclinación del MFV disponemos de 7.96 y 6.279 horas respectivamente de energía continua diaria aprovechable que un módulo fotovoltaico puede convertir en energía eléctrica.

Estos dos datos de productividad de referencia hallados con ambas inclinaciones coinciden con el valor de la irradiación diaria incidente en el área del generador FV en unidades de kWh*m⁻² * día⁻¹.

3.4.4 Productividad del generador fotovoltaico o array yield (Y_A)

Se expresa como la energía continua DC diaria generada por el módulo fotovoltaico por unidad de potencia pico instalada. Se expresa en kWh/(kWp*día) (Española, 2022).

$$Y_A = \frac{\text{Energía DC generada (KWh/día)}}{\text{Potencia nominal del generador (kWp)}} ; \text{ hora} \quad (6)$$

La evaluación a diferentes grados de inclinación, para el mes de agosto a setiembre se consideró 22° y octubre, noviembre 90° de inclinación.

Tabla 8

Cálculo de productividad del generador fotovoltaico diario promedio mensual

Productividad del generador Y_a	Productividad del generador Y_a
Ángulo de inclinación: 22° (ago-set)	Ángulo de inclinación: 90° (oct-nov)
EDC : 0.870 kWh	EDC : 0.310 kWh
$P_{p\text{máx}}$: 0.135 kWp	$P_{p\text{máx}}$: 0.135 kWp
Y_a : 6.450 horas	Y_a : 2.3 horas

Por lo tanto, se obtuvo una productividad de energía continua DC generada por el módulo fotovoltaico por unidad de potencia pico instalada de; 6.450 y 2.3 kWh/kWp * día a 22 y 90 grados de inclinación respectivamente.

3.4.5 Pérdidas de captura (L_c)

Corresponden a la diferencia entre la energía producida teórica disponible que un sistema fotovoltaico puede transformar en energía eléctrica (Y_r) y la productividad a la salida del generador Array Yield (Y_a) (Española, 2022).

$$L_C = Y_R - Y_A ; \text{ kWh/kWp*día; hora} \quad (7)$$

Tabla 9

Cálculo de pérdidas de captura del generador fotovoltaico diario promedio mensual a diferentes grados de inclinación.

Ángulo de inclinación: 22° (ago-set)		Ángulo de inclinación: 90° (oct-nov)	
Perdidas de captura L_c	Interpretación porcentual (%)	Perdidas de captura L_c	Interpretación porcentual (%)

Continuación

Yr: kWh/kWp*día; hora	7.9	100	Yr: kWh/kWp*día; hora	6.2	100
Ya: kWh/kWp*día; hora	6.4	80.93	Ya: kWh/kWp*día; hora	2.3	36.67
Lc: kWh/kWp*día; hora	1.5	19.06	Lc: kWh/kWp*día; hora	3.9	63.32

Obtenemos como resultado que, a 22 y 90 grados de inclinación las pérdidas por captura son de 1.518 y 3.975 kWh/kWp*día u horas respectivamente, ya sea por temperaturas mayores a 25°C, consumo eléctrico por los diodos, efecto Joule en los conductores eléctricos, deficiencia en el seguimiento del punto máximo de potencia, el ángulo de inclinación.

Porcentualmente tenemos una pérdida de captura del 19.06% a 22° y del 63.32% a 90° de inclinación.

3.4.6 Eficiencia del array (Na)

Se define como la energía DC producida por el generador fotovoltaico dividida entre la irradiación total recibida por el generador durante el período de estudio (Española, 2022).

$$n_A = \frac{\text{Energía DC generada (KWh)}}{\text{Irradiación en el generador (KWh) * área del sistema (m}^2\text{)}}; \% \quad (8)$$

Tabla 10

Cálculo de la eficiencia del generador fotovoltaico diario promedio mensual a diferentes grados de inclinación.

Productividad del generador Na	Productividad del generador Na
Ángulo de inclinación: 22° (ago-set)	Ángulo de inclinación: 90° (oct-nov)
EDC : 0.870 kWh	EDC : 0.310 kWh
$H_d(\alpha, \beta)$: 7.969 kWh/m ² * día	$H_d(\alpha, \beta)$: 6.279 kWh/m ² * día
Área : 0.81m ²	Área : 0.81m ²
n_A : 13.491%	n_A : 6.114 %

El módulo fotovoltaico de tecnología transparente con una inclinación de 22° orientada al norte cuenta con una eficiencia de 13.491%. Asimismo, el MFV a 90° tiene una eficiencia de 6.114%.

3.4.7 Factor de forma

Es una referencia de la calidad de la célula fotovoltaica que, mientras más cercano sea a uno mucho mejor será su rendimiento.

$$FF = \frac{U_{mpp} \times I_{mpp}}{U_{oc} \times I_{sc}} \quad (9)$$

Veamos para los parámetros eléctricos del MFV transparente.

Datos:

- U_{mpp} : 17.1 V
- I_{mpp} : 7.9 A
- U_{oc} : 22.3 V
- I_{sc} : 8.5 A

Reemplazando en la ecuación 09.

$$FF = \frac{U_{mpp} \times I_{mpp}}{U_{oc} \times I_{sc}} = \frac{17.1 \times 7.9}{22.3 \times 8.5} = \frac{135.09}{189.55} = 0.712$$

Como resultado, el factor de forma del módulo fotovoltaico transparente es de 0.712 encontrándose en un rango aceptable para su generación eléctrica.

3.4.8 Temperatura de la célula fotovoltaica teórica

La temperatura a la que opera una célula solar FV está en función a la temperatura ambiente y la radiación. Se calcula de la siguiente formula:

$$T_{cell} = T_{amb} + (TONC - 20^{\circ}\text{C}) * \frac{G_i}{800\text{W}/\text{m}^2} \quad (10)$$

Donde:

T_{cell} : Temperatura de trabajo de la célula ($^{\circ}\text{C}$)

T_{amb} : Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

TONC : Temperatura de operación nominal de la célula (43 – 49) $^{\circ}\text{C}$

G_i : Irradiancia (W/m^2)

Reemplazando en la ecuación 10. Y tomando los datos del punto máximo de temperatura de célula tenemos:

$$T_{cell} = T_{amb} + (TONC - 20^{\circ}\text{C}) * \frac{G_i}{\frac{800\text{W}}{\text{m}^2}} = 27.2 + (45 - 20) * \frac{1128}{800} = 62.45^{\circ}\text{C}$$

- Este mismo procedimiento se realizó para cada dato en un periodo de tiempo de 0.016 horas.

Interpretando la figura 22. La curva de color azul es la temperatura de la célula medida diaria promedio mensual, llegando a un rango máximo de 46°C, a las 11:50 de la mañana, posteriormente tenemos la curva de color naranja que es la temperatura teórica hallada con la ecuación número 10 en función de la temperatura ambiente y la radiación por cada intervalo de tiempo de 01 minuto, llegando a tener una temperatura máxima de 62.45°C.

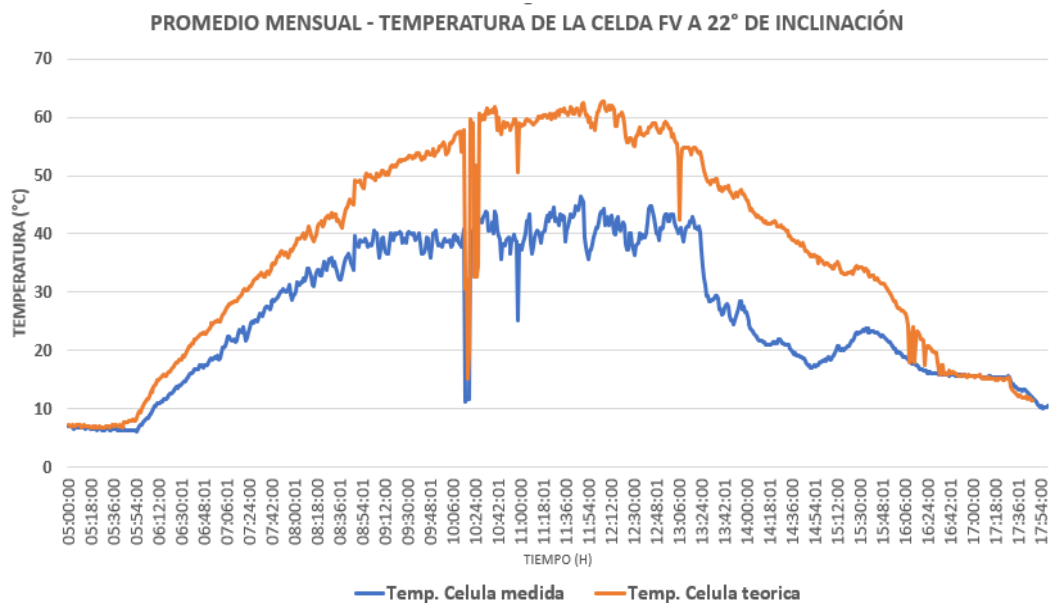


Figura 22. Temperatura diaria promedio mensual a 22° de inclinación de la célula FV medida vs célula FV teórica.

De la misma forma desarrollamos para una inclinación del MFV a 90°, donde la temperatura máxima diaria promedio mensual de la célula fotovoltaica medida llega a 31.9°C, sin embargo, la temperatura de la célula FV teórica llega a 56°C, esta diferencia de temperatura es debido principalmente al ángulo de inclinación. Veamos la siguiente figura 23.

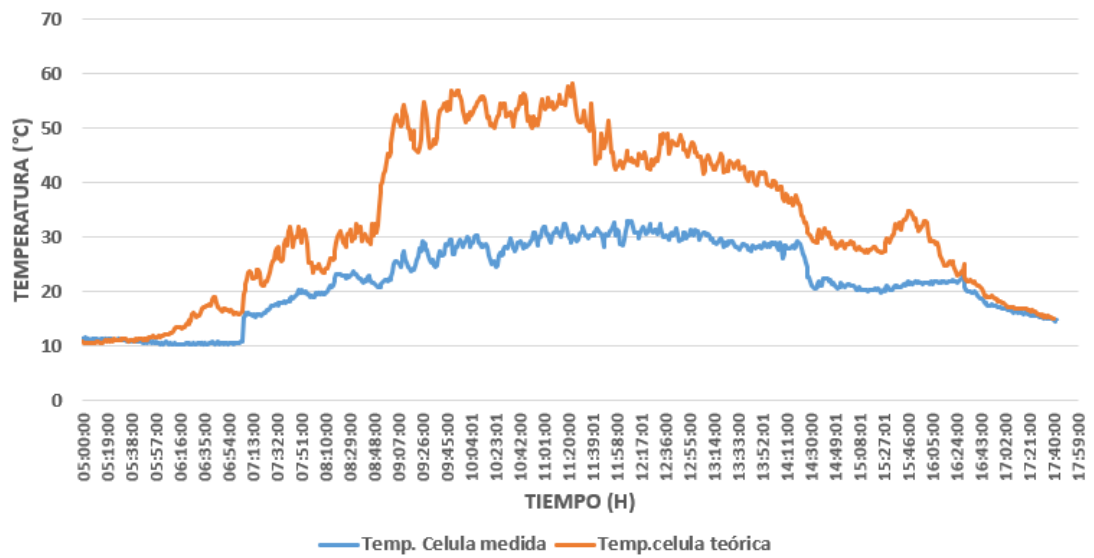


Figura 23. Temperatura diaria promedio mensual a 90° de inclinación de la célula FV medida vs célula FV teórica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el siguiente capítulo abordaremos la interpretación de datos del sistema fotovoltaico aislado con diferente grado de inclinación, uno de 22° periodo (agosto - setiembre) simulando el techo de policarbonato y el otro a 90° periodo (octubre – noviembre) simulando una ventana, ubicado en el instituto de energías renovables UNAJ, además, la máxima demanda del instituto de energías renovables es de 62.563kW según el expediente técnico del proyecto en su capítulo de instalaciones eléctricas.

4.1 Período en ejecución

El análisis de comportamiento del módulo fotovoltaico transparente a diferente grado de inclinación se realizó en el periodo de agosto a noviembre (04 meses) del 2023.

4.2 Análisis del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación

Como se puede apreciar en la figura 24, se instaló dos sensores de temperatura uno para evaluar la temperatura de la celda del módulo fotovoltaico y el otro para evaluar la temperatura ambiente.



Figura 24. Ubicación de los sensores de temperatura de la celda fotovoltaica y temperatura ambiente.

4.2.1 Comportamiento de la temperatura de la celda del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación

En la figura 25, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura diaria promedio mensual (ago – set) de la celda del módulo fotovoltaico transparente, durante un periodo de tiempo de 13 horas diarias entre las 5:00 a.m. a 18:00 p.m., donde se puede observar que la temperatura más baja es de 6.3°C a las 5:34 a.m. y la temperatura más alta es 46.5°C a las 11:50 a.m.

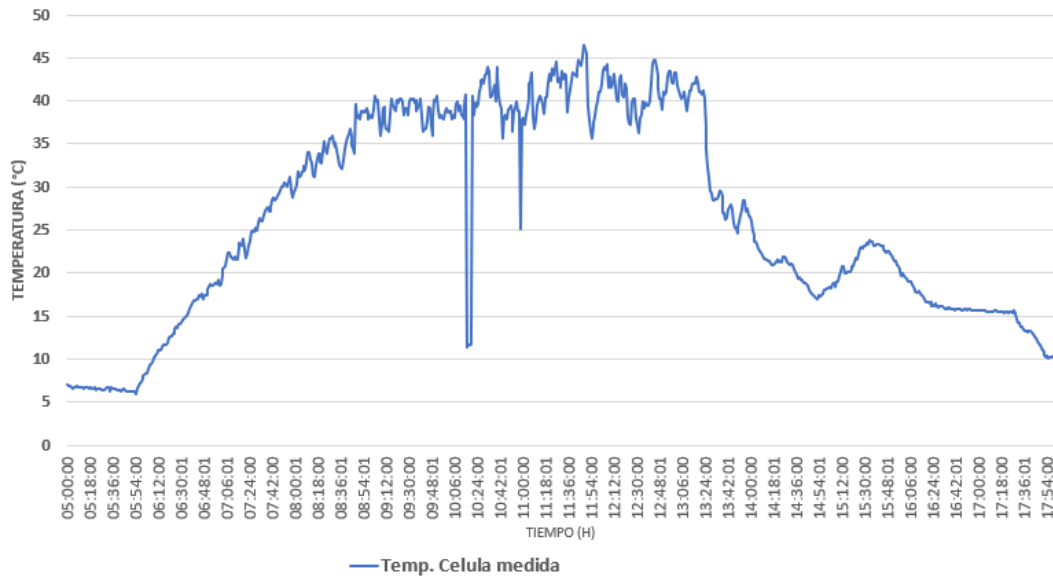


Figura 25. Temperatura diaria promedio mensual de la celda FV a 22° de inclinación.

4.2.2 Comportamiento de la temperatura ambiente del módulo fotovoltaico

En la figura 26, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura ambiente diaria promedio mensual, durante un periodo de tiempo de 13 horas diarias entre las 5:00 a.m. a 18:00 p.m., donde se puede observar que la temperatura más baja es de 6.9° C a las 5:01 a.m. y la temperatura más alta es 28.2°C a las 12:06 p.m.

Los factores y/o agentes ambientales que determinan el comportamiento de la temperatura en un determinado lugar son los siguientes:

- Latitud del lugar
- Vientos predominantes
- Corrientes marinas
- Altitud
- relieve



Figura 26. Temperatura diaria promedio mensual ambiente (ago – set).

4.2.3 Comportamiento de la irradiancia y potencia vs tiempo del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación.

En la figura 27, se puede apreciar el comportamiento de la irradiancia media mensual (ago – set) durante 13 horas diarias entre las 5:00 a.m. a las 18:00 p.m., donde se puede observar que la irradiancia más baja es de 0 W/m² a las 5:00 a.m. y la irradiancia más alta es 1160 W/m² a las 10:41 a.m., de igual forma la potencia máxima suministrada del MFV llega a 134.6Wp.



Figura 27. Curva de irradiancia y potencia vs tiempo a 22° de inclinación.

4.2.4 Análisis de la eficiencia del módulo fotovoltaico con 22° de inclinación

Según los datos obtenidos del medidor de energía y comparándolos con los datos recopilados de la estación meteorológica de la universidad, se pudo hallar la siguiente eficiencia promedio mensual (ago – set) para el módulo fotovoltaico a 22° de inclinación.

Datos:

- Irradiación diaria recibida por el módulo FV : 7969.183 Wh/m² día
- Energía diaria producida por el módulo FV : 0.870 kWh/ día
- Productividad de referencia : 7.969 h
- Productividad del módulo FV : 6.450 h
- Pérdidas de captura : 1.518 h
- Área del módulo FV : 0.810 m²

Teniendo en cuenta todos estos datos hallados por las fórmulas mencionadas en la norma UNE – EN 61724:2000 “Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis” se pudo obtener la eficiencia del array (Na):

- Eficiencia del array: 13.491 %

4.2.5 Curva I – V del módulo fotovoltaico transparente a 22° de inclinación

En la figura 28, realizamos las pruebas de los diferentes tipos de curvas predominantes del módulo fotovoltaico a condiciones estándar STC y a valores medidos incito, mencionado procedimiento se realizó con el equipo de medición denominado: trazador de curvas, brindándonos diferentes parámetros eléctricos, ambientales.

Tabla 11

Interpretación de colores del trazador de curvas

Color de curva	Tipo de curva
Rojo	I – V medido
Azul	P – V
Violeta	I – V, STC
Verde	Indicador referencial del Ppmax.

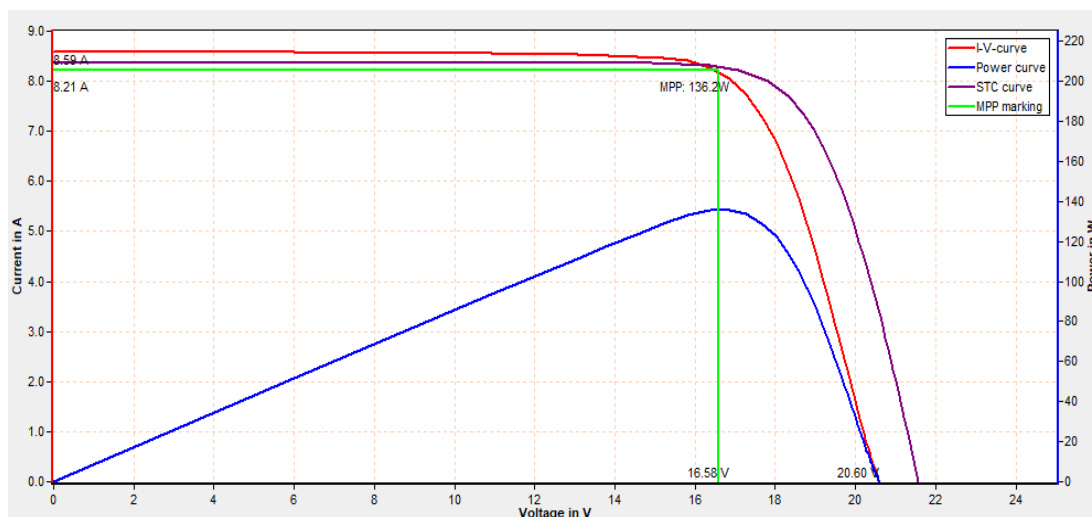


Figura 28. Curvas I – V, P – V, I – V STC, datos proporcionados por el trazador de curvas modelo EI – MEDFAS – SISTSO – 400.

La curva de color rojo I – V nos indica que el punto de máxima potencia es de 136.2W con una corriente de cortocircuito de 8.59 A y una tensión de circuito abierto de 20.6 V, esta potencia obtenida es la máxima generación que nos proporciona el MFV a plena carga, siendo su corriente en el punto máximo de potencia de 8.21 A y tensión en el punto máximo de potencia de 16.58 V, dicha medición cuenta con una irradiancia en el plano del generador de 1026 W/m² y con una temperatura en la celda de 40.8 °C.

La curva de color azul P – V nos indica la potencia en el punto de máxima potencia que es de 136.2W. La curva de color violeta I – V representa la potencia en el punto máximo de potencia con un valor de 142.3W a condiciones estándar (STC).

Tabla 12

Comparación de parámetros eléctricos y ambientales proporcionados por el trazador de curvas.

	Valor medido	STC	Valor de Referencia
P _{máx} (W, W _p)	136.2	142.3	135
I _{pmax} (A)	8.21	8	7.9
V _{pmax} (V)	16.6	17.8	17.1
I _{sc} (A)	8.59	8.37	8.5
V _{oc} (V)	20.6	21.57	22.3
FF (%)	77	78.8	71.3
G (W/m ²)	1026	1000	1000
T _{mod.} (°C)	40.8	25	25

4.3 Análisis del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación

Como se puede apreciar en la figura 29, el MFV cuenta con la inclinación de 90° listo para su evaluación en los parámetros eléctricos y ambientales.



Figura 29. Módulo fotovoltaico transparente a 90° de inclinación.

4.3.1 Análisis de la temperatura de la celda del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación

En la figura 30, apreciamos el comportamiento de la temperatura promedio mensual (oct – nov) de la celda del módulo fotovoltaico transparente, durante un tiempo de 13 horas diarias entre las 5:00 a.m. a las 18:00 p.m., donde se puede observar que la temperatura más baja es de 10.2° C a las 6:18 am y la temperatura más alta es 32.9° C a las 12:07 pm.

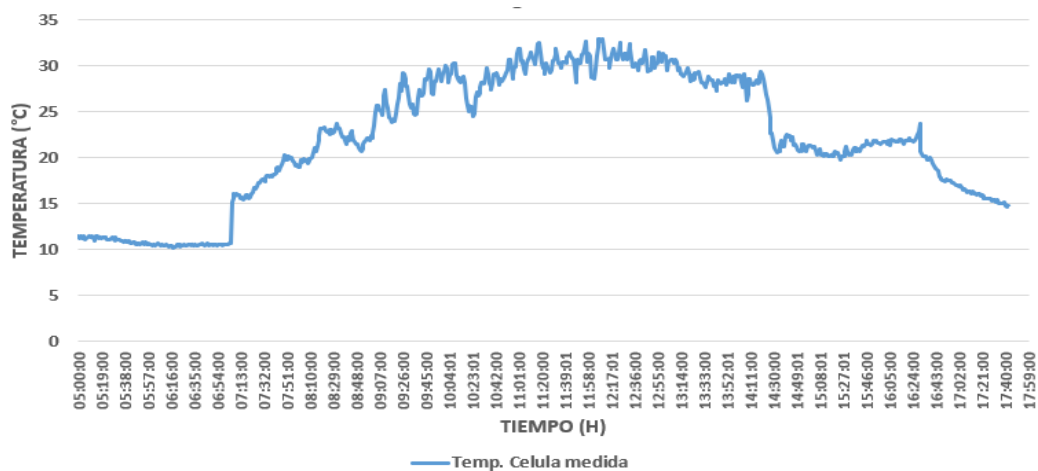


Figura 30. Temperatura diaria promedio mensual a 90° de inclinación.

4.3.2 Análisis de la temperatura ambiente del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación

En la figura 31, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura media mensual ambiente (oct – nov), durante un tiempo de 13 horas diarias entre las 5:00 a.m. a las 18:00 p.m., donde se puede observar que la temperatura más baja es de 9.4°C a las 6:18 a.m. y la temperatura más alta es 26.8°C a las 13:55 p.m.

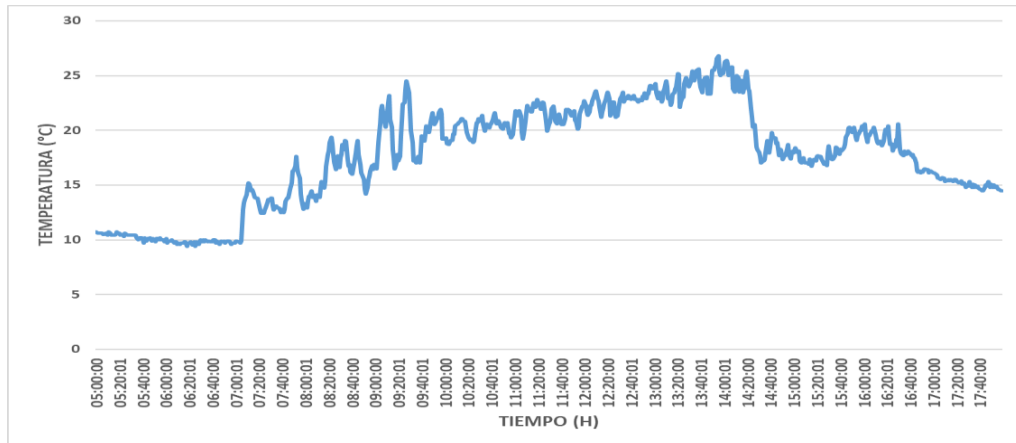


Figura 31. Temperatura ambiente diaria promedio mensual a 90° de inclinación.

4.3.3 Análisis de la irradiancia vs potencia del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación

En la figura 32, tenemos el comportamiento de la irradiancia media mensual durante un tiempo de 13 horas diarias entre las 5:00 a.m. a las 18:00 p.m., donde se puede observar que la irradiancia más baja es de 0 W/m² a las 5:00 a.m. y la irradiancia más alta es 1143 W/m² a las 11:24 a.m., de la misma forma el pico de potencia máximo del módulo fotovoltaico llega a alcanzar 88 Wp.

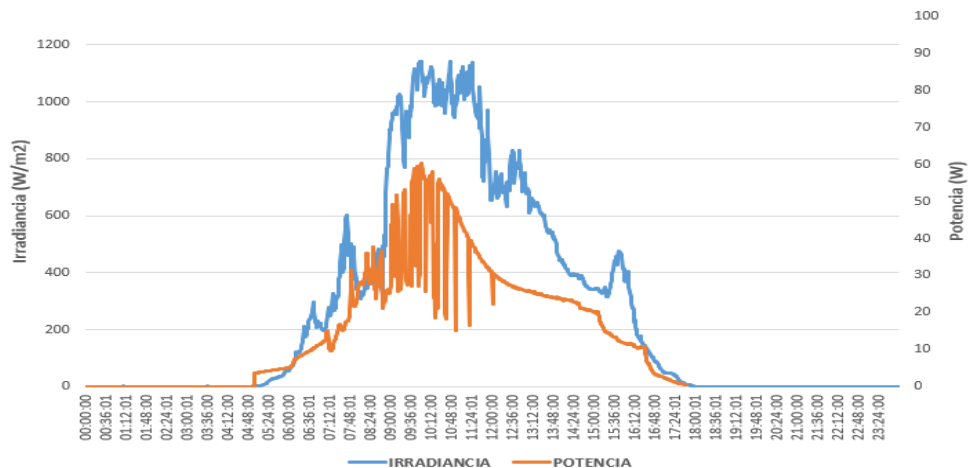


Figura 32. Curva de irradiancia y potencia vs tiempo a 90° de inclinación.

4.3.4 Análisis de la eficiencia del módulo fotovoltaico con 90° de inclinación

Según los datos obtenidos en la práctica y los datos recopilados de la estación meteorológica de la universidad, se pudo hallar la eficiencia media mensual para el módulo fotovoltaico con 90° de inclinación.

Datos:

- Irradiación diaria recibida por el módulo FV : 6279.1 Wh/m² * día
- Energía diaria producida por el módulo FV : 0.310 kWh / día
- Productividad de referencia : 6.279 h
- Productividad del módulo FV : 2.30 h
- Pérdidas de captura : 3.975 h
- Área del módulo FV : 0.810 m²

Teniendo en cuenta todos estos datos hallados por las fórmulas mencionadas en la norma UNE – EN 61724:2000 “Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis” se pudo obtener la eficiencia del array (Na):

- Eficiencia del array : 6.114 %

4.3.5 Curva I – V del módulo fotovoltaico transparente a 90° de inclinación

En la siguiente figura 33, apreciamos las curvas características del módulo fotovoltaico transparente, datos obtenidos con una inclinación de 90° mediante el equipo denominado trazador de curvas.

Colores representativos del software PV-Analysator, mencionado software es con el que trabaja el trazador de curvas.

Tabla 13

Interpretación de colores del trazador de curvas

Color de curva	Tipo de curva
Rojo	I – V medido
Azul	P – V
Violeta	I – V, STC
Verde	Indicador referencial del Ppmax.

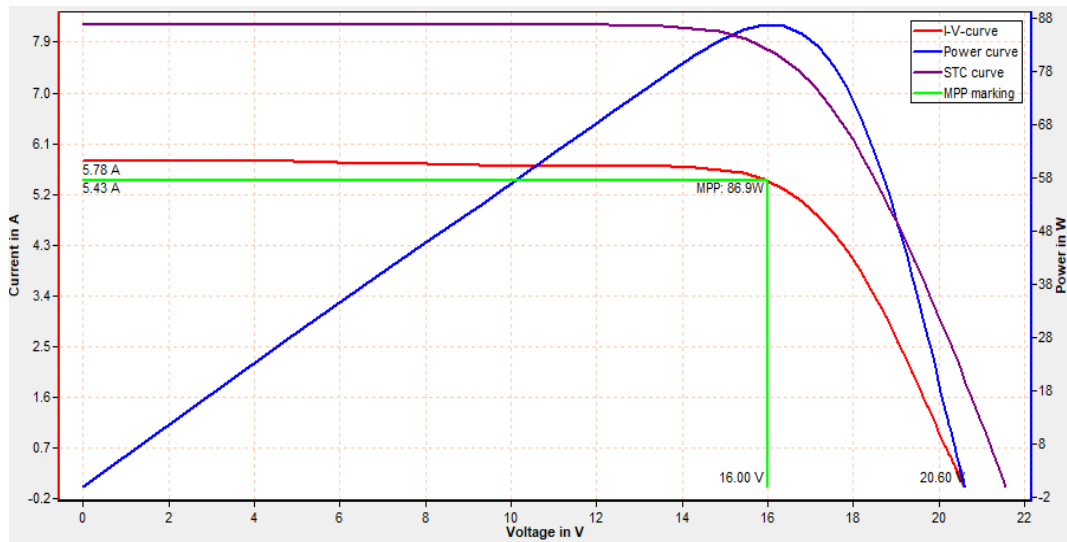


Figura 33. Curvas I – V, P – V, I – V STC, datos proporcionados por el trazador de curvas modelo EI – MEDFAS – SISTSO – 400.

La curva de color rojo I – V nos indica que el punto de máxima potencia es de 86.9W con una corriente de cortocircuito de 5.78 A y una tensión de circuito abierto de 20.6 V, esta potencia obtenida es la máxima generación que nos proporciona el MFV a plena carga, siendo su corriente en el punto máximo de potencia de 5.43 A y tensión en el punto máximo de potencia de 16 V, dicha medición cuenta con una irradiancia en el plano del generador de 704 W/m² y con una temperatura en la celda de 35.4 °C.

La curva de color azul P – V nos indica la potencia en el punto de máxima potencia que es de 86.9W. La curva de color violeta I – V representa la potencia en el punto máximo de potencia con un valor de 124.6W a condiciones estándar (STC).

Tabla 14

Comparación de parámetros eléctricos y ambientales proporcionados por el trazador de curvas.

	Valor medido	STC	Valor de Referencia
P _{máx} (W, W _p)	86.9	124.6	135
I _{pmax} (A)	5.43	7.71	7.9
V _{pmax} (V)	16	16.2	17.1
I _{sc} (A)	5.78	8.21	8.5
V _{oc} (V)	20.6	21.57	22.3
FF (%)	72.9	70.4	71.3
G (W/m ²)	704	1000	1000
T _{mod.} (°C)	35.4	25	25

4.4 Proyección del generador fotovoltaico para la inserción al instituto de energías renovables de la EPIER – UNAJ sede Ayabacas.

4.4.1 Análisis para el área techada de policarbonato

El instituto de energías renovables cuenta con un techo de policarbonato el cual tiene un área de 831.168 m².



Figura 34. Área techada de policarbonato del instituto EPIER – UNAJ.

Para realizar este cálculo se considera los siguientes datos:

- Ángulo de inclinación del techo de policarbonato : 22°
- Área techada de policarbonato : 831.168 m²
- Área techada a utilizar : 805.438 m²
- Área del módulo fotovoltaico transparente : 1.567 m²
- Energía generada por el módulo fotovoltaico : 0.87 kWh/día

Teniendo en cuenta los datos mencionados se calculó lo siguiente:

- Módulos fotovoltaicos para cubrir el área techada : 514 unidades
- Energía diaria generada por el sistema FV : 447.18 Kwh/día
- Energía mensual generada por el sistema FV : 13.415 Mwh/mes

4.4.2 Análisis de la energía para el área de ventanas orientadas al norte

El instituto de energías renovables tiene una fachada orientada al norte el cual tiene un área de 53.89 m² en ventanas.



Figura 35. Fachada del instituto de la EPIER con ventanas orientadas al norte.

Para realizar este cálculo se considera los siguientes datos:

- Ángulo de inclinación : 90°
- Área de ventanas : 53.89 m²
- Área del módulo fotovoltaico transparente : 1.567 m²
- Energía generada por el módulo fotovoltaico : 0.31 kWh/día

Teniendo en cuenta los datos mencionados se calculó lo siguiente:

- Módulos fotovoltaicos para cubrir el área de ventanas : 34 unidades
- Energía diaria generada por el sistema FV : 10.54 kWh/día
- Energía mensual generada por el sistema FV : 326.74 kWh/mes

4.5 Análisis comparativo con otros trabajos de investigación

En este punto procederemos a realizar un análisis comparativo de un sistema solar fotovoltaico con tecnología transparente con un sistema solar fotovoltaico con tecnología convencional (monocristalino), ambos sistemas se han proyectado para el área del techo de policarbonato del instituto de energías renovables y eficiencia energética de la Universidad Nacional de Juliaca sede Ayabacas.

Es importante mencionar que los datos para el sistema fotovoltaico de tecnología transparente se extrajeron de este presente trabajo de investigación, sin embargo, los datos del sistema fotovoltaico de tecnología convencional (monocristalino) se extrajeron de la tesis denominada “diseño, evaluación técnica y económica de un sistema solar fotovoltaico

conectado a la red de 60.0 KW, ubicado en la sede Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca”

Para poder realizar la comparación entre ambos sistemas tenemos que tener en cuenta los datos consignados en la tabla 12, que se muestra a continuación:

Tabla 15

Datos de los dos sistemas fotovoltaicos a comparar

	SFV con tecnología convencional (monocrystalino)	SFV con tecnología transparente
Área total de cobertura de policarbonato	831.168 m ²	831.168 m ²
Área ocupada por los módulos fotovoltaicos	379.44 m ²	805.438 m ²
Área del módulo fotovoltaico	2.79 m ²	1.567 m ²
Número de módulos fotovoltaicos	136	514
Potencia de cada módulo fotovoltaico	630 W	135W
Potencia teórica pico instalada del sistema FV.	85.680 kWp	69.390 kWp
Energía mensual generada por el sistema FV	14.83 MWh/mes	13.415 MWh/mes

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la tabla 12, tenemos que considerar los siguientes puntos.

- El sistema fotovoltaico con tecnología convencional (monocrystalino) se calculó en base a la máxima demanda del edificio (Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética) y se proyectó un sistema fotovoltaico de 60 kW, de acuerdo al trabajo de investigación este sistema solo ocuparía 379.44 m² con un total de 136 módulos fotovoltaicos de 630 W cada uno.
- Por otro lado, el sistema fotovoltaico transparente tiene por finalidad sustituir toda el área del techo de policarbonato del edificio (instituto de energías renovables y

eficiencia energética) teniendo un área total de 831.168 m², ocupando un área de 805.438 m², conformando un total de 514 módulos fotovoltaicos de 135 W cada uno. Teniendo en cuenta la información de cada sistema fotovoltaico, podríamos mencionar lo siguiente:

Si bien es cierto, el sistema fotovoltaico convencional (monocristalino) usaría menos de la mitad del área total del techo de policarbonato para cubrir una demanda aproximada de 60 kW lo cual alcanzaría a cubrir casi al 100% la demanda energética del edificio, sin embargo en ese proyecto se plantea poner solo 136 módulos fotovoltaicos generando una energía mensual de 14.83 MWh/mes, quedando entonces un área no cubierta por módulos fotovoltaicos, lo cual nos lleva a entender que el resto del área continuaría siendo de policarbonato, teniendo en cuenta lo mencionado podemos ver que en la figura 37, se muestra la imagen proyectada por el autor donde solo se cubriría la parte media céntrica del techo de policarbonato, lo cual visualmente no sería agradable, no tendría armonía con la infraestructura, obstruyendo también en la zona cubierta por el sistema fotovoltaico el paso de la luz solar, por ende, no se tendría iluminación natural en el piso bajo del edificio donde se cuenta con áreas verdes y zonas de descanso.

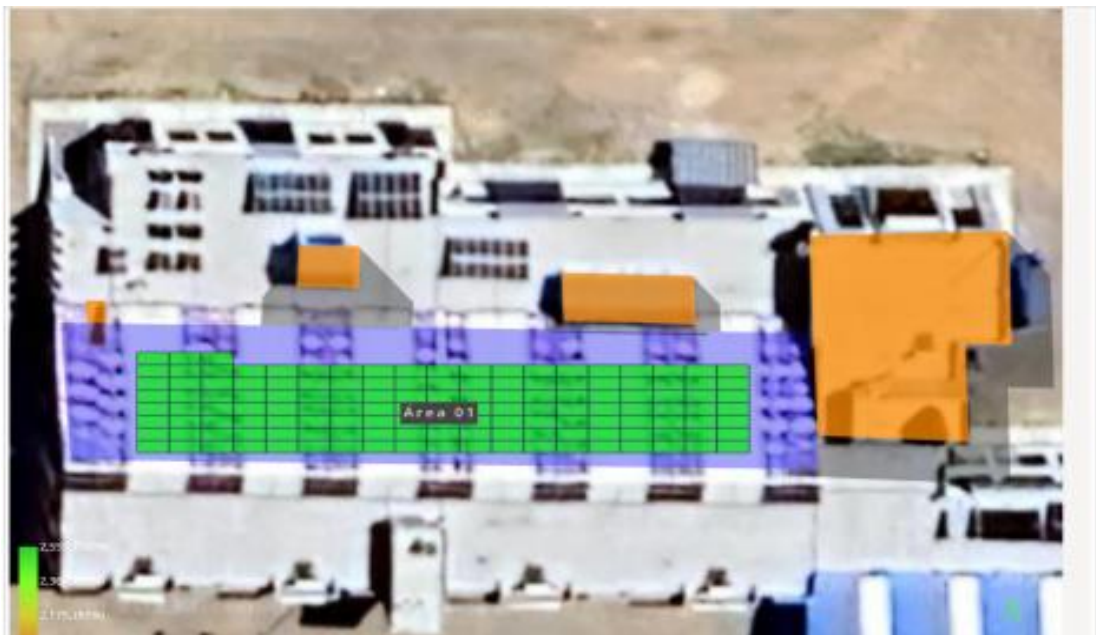


Figura 36. Imagen del software Helioscope con el cual se proyectó el sistema fotovoltaico de tecnología convencional (monocristalino), extraída del anexo 6.

Por lo contrario, este proyecto plantea un sistema fotovoltaico diferente con tecnología transparente, se trata de cambiar el techo de policarbonato por otra tecnología que no solo cumpla el papel de aprovechar la energía del sol para la producción de energía eléctrica, sino también que cumpla la función de proveer calor e iluminación al piso inferior del edificio. Este proyecto contaría con un total de 514 módulos fotovoltaicos de 135 W cada uno, generando 13.415 MWh/mes de energía eléctrica, cabe recalcar que no se consideró las pérdidas del lado AC. Entonces podemos mencionar que nuestro sistema planteado no solo mejoraría el aspecto visible y armonioso de la infraestructura, sino también podríamos llegar a ser un edificio autosostenible. En la figura 38, se muestra la imagen de la proyección del edificio con un sistema fotovoltaico transparente.



Figura 37. Visualización de MFV instalados en el techo (HIITIO, 2024).

Entonces haciendo la comparación de ambos sistemas podemos decir que: el sistema fotovoltaico con tecnología convencional (monocristalino) es competitivo a nivel energético sin embargo nuestro sistema es competitivo tanto a nivel energético como a nivel de infraestructura sostenible aprovechando así cada espacio del edificio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El proyecto de generación de energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos transparentes a una inclinación de 22 y 90 grados para la inserción al instituto de energías renovables y eficiencia energética se realizó satisfactoriamente concluyendo que:

- La temperatura de célula máxima promedio mensual (ago – set) a 22° de inclinación es de 46.5°C, tensión y corriente máxima es de 18.03 y 8.63 respectivamente, la temperatura ambiente máxima promedio mensual es de 28.2°C existiendo una diferencia aproximada de 20°C con respecto a la temperatura de célula, este dato tiende a ser una constante para hallar de manera rápida la temperatura de célula aproximada en función de la temperatura ambiente. Y con una inclinación de 90° la temperatura de célula máxima promedio mensual (oct – nov) es de 32.9°C, tensión y corriente máxima es de 17.77 y 4.21 respectivamente, en consecuencia, la tensión del módulo FV no se verá tan afectado por la temperatura, pero si la corriente de generación.
- La energía diaria promedio mensual generada por el módulo fotovoltaico de tecnología transparente a 22 y 90 grados de inclinación es de 0.87 y 0.31 kWh/día respectivamente, esto quiere decir que, al instalar el MFV a 90° de inclinación tendremos una pérdida de generación de energía eléctrica del 64% con respecto al de 22°, cabe resaltar que el ángulo de inclinación óptimo del lugar es de 14.33°. Por otro lado, La eficiencia del módulo fotovoltaico a 22° de inclinación es de 13.491 % y a 90° de inclinación es de 6.114 %.
- Para la proyección del sistema FV a 22° de inclinación supliendo el techo de policarbonato se instalará un total de 514 unidades de MFV de tecnología transparente en un área de 805.438 m² suministrando 13.415 Mwh/mes de energía eléctrica. Y de la misma forma se desarrolla para las ventanas orientadas al norte con una inclinación de 90°, ocupando un área de 53.89 m² y con un total de 34 unidades de MFV generando así 326.74 kWh/mes de energía eléctrica.

5.2 Recomendaciones

Conociendo los resultados del proyecto de investigación desarrollado daremos alcance de algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

- Realizar estudios de diferentes tipos de células fotovoltaicas de tecnología transparente.
- Realizar el estudio de normas de ejecución de proyectos con este tipo de tecnología (estructura, montaje y conexionado).
- Proyectar estudios de infraestructura con este tipo de tecnología.
- Revisar que empresas proveedoras de MFV cuentan con este tipo de tecnología. Así mismo, realizar la comparación de precios y envío.
- Realizar la difusión de los BIPV en nuestro país y principalmente en nuestra escuela profesional de ingeniería en energías renovables, y así acrecentar la autosostenibilidad de las infraestructuras a ejecutarse.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Admin. (01 de 03 de 2018). *Efimarket*. Obtenido de <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>
- ANDINA. (2011). *ANDINA*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-westin-libertador-lima-se-inaugura-inversion-superior-a-130-millones-360756.aspx>
- AutoSolar. (2018). *AutoSolar España*. Recuperado el 2020, de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-depotencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga>
- Calderón, A. R. (2022). Soluciones constructivas para integracion fotovoltaica en arquitectura. Madrid, España.
- Circutor. (2022). *Circutor*. Obtenido de [https://circutor.com/productos/transformadores-de-corriente-y-shunts/transformador-de-corriente-en-continua-shunts/shunts-para-la-medida-de-corriente-continua/product/M71227./](https://circutor.com/productos/transformadores-de-corriente-y-shunts/transformador-de-corriente-en-continua-shunts/shunts-para-la-medida-de-corriente-continua/product/M71227/)
- COSAPI. (2015). *COSAPI*. Obtenido de <https://www.cosapi.com.pe/Site/Index.aspx?aID=903>
- DIARIO, E. (4 de enero de 2017). una tendencia que crece a nivel mundial. *Editado por COOPERATIVA DE TRABAJO COMUNICAR LTDA.*, pág. 2.
- ELECTRONICS, U. (2024). *UNIT ELECTRONICS*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/adaptador-usb-rs485-convertidor/>
- ELMITEC*. (Enero de 2024). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/699388081/Modulos-BIPV>
- Española, N. (2022). Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Jaen, España: Universidad de Jaen.
- Europe, S. F. (2019). *SunFields*. (J. Alonso, Editor) Obtenido de SunFields: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>
- HIDROSUN. (2019). *Hidrosun - Suelo radiante en Valencia*. Recuperado el 13 de 02 de 2021, de <https://www.hidrosun.com/suelo-radiante/>

HIITIO. (2024). *HIITIO*. Obtenido de <https://es.hiitio.com/los-10-principales-fabricantes-de-bipv-en-2024-informacion-y-clasificaciones-actualizadas/>

JinkoSolar. (2024). *Jinko Solar*. Obtenido de <https://jinkosolar.eu/bipv/>

Loor, S., & Lata Garcia, J. (2023). Evaluación energética fotovoltaica en edificios utilizando diferentes vidrios solares. Guayaquil, Ecuador.

Lopez-Cozar, J. M. (2006). *Energia Solar Termica*. Madrid: instituto para la diversificacion y ahorro de la energia.

Martinez Gómez , W. (2020). Metodología de diseño montaje y evaluación de sistemas fotovoltaicos integrados a la estructura de edificaciones. Colombia .

MCIElectronics.cl. (Junio de 2024). *MCIElectronics.cl*. Obtenido de <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>

Miritz, S. (2019). *Design de difusor aerodinâmico para turbina eólica de eixo vertical*. Rio Grando do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Moralejo Vázquez , F. J. (2018). Contribución a la mejora de la integración de la energía solar fotovoltaica en edificios. Madrid.

Moralejo Vázquez, F. (julio de 2013). caracterizacion optica de modulos fotovoltaicos semitransparentes de a-Si para integracion en edificios comerciales. Madrid.

Nevado, F. (19 de 01 de 2021). *Renewable Energy Magazine*. Obtenido de Renewable Energy Magazine: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/por-que-la-tecnologia-perc-se-20180306>

Nunes, I. D. (Julio de 2014). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-1-Componentes-do-hardware-do-Raspberry-Pi_fig7_277664545

OMEGA. (2024). *OMEGA*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>

OnyxSolar. (2016). *OnyxSolar*. Obtenido de <https://onyxsolar.es/estadio-miami-heat>

Planas, O. (09 de 04 de 2020). *Energia solar*. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico>

Podó. (02 de 2019). *Luz 100 por ciento verde*. Obtenido de <https://www.mipodo.com/blog/energia-verde/placas-solares->

Yago, B. (11 de 04 de 2013). *Calculationsolar blog*. Obtenido de <http://calculationsolar.com/blog/?cat=3>

YUCHENG. (2024). *YUCHENG*. Obtenido de <https://es.ycpresuregauge.com/thermometer/electrical-contact-thermometer/flexible-sealed-rtd-pt100-temperature-sensor.html>

Anexo 1. Especificaciones técnicas del sistema de adquisición de datos

a. Raspberry Pi4 computer model B, 8GB RAM

La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, puede ser conectada a un monitor o TV y usarse con un mouse y teclado al igual que una PC. Tiene un sistema operativo Linux donde se puede programar lenguajes como Scratch y Python, además puede aplicarse a una gran variedad de proyectos digitales entre ellos la automatización, estaciones meteorológicas a menor escala respectivamente. (MCIElectronics.cl, 2024).

Tabla 16

Datos técnicos característicos de Raspberry Pi4

Características	Especificaciones
Procesador	Cortex-A72 de cuatro núcleos (ARMm v8) SoC de 64 bits a 1,5 GHz
Memoria RAM	8GB LPDDR4
Conectividad	LAN inalámbrica de 2.4 GHz y 5.0 GHz, Bluetooth 5.0, BLE
Entrada red	Gigabit Ethernet
Puertos USB	2 × USB 3.0 2 × USB 2.0
GPIO	Estándar de 40 pines
Video y sonido	2 puertos micro HDMI (hasta 4Kp60 admitidos)
Puerto DSI para pantalla Puerto CSI para cámara	
Soporte de tarjeta SD	32Gb externo
Potencia de entrada	5V DC a través del conector USB-C (mínimo 3A)
Temperatura de funcionamiento	0–50°C.
Dimensiones:	(88 x 58 x 18,5mm)

Fuente: (MCIElectronics.cl, 2024).

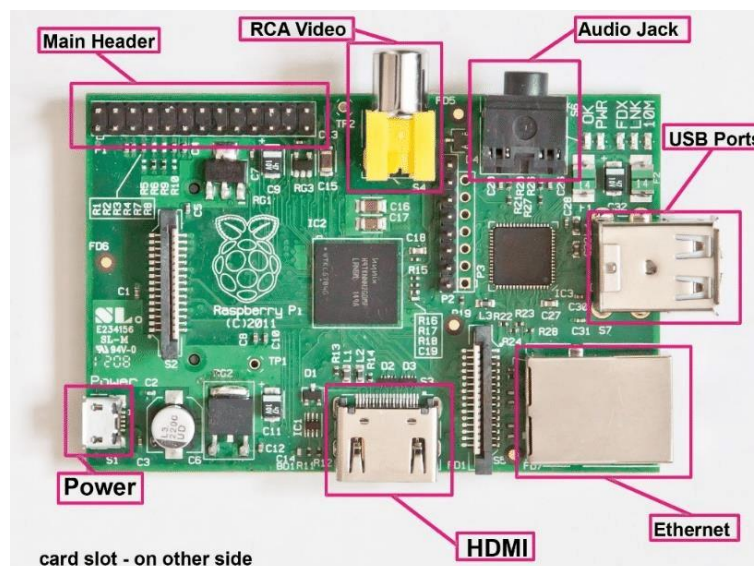


Figura 38. Raspberry Pi4 (Nunes, 2014).

b. Medidor de energía 230 VAC modelo DCM 230 EASTRON

Está diseñado para medir y monitorizar sistemas de corriente continua, como los parámetros de: voltaje, corriente, potencia y energía, etc. Todos los datos del medidor son accesibles a través de su puerto de comunicación RS485 usando el protocolo Modbus RTU. El medidor cuenta con dos versiones de energización eléctrica tanto en CA o CC. El rango de medición hasta 1000V CC, además cuenta con un diseño compacto y es adecuado para la instalación en riel din.

Tabla 17

Datos técnicos característicos del medidor de energía DCM 230.

Características eléctricas		
Tipo de medición	RMS que incluye armónicos en el sistema de CA trifásico (1P + N)	
Precisión de la medición	Poder	1%
	Actual	0.5%
	Tensión de Activer de energía	0.5%
Corriente de entrada	Shunt	75mV por defecto 45/60mV opcional
	De consumos	≤ 0.1VA
	Tensión de entrada	Rango de
Consumos		5-600V CC
		5-300V CC
		≤ 0.5VA

Continuación

Protocolo	Modbus RTU
Rango de dirección	1-247
Tasa de baudios	1200/2400/4800/9600/19200bps
La paridad	Uniforme/impar/ninguno
Max autobús de carga	64pcs
Resonancia tiempo	≤ 100ms
Medio ambiente	
Temperatura de funcionamiento	-25°C~ + 55°C
Temperatura de almacenamiento	-40°C~ + 70°C
Humedad de funcionamiento	≤ 90%
Humedad de almacenamiento	≤ 95%

Fuente: (Nunes, 2014).

Diagrama de conexiones

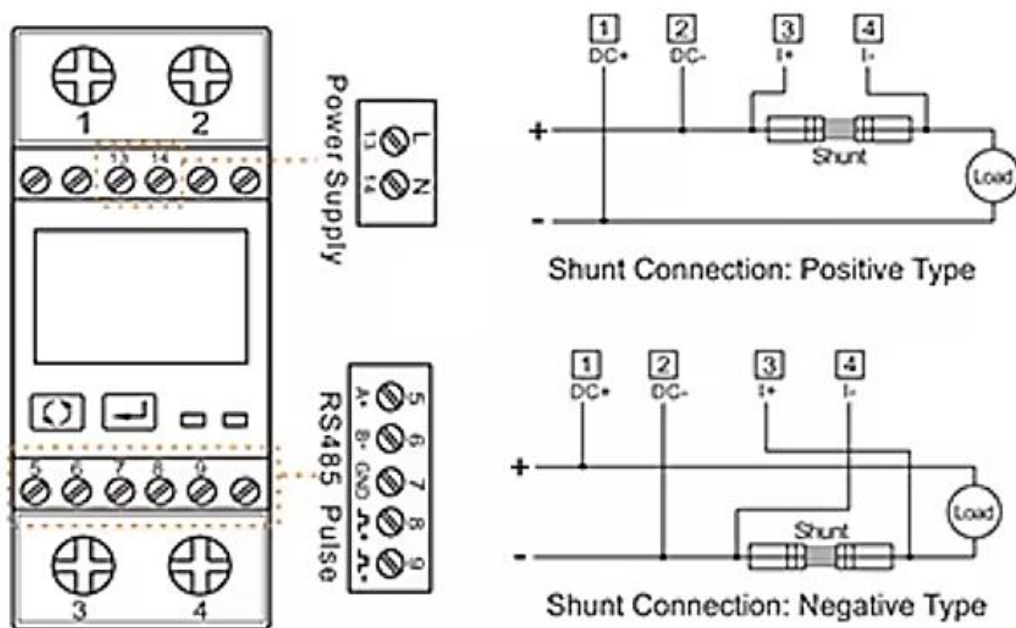


Figura 39. Medidor de energía (Nunes, 2014).

c. Placa de medición de temperatura modelo PTA 8D08 marca ELETECHSUP

Es un módulo de entrada analógica con protocolo MODBUS RTU que permite el intercambio de datos con un ordenador (PC).

En la siguiente tabla describiremos las características de este dispositivo.

Tabla 18

Datos técnicos característicos de la placa de medición temperatura PTA 8D08

Características	Detalle
Voltaje de funcionamiento	DC 8 – 30V
Corriente de Trabajo	14 – 25 mA
Protocolo de comunicación	MODBUS RTU
Sensor adaptado	Sensor PT100 de 3 o 2 cables
Escala de medición de temperatura	Versión A-40 °C a + 220 °C; versión B-40 °C a + 500 °C.
Exactitud de medición de temperatura	1%
Tamaño	136x92x32mm
Peso	166g

Fuente: (Nunes, 2014).

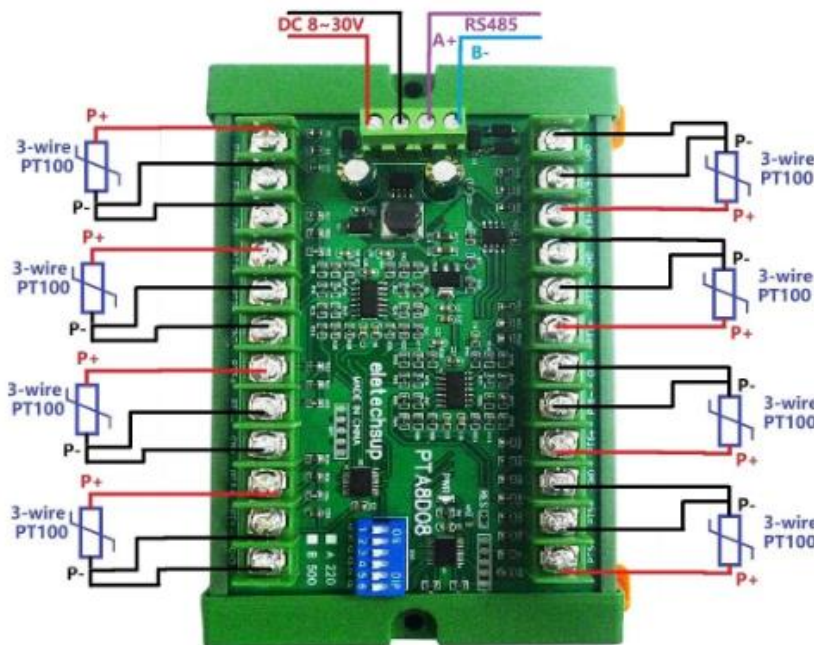


Figura 40. Diagrama de conexión de la placa de medición de temperatura PTA 8D08 con los sensores PT – 100 (Nunes, 2014).

d. Sensor de temperatura PT-100

Es un dispositivo detector de temperatura por resistencia (RTD), su característica principal es la fabricación con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios, siendo el sensor RTD más utilizado.

Una termocupla de temperatura Pt - 500, tendría, una resistencia de 500 ohms a 0 °C y una termocupla Pt - 1000 tendría 1000 ohms de resistencia a 0 °C. Los sensores Pt - 100 están montados normalmente en algún tipo de vaina o funda protectora para formar una sonda de

temperatura más robusta, y éstos se conocen comúnmente como sonda Pt – 100, el conexionado de puede apreciar en la figura 41 (OMEGA, 2024).

Las especificaciones técnicas del sensor utilizado es del modelo PT – 100 (tipo B) el cual se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 19

Datos técnicos característicos del sensor de temperatura PT – 100 (tipo B)

Características	Detalle
Tipo	PT - 100
Diámetro de sonda	4 mm
Longitud de sonda	30 mm
Material de la sonda	Acero inoxidable
Longitud del cable	0.5 metros
Funda	PTFE tipo 03 hilos
Temperatura de trabajo	-50 ~ 200 °C grado
Precisión nominal	0.3%

Fuente: (YUCHENG, 2024).



Figura 41. Sensor de temperatura PT – 100 (YUCHENG, 2024).

e. Barra o resistencia SHUNT marca NQQK, 10A

La barra o resistencia SHUNT se usa para medir corriente, en otras palabras, al pasar la corriente que queremos medir a través de una resistencia de un valor muy bajo (para que el parámetro a medir casi no se vea afectado), podremos medir el voltaje en los extremos de la resistencia. El voltaje obtenido nos permite calcular la corriente aplicando mediante la Ley de Ohm.

Características de la resistencia SHUNT en la siguiente tabla

Tabla 20

Resistencia SHUNT.

Características	Detalle
Relación	75mV/10A
Rango de corriente	10A
Presición	0.5%
Peso	50g
Dimensiones	12cm x 2.6cm x 1.8cm

Fuente: (Circutor, 2022)



Figura 42. Resistencia SHUNT 10 A (Circutor, 2022).

f. Convertidor de USB a RS485

El Módulo Convertidor USB a una red de comunicación RS-485 es ideal para la comunicación de larga distancia entre una PC y periféricos remotos basados en microcontroladores, sin necesidad de fuente externa, ya que se alimenta del puerto USB y es compatible con USB 2.0 y USB 1.1. Este dispositivo tiene gran cantidad de aplicaciones ya que provee todo tipo de comunicaciones de datos para dispositivos con puerto RS-485 (ELECTRONICS, 2024).

Tabla 21

Módulo Convertidor USB a RS485

Características	Detalle
Soporte para	Windows XP, Vista, 7, 8; Linux, MacOS, y WinCE5.0
Intervalo de Baudrate soportado	75bps – 115200bps , up to 6Mbps
Dimensiones	61 X 16 X 13 mm
Color	Negro
Chip Serial a RS485	MAX485
Borneras para conexión de cable par trenzado RS485	-

Fuente: (ELECTRONICS, 2024)

No necesita alimentación externa, trabaja a una distancia máxima de 1200 metros y a un intervalo de tiempo de - 40° a 85°C y para finalizar es compatible con Windows 98SE/2000/XP/Vista/7/8/10, Linux 2.40 (ELECTRONICS, 2024).



Figura 43. Módulo convertidor USB a RS485 (ELECTRONICS, 2024).

g. DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE CONTROL

En la siguiente figura se aprecia el conexionado de los diversos accesorios como son: placa de medición de temperatura, sensores de temperatura, llave termomagnética monofásica, interruptor horario, inversor, regulador, batería, barra shunt, raspberry, medidor de energía los cuales integran el tablero de control para adquisición de datos.

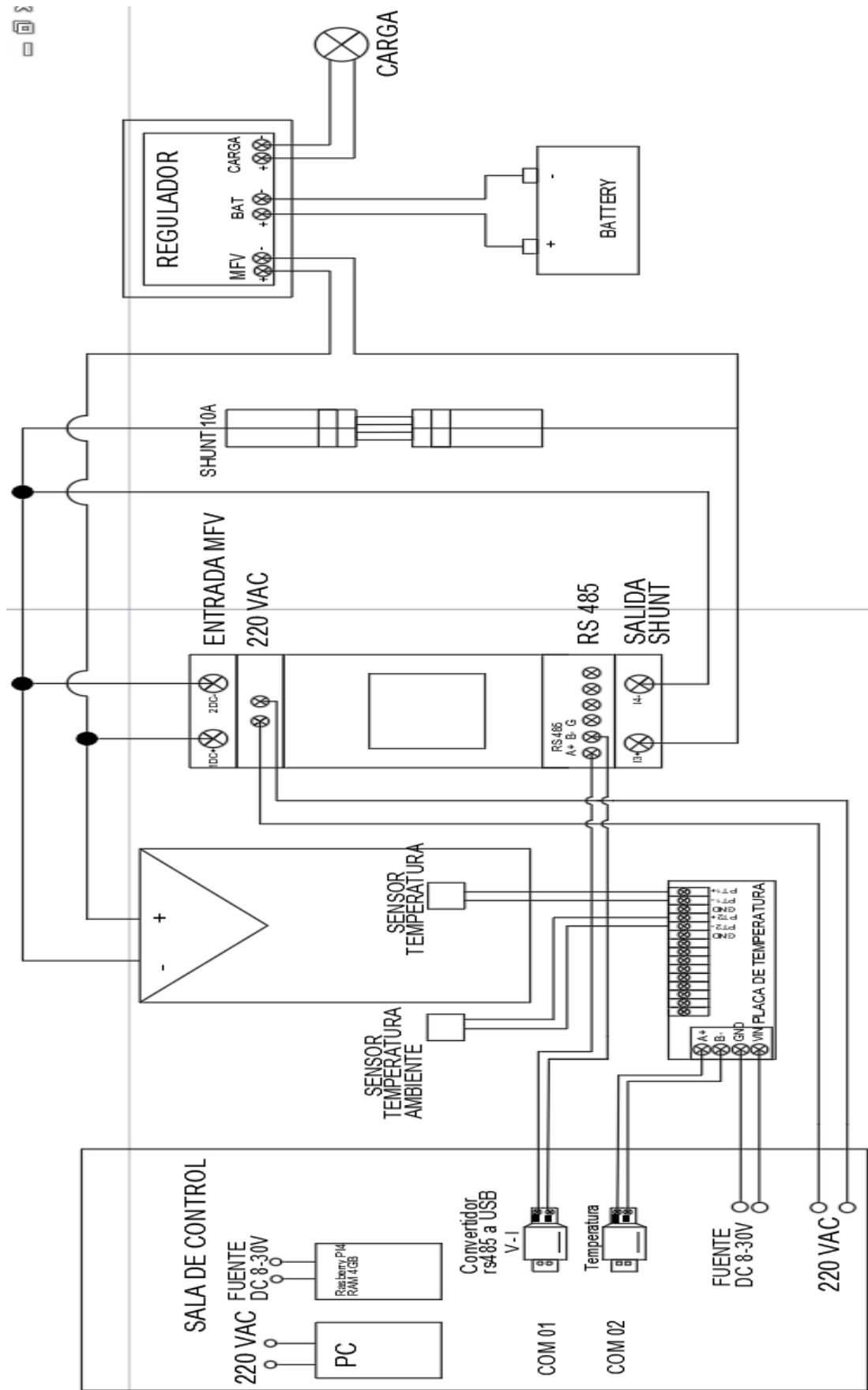


Figura 44. Diagrama unifilar del tablero de control.

Anexo 2. Cálculo de parámetros de evaluación del sistema según el desarrollo de la norma UNE – EN 61724 “Monitorización de sistemas fotovoltaicos, guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis”

a. Irradiación diaria recibida por el generador (H)

Para calcular la irradiación obtuvimos datos de la irradiancia (W/m^2) del centro meteorológico del instituto de energías renovables de la UNAJ, en un intervalo de tiempo de cuatro meses (agosto – noviembre) que es el periodo de ejecución del proyecto.

Aclarando que, en los meses de agosto a setiembre el módulo fotovoltaico fue instalado a 22° de inclinación, dato que no es relevante para calcular la irradiación puesto que es un parámetro ambiental. Para calcular la irradiación utilizamos la siguiente fórmula.

$$H(\alpha, \beta) = \int G(t) dt$$

Datos:

- Intervalo de tiempo medido : cada minuto
- Convirtiendo minutos a horas : $\frac{1}{60} = 0.016666667 \text{ horas}$
- Sumatoria de irradiancia total : $478\ 150 \text{ W/m}^2$
- Irradiación diaria (H) : $7969.166667 \text{ Wh/m}^2$
: 7.969 KWh/m^2
- Entonces la irradiación diaria promedio mensual para el mes de setiembre es de 7.969 KWh/m^2 , de tal forma que la hora solar pico (HSP) es de 7.9 horas. De la misma forma hallamos para el mes de octubre y noviembre, cabe recalcar que para dichos meses ya se cambió el ángulo de inclinación a 90° .

Datos:

- Intervalo de tiempo medido : cada minuto
- Convirtiendo minutos a horas : $\frac{1}{60} = 0.016666667 \text{ horas}$
- Sumatoria de irradiancia total : $376\ 746 \text{ W/m}^2$
- Irradiación diaria (H) : $6\ 279.1 \text{ Wh/m}^2$
: 6.279 KWh/m^2
- Entonces la irradiación diaria promedio mensual para el mes de octubre es de 6.279 KWh/m^2 , de tal forma que la hora solar pico (HSP) es de 6.2 horas.

b. Energía diaria producida por el generador (Edc)

Para calcular la energía producida por el generador se tiene que disponer del intervalo de tiempo medido en horas y la sumatoria de la potencia generada por el módulo fotovoltaico de tecnología transparente. Para calcular la energía diaria producida por el generador utilizaremos la siguiente formula:

$$H(\alpha, \beta) = \int P * gen(t)dt$$

Datos:

- Ángulo de inclinación MFV : 22°
- Intervalo de tiempo medido : cada minuto
- Convirtiendo minutos a horas : $\frac{1}{60} = 0.016666667 \text{ horas}$
- Sumatoria de potencia generada : 52 251.03773 W
- Energía diaria producida : 870.85 Wh
: 0.870 KWh

- Entonces la energía diaria promedio mensual (ago – set) producida por el generador FV a 22° de inclinación es de 0.870 KWh/día

De la misma forma calculamos para el mes de octubre y noviembre con un ángulo de inclinación de 90°.

Datos:

- Ángulo de inclinación MFV : 90°
- Intervalo de tiempo medido : cada minuto
- Convirtiendo minutos a horas : $\frac{1}{60} = 0.016666667 \text{ horas}$
- Sumatoria de potencia generada : 18 657.98 W
- Energía diaria producida : 310.966 Wh
: 0.310 KWh

- Como resultado obtuvimos que la energía diaria promedio mensual producida por el generador FV a 90° de inclinación en el mes de octubre y noviembre es de 0.310 KWh/día, esta evaluación tiene un periodo de recolección de 01 minuto por dato.

c. Productividad de referencia o reference yield (Yr)

Para calcular la productividad de referencia tenemos que tomar los datos de la energía diaria incidente en el área del módulo FV sobre la radiación en condiciones estándar.

$$Y_R = \frac{H_d(\alpha, \beta)}{G_{STC}} ; \frac{kWh/m^2 * día}{W/m^2 * día} ; horas$$

Datos:

- Ángulo de inclinación MFV : 22°
- Irradiación diaria promedio mensual : 7.969 kWh/m²*día
- Irradiancia a condiciones estándar : 1 000 W/m²*día

Reemplazando:

$$Y_R = \frac{H_d(\alpha, \beta)}{G_{STC}} = \frac{7.969 kWh/m^2. día}{1000 W/m^2} = 7.96 horas$$

Por lo tanto, tenemos 7.9 horas de energía DC continua diaria disponible que un generador pueda convertir en energía eléctrica.

De la misma forma desarrollamos para el módulo fotovoltaico instalado a 90° de inclinación.

Datos:

- Ángulo de inclinación MFV : 90°
- Irradiación diaria promedio mensual : 6.279 kWh/m²*día
- Irradiancia a condiciones estándar : 1 000 W/m²*día

Reemplazando:

$$Y_R = \frac{H_d(\alpha, \beta)}{G_{STC}} = \frac{6.279 kWh/m^2. día}{1000 W/m^2} = 6.279 horas$$

Por lo tanto, tenemos 6.2 horas de energía DC continua diaria disponible que un generador pueda convertir en energía eléctrica.

d. Productividad del generador fotovoltaico o Array Yield (Ya)

La productividad del generador o módulo fotovoltaico DC se determina dividiendo la energía DC generada (kWh) entre la potencia nominal del módulo fotovoltaico (kWp) y lo hallamos con los siguientes datos:

$$Y_A = \frac{\text{Energía DC generada}}{\text{Potencia nominal del generador}}; \text{ kWh/kWp * día; hora}$$

Datos:

- Ángulo de inclinación MFV : 22°
- Energía diaria producida por el módulo FV : 0.870 kWh
- Potencia nominal del generador o módulo FV : 0.135 kWp

$$Y_A = \frac{0.870 \text{ kWh}}{0.135 \text{ kWp}} = 6.450 \text{ kWh/kWp * día; horas}$$

Por lo tanto, se obtuvo una productividad de energía DC diaria por unidad de potencia pico instalada de 6.450 kWh/kWp * día; o en su defecto horas.

De la misma forma procedemos para hallar la productividad del generador FV con una inclinación de 90°.

Datos:

- Ángulo de inclinación MFV : 90°
- Energía diaria producida por el módulo FV : 0.310 kWh
- Potencia nominal del generador o módulo FV : 0.135 kWp

$$Y_A = \frac{0.310 \text{ kWh}}{0.135 \text{ kWp}} = 2.3 \text{ kWh/kWp * día; horas}$$

Se obtuvo una productividad de energía DC diaria por unidad de potencia pico instalada de 2.3 kWh/kWp * día; o en su defecto horas.

Anexo 3. Cantidad de módulos fotovoltaicos transparentes a utilizar

El proyecto se basa en sustituir el área techada de policarbonato como también las ventanas de la fachada del instituto de investigación de la EPIER orientada al norte, en ese contexto tenemos que considerar el área a sustituir, también se tiene en consideración el área del módulo fotovoltaico, todo especificado en las siguientes viñetas.

- El techo de policarbonato cuenta con un área de 831.168 m² con un ángulo de inclinación de 22° orientado al norte geográfico.
- La fachada del edificio orientada al norte cuenta con un área total en ventanas de 53.89 m². Algunas de ellas cuentan con una inclinación entre 80° y 90°, es por ello que realizamos la evaluación más crítica que es con un ángulo de 90°, además que, la mayoría de los edificios en la actualidad instalan sus ventanas con esta inclinación.
- El módulo fotovoltaico transparente cuenta con un área de 1.567 m²
- Energía que genera el módulo fotovoltaico con una inclinación de 22° es de 0.87 kWh/día.
- Energía que genera el módulo fotovoltaico con una inclinación de 90° es de 0.31 kWh/día.



Figura 45. Área techada de policarbonato del instituto de energías renovables – UNAJ.

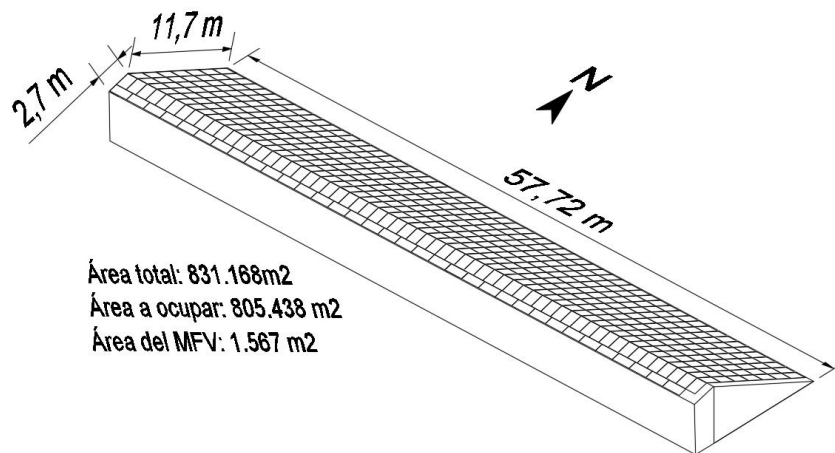


Figura 46. Área a ocupar por los MFV transparentes – UNAJ

Número de módulos fotovoltaicos necesarios para cubrir el techo de policarbonato con una inclinación de 22°.

Solo se ocupará un área de 805.438 m² por la misma estructura y/o fisiología del módulo fotovoltaico.

$$Cant. MFV = \frac{\text{área total}}{\text{área MFV}} = \frac{805.438 \text{ m}^2}{1.567 \text{ m}^2} = 514 \text{ unidades de MFV}$$

Posteriormente procedemos a calcular la energía proporcionada por los 532 MFV.

$$Energía \text{ generada} = 514 \times \frac{0.87 \text{ kWh}}{\text{día}} = 447.18 \text{ kWh/día}$$

Al instalar 514 módulos fotovoltaicos suplantando el techo de policarbonato tendremos una generación de energía eléctrica de 447.18 kWh/día. Esta energía se puede disponer de manera directa o utilizando un inversor convirtiéndola en corriente alterna AC, de tal forma aprovecharemos cada espacio estructural del edificio para que este sea autosostenible y no depender de la energía eléctrica convencional ya que en ciertas oportunidades es oscilante y no se tiene un flujo constante.

Para el caso exterior del edificio o fachada orientada al norte cuenta con un área disponible en ventanas de 53.89 m² y con una energía generada diaria de 0.31 kWh/día por módulo fotovoltaico, teniendo estos datos calcularemos la cantidad de módulos necesarios para sustituir las ventanas.

$$Cant. MFV = \frac{\text{área total}}{\text{área MFV}} = \frac{53.89 \text{ m}^2}{1.567 \text{ m}^2} = 34 \text{ unidades de MFV}$$

Posteriormente procedemos a calcular la energía proporcionada por los 34 MFV.

$$\text{Energía generada} = 34 \times \frac{0.31 \text{ kWh}}{\text{día}} = 10.54 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto, disponemos de un total de 34 MFV que nos genera 10.54 kWh/día, esto con una inclinación de 90°.



Figura 47. Ubicación de las ventanas de la fachada del instituto de energías renovables – UNAJ

A nivel nacional se cuenta con varias construcciones denominados megaproyectos de edificios y/o rascacielos que en la mayoría de sus casos la parte exterior frontal son instalados con una gran variedad de vidrios templados o ventanas polarizadas que en su defecto hubiesen sido sustituidos por módulos fotovoltaicos transparentes o traslucidos y así generar su propia energía eléctrica tomando el nombre de edificios autosostenibles y así aprovechando cada metro cuadrado en su construcción. A continuación, algunos edificios construidos en nuestro país.



Figura 48. Edificio del banco de la nación considerado el más alto del Perú con 140 metros de altura (COSAPI, 2015).



Figura 49. Edificio hotel Westin Libertador cuenta con una altura de 120m (ANDINA, 2011).



Figura 50. Torre Begonia dist. San Isidro cuenta con una altura de 120m (ULMA, 2018).

Anexo 4. Cálculo de pérdidas y eficiencia del módulo fotovoltaico (MFV)

Según la norma UNE – EN 61724, en la evaluación y monitorización de sistemas fotovoltaicos de la parte de generación DC tenemos pérdidas por captura el cual se detalla a continuación.

- **Perdidas de captura (Lc)**

Corresponden a la diferencia entre la energía continua diaria teóricamente disponible que un MFV puede transformar en energía eléctrica (Y_R) y la productividad a la salida del generador Array Yield (Y_A), y se expresan en unidades de kWh/(kWp*día).

Estas pérdidas, causadas por factores como la temperatura elevada en las células, el desajuste eléctrico de los módulos también conocido como el efecto mismatch, el sombreado, pérdidas en los diodos, el efecto Joule en el cableado y errores en el seguimiento del punto de máxima potencia, afectan el rendimiento.

Lo hallamos de la siguiente manera:

$$L_C = Y_R - Y_A; \text{ kWh/kWp*día; hora}$$

Desarrollo para una inclinación de 22°

Datos:

- Ángulo de inclinación : 22°
- Productividad de referencia (Y_r) : 7.969 horas
- Productividad del generador (Y_a) : 6.450 horas

Reemplazando:

$$L_C = Y_R - Y_A = 7.969 - 6.450 = 1.518; \text{ kWh/kWp*día; horas}$$

Obtenemos como resultado que, las pérdidas de captura ya sea por temperaturas mayores a 25°C, consumo eléctrico por los diodos, efecto Joule en el cableado, error en el seguimiento del punto máximo de potencia, el ángulo de inclinación, es de 1.518 kWh/kWp*día; horas, que deducido porcentualmente nos indica un 19.06% de pérdidas por captura. veamos la siguiente tabla.

Tabla 22

Pérdidas porcentuales en la generación de energía eléctrica del módulo fotovoltaico transparente a 22° de inclinación.

Simbología	Productividad kWh/kWp*día; h	Interpretación porcentual (%)
Yr	7.969	100
Ya	6.540	80.93
Lc	1.518	19.06

Desarrollo para una inclinación de 90°

Datos:

- Ángulo de inclinación : 90°
- Productividad de referencia (Yr) : 6.279 horas
- Productividad del generador (Ya) : 2.303 horas

Reemplazando:

$$L_C = Y_R - Y_A = 6.279 - 2.303 = 3.975; \text{ kWh/kWp*día; horas}$$

Como resultado en las pérdidas de captura a 90° de inclinación obtenemos 3.975 kWh/kWp*día; horas, que porcentualmente nos indica un 63.32% de perdidas por captura. veamos la siguiente tabla, donde el parámetro más influyente sería el del ángulo de inclinación del MFV.

Tabla 23

Pérdidas porcentuales en la generación de energía eléctrica del módulo fotovoltaico transparente a 90° de inclinación.

Simbología	Productividad kWh/kWp*día; h	Interpretación porcentual (%)
Yr	6.279	100
Ya	2.303	36.67
Lc	3.975	63.32

- **Eficiencia del array (Na)**

Expresado como la energía continua generada por el módulo FV entre la irradiación total recibida por el generador y el área superficial de la celda fotovoltaica.

$$n_A = \frac{\text{Energía DC generada (KWh)}}{\text{Irradiación en el generador (KWh)} * \text{área del sistema (m}^2\text{)}} \times 100$$

- Eficiencia del array para una inclinación de 22°

Datos:

- Energía DC generada : 0.870 kWh/día
- Irradiación en el generador : 7.969 kWh/m² * día
- Área de la celda FV : 0.81m²

Reemplazando:

$$n_A = \frac{\text{Energía DC generada (KWh)}}{\text{Irradiación en el generador (KWh)} * \text{área del sistema (m}^2\text{)}} \times 100$$

$$n_A = \frac{0.870 \text{ kWh}}{7.969 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 0.81 \text{m}^2} \times 100$$

$$n_A = 13.491 \%$$

El módulo fotovoltaico de tecnología transparente con una inclinación de 22° orientada al norte cuenta con una eficiencia de 13.491%.

- Eficiencia del array para una inclinación de 90°

Datos:

- Energía DC generada : 0.310 kWh/día
- Irradiación en el generador : 6.279 kWh/m² * día
- Área de la celda FV : 0.81m²

Reemplazando:

$$n_A = \frac{0.310 \text{ kWh}}{6.279 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 0.81 \text{m}^2} \times 100$$

$$n_A = 6.114 \%$$

El módulo fotovoltaico de tecnología transparente con una inclinación de 90° orientada al norte cuenta con una eficiencia de 6.114 %.

Anexo 5. Proceso de construcción de la estructura, montaje y conexionado del módulo fotovoltaico transparente.

El desarrollo del proyecto constó en primera instancia al armado de la estructura con soldadura SMAW.



Figura 51. Armado de estructura con soldadura SMAW

La estructura cuenta con agujeros en las dos columnas que soporta al módulo fotovoltaico, esto con el objetivo de realizar la inclinación ya sea a 22° y 90°



Figura 52. Montaje de módulo fotovoltaico a diferente grado de inclinación juntamente con el gabinete de adquisición de datos.

Toda la energía que consume cada dispositivo es suministrada por el generador fotovoltaico, en otras palabras, es un sistema de adquisición de datos autónomo.

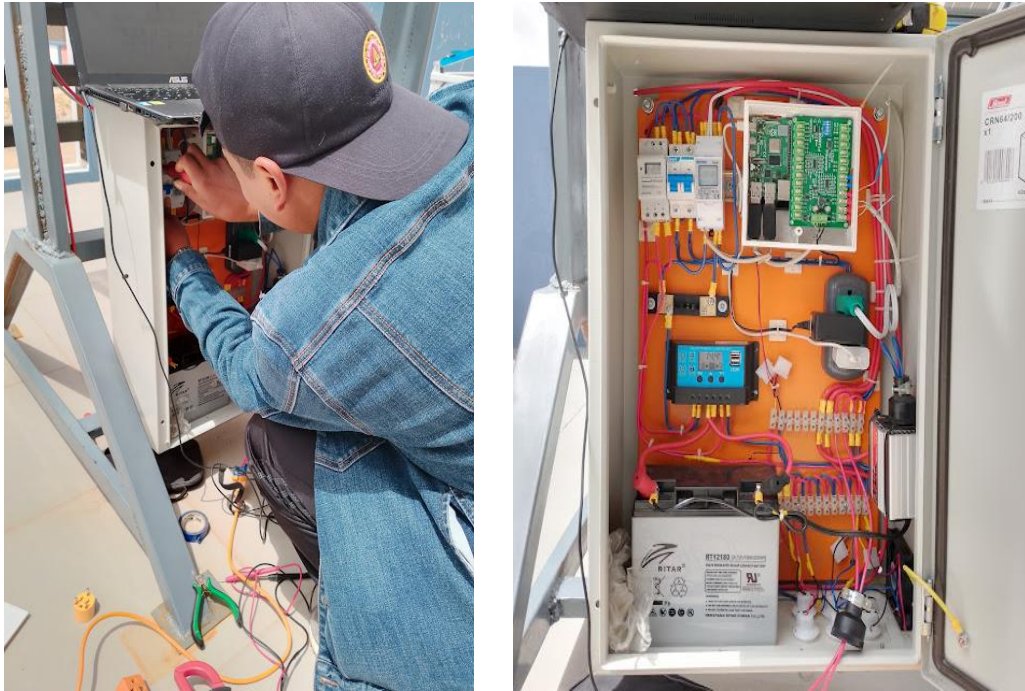


Figura 53. Montaje y conexionado de dispositivos de medición.

Anexo 6. Trazador de curvas

Permite conocer la potencia eficaz entregada por el panel solar bajo diferentes condiciones climáticas.

- Trazador de curvas utilizado : mod. EI – MEDFAS – SISTSO – 400
- Marca : ERCON
- Año de fabricación : 2021



Figura 54. Modelo y marca del trazador de curvas.



Figura 55. Realizando las pruebas con el trazador de curvas, sensor de radiación solar.

Anexo 7. Programación del sistema de adquisición de datos

Procedimiento para la recopilación de datos

- Se realizó el requerimiento de los dispositivos de adquisición de datos como son: el sensor de temperatura, medidor de energía y la placa de medición de temperatura.
- Para realizar la obtención de datos se utilizó el dispositivo denominado raspberry modelo pi4 de 8GB RAM, en donde se descargó y programó el software Python para poder recopilar los parámetros; eléctricos (tensión, corriente, potencia) y ambientales (temperatura de celda y ambiente).

El registro de datos tiene un intervalo de tiempo de 1 minuto, convertido a horas 0.0166 horas (este dato será muy útil para hallar la irradiación y la energía generada por el módulo fotovoltaico transparente).

La comunicación o red industrial del medidor de energía y la placa de temperatura con el raspberry es del tipo RS – 485 o TIA – 485 es un tipo de comunicación serie digital que puede trabajar eficazmente a largas distancias en entornos eléctricamente ruidosos, y una de sus ventajas es que se puede asociar varios receptores a mencionada red en un bus lineal, siendo así muy útil en sistemas de control industrial.

- Posteriormente se realizó el montaje de dispositivos eléctricos secundarios para la autonomía que este proceso conlleva, estos dispositivos son: un inversor, interruptor horario, controlador y batería.

Por último, se instaló una carga de 5 focos incandescentes cada uno de 20W para obtener la corriente máxima en la medición.

En el siguiente diagrama visualizamos el procedimiento comenzando desde la irradiación del sol en el plano del generador, donde allí se instalan los sensores de temperatura ambiente y de la célula FV, además de ello, el medidor de energía registra los parámetros eléctricos como son: tensión, corriente y potencia para luego ser enviados conjuntamente con los datos de temperatura al raspberry, este dispositivo se encarga de leer y registrar las señales de entrada gracias a su puerto de comunicación RS-485 y por último podemos descargar las carpetas de registro por día en su extensión de texto.

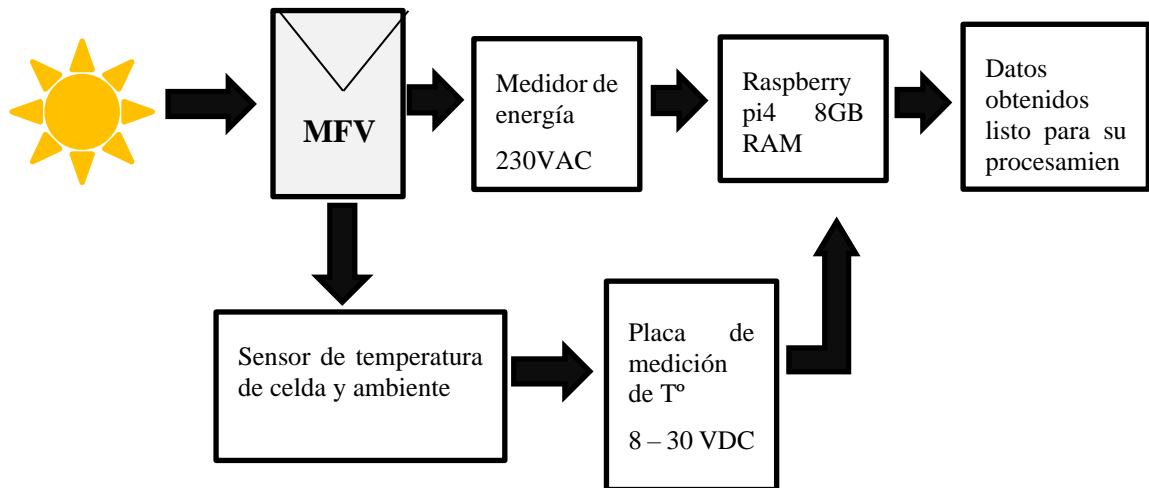


Figura 56. Diagrama de procedimiento para la obtención de datos

```

1 import serial #PARA COMUNICACION SERIAL
2 import datetime # FECHA Y HORA DE LA COMPUTADORA
3 import minimalmodbus # PROTOCOLO DEL MEDIDOR
4 import time # FECHA Y HORA
5 while True:
6     se=time.strftime("%S")
7     if se == "00" or se=="15" or se=="30" or se=="45":
8         instrument=minimalmodbus.Instrument('/dev/ttyUSB1',1)# PUERTO COM Y EL ID DE DISPOSITIVO (PLACAS DE TEMPERATURA)
9         instrument.serial.baudrate=9600
10        instrument.serial.timeout=1
11        instrument2 = minimalmodbus.Instrument('/dev/ttyUSB0',1)# PUERTO COM Y EL ID DE DISPOSITIVO (MEDIDOR EASTRON)
12        instrument2.serial.baudrate=9600
13        instrument2.serial.timeout=1
14
15        now=datetime.datetime.now(); #USANDO LIBRERIA FECHA Y HORA
16        try:
17            # MEDICION DE TEMPERATURA
18            t1=instrument.read_register(0x0,1, signed=True) #VALOR TEMP. 1
19            t2=instrument.read_register(0x1,1, signed=True) #VALOR TEMP. 2
20            #t3=instrument.read_register(0x2,1, signed=True) #VALOR TEMP. 3
21            #t4=instrument.read_register(0x3,1, signed=True) #VALOR TEMP. 4
  
```

Figura 57. Programación del sistema de adquisición de datos en Python.

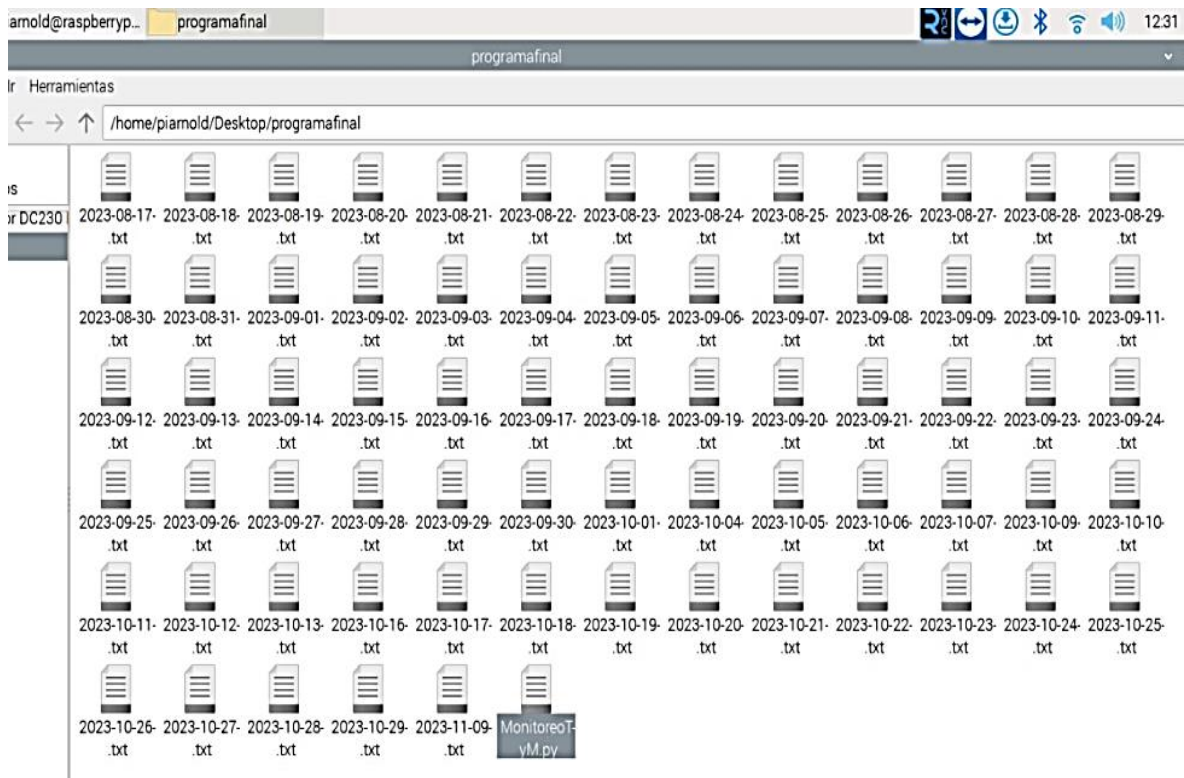


Figura 58. Archivos recolectados con su extensión en texto.

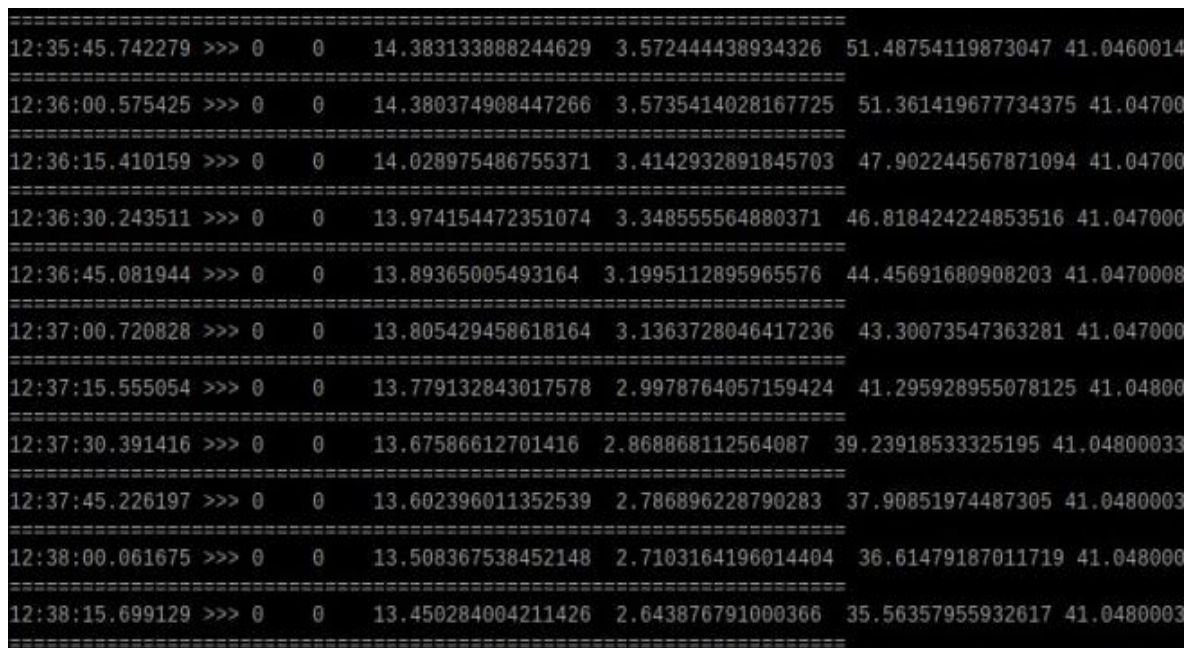


Figura 59. Visualización en tiempo real del proceso de adquisición de datos.

Para realizar la visualización y verificar que el sistema este recolectando de manera eficaz los datos, se instaló en el raspberry el programa TeamViewer, este programa nos ayuda con la verificación del IP del raspberry puesto que cuando no se tiene señal de internet en dicho dispositivo se formatea el IP y ya no logramos comunicarnos, la señal de internet WIFI esta

sincronizada con mi teléfono celular, así que cada vez que deseo realizar este procedimiento tengo que accionar mi HOST POT del celular y el raspberry lo reconocerá.

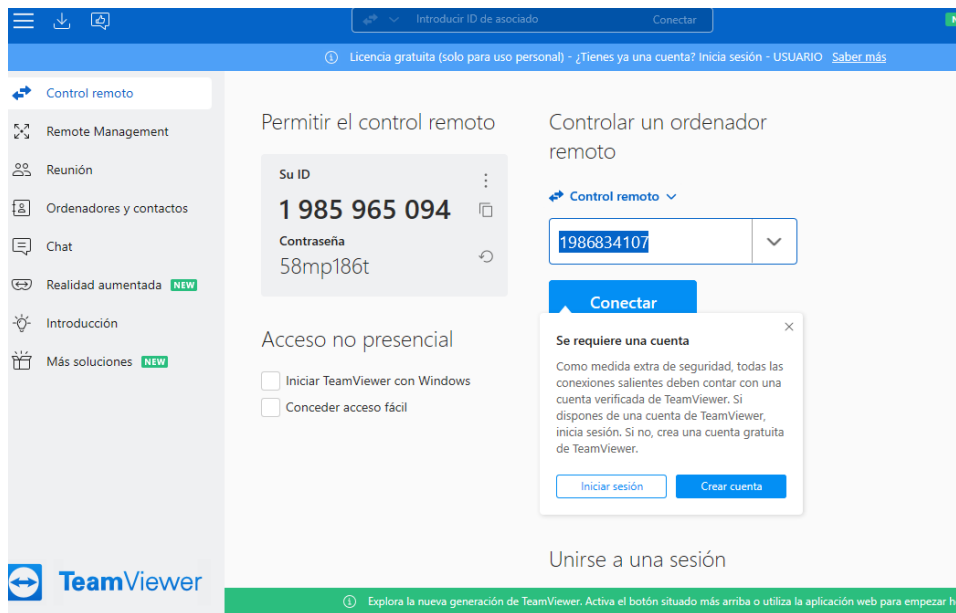


Figura 60. Pantalla de inicio del aplicativo TeamViewer.

En caso de que no se altere el IP del raspberry, para realizar la comunicación utilizaremos el aplicativo RealVNC Viewer, este software nos ayuda a navegar en el sistema operativo del raspberry y verificar y almacenar los datos en nuestro USB para luego procesarlos.

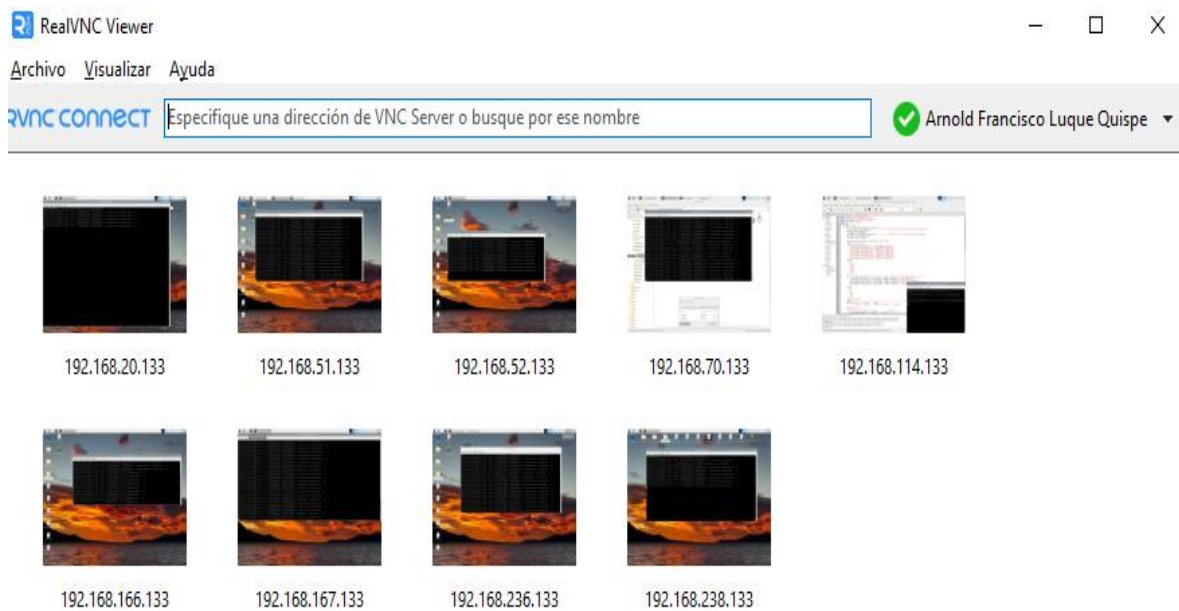


Figura 61. Pantalla de inicio del aplicativo RealVNC Viewer.

Anexo 8. Materiales y dispositivos utilizados

- 01 reloj horario 18 programaciones marca STRONGER
- 01 termomagnético monofásico 32A marca CHINT
- 01 medidor de energía 230VAC mod. DCM230 marca EASTRON
- 01 raspberry pi4 computer model B, 8GB RAM
- 02 convertidores de USB a RS485
- 01 placa de medición de temperatura mod. PTA8D08 marca ELETECHSUP
- 01 barra SHUNT de 10A
- 01 tomacorriente color plomo de 03 vías
- 01 enchufe color verde conectado con cable mellizo N.º 12 blanco
- 01 fuente de alimentación color negro para placa de temperatura
- 01 fuente de alimentación color blanco para raspberry
- 01 regulador de carga SOLAR CHARGE CONTROLLER color azul, 20A
- 02 borneras de PVC de 6 vías – 16A
- 01 inversor de 12Vdc a 230Vac, 150W marca POWER INVERTER mod. DY-8102
- 01 enchufe color negro de 16A con cable azul N.º 12
- 01 batería de gel 12V, 18Ah, 20HR mod. RT12180 marca RITAR
- 01 caja de paso de bakelita de 15 x 15cm
- 02 culer (ventilador) de 12v 0.18A marca LYF
- 02 sensores de temperatura (termocuplas)
- 06 focos de 12V, 21W marca KAVTO
- 06 socket para foco
- 02 MC4, hembra y macho
- 06 metros de cable solar color rojo N2XOH 12AWG
- 01 gabinete hermético 60x40x20 cm
- 01 estructura color gris
- 01 modulo FVC traslucido 135W
- 01 enchufe hembra 16 A

En la siguiente figura se tiene las características del módulo solar transparente que se nos envió por el proveedor de China, donde se puede apreciar la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito que son datos fundamentales para este proyecto juntamente con la eficiencia del módulo fotovoltaico a condiciones estándar.

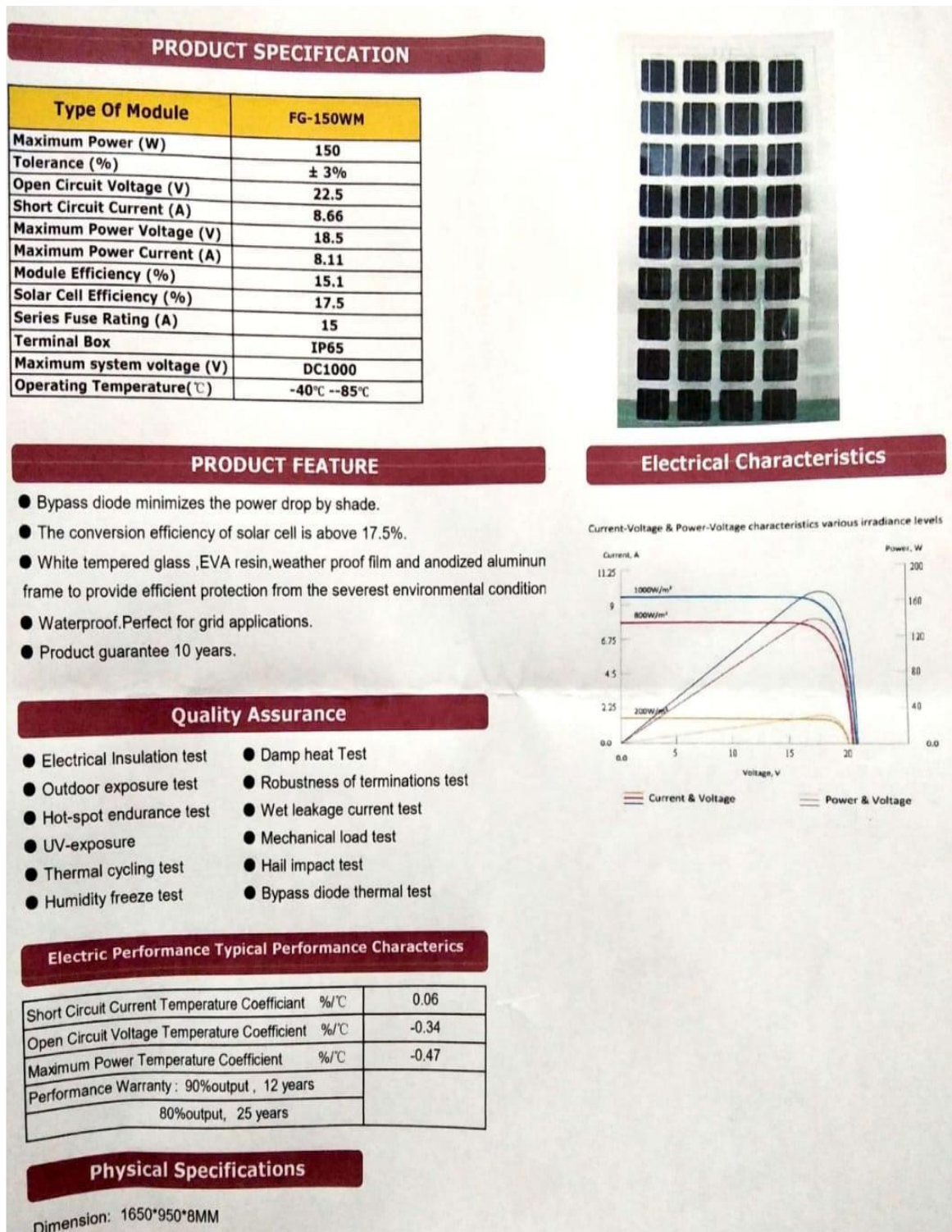


Figura 62. Características del módulo solar fotovoltaico transparente.

Anexo 9. Resumen de datos promedio mensual (ago – set)

Tabla 24

Parámetros eléctricos y ambientales.

Hora	Temperatura celda	Temperatura ambiente	Tensión (V)	Corriente (A)	Potencia (W)
06:59:01	18.2	12.6	13.16166	3.98095465	52.20156723
07:00:00	18.5	12.7	13.16678	3.96462822	52.20306778
07:01:01	18.7	12.6	13.16066	3.98095465	52.39156723
07:02:00	19.6	13.2	13.17505	4.04125929	53.26544189
07:03:01	20.5	13.6	13.18341	4.07475996	53.72140503
07:04:00	20.6	13.6	13.17989	4.07741928	53.73897171
07:05:00	20.8	14	13.18912	4.12335825	54.38413239
07:06:01	21.5	14.2	13.20583	4.20736694	55.56362534
07:07:00	22.3	14.3	13.21369	4.24842262	56.13645935
07:08:00	22.3	14.6	13.21418	4.26831865	56.40047455
07:09:01	21.9	14.6	13.22611	4.30898762	57.02080154
07:10:00	21.8	14.5	13.22325	4.30453968	56.90315247
07:11:01	21.6	14.5	13.22978	4.33125639	57.30176926
07:12:00	21.9	14.6	13.24018	4.40386438	58.30514526
07:13:00	21.5	14.4	13.21616	4.28619576	56.64243317
07:14:01	21.6	14.2	13.24737	4.42368364	58.60025787
07:15:00	22.8	14.6	13.26452	4.56041479	60.49346924
07:16:01	23.5	14.7	13.26255	4.54631376	60.30528259
07:17:00	23.4	14.7	13.27253	4.58450842	60.84757996
07:18:01	23.2	14.8	13.27429	4.56823492	60.63892746
07:19:00	24	15.3	13.30797	4.77402163	63.56050873
07:20:01	22.8	15.4	13.3283	4.89970732	65.30882263
07:21:00	21.8	15.1	13.33546	4.9455061	65.9495163
07:22:00	22.2	15	13.33539	4.86209297	64.79914093
07:23:01	23.2	15.1	13.33719	4.89489698	65.28507996
07:24:00	23.7	15.3	13.34195	4.95209551	66.07076263
07:25:01	24.7	15.3	13.35289	5.00296593	66.80709076
07:26:00	24.9	15.5	13.36261	5.04186058	67.3735733
07:27:00	24.7	15.8	13.3783	5.08310747	68.00424194
07:28:00	25.3	16	13.38674	5.14305353	68.84831238
07:29:00	25.1	16.1	13.40034	5.19055271	69.55523682
07:30:01	25	15.9	13.40481	5.26749802	70.60908508
07:31:00	25.7	16.3	13.42046	5.34594774	71.74671173
07:32:01	26.4	16.1	13.43686	5.42329741	72.95670319
07:33:00	26.1	16.5	13.44557	5.45693922	73.37361908
07:34:01	26	16.1	13.46168	5.53039598	74.44744873
07:35:00	26.7	15.5	13.47263	5.54034472	74.60285187
07:36:00	27.2	15.4	13.46798	5.54804516	74.72010803
07:37:01	27.5	15.9	13.48741	5.6405158	76.0766449
07:38:00	27.6	16.1	13.50203	5.73203087	77.39540863

Continuación

07:39:01	27.2	15.4	13.52145	5.8081007	78.56332397
07:40:00	27.1	15.8	13.52537	5.83156633	78.87391663
07:41:00	27.7	16.1	13.53366	5.86787367	79.41358185
07:42:00	28.5	16.5	13.54593	5.93882513	80.49364471
07:43:00	28.8	16.7	13.5502	5.93052435	80.3620224
07:44:01	28.5	16.4	13.55526	5.91987658	80.24497986
07:45:00	28.6	16.4	13.5849	5.9893465	81.32063293
07:46:01	28.9	17	13.5896	6.03799009	82.05268097
07:47:00	29.2	17.3	13.59827	6.06736231	82.50588226
07:48:00	29.6	17.3	13.61608	6.07650328	82.69039917
07:49:00	30	17.8	13.61587	6.15979862	83.87205505
07:50:00	30.1	18	13.62528	6.16181803	83.95908356
07:51:01	30.5	17.3	13.62225	6.12478065	83.43550873
07:52:00	30.4	17.1	13.63112	6.16099644	83.98170471
07:53:01	30	17.4	13.649	6.23827505	85.14480591
07:54:00	30.2	16.7	13.67716	6.32751608	86.53201294
07:55:00	30.5	16.2	13.6792	6.34861279	86.88368988
07:56:01	31.2	16.8	13.68952	6.4013052	87.64537048
07:57:00	29.7	17.2	13.69955	6.36948109	87.26094055
07:58:01	28.7	16.9	13.7183	6.3824172	87.53922272
07:59:00	29.4	17.4	13.71514	6.39389801	87.69221497
08:00:01	29.7	17.5	13.72819	6.46880865	88.80275726
08:01:00	30.2	17.8	13.75194	6.51771784	89.66223907
08:02:00	31.8	18.5	13.76304	6.56605148	90.37010956
08:03:01	31.2	18.5	13.77695	6.59949827	90.92470551
08:04:00	31.3	18.3	13.79526	6.60003901	91.03126526
08:05:01	31.8	18.4	13.80888	6.6761632	92.1897049
08:06:00	31.8	18.5	13.8204	6.69533491	92.53477478
08:07:00	32.4	18.9	13.84272	6.69897461	92.71422577
08:08:00	32	17.9	13.84064	6.76226187	93.6157074
08:09:00	32.7	18	13.8638	6.7697525	93.85475159
08:10:01	34	18.6	13.88631	6.90554905	95.89152527
08:11:00	34	19.5	13.9068	6.96470737	96.85700226
08:12:01	33.3	18.5	13.9101	6.91840839	96.23683929
08:13:00	32.7	17.6	13.9326	6.9826436	97.28659821
08:14:00	31.3	16.9	13.94669	7.0052104	97.69921112
08:15:00	31.1	16.3	13.96484	7.0556426	98.53195953
08:16:00	32.4	16.9	13.98591	7.07109118	98.93904877
08:17:01	33.3	17.2	14.01183	7.1691699	100.490387
08:18:00	33.9	18.3	14.02698	7.17360783	100.6236115
08:19:01	33.9	18.8	14.04532	7.20673847	101.2215805
08:20:00	32.9	18.7	14.05493	7.18865681	101.0368195
08:21:00	32.8	19	14.0744	7.20403481	101.3942566
08:22:01	34.1	17.9	14.08387	7.21912432	101.6605453
08:24:01	34.3	19	14.10903	7.24099636	102.1632004
08:25:00	33.8	19.2	14.14103	7.3351531	103.7655258
08:26:01	34.9	19.5	14.16326	7.32522249	103.7492218
08:27:00	35.6	18.9	14.17444	7.36242008	104.3525543

Continuación

08:28:00	35.6	19.3	14.22683	7.47336912	106.3311768
08:29:00	36	19.6	14.2198	7.40683603	105.3221893
08:30:00	35.1	18.8	14.22917	7.39541721	105.2304916
08:31:01	34.6	18.6	14.23825	7.38478947	105.1431656
08:32:00	35.2	18.8	14.24912	7.3524251	104.7663498
08:33:01	34.3	18.7	14.28865	7.46677542	106.6887589
08:34:00	33.5	17.6	14.32001	7.51496553	107.6121063
08:35:00	32.6	17.6	14.33555	7.53462029	108.0102081
08:36:01	32.3	17	14.36113	7.57042933	108.7163925
08:37:00	32.1	16.5	14.40022	7.64929581	110.1499939
08:38:01	33.1	16	14.65044	7.66570377	110.8412552
08:39:00	34.4	17.2	15.14649	7.58222246	112.8827515
08:40:01	35.1	18	15.20546	7.54666758	111.5890884
08:41:00	35.8	18.9	15.16844	7.40405989	107.8578262
08:42:00	36.1	19	15.25795	7.32261801	106.8043213
08:43:01	36.7	19.5	15.3846	7.23689461	105.6737442
08:44:00	36	20.2	15.56901	7.19787121	103.6343002
08:45:01	34.9	19.5	15.6678	7.12023401	102.2278595
08:46:00	34.5	19.2	15.76256	7.13897467	101.8303604
08:47:01	33.9	18.7	15.82918	7.0260191	100.6956711
08:48:00	39.6	22.8	16.01565	7.79461622	109.9466629
08:49:00	38	22.5	16.0707	7.89394999	110.5242615
08:50:01	38.3	22.4	16.03279	7.87548923	110.8947296
08:51:00	37.8	22.3	15.97946	7.93344784	111.1991806
08:52:01	38.9	22.5	16.00112	7.87934208	112.0502548
08:53:00	38.7	21.5	16.0126	7.97953606	111.9323425
08:54:01	38.8	20.9	15.89604	7.92011642	112.9481354
08:55:00	38.7	20.7	15.93843	7.85912275	113.3182449
08:56:00	39.2	22.5	15.92431	7.92784882	113.6960144
08:57:01	38.7	22.9	15.87431	7.89468956	113.2293243
08:58:00	37.8	22.5	15.85164	7.98052263	113.8205414
08:59:01	38	22.4	15.80611	7.96945381	114.3966217
09:00:00	38.3	22.5	15.76768	8.03907394	114.5964508
09:01:00	38	22	15.7492	8.0267992	115.1113739
09:02:00	39	21.8	15.68136	8.04626942	116.0592117
09:03:00	40.6	21.6	15.68701	8.13083172	115.6064072
09:04:01	40	21.2	15.68394	8.17637539	117.384079
09:05:00	40.1	22.4	15.71828	8.01049709	115.8870621
09:06:01	38.1	21.7	15.73342	8.08376408	117.5282898
09:07:00	35.9	21.6	15.68649	8.13804722	117.7287598
09:08:00	37.3	21.7	15.58771	8.16869545	117.9783707
09:09:00	39.2	22.3	15.56007	8.22423077	118.341568
09:10:00	39.3	22.3	15.58466	8.14016151	117.9737854
09:11:01	37.6	21.8	15.50588	8.27606201	119.2392654
09:12:00	36.8	21.4	15.55543	8.19744015	119.0292816
09:13:01	36.7	21.7	15.48415	8.18582535	119.6703262
09:13:01	36.7	21.7	15.48415	8.18582535	119.6703262
09:14:00	36.5	21.3	15.43034	8.22543144	120.4775467

Continuación

09:15:00	38.4	21.7	15.31068	8.36786842	121.4155197
09:16:01	40.2	22.5	15.28513	8.40322304	122.279747
09:17:00	39.4	22.3	15.38414	8.34809399	121.430191
09:18:01	39.1	22.6	15.28645	8.42942333	121.695755
09:19:00	38.9	22.1	15.2704	8.4214735	123.3551025
09:20:01	40.1	22.4	15.28916	8.36066151	123.7583847
09:21:00	39.8	22.1	15.15459	8.51049137	124.3916931
09:22:00	40.2	22.5	15.21536	8.38237476	122.9666901
09:23:00	40.1	22.7	15.19693	8.55525112	126.0486603
09:24:00	40.3	22.8	15.19413	8.53203011	125.7987823
09:25:01	40	22.5	15.14595	8.57836056	127.1912079
09:26:00	38.4	22.6	15.0965	8.58495903	127.0931244
09:27:01	39.1	22.5	14.68391	8.6362505	126.0564804
09:28:00	39.1	22.5	14.68391	8.6362505	126.0564804
09:29:00	38.4	22.6	15.0965	8.58495903	127.0931244
09:30:00	40	22.5	15.14595	8.57836056	127.1912079
09:31:00	40.3	22.8	15.19413	8.53203011	125.7987823
09:32:01	40.1	22.7	15.19693	8.55525112	126.0486603
09:33:00	40.2	22.5	15.21536	8.38237476	122.9666901
09:34:01	39.8	22.1	15.15459	8.51049137	124.3916931
09:35:00	40.1	22.4	15.28916	8.36066151	123.7583847
09:36:00	38.9	22.1	15.2704	8.4214735	123.3551025
09:37:01	39.1	22.6	15.28645	8.42942333	121.695755
09:38:00	39.4	22.3	15.38414	8.34809399	121.430191
09:39:01	40.2	22.5	15.28513	8.40322304	122.279747
09:40:00	38.4	21.7	15.31068	8.36786842	121.4155197
09:41:01	36.5	21.3	15.43034	8.22543144	120.4775467
09:42:00	36.7	21.7	15.48415	8.18582535	119.6703262
09:43:00	36.8	21.4	15.55543	8.19744015	119.0292816
09:44:01	37.6	21.8	15.50588	8.27606201	119.2392654
09:45:00	39.3	22.3	15.58466	8.14016151	117.9737854
09:46:01	39.2	22.3	15.56007	8.22423077	118.341568
09:47:00	37.3	21.7	15.58771	8.16869545	117.9783707
09:48:01	35.9	21.6	15.68649	8.13804722	117.7287598
09:49:00	38.1	21.7	15.73342	8.08376408	117.5282898
09:50:00	40.1	22.4	15.71828	8.01049709	115.8870621
09:51:01	40	21.2	15.68394	8.17637539	117.384079
09:52:00	40.6	21.6	15.68701	8.13083172	115.6064072
09:53:01	39	21.8	15.68136	8.04626942	116.0592117
09:54:00	38	22	15.7492	8.0267992	115.1113739
09:55:01	38.3	22.5	15.76768	8.03907394	114.5964508
09:56:00	38	22.4	15.80611	7.96945381	114.3966217
09:57:00	37.8	22.5	15.85164	7.98052263	113.8205414
09:58:01	38.7	22.9	15.87431	7.89468956	113.2293243
09:59:00	39.2	22.5	15.92431	7.92784882	113.6960144
10:00:01	38.7	20.7	15.93843	7.85912275	113.3182449
10:01:00	38.8	20.9	15.89604	7.92011642	112.9481354
10:02:01	38.7	21.5	16.0126	7.97953606	111.9323425

Continuación

10:03:00	38.9	22.5	16.00112	7.87934208	112.0502548
10:04:00	37.8	22.3	15.97946	7.93344784	111.1991806
10:05:01	38.3	22.4	16.03279	7.87548923	110.8947296
10:06:00	38	22.5	16.0707	7.89394999	110.5242615
10:07:01	39.6	22.8	16.01565	7.79461622	109.9466629
10:08:00	39.9	23.5	16.08569	7.8840251	126.819965
10:09:01	38.9	23.4	16.09193	7.82591486	125.9340622
10:10:00	39.5	23.7	16.15496	7.8662529	127.0790209
10:11:00	38.4	23.7	16.15721	7.85569	126.9260133
10:12:00	38.2	23.3	16.24372	7.74528217	125.8121584
10:13:00	37.8	23	16.25225	7.76252222	126.1584274
10:14:01	39.5	23.1	16.24244	7.82185793	127.0460226
10:15:00	40.8	23.6	16.21237	7.71039009	125.0036964
10:16:01	11.3	10.5	10.6111	1.86368287	19.7757274
10:17:00	11.6	10.6	10.625	1.92048883	20.40518654
10:18:00	11.7	10.2	10.65235	1.97647905	21.05415503
10:19:01	11.6	10.2	10.67884	2.03291559	21.70918745
10:20:00	40.6	24.6	16.22525	7.67148256	124.4717536
10:21:01	38.3	23.8	16.25834	7.54823256	122.7216944
10:22:00	39.8	24	16.20515	7.64748621	123.9286804
10:23:01	39.3	24.2	10.25327	2.6539793	27.21195916
10:24:00	39.7	24.1	10.24489	2.64363241	27.08371878
10:25:00	41	24.4	10.25527	2.69362164	27.62381716
10:26:01	41.7	25.3	10.30476	2.54744196	26.25076823
10:27:00	42.3	25.3	16.30617	7.54149103	122.9728311
10:28:01	42.5	25.3	16.28359	7.61292124	123.9656615
10:29:00	42	25.3	16.30939	7.6213479	124.2995722
10:30:00	43	26	16.31553	7.60735321	124.1180199
10:31:00	43.1	25.1	16.16801	7.58523035	122.6380566
10:32:00	43.9	25.9	16.30812	7.42826891	121.1411345
10:33:01	43.5	26.2	16.31532	7.5327425	122.899126
10:34:00	40.5	25.4	16.3556	7.51425552	122.9001603
10:35:01	40.6	25.4	16.38863	7.53421783	123.4755221
10:36:00	41.1	25.2	16.42775	7.5568552	124.1420964
10:37:00	41.9	25.5	16.47556	7.54399538	124.2915715
10:38:00	40	24.8	16.51444	7.48194599	123.5601522
10:39:00	43.9	25.9	16.30812	7.42826891	121.1411345
10:40:01	43.1	25.1	16.16801	7.58523035	122.6380566
10:41:00	40.6	21.6	15.68701	8.13083172	127.5484447
10:42:01	39.6	24.4	15.66158	8.11411228	127.0797791
10:43:00	39.1	22.6	15.28645	8.42942333	128.8559616
10:44:01	35.7	21.8	15.50588	8.27606201	128.3276589
10:45:00	38.2	23.2	15.62392	8.61639633	134.6219138
10:46:00	38.3	23.6	16.24934	8.00284672	130.0409777
10:47:01	37.9	22.8	16.47149	7.84225035	129.1735699
10:48:00	39	23.4	16.61141	7.5306263	125.0943508
10:49:01	39.2	23.2	16.59883	7.64318705	126.8680006
10:50:00	39.4	22.7	16.60769	7.44115067	123.5803011

Continuación

10:51:00	38.6	22.4	16.67732	7.42032099	123.7510712
10:52:01	36.5	22	16.73688	7.41740274	124.144189
10:53:00	38.8	22.8	16.39005	7.36576223	120.7252178
10:54:01	39.2	23.1	16.71452	7.34235668	122.7239779
10:55:00	39.9	23.9	16.74558	7.45666265	124.8661176
10:56:01	38.9	24	16.71285	7.56589079	126.4476311
10:57:00	38.8	23.2	16.73996	7.43296194	124.4274551
10:58:00	25.1	16.1	13.40034	5.19055271	122.90018
10:59:01	37.9	23.3	16.69529	7.39287567	123.4262004
11:00:00	38.1	22.9	16.60766	7.29351091	121.1281794
11:01:01	37.3	22.7	16.65304	7.3320241	122.1005041
11:02:00	38.4	22.8	16.62055	7.28146219	121.0219354
11:03:00	39.2	22.8	16.6365	7.15962315	119.1110389
11:04:01	40.2	23.5	16.55692	7.34745169	121.6511912
11:05:00	42.1	23.7	16.53472	7.31492901	120.9502851
11:06:01	42.2	23.7	16.62439	7.18193197	119.3952492
11:07:00	43.3	23.8	16.591	7.10263252	117.8397463
11:08:01	38.4	23.6	16.71668	7.38500166	123.4526993
11:09:00	36.7	23.3	16.6816	7.158535	119.4158079
11:10:00	37.7	23	16.68537	7.31287479	122.018018
11:11:01	39.5	23.1	16.64456	7.34005022	122.1719053
11:12:00	40.1	23.4	16.69874	7.25445747	121.1402992
11:13:01	40.6	23.6	16.65241	7.22727823	120.3516315
11:14:00	40.3	24.2	16.69582	7.29863834	121.856751
11:15:00	39.7	23.9	16.73572	7.19962406	120.4908764
11:16:00	38.5	24.3	16.73653	7.23697853	121.1219381
11:17:00	40.1	24	16.7267	7.31669331	122.3841327
11:18:01	40.4	24.4	16.74527	7.25217581	121.4396265
11:19:00	40.5	24.5	16.70582	7.29006529	121.7865469
11:20:01	42.1	24.4	16.68848	7.21583509	120.4213499
11:21:00	43.2	24.1	16.69346	7.1452384	119.2787547
11:22:00	42.3	24.4	16.6717	7.04330921	117.423908
11:23:00	43.7	24.9	16.6717	7.04330921	117.423908
11:24:00	43	24	16.53018	7.49553823	123.902596
11:25:01	43.6	24.6	16.73787	7.21225071	120.7177232
11:26:00	44.6	24.9	16.6298	7.0543437	117.3123574
11:27:01	42.2	24.1	16.63758	7.00395966	116.5289719
11:28:00	42.6	24.7	16.57296	7.23745823	119.9460912
11:29:00	42.3	25	16.63687	7.16222715	119.1570517
11:30:01	41.6	24.6	16.64256	7.15346098	119.0519104
11:31:00	43.4	25.4	16.55275	7.09759378	117.4846929
11:32:01	42.5	25.2	16.62448	7.0557375	117.2979888
11:32:01	42.5	25.2	16.62448	7.0557375	117.2979888
11:33:00	43.1	25.2	16.62855	7.17203665	119.260567
11:34:01	43	25.6	16.64186	7.17696095	119.4379725
11:35:00	38.7	24.9	16.65599	7.18199253	119.6232001
11:36:00	40.5	25.1	16.70453	7.14874792	119.4164792
11:37:01	41.2	24.6	16.69151	6.94444132	115.9132065

Continuación

11:38:00	42.3	25	16.59808	7.17588854	119.1059697
11:39:01	43.3	25.6	16.60985	7.01098394	116.4514179
11:40:00	43.2	26.1	16.5869	7.15381575	118.6596588
11:41:01	43	26	16.62192	6.99302006	116.237404
11:42:00	42.8	25.3	16.62273	7.07758713	117.6487947
11:43:00	43.4	25.3	16.62459	7.12266445	118.4113621
11:44:01	44.8	26.1	16.58371	7.08987856	117.5765015
11:45:00	44.4	26.4	16.60793	7.07825804	117.5552086
11:46:01	44.1	25.8	16.62916	6.93666649	115.3509232
11:47:00	45.1	25	16.58065	6.90633678	114.5115816
11:48:00	46.5	25.8	16.47563	6.94459915	114.4166183
11:49:01	46	27	16.55544	6.99543476	115.8125068
11:50:00	45.5	27.2	16.60793	7.07825804	117.5552086
11:51:01	39.5	26.2	16.33744	7.67840338	125.445429
11:52:00	37.8	25.2	15.44681	7.55570173	116.7114729
11:53:01	36.6	25.2	16.62459	7.12266445	118.4113621
11:54:00	35.7	24.1	16.91409	7.01238871	118.6081414
11:55:00	37	24.7	16.59597	7.36019373	122.1495274
11:56:01	37.4	23.1	16.37102	7.76912165	127.1884261
11:57:00	38.2	23.9	16.75953	7.40571785	124.1163157
11:58:01	39.3	23.8	16.84461	7.36029768	123.9813314
11:59:00	40	23.4	16.91409	7.01238871	118.6081414
12:00:00	41	24.7	16.8336	6.98883677	117.6472895
12:01:00	41.1	26	16.73259	6.99290276	117.0093461
12:02:00	41.9	26.3	16.71716	7.06521893	118.1103901
12:03:01	43.4	27.1	16.75075	7.02898788	117.7408293
12:04:00	43.9	27.6	16.71517	6.86451387	114.7415419
12:05:01	43.6	28	16.64027	7.1341815	118.7146808
12:06:00	44.3	28.2	16.62093	7.09830475	117.9804514
12:07:00	41.5	27.1	16.63274	7.01745558	116.719541
12:08:01	42.7	26.5	16.59889	7.043118	116.9079431
12:09:00	42.8	26.8	16.60861	6.8036108	112.9985194
12:10:01	41.5	27.4	16.59582	6.92210674	114.8780207
12:11:00	42.1	26.7	16.61064	7.00930977	116.4291316
12:12:00	43.2	27.6	16.56119	6.85112381	113.4627738
12:13:00	41.7	27.4	16.55556	7.00644207	115.9955662
12:14:00	40.1	27	16.58601	7.01623106	116.371265
12:15:01	39.9	24.3	16.66719	6.81075144	113.516105
12:16:00	42.5	24.4	16.63343	6.98045254	116.108872
12:17:01	42.9	26.2	16.60261	7.01031113	116.3894724
12:18:00	40.8	26.5	16.61069	6.87183809	114.1459534
12:19:00	40.5	26.7	16.66318	6.7627883	112.6895417
12:20:00	41.6	27.1	16.63478	6.82542086	113.5393674
12:21:00	42	26.3	16.5709	6.78728294	112.4713608
12:22:01	41.5	25	16.55313	6.79586315	112.4928007
12:23:00	38.2	22.9	16.58962	6.74106741	111.8317636
12:24:01	37.4	21.9	16.60768	6.93944836	115.2481598
12:25:00	37.3	22.1	16.62352	6.93968534	115.3619709

Continuación

12:26:00	39.8	22.7	16.60309	6.92960501	115.0528708
12:27:01	40.2	22.7	16.53748	6.9424119	114.8099938
12:28:00	40.2	22.8	16.52418	6.9520874	114.8775531
12:29:01	38	22.8	16.56343	6.91326618	114.5074191
12:30:00	37.3	21.8	16.53312	6.84742498	113.2092935
12:31:01	36.3	21.5	16.62029	6.7691474	112.5052108
12:32:00	38	23.2	16.65686	6.78839922	113.0733919
12:33:00	38.3	23.4	16.64226	6.86015177	114.1684004
12:34:01	38.4	24.1	16.61568	6.75357294	112.2151987
12:35:00	40	24.8	16.5962	6.67998266	110.8623346
12:36:01	39.1	23.8	16.61612	6.72931719	111.8151249
12:37:00	39.8	23.8	16.56287	6.70571995	111.0659551
12:38:00	39.4	23.7	16.54021	6.89251661	114.0037035
12:39:01	39.4	24.1	16.58892	6.81088209	112.9851692
12:40:00	40	24.2	16.48604	6.94185257	114.4436864
12:41:01	41.9	24.3	16.51653	6.85635519	113.2432161
12:42:00	44.3	25.2	16.48109	6.76576042	111.5070843
12:43:01	44.8	25.2	16.37249	6.80087614	111.3472761
12:44:00	44.7	25.8	16.37334	6.78601503	111.1097096
12:45:00	43.9	26.4	16.37467	6.74267101	110.4090129
12:46:01	42.9	26.4	16.38788	6.65281057	109.0254381
12:47:00	41.6	26.6	16.43215	6.77259827	111.2883369
12:48:01	40.2	26	16.44511	6.77763653	111.4589675
12:49:00	40.2	25.5	16.52263	6.69377708	110.5988195
12:50:01	39	25.2	16.57402	6.84798527	113.4986736
12:51:00	41.1	25.4	16.51774	6.79016066	112.15811
12:52:00	40.8	26	16.56819	6.87624693	113.9269499
12:53:01	41.1	26	16.5649	6.76523113	112.0653476
12:54:00	42.8	26.8	16.15244	6.68477488	107.9754447
12:55:01	43.4	27.1	16.32985	6.63678837	108.3777788
12:56:00	43.4	27.1	16.21935	7.08320379	114.8849807
12:57:01	42.2	26.7	16.40619	6.73481464	110.4926288
12:58:00	42.1	26.4	16.38128	6.76742506	110.8590651
12:59:00	43.3	26.5	16.33672	6.81610584	111.3528353
13:00:01	43.2	25.2	16.38932	6.54763746	107.3113406
13:01:00	43.3	25.6	16.331	6.72220898	109.780365
13:02:01	41.9	24.9	16.37059	6.70130682	109.7043478
13:03:00	41.2	24.5	16.35404	6.72488928	109.9790964
13:04:01	40.7	24.4	16.33156	6.72985506	109.9090326
13:05:00	40.2	24.4	16.32985	6.63678837	108.3777788
13:06:00	40.5	24.4	13.34724	3.20971274	43.03187561
13:07:01	41	24.5	16.25678	6.62631655	107.7225745
13:08:00	39.9	24.3	15.8011	6.4885335	102.5259714
13:09:01	38.8	24.3	16.42415	6.7981472	111.6537666
13:10:00	40.1	24.4	16.42564	6.8193593	112.0123287
13:11:00	41.1	24.6	16.45914	6.70945787	110.4319117
13:12:00	41.3	24.9	16.44491	6.64431763	109.2652057
13:13:00	41.2	24.8	16.38378	6.6409874	108.8044987

Continuación

13:14:01	42.1	24.3	16.32839	6.59343052	107.6600806
13:15:00	42.1	24.6	16.29662	6.62651348	107.989743
13:16:01	42	23.7	16.24691	6.68396473	108.5937613
13:17:00	42.8	24.8	16.25221	6.4965744	105.5836831
13:18:00	42.2	25	16.24401	6.67648077	108.4527884
13:19:01	41.1	25	16.31746	6.51431513	106.2970583
13:20:00	41	24.8	16.29693	6.72924948	109.6661226
13:21:01	40.8	24.4	16.236	6.63245726	107.6845764
13:22:00	41.2	24.4	16.20765	6.56069756	106.3334597
13:23:01	40.3	24.7	16.20765	6.56069756	106.3334597
13:24:00	37.1	23.8	16.29693	6.72924948	109.6661226
13:25:00	34.5	22.8	16.29693	6.72924948	109.6661226
13:26:01	32.4	21.7	16.24401	6.67648077	108.4527884
13:27:00	31.2	21.2	16.24401	6.67648077	108.4527884
13:28:01	29.5	20.7	16.24691	6.68396473	108.5937613
13:29:00	29.3	20.2	13.52447	6.90682125	93.41110566
13:30:00	28.5	20.3	13.316	7.66628408	102.0842607
13:31:01	28.5	19.9	16.24691	6.68396473	108.5937613
13:32:00	28.6	20.6	13.50891	6.73289394	90.95405311
13:33:01	28.6	20.8	13.72645	6.65582561	91.36085094
13:34:00	28.9	20.7	14.06241	7.02360916	98.7688608
13:35:01	29.5	21.1	14.30344	7.05671787	100.935375
13:36:00	29.4	21.2	14.21241	6.73463869	95.71543967
13:37:00	28.9	20.2	14.29404	6.91004324	98.77243917
13:38:01	27	19.6	16.62459	7.12266445	94.20410919
13:39:00	27	20.2	16.58371	7.08987856	93.88201141
13:40:01	26.2	19.6	16.60793	7.07825804	94.44674683
13:41:00	26.4	20	16.62916	6.93666649	93.96621704
13:42:01	27.4	20.5	16.58065	6.90633678	94.48291779
13:43:00	27.7	20.6	16.47563	6.94459915	94.07504272
13:44:00	27.9	20.7	16.55544	6.99543476	94.19380188
13:45:01	27.5	21.2	16.60793	7.07825804	94.44674683
13:46:00	25.9	20.4	13.33744	7.67840338	102.2260361
13:47:01	25.3	20.2	15.44681	7.55570173	99.08957672
13:48:00	25.2	19.9	16.62459	7.12266445	94.20410919
13:49:01	24.6	19.6	16.91409	7.01238871	94.34204102
13:50:00	25.2	20.1	13.59597	7.36019373	100.0697632
13:51:00	25.9	20.5	13.37102	7.46912165	99.86975592
13:52:01	26.7	20.1	16.75953	7.40571785	98.97949982
13:53:00	27.4	20.7	13.52811	7.27594137	98.42456818
13:54:01	28.5	21.2	13.60215	6.93277836	94.29960632
13:55:00	28.4	21.5	16.75953	7.40571785	98.97949982
13:56:00	27.1	21	16.91409	7.01238871	94.34204102
13:57:01	27.5	21	13.78512	7.38863802	94.40302277
13:58:00	26.7	20.7	13.60215	6.93277836	94.29960632
13:59:01	26.5	20.3	14.17389	5.76586962	81.7117691
14:00:00	26	20.2	13.60215	6.93277836	94.29960632
14:01:00	25	19.7	16.62459	7.12266445	94.20410919

Continuación

14:02:00	24.4	19.8	16.62459	7.12266445	94.20410919
14:03:00	23.7	19	16.62459	7.12266445	94.20410919
14:04:01	23.6	19.3	16.47563	6.94459915	94.07504272
14:05:00	23.4	19	16.47563	6.94459915	94.07504272
14:06:01	22.9	18.7	16.60793	7.07825804	94.44674683
14:07:00	22.6	18.7	16.60793	7.07825804	94.44674683
14:08:00	22.3	18.4	16.62459	7.12266445	94.20410919
14:09:01	22	18.6	16.62459	7.12266445	94.20410919
14:10:00	21.7	18.6	13.5502	5.93052435	80.3620224
14:11:01	21.6	18.5	13.54593	5.93882513	80.49364471
14:12:00	21.6	18.6	13.53366	5.86787367	79.41358185
14:13:01	21.4	18.1	13.52537	5.83156633	78.87391663
14:14:00	21.4	17.9	13.52145	5.8081007	78.56332397
14:15:00	21.1	18.4	13.50203	5.73203087	77.39540863
14:16:01	21.1	18.3	13.48741	5.6405158	76.0766449
14:17:00	20.9	18.2	13.46798	5.54804516	74.72010803
14:18:01	21	18.2	13.47263	5.54034472	74.60285187
14:19:00	21.1	18.5	13.46168	5.53039598	74.44744873
14:20:00	21.3	18.7	13.44557	5.45693922	73.37361908
14:21:01	21.5	18.8	13.43686	5.42329741	72.95670319
14:22:00	21.3	19	13.42046	5.34594774	71.74671173
14:23:01	21.4	19	13.40481	5.26749802	70.60908508
14:24:00	21.3	18.5	13.40034	5.19055271	69.55523682
14:25:01	21.9	18.6	13.38674	5.14305353	68.84831238
14:26:00	21.9	18.6	13.3783	5.08310747	68.00424194
14:27:00	21.7	19.1	13.36261	5.04186058	67.3735733
14:28:01	21.3	18.6	13.35289	5.00296593	66.80709076
14:29:00	21.2	18.6	13.34195	4.95209551	66.07076263
14:30:01	21.1	18.6	13.33719	4.89489698	65.28507996
14:31:00	21	18.5	13.33539	4.86209297	64.79914093
14:32:01	21.1	18.7	13.33546	4.9455061	65.9495163
14:33:00	21	17.9	13.3283	4.89970732	65.30882263
14:34:00	20.4	18	13.30797	4.77402163	63.56050873
14:35:01	20.1	17.7	13.27429	4.56823492	60.63892746
14:36:00	19.8	17.6	13.27253	4.58450842	60.84757996
14:37:01	19.4	17.6	13.26255	4.54631376	60.30528259
14:38:00	19.5	17.7	13.26452	4.56041479	60.49346924
14:39:00	19.2	17.6	13.24737	4.42368364	58.60025787
14:40:01	19.2	17.8	13.21616	4.28619576	56.64243317
14:41:00	19.2	17.7	13.24018	4.40386438	58.30514526
14:42:01	18.9	17.5	13.22978	4.33125639	57.30176926
14:43:00	18.8	17.5	13.22325	4.30453968	56.90315247
14:44:01	18.7	18.1	13.22611	4.30898762	57.02080154
14:45:00	18.6	17.6	13.21418	4.26831865	56.40047455
14:46:00	18.1	17	13.21369	4.24842262	56.13645935
14:47:01	17.7	17.1	13.20583	4.20736694	55.56362534
14:48:00	17.6	17	13.18912	4.12335825	54.38413239
14:49:01	17.4	16.9	13.17989	4.07741928	53.73897171

Continuación

14:50:00	17.2	17	13.18341	4.07475996	53.72140503
14:51:00	17.1	16.7	13.17505	4.04125929	53.26544189
14:52:00	17	16.9	13.16066	3.98095465	52.39156723
14:53:00	17.2	16.9	13.16678	3.96462822	52.20306778
14:54:01	17.5	17.1	13.15884	3.92709851	51.67499542
14:55:00	17.3	17.1	13.14038	3.82115078	50.22495651
14:56:01	17.5	17.2	13.1458	3.83023715	50.35215759
14:57:00	17.6	16.3	13.12785	3.78172374	49.64217377
14:58:00	18	17.2	13.1103	3.69104338	48.4172554
14:59:01	18	16.9	13.11607	3.68261909	48.30259323
15:00:00	18.3	17.1	13.10017	3.62409067	47.47594833
15:01:01	18.3	16.7	13.09653	3.58269906	46.92101669
15:02:00	18.4	16.5	13.09936	3.53229785	46.27542877
15:03:01	18.2	16.8	13.0782	3.48440385	45.56993866
15:04:00	18.7	16.9	13.05306	3.31880403	43.31985092
15:05:00	18.9	16.8	13.03868	3.26158834	42.52672577
15:06:01	18.5	16.9	13.06272	3.29807019	43.09070206
15:07:00	18.4	17	13.04919	3.25656295	42.49692917
15:08:01	19	16.7	13.03977	3.20623422	41.8080864
15:09:00	19.1	16.8	13.03802	3.16234493	41.23157501
15:10:01	19.7	17.5	13.03003	3.1397531	40.91120148
15:11:00	20.1	17.8	13.0227	3.08344507	40.15380478
15:12:00	20.8	18.2	17.12784	2.47798753	32.78373337
15:13:01	20.7	17.9	15.53769	2.22557783	31.74878883
15:14:00	20	17.3	15.91551	2.2585187	31.72045708
15:15:01	20	16.8	16.48213	2.26992702	31.11094284
15:16:00	20.2	16.9	16.71617	2.27142	30.4389267
15:17:00	20.1	16.8	16.88448	2.28945827	30.23083687
15:18:00	20.2	17	16.89715	2.25160003	29.73520851
15:19:00	20.5	17.2	17.36522	2.22181749	29.05864906
15:20:01	20.7	17.3	17.65683	2.31126404	28.85497665
15:21:00	20.8	17.5	17.56124	2.25991321	28.72188568
15:22:01	21.2	17.7	17.96582	2.22679925	28.35471725
15:23:00	21.7	18.1	18.03889	2.23543334	28.0541954
15:24:00	21.6	17.7	18.02899	2.21699095	27.54697037
15:25:00	22.2	18.4	17.94571	2.23065615	27.31643486
15:26:00	22.8	19	17.99567	2.12923527	26.8231411
15:27:01	23	19.5	17.87197	2.18727875	26.53317451
15:28:00	22.8	19.2	17.78999	2.13578892	26.10800362
15:29:01	23.2	19.5	17.80744	2.10683608	25.83858109
15:30:00	23.2	19.7	17.69872	2.11626029	25.73987961
15:31:00	23.4	19.8	17.68634	1.97823524	25.49575996
15:32:01	23.5	19.6	17.59077	2.00614834	25.46055412
15:33:00	23.3	19.3	17.53814	1.93977809	25.10679054
15:34:01	23.8	20	17.52442	1.90452516	24.68291283
15:35:00	23.7	19.8	17.54006	1.91958344	24.38481903
15:36:01	23.7	19.7	17.37353	1.92469454	24.51833725
15:37:00	23.2	19.4	17.30622	1.92037284	24.49731827

Continuación

15:38:00	23.2	19.1	17.22659	1.91473818	24.20692062
15:39:00	23.4	19.3	17.14908	1.90555489	24.02530479
15:40:00	23.4	19.6	17.09956	1.87982261	23.95713615
15:41:01	23.4	19.7	17.0925	1.8326931	23.61673927
15:42:00	23.1	19.2	17.05074	1.79325294	23.72811127
15:43:01	23.1	19.3	17.06394	1.72916353	23.09961128
15:44:00	23.1	19.6	16.90021	1.7293874	22.91790581
15:45:00	22.8	19.4	16.79769	1.73976696	23.48088264
15:46:00	22.6	19.1	16.69349	1.73346329	23.41552734
15:47:00	22.3	19	16.48171	1.74773037	23.24087334
15:48:01	22.6	19.3	16.48279	1.67771208	23.0015564
15:49:00	22.5	19.5	16.22223	1.68152964	22.96522331
15:50:01	22.2	19.4	15.96394	1.62329543	22.70293999
15:51:00	22	19.1	15.81537	1.60730636	22.68135834
15:52:00	21.7	19	15.45976	1.56756866	22.44506836
15:53:01	21.4	18.7	15.18193	1.54847395	22.4840374
15:54:00	21.4	18.7	14.26711	1.52113259	21.70341682
15:55:01	20.9	18.6	13.69946	1.41802609	19.42703056
15:56:00	20.7	18.3	13.46604	1.19322586	16.07435036
15:57:01	20.4	17.9	13.36574	0.91162175	12.1867218
15:58:00	20.3	18	13.27727	0.97486383	12.94113255
15:59:00	19.7	17.6	13.24936	1.0621103	14.07197285
16:00:01	19.9	17.3	13.20387	0.98759449	13.04022408

UW

UNW