



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



IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA CARACTERIZAR
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A SOL REAL BAJO CONDICIONES
DE ALTITUDES SUPERIORES A 3800 MSNM.

ANTONY ELVIS CONDORI GUTIÉRREZ
EDWIN CALATAYUD CALSIN

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

ASESOR: Dr. HENRY PIZARRO VIVEROS



JULIACA - PERÚ, 2023



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



IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA CARACTERIZAR
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A SOL REAL BAJO CONDICIONES
DE ALTITUDES SUPERIORES A 3800 MSNM.

ANTONY ELVIS CONDORI GUTIÉRREZ
EDWIN CALATAYUD CALSIN

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

ASESOR: Dr. HENRY PIZARRO VIVEROS



JULIACA - PERÚ, 2023

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



**IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA
CARACTERIZAR MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A SOL REAL BAJO
CONDICIONES DE ALTITUDES SUPERIORES A 3800 MSNM.**

Antony Elvis Condori Gutiérrez
Edwin Calatayud Calsin

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

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros

JULIACA - PERÚ - 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Condori, A. E. & Calatayud, E. (2023). *Implementación de un banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Antony Elvis Condori Gutierrez, Edwin Calatayud Calsin.

TÍTULO: Implementación de un banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm.

PUBLICACIÓN : Juliaca 2023

DESCRIPCIÓN : Cantidad de páginas (108pp.)

CÓDIGO : 02-000017-02/C74

ASESOR : Dr. Henry Pizarro Viveros

PALABRA CLAVE: Caracterización de módulos fotovoltaicos, ensayos a sol real, módulos fotovoltaicos, norma IEC, trazador de curva IV.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES
IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA CARACTERIZAR
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A SOL REAL BAJO CONDICIONES DE
ALTITUDES SUPERIORES A 3800 MSNM
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentado por:

Antony Elvis Condori Gutiérrez

Edwin Calatayud Calsin

Sustentada y aprobada por los jurados revisores:

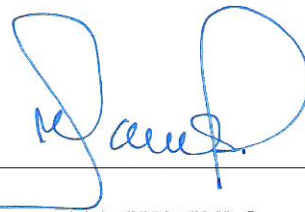
Dra. Vilma Sarmiento Mamani

PRESIDENTE DE JURADO



Dr. Washington Miguel Soncco Vilcapaza

JURADO (secretario)



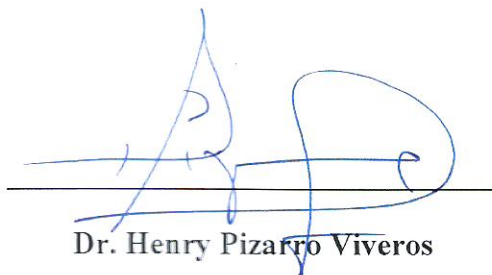
2° MIEMBRO

Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito

JURADO (vocal)



3° MIEMBRO



Dr. Henry Pizarro Viveros

ASESOR DE TESIS

NOMBRE DEL TRABAJO

IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYOS PARA CARACTERIZAR MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A SOL REAL BAJO CONDICIONES DE ALTITUDES SUPERIORES A 3800 MSNM

AUTOR

Antony Elvis Condori Gutiérrez, Calatayud Calsin Edwin

RECUENTO DE PALABRAS

28395 Words

RECUENTO DE CARACTERES

130145 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

107 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.3MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 15, 2023 3:54 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 15, 2023 3:58 PM GMT-5

● **7% de similitud general**

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

- 6% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)

DEDICATORIA

A mis padres, Teófilo y Francisca por su infinito amor, cariño y esfuerzo que me brindaron para el logro de este sueño de ser profesional; A mis abuelos Salvador y Juana, por su infinita sabiduría compartida y cariño; A mis hermanos (as) que sin ellos nada sería lo mismo y a Maick por brindarme su apoyo incondicional en cada paso que doy. Con mucho cariño y gratitud les dedico esta tesis.

Antony Elvis Condori Gutiérrez

Dedico este trabajo a mi familia, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificio que han sido el motor que impulsó este logro. A mis amigos, por su paciencia y aliento inquebrantable durante los momentos difíciles. A mi asesor de tesis por su invaluable sabiduría y orientación constante. También, mi reconocimiento va a cada uno de los profesores que me inspiraron a seguir mi pasión por la investigación. Finalmente, felicito mi propia dedicación y perseverancia, ya que han sido fundamentales para llegar hasta este punto.

Edwin Calatayud Calsin

Agradecemos profundamente a nuestros mentores, asesor, amigos y compañeros, quienes generosamente nos brindaron su apoyo emocional, compartiendo tanto nuestras alegrías como nuestros desafíos a lo largo de este viaje académico. Esta tesis está dedicada a todos aquellos que, de una forma u otra han contribuido a nuestro crecimiento personal y profesional. Gracias por ser una parte fundamental de nuestro camino hacia la realización de este proyecto.

Condori, A. E. & Calatayud, E.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme y darme fuerzas para superar las dificultades presentadas a lo largo de toda mi vida; A mis tíos Juan de Dios, Mariño y Percy por brindarme siempre su apoyo incondicional en este proceso académico y a mis docentes por compartir sus conocimientos en esta etapa de formación profesional.

Antony Elvis Condori Gutierrez

Agradezco sinceramente a todos aquellos que han contribuido de manera significativa a la culminación de esta tesis. En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud a mi asesor y por su orientación y apoyo constante a lo largo de este proceso. En especial quiero agradecer a mi familia y amigos por su inquebrantable apoyo emocional y comprensión durante este desafiante viaje.

Edwin Calatayud Calsin

Extendemos nuestro más sincero agradecimiento al Dr. Henry Pizarro Viveros, nuestro asesor, y al Ing. Pedro Yulian Puma Roque, nuestro mentor. Su invaluable enseñanza, paciencia y valioso conocimiento han sido pilares fundamentales que han contribuido significativamente a nuestro crecimiento y desarrollo profesional. Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento al Laboratorio de Energía Fotovoltaica de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER) por su inestimable colaboración y apoyo durante nuestra investigación. La asistencia brindada con sus equipos especializados e instrumentos fue fundamental para llevar a cabo nuestro trabajo de manera eficiente y precisa. La oportunidad de acceder a su laboratorio y hacer uso de sus recursos tecnológicos ha sido una experiencia enriquecedora en el campo de la energía fotovoltaica. Los experimentos realizados desempeñaron un papel crucial en nuestra investigación, contribuyendo significativamente a los resultados obtenidos. Esperamos ansiosos la posibilidad de continuar colaborando en el futuro, avanzando juntos en este apasionante campo de la energía solar fotovoltaica.

Condori, A. E. & Calatayud, E.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	xv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1 El problema de investigación.....	17
1.2 La pregunta de investigación	19
1.2.1 Problema general.....	19
1.2.2 Problemas específicos	19
1.3 Planteamiento de los objetivos.....	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos	20
1.4 Justificación de la investigación	20
1.4.1 Justificación técnica	20
1.4.2 Justificación económica	21
1.4.3 Justificación social	21
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA	22
2.1 Antecedentes del problema de investigación.....	22
2.2 Bases teóricas de la investigación.....	24
2.2.1 Energía solar fotovoltaica	24
2.2.2 Parámetros del módulo fotovoltaico	26
2.2.3 Eficiencia del panel fotovoltaico.....	27
2.2.4 Pruebas de pre-acondicionamiento	27
2.3 Marco conceptual.....	28
2.3.1 Irradiancia e irradiación	28
2.3.2 Ángulo de inclinación de un módulo	28
2.3.3 Tecnología de los módulos fotovoltaicos.....	29
2.3.4 Condiciones estándar de medida (STC).....	30

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Formulación de hipótesis	31
3.1.1 Hipótesis general	31
3.1.2 Hipótesis específicas	31
3.2 Metodología	31
3.2.1 Ámbito del proyecto.....	31
3.2.2 Procedimiento de cálculo para ubicar la posición de sol	32
3.2.3 Tiempo solar verdadero (<i>TSV</i>)	32
3.2.4 Ecuación del tiempo (<i>ET</i>).....	33
3.2.5 Longitud correspondiente al huso horario.....	33
3.2.6 Corrección total (<i>CT</i>)	33
3.2.7 Corrección de tiempo solar verdadero	33
3.2.8 Método de coordenadas horarias para determinar la posición del sol.....	34
3.2.9 Hora solar (ángulo horario).....	34
3.2.10 Declinación (δ)	35
3.2.11 Zenit (ψ).....	35
3.2.12 Elevación de Altura solar:	35
3.2.13 Azimut (α)	36
3.2.14 Masa de aire	37
3.3 Diseño de la estructura del banco de ensayos de caracterización	38
3.3.1 Estructura de pre-acondicionamiento a sol real	38
3.3.2 Estructura de post-acondicionamiento a sol real.....	40
3.4 Diseño de sistema de control	41
3.4.1 El sistema de control de temperatura	41
3.4.2 Programación en PLC logo	43
3.4.3 Logo Web Editor para la creación de interfaces HMI	43
3.5 Materiales eléctricos y mecánicos.....	44
3.5.1 Descripción de materiales mecánicos	44
3.5.2 Descripción de materiales eléctricos	48
3.6 Software de monitoreo del sistema	54
3.7 Implementación de banco de ensayos	54
3.7.1 Construcción de la estructura	54

3.7.2	Instalación de la estructura post acondicionamiento.....	55
3.7.3	Instalación de banco de pre-acondicionamiento	56
3.8	Instalación de los sistemas de control	56
3.8.1	Instalación de ventiladores en el sistema de control de temperatura	56
3.8.2	Instalación del tablero de control	57
3.8.3	Instalación de los interruptores	57
3.8.4	Instalación del programa en el PLC	58
3.8.5	Acceso a la interfaz HMI	58
3.8.6	Acceso desde una laptop	59
3.8.7	Acceso desde un celular	60
3.9	Procedimiento de Pruebas a diferentes irradiancias y temperaturas	60
3.9.1	Procedimiento para la prueba de homogeneidad de temperatura dentro de cámara de ensayo.	63
3.10	Procedimiento para la evaluación de módulos fotovoltaicos a condiciones estándares según la normativa IEC 61215, IEC 60901-1	64
3.10.1	Control inicial para evaluar un módulo fotovoltaico en STC.	65
3.10.2	Pre acondicionamiento	66
3.10.3	Inspección visual después del pre acondicionamiento.....	66
3.10.4	Determinación de la potencia máxima.....	67
3.10.5	Sala de control y monitorización.....	70
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES		71
4.1	Resultados de pruebas variando la irradiancia y la temperatura.....	71
4.1.1	Curva I-V a distintas temperaturas e irradiancia constante.....	71
4.1.2	Curva P-V a distintas temperaturas e irradiancia constante.....	72
4.1.3	Curva I-V a diferentes irradiancias y temperatura constante	74
4.1.4	Curva P-V a diferentes irradiancias y temperatura constante	75
4.2	Resultados de la prueba de homogeneidad	76
4.3	Resultados de la prueba del panel monocristalino realizada a condiciones estándares STC.	81
4.4	Resultados de la prueba del panel Policristalino realizada a condiciones estándares STC.	83
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
5.1	Conclusiones	85
5.2	Recomendaciones	86

5.3 Sugerencia de trabajos de investigación futuros	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXO 1. Fase de diseño y construcción del banco de pruebas	90
ANEXO 2. Resultados de pruebas variando irradiancias y temperaturas	93
ANEXO 3. Resultados de la prueba de homogeneidad.....	104
ANEXO 4. Resultados de las pruebas a condiciones estándares.....	105
ANEXO 5. Manual de usuario.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista en perspectiva del diseño del banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real.....	xvi
Figura 2. Comparación entre las características de la ficha técnica y las evaluaciones respectivas de un módulo fotovoltaico (IEC-61215).....	19
Figura 3. Mapa global de irradiación solar directa (Solargis).....	25
Figura 4. Ángulos de orientación e inclinación para ubicar un módulo fotovoltaico, adaptado de Heliosfera (2021).....	26
Figura 5. Prueba de módulo fotovoltaico – pre-acondicionamiento (Mocelin, 2014).	27
Figura 6. Ángulo de inclinación de un módulo fotovoltaico (Diaz & Carmona, 2010).....	29
Figura 7. Composición de un módulo fotovoltaico (Castejón & Santamaría, 2010).	29
Figura 8. Geolocalización del Instituto de investigación de energías renovables y eficiencia energética en la sede Ayabacas de la UNAJ (Google Earth, 2023).	32
Figura 9. Los ángulos de inclinación y orientación para determinar la posición de un módulo fotovoltaico (Jutglar, 2004).	34
Figura 10. Curva de la altura solar según los resultados de la Ec.(10), estos valores de la curva nos permitirá determinar la altura del sol con respecto al lugar donde se está realizando las pruebas.....	36
Figura 11. Curva azimutal según los resultados de la Ec. (11), estos datos permiten conocer la orientación del módulo fotovoltaico	37
Figura 12. Masa de aire según los resultados de la ecuación (12), este dato nos permite saber la hora a la cual la masa de aire es la adecuada para realizar pruebas en condiciones STC.	38
Figura 13. Vista frontal estructura de pre-acondicionamiento	38
Figura 14. Vista de apertura y eje de rotación de 45° de la estructura pre-acondicionamiento.	39
Figura 15. Vista posterior y visualización de tubos de fijación al ángulo deseado de la estructura de pre-acondicionamiento.....	39
Figura 16. Vista en perspectiva de la estructura de post-acondicionamiento.....	40
Figura 17. Vista de perfil de la base de apoyo y giratorio de la estructura de post-acondicionamiento.....	40

Figura 18. Vista de ventiladores para controlar la temperatura dentro del sistema de post-acondicionamiento.	41
Figura 19. Esquema de conexión de los ventiladores en DC	42
Figura 20. Diagrama de conexión para el control de temperatura con un PLC logo 8.	42
Figura 21. Interfaz de programación Logo Soft Confort utilizado para realizar el programa de control para los ventiladores del sistema.....	43
Figura 22. Interfaz de desarrollo Logo Web Editor utilizados para la creación de HMI y mostrar datos en tiempo real.	44
Figura 23. Tubo rectangular de acero 60x40x1.5mm (Homecenter, 2023).	45
Figura 24. Ángulo de acero 30x30x1.5mm (Homecenter, 2023).....	45
Figura 25. Tubería metálica (Homecenter, 2023).	46
Figura 26. Plancha metálica (Aceros Arequipa, 2023).....	46
Figura 27. Riel Strut (Industrias Electric, 2023)	47
Figura 28. Rodamiento o cojinete (Budynas & Nisbett, 2012).	47
Figura 29. Tornillo de cabeza hexagonal (Budynas & Nisbett, 2012).	48
Figura 30. Controlador lógico programable Logo 8 (SIEMENS, 2018).	48
Figura 31. Tarjeta de ampliación para entradas analógica tipo AM2 RTD (SIEMENS, 2018).	49
Figura 32. Fuente de alimentación (Rodriguez , 2018).....	50
Figura 33. Relés de 12 Voltios (ADINDUSTRIAL, 2019).....	50
Figura 34. Interruptor tipo palanca (ADINDUSTRIAL, 2019)	51
Figura 35. Selector de tres tiempos (Energia y sociedad , 2017)	51
Figura 36. Cable Ethernet (Industrias Electric, 2023).....	52
Figura 37. Drone cámara termográfica FLIR Boson 640×512 de resolución térmica (AUTEL ROBOTICS, 2022).	52
Figura 38. Ventilador industrial (ADINDUSTRIAL, 2019).....	53
Figura 39. Sensor de temperatura PT100 (ADINDUSTRIAL, 2019).	53

Figura 40. Trazador de curva PVPM1500X (PV-Engineering GmbH, 2018)	54
Figura 41. Estructura en construcción para el banco de pruebas de pre acondicionamiento y post acondicionamiento.....	55
Figura 42. Instalación de la primera estructura de banco de ensayos.	55
Figura 43. Instalación de la estructura de pre acondicionamiento.	56
Figura 44. Ventilador de 30 W sujetado en la estructura.	56
Figura 45. Disposición de dispositivos en el tablero de control.....	57
Figura 46. Selector de tres posiciones e interruptores tipo palanca.	57
Figura 47. Visualización de temperatura en el PLC logo.....	58
Figura 48. Conexión inalámbrica con la interfaz HMI del PLC logo 8.	58
Figura 49. Ventana de inicio de sesión del PLC logo 8.	59
Figura 50. Interfaz HMI del PLC logo 8 desarrollador para visualizar los valores de la temperatura en tiempo real, donde se puede seleccionar el ventilador a operar en el enfriamiento del módulo fotovoltaico.	59
Figura 51. Acceso a la interfaz HMI desde un celular.	60
Figura 52. Modulo Fotovoltaico colocado en la estructura de Post-acondicionamiento para poder realizar el trazado de curva correspondiente.	61
Figura 53. Sala de control, para activar ventiladores mediante WI-FI o cable HMI	62
Figura 54. Descarga de datos con el software PV-Analysator.	62
Figura 55. Pruebas a distintas Temperaturas e irradiancia constante.....	63
Figura 56. Ventiladores para control de temperatura dentro de la cámara de ensayos.	63
Figura 57. Vista en perspectiva de la cubierta para el control de temperatura implementación de la cubierta en la estructura.....	64
Figura 58. Módulos fotovoltaicos sometidos a ensayos.....	65
Figura 59. Especificaciones del módulo fotovoltaico TPS-10S-55W.....	65
Figura 60. Modulo fotovoltaico TPS-10S-55W en pre-acondicionamiento donde se utiliza un luxómetro que indica una medida mayor a los 1000 lux.	66
Figura 61. Inspección visual del módulo fotovoltaico.	66

Figura 62. Curva de masa de aire y verificación de la masa de aire en (AM) 1.5 (adimensional) en hora y el día determinado.....	67
Figura 63. Curva de altura solar en grados y verificación de la hora y el grado.....	67
Figura 64. La curva de azimut y verificación del ángulo y la hora según la masa de aire.....	68
Figura 65. Colocación al ángulo azimutal según a la hora y el día correspondiente.	68
Figura 66. Colocación de altura solar según ángulo correspondiente a la hora para realización de la prueba.	69
Figura 67. Sensores de temperatura colocados en la modulo fotovoltaico.	69
Figura 68. Celda calibrada o sensor de irradiancia solar SOZ03 monocristalino.	70
Figura 69. Sala de control y monitorización: (a) trazador de curvas, (b) laptop con interfaz de control de temperatura, (c) laptop de procesamiento datos.....	70
Figura 70. Grafica de las curvas I-V a distintas temperaturas, donde se aprecia que a mayor temperatura disminuye el voltaje afectando a si al rendimiento óptimo de un módulo fotovoltaico.	72
Figura 71. Grafica de las curvas P-V a distintas temperaturas e irradiancia constante, donde se aprecia que a mayor temperatura se tiene una menor potencia.	73
Figura 72. Grafica de las curvas IV a distintas irradiancias.	75
Figura 73. Curva de potencia vs voltaje a diferentes irradiancias y temperatura constante.....	76
Figura 74. Temperatura de 54 °C obtenida en tiempo real, para comparar los datos de los sensores con los datos de la cámara termográfica.....	77
Figura 75. Temperatura registrada con la cámara termográfica donde se aprecia la temperatura uniforme a en el área del módulo fotovoltaico, el cual es también comparada con la temperatura de los sensores PT-100 instalados en el sistema.	77
Figura 76. Gradientes de las temperaturas ocasionados al accionar los ventiladores en donde se aprecia la variación de temperatura en los sensores instalados.....	78
Figura 77. Temperaturas detectadas en forma gradiente térmico, donde hay zonas más frías que otras en el área del módulo fotovoltaico.....	78
Figura 78. Deslizamiento de la cubierta para el sistema Post- acondicionamiento para controlar mejor la temperatura.	79
Figura 79. Temperatura mínima registrada por la cámara termográfica mostrando las temperaturas enfriadas.....	79

Figura 80. Temperaturas a 25° tomado por la cámara termográfica.	80
Figura 81. Temperatura registrada por los sensores de la temperatura, donde nos muestra que las temperaturas vuelven homogenizar en todo el módulo fotovoltaico	80
Figura 82. Curva corriente voltaje en condiciones estándares STC tomado con el trazador de curva PVPM1500X.	81
Figura 83. Curva corriente voltaje en condiciones estándares STC panel policristalino tomado con el trazador de curva PVPM1500X.	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos de la ficha técnica del módulo fotovoltaico Prostar PPS-120W Policristalino.	61
Tabla 2 Pruebas de etiquetado para módulos fotovoltaicos (Mocelin, 2014).....	64
Tabla 3 Muestra de los primeros 15 datos de las distintas pruebas realizadas a distintas temperaturas para irradiancia constantes con toleración de $\pm 0.5\%$, G es la irradiancia expresada en W/m^2 , T es la temperatura expresada en $^{\circ}C$, U es la tensión expresada en V, I es la corriente expresada en A.	71
Tabla 4 Muestra de los primeros 15 datos de las pruebas realizadas a distintas temperatura e irradiancia constante considerando una toleración del $\pm 0.5\%$ para la irradiancia, el tiempo en que se toma estos datos es en milisegundos.....	73
Tabla 5 Los primeros 15 datos de las pruebas realizadas a distintas irradiancias y temperatura constante, la muestra de datos se obtuvo en milisegundos.	74
Tabla 6 Muestra de los primeros 15 datos con diferentes irradiancias y temperatura constante, el trazador de curva PVPM1500X toma la muestra de datos en milisegundos.	75
Tabla 7 Datos obtenidos de trazado de la curva del módulo TPS-105S-55W monocristalino.....	82
Tabla 8 Valores calculados y Condiciones durante la medición realizados por el trazador de curva PVPM1500X	82
Tabla 9 Datos obtenidos de trazado de la curva del módulo PPS120W policristalino.	83
Tabla 10 Valores calculados y Condiciones durante la medición realizados por el trazador de curva PVPM1500X para el panel policristalino.....	84

RESUMEN

El mayor recurso renovable con el que se cuenta en la actualidad es la energía solar, razón por la cual hoy en día las instalaciones y proyectos relacionados al aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica van en aumento, así como también la demanda comercial de los mismos. El elemento principal de estos sistemas son los módulos fotovoltaicos, con el pasar del tiempo y el uso, estos módulos se degradan y pierden su eficiencia. Sin embargo, es posible determinar cuáles son los módulos que ya no cumplen con las especificaciones del fabricante o cuales módulos ya se degradaron por el tiempo de uso los cuales se evalúa con un sistema de medición adecuado. Por tal motivo se implementó un banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real en las instalaciones del Instituto de Investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética de la UNAJ sede Ayabacas. En este banco de ensayos se analizó los módulos fotovoltaicos modelo TPS-105S-55W monocristalino y PROSTAR modelo PPS-120W policristalino, estas evaluaciones se realizaron a condiciones estándares (STC) siguiendo las condiciones dadas por las normativas IEC 61215 y IEC 60904, tomando en cuenta la altura solar, el ángulo cenital y la masa de aire según el día y la hora calculada. También se realizó el análisis a diferentes irradiancias, 901 W/m², 952 W/m², 1000 W/m², 1050 W/m² y 1090 W/m², a temperatura constante de 25 °C a una tolerancia de 5 %, y luego se realizó el análisis a diferentes temperaturas, 30.78 °C, 35.10 °C, 40.67 °C, 46.53 °C, y 50.29 °C, e irradiancia constante a 1000 W/m² a una tolerancia de ±0.5 %. Los resultados muestran que en el banco de ensayo implementado se puede realizar pruebas para caracterizar y verificar los módulos fotovoltaicos en función de sus parámetros eléctricos, con las especificaciones de normativas dadas a una irradiancia de 1000 W /m², a 25 °C y masa de aire de 1.5 (adimensional) considerando las condiciones a sol real sobre los 3800 msnm.

Palabras Clave: Caracterización de módulos fotovoltaicos, ensayos a sol real, módulos fotovoltaicos, norma IEC, trazador de curva IV.

ABSTRACT

The greatest renewable resource available today is solar energy, which is why installations and projects related to the utilization of photovoltaic solar energy are on the rise. Likewise, the commercial demand for these projects is also increasing. The main components of these systems are photovoltaic modules, which degrade and lose efficiency over time and use. However, it is possible to determine which modules no longer meet the manufacturer's specifications or have degraded due to their usage period, which can be evaluated using an appropriate measurement system. For this reason, a testing facility was implemented to characterize photovoltaic modules under real sunlight conditions at the Institute for Renewable Energy and Energy Efficiency in Ayabacas. This testing facility analyzed the photovoltaic modules, specifically the TPS-105S-55W monocrystalline and PROSTAR PPS-120W polycrystalline models. These evaluations were carried out under standard test conditions (STC) following the guidelines provided by the IEC 61215 and IEC 60904 standards, taking into account solar altitude, zenith angle, and air mass for the given day and time. Additionally, the analysis was conducted at various irradiances: 901 W/m², 952 W/m², 1000 W/m², 1050 W/m², and 1090 W/m², all at a constant temperature of 25 °C with a tolerance of 5 %. Furthermore, the analysis was performed at different temperatures: 30.78 °C, 35.10 °C, 40.67 °C, 46.53 °C, and 50.29 °C, while maintaining constant irradiance at 1000W/m² with a tolerance of 0.5 %. The results demonstrate that the implemented testing facility is capable of conducting tests to characterize and verify a photovoltaic module based on its electrical parameters, in accordance with the specified standards, under an irradiance of 1000 W/m², at 25 °C, and an air mass of 1.5 (dimensionless), while considering real sunlight conditions at an altitude of over 3800 meters above sea level.

Keywords: Photovoltaic module characterization, real-sun tests, photovoltaic modules, IEC standard, IV curve tracer.

INTRODUCCIÓN

La situación energética mundial se encuentra actualmente en dificultades debido al impacto del cambio climático, lo que plantea desafíos complicados que agravan el suministro de energía a nivel global. El constante aumento en la demanda energética y el crecimiento de los costos asociados a la generación de energía hacen evidente la necesidad de buscar alternativas más sostenibles. En este contexto, se fomenta el empleo de fuentes de energía renovable como una manera de preservar el medio ambiente y reducir la dependencia de los combustibles fósiles tradicionales. Por esta razón, los países industrializados de todo el mundo están adoptando cada vez más tecnologías limpias, tales como plantas solares, parques eólicos y centrales hidroeléctricas de diferentes potencias, con el propósito de generar electricidad de manera más respetuosa con el entorno y sostenible a largo plazo.

Ante el actual panorama energético, nuestro país no es ajeno a los problemas relacionados con la contaminación y efectos adversos del cambio climático por lo que está experimentando una crisis energética en ciertas áreas de Perú debido al aumento en la demanda de energía no satisfecha. Esto se debe a diversos factores, como la falta de inversión, la difícil accesibilidad de algunas zonas y los altos costos tarifarios impuestos por las empresas distribuidoras de energía. Por lo tanto, es urgente proponer nuevas estrategias para la generación de energía renovable como una solución a esta problemática. Adicionalmente, urge realizar estudios tecnológicos exhaustivos sobre los componentes de sistemas de generación fotovoltaica, como los módulos fotovoltaicos, cuya demanda está en constante aumento. Estos avances tecnológicos son esenciales para abordar la situación actual y garantizar un suministro energético renovable más sostenible para el país.

En ocasiones, los módulos fotovoltaicos no cumplen con las especificaciones técnicas del fabricante, por lo que ingresan al mercado sin que los consumidores tengan certeza sobre si estos cumplen con las características prometidas por el fabricante. Esta situación puede resultar en una degradación rápida del módulo fotovoltaico y su baja eficiencia e incluso en riesgos de fallas como incendios a corto plazo debido al sobrecalentamiento del sistema fotovoltaico. Con este motivo, se ha implementado un banco de ensayos que permite evaluar los módulos fotovoltaicos y verificar si realmente cumplen con las garantías de durabilidad del producto. De esta manera, se asegura la calidad y seguridad de estos equipos antes de su uso.

Este banco de ensayos posibilita las pruebas en módulos fotovoltaicos bajo condiciones estándares, cumpliendo con la normativa IEC 61215, además que el sistema de control mantiene la temperatura estable gracias a sensores que trabajan en conjunto con ventiladores, siguiendo la programación establecida por el Controlador Lógico Programable (PLC). La irradiancia también se ajusta de acuerdo con la masa de aire durante el transcurso del día. La capacidad del banco de ensayos es de medir módulos fotovoltaicos hasta 450 W, esto gracias a que está diseñado para que la parte superior rote al ángulo necesario según la altura solar y el ángulo cenital Figura 1. De esta manera, se pueden caracterizar tanto los módulos fotovoltaicos recién importados como aquellos que ya están en funcionamiento, evaluándolos tanto a corto como a largo plazo y todo esto a condiciones de sol real. Para caracterizar los módulos fotovoltaicos se han incorporado instrumentos de alta precisión denominado trazador de curva PVPM1500X, lo que nos ha permitido evaluar módulos fotovoltaicos de diversos tipos y tecnologías con gran exactitud. Estas pruebas pueden llevarse a cabo tanto en el sistema de pre-acondicionamiento como en el de post-acondicionamiento, lo que nos brinda la capacidad de verificar la calidad de los módulos fotovoltaicos a lo largo de toda su vida útil. Este banco de ensayos fue instalado en el Instituto de Investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) en su sede Ayabacas.

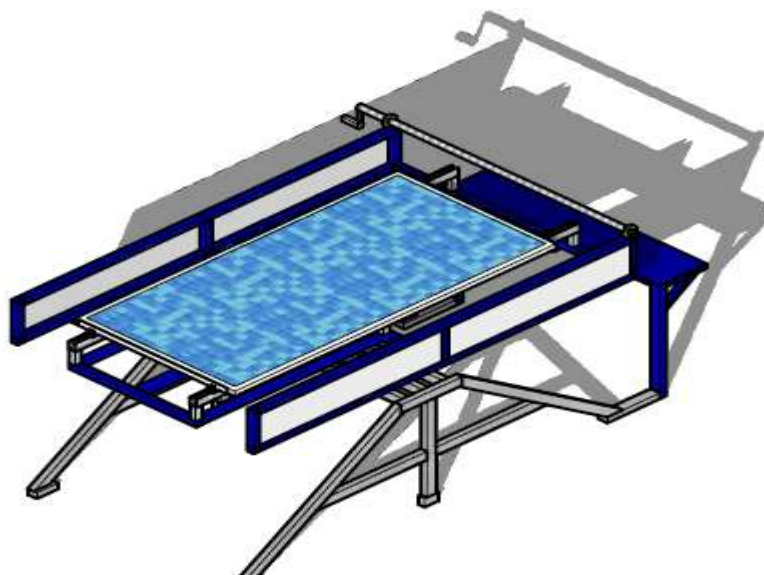


Figura 1. Vista en perspectiva del diseño del banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 El problema de investigación

Desde el comienzo de la revolución industrial en el siglo XVIII, ha habido un aumento en la demanda mundial de energía. Los combustibles fósiles han representado una parte considerable de la energía utilizada a nivel mundial durante este tiempo en una variedad de industrias, el transporte y la electricidad se han basado en los combustibles fósiles. Además de ser un recurso finito, este tipo de combustible se ha vuelto escaso, mientras que en las últimas dos décadas ha quedado claro que las tecnologías energéticas más sostenibles pueden desempeñar un papel importante en la expansión de la red eléctrica mundial (Ramos, 2018). Hoy en día la utilización de las energías renovables se incrementa y a la par se va incrementando las instalaciones de módulos fotovoltaicos de distintas tecnologías alrededor del mundo, para poder así cubrir la demanda energética y a su vez reducir las emisiones de CO₂ (Zilles, et al, 2012).

La economía peruana ha registrado un crecimiento constante, con una tasa de crecimiento del PIB que alcanzó un 3.5 % interanual en el primer semestre de 2022. Este aumento en el crecimiento económico ha convertido a Perú en uno de los destinos más atractivos para inversores extranjeros en América Latina. Sin embargo, las fuentes principales de energía en el país son los combustibles fósiles y el gas natural, el crecimiento económico ha llevado a un incremento en el consumo de energía, que, a su vez, ha resultado en un aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero. De acuerdo con una investigación del Banco Mundial, las emisiones de CO₂ en el Perú han aumentado, pasando de 1.1 toneladas métricas en 2006 a 1.7 toneladas métricas en 2019. Por tal motivo, se busca impulsar el aprovechamiento de fuentes de energía renovable en el país como parte de los esfuerzos para reducir estas emisiones y promover una transición hacia un sistema energético más sostenible (Banco mundial , 2022).

En el sur de Perú, específicamente en la región de Puno, se dispone de una irradiación solar que supera los 2000 kWh/m² (una de las más alta del Perú), lo que le convierte en una fuente de energía solar altamente rentable y beneficiosa (Mamani, 2022). Los precios asequibles y la tendencia global hacia la utilización de módulos fotovoltaicos han llevado a numerosas empresas a optar por la importación de grandes cantidades de módulos fotovoltaicos. Sin embargo, en muchos casos, estos productos no son sometidos a una reevaluación exhaustiva en relación con las especificaciones y características proporcionadas por el fabricante.

Esta práctica representa un riesgo significativo tanto para los importadores como para los consumidores, ya que los módulos fotovoltaicos que no cumplen con las especificaciones del fabricante tienden a generar menos energía de lo esperado, experimentan una degradación acelerada y presentan un rápido deterioro de sus componentes. Para mitigar el riesgo asociado con la importación de módulos fotovoltaicos de baja calidad o en mal estado, es imperativo contar con un laboratorio especializado que pueda llevar a cabo la reevaluación de las características descritas en las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante, así como realizar pruebas en módulos ya instalados para evaluar su degradación a corto y largo plazo (Jacome, 2017).

Por consiguiente, la importancia de evaluar los módulos fotovoltaicos a altitudes superiores a los 3800 msnm se ha convertido en un aspecto crítico en la verificación de sus parámetros de funcionamiento. Esto requiere la disponibilidad de un laboratorio equipado con un equipo especializado que permita evaluar y verificar las condiciones de cada producto de manera precisa y fiable (Herrera, 2013). En consecuencia, el gran problema es la falta de un laboratorio en el país que evalúe las características de módulos fotovoltaicos y que además tengan la tecnología suficiente para evaluar y hacer comparaciones de sus características para un módulo fotovoltaico como se muestran en la Figura 2. Para poder suplir esa tecnología costosa se implementó un banco de ensayos de bajo costo que nos permitirá realizar diferentes ensayos de módulos fotovoltaicos, este sistema se encuentra en el Instituto de Investigación de Energías Renovables y Eficiencia Energética donde el equipamiento adecuado nos permitirá realizar investigaciones de módulos fotovoltaicos en todo el ámbito del sur del Perú.

Product Z300W	
Maximum power (P_{max})	300 W ±3 %
Maximum power voltage (V_{mp})	37 V
Maximum power current (I_{mp})	8,1 A
Open circuit voltage ^a (V_{oc})	45,9 V
Short circuit current ^a (I_{sc})	8,9 A
Maximum DC system voltage	1 000 V

^a +5 % / -0 % tolerance

Product Z series			
Electrical Data at STC			
Peak power watts ±3 % - P_{max} (W)	300	305	310
Maximum power voltage - V_{mp} (V)	37	37,2	37,5
Maximum power current (I_{mp}) (A)	8,1	8,2	8,27
Open circuit voltage ^a - V_{oc} (V)	45,9	45,9	45,9
Short circuit current ^a - I_{sc} (A)	8,9	8,92	8,98
Module efficiency - η_m (%)	14	14,2	14,4

^a ±5 % / -0 % tolerance on I_{sc} and V_{oc}

Figura 2. Comparación entre las características de la ficha técnica y las evaluaciones respectivas de un módulo fotovoltaico (IEC-61215).

1.2 La pregunta de investigación

En el presente proyecto habiendo identificado la problemática, se planteó las siguientes interrogantes.

1.2.1 Problema general

¿Es posible implementar un banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Qué beneficios aportara el desarrollo de las estructuras del banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm?
- ¿El banco de ensayos permitirá implementar un sistema de control de temperatura para evaluar la homogeneidad dentro de la cámara de ensayo para que los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos atiendan a las condiciones estándares de acuerdo con la normativa IEC 61215?
- ¿Será posible determinar la capacidad del banco de ensayos en condiciones estándares especificadas en la norma IEC-61215 para los ensayos de módulos fotovoltaicos a sol real?

1.3 Planteamiento de los objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una estructura del banco de ensayos para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm.
- Implementar un sistema de control de temperatura para evaluar la homogeneidad dentro de la cámara de ensayo para que los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos atiendan a las condiciones estándares de acuerdo con la normativa IEC 61215.
- Determinar la capacidad del banco de ensayos en condiciones estándares especificadas en la norma IEC-61215 para los ensayos de módulos fotovoltaicos a sol real.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Justificación técnica

En la actualidad, se están produciendo una variedad de tipos y tecnologías de módulos fotovoltaicos, y esta diversidad está en constante crecimiento. Cada uno de estos módulos tiene sus propias especificaciones declaradas por los fabricantes, pero en muchas ocasiones, estos no cumplen con dichas especificaciones. Para solucionar esa deficiencia, en el Laboratorio de Sistemas Fotovoltaicos de la Universidad de São Paulo (Brasil), se ha desarrollado un sistema de pre-acondicionamiento de módulos fotovoltaicos que permite evaluar estos dispositivos de manera efectiva y precisa. Este sistema es una solución valiosa para abordar los desafíos asociados con la calidad y el rendimiento de los módulos fotovoltaicos en la industria (Mocelin, 2014).

1.4.2 Justificación económica

El banco de ensayos propuesto para la evaluación de módulos fotovoltaicos se caracteriza por ser de bajo costo. Por consiguiente, se presenta un ahorro económico significativo en comparación con equipos más sofisticados, como los simuladores solares que tienen un costo considerable en el rango de millones de soles, a pesar de que ofrece capacidades de evaluación similares a las que se pretenden llevar a cabo. Este enfoque innovador es lo que motiva la implementación de un sistema de evaluación de módulos fotovoltaicos, permitiendo validar las características y verificar si el módulo está generando energía de acuerdo con las especificaciones estipuladas en la normativa IEC 61215, como se destaca en la investigación de Conde et al. (2020).

1.4.3 Justificación social

El proceso de evaluación de módulos fotovoltaicos es fundamental y ampliamente demandado por diversas empresas que adquieren grandes volúmenes de módulos fotovoltaicos. Estas empresas necesitan contar con un laboratorio especializado que pueda verificar y validar las características de los módulos que adquieren. El sistema propuesto estará disponible para las empresas importadoras, las cuales podrán solicitar los servicios del laboratorio de energía fotovoltaico para llevar a cabo los ensayos necesarios para la validación de sus productos. De acuerdo con las normativas del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2015), específicamente en la norma DGE sobre especificaciones técnicas del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural, se establecen las características y requisitos que deben cumplir los módulos fotovoltaicos en condiciones de operación y funcionamiento. Además de satisfacer las necesidades de las empresas importadoras y consumidores medianos y pequeños, el banco de ensayos beneficiará el desarrollo y crecimiento de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables (EPIER).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes del problema de investigación

En el estudio realizado por Firman et al. (2018), con el equipamiento que tienen en sus laboratorios lograron implementar ensayos o pruebas de certificación de módulos fotovoltaicos, para el cual utilizaron normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) que están vigentes, en donde se consideraron realizar las pruebas de: inspección visual, trazado de Curva IV y extracción de parámetros eléctricos en condiciones estándares de medida (STC), ensayos de aislación eléctrica, resistencia mecánica de terminales y ensayos de resistencia al impacto de granizo sobre el módulo fotovoltaico, cada ensayo tiene su complejidad es por ello que partieron de usar instrumentos intuitivos como lupas, balanzas, hasta instrumentos mucho más complejos como multímetros, megóhmetros, sensores de temperatura, entre otros, en dicho estudio lograron realizar los ensayos satisfactoriamente de acuerdo a las normas IRAM las cuales pueden ser adaptadas a normas similares, de acuerdo a estos ensayos pueden limitar la instalación de módulos fotovoltaicos de baja calidad.

Según el trabajo realizado por Ramos (2018), desarrollaron un simulador solar para evaluar módulos fotovoltaicos en condiciones estándares de irradiancia y temperatura considerando la normativa IEC, construyeron un sistema de iluminación continua en donde se tiene una matriz de lámparas de vapor metálico distribuidas uniformemente y una estructura de apoyo para módulos fotovoltaicos, el establecimiento también cuenta con equipos computacionales, un espectroradiómetro, un ventilador para acondicionar la temperatura, luego realizaron pruebas para poder caracterizar los módulos fotovoltaicos y compararlo con los datos teóricos, se obtuvo como resultados que los módulos fotovoltaicos tienen degradación después de ser usados en periodos largos, al mismo tiempo desarrollaron la calificación espectral de la fuente de luz, determinando así que es adecuada para la realización de pruebas.

Según el estudio realizado por Mocelin (2014), realizó una investigación de laboratorios en los cuales se tiene herramientas, instrumentos y procedimientos de acuerdo a normativas con el fin de demostrar la credibilidad y fiabilidad de procesos para realizar

prueba de conformidad en equipos fotovoltaicos, en el cual se procedió a crear un laboratorio denominado unidad de desarrollo de capacidades tecnológicas el cual está implementado con sistemas fotovoltaicos aislados, sistemas fotovoltaicos conectados a red, y sistemas híbridos de generación de energía, en los que se tiene todo un sistema de monitoreo propio del laboratorio, donde demostraron que el personal capacitado en un laboratorio acreditado con todos los equipos ya descritos tiene los elementos necesarios con los cuales puede difundir conocimientos técnicos y científicos en áreas especializadas de fotovoltaica.

De acuerdo a Aguilar (2014), tenía como objetivo investigar acerca de ensayos sobre paneles fotovoltaicos para determinar su comportamiento eléctrico y sus características físicas en el cual se pueda asegurar la calidad de los módulos fotovoltaicos, así como también elaborar guías de procedimientos para pruebas de distintos tipos de módulos fotovoltaicos considerando las normas IEC y ASTM, entonces para poder desarrollar su proyecto estudiaron las normativas existentes referidas al tema, y se centró en los siguientes: aislación eléctrica, carga mecánica, torsión, pruebas de los parámetros eléctricos en condiciones STC, resistencia para los impactos de golpes, así como también pruebas de corrosión por ambientes salinos. Durante la evaluación de módulos fotovoltaicos lograron determinar la calidad de dichos módulos y elaborar un procedimiento para el diagnóstico, en donde el autor mostró imágenes de las imperfecciones en los módulos llegando a separar la mejor calidad con respecto a la mala calidad. Por otro lado, la investigación realizada por Margarido et al. (2020) indica que la temperatura de trabajo a la que llega el módulo influye en la eficiencia, razón por el cual no se está aprovechando eficientemente la energía solar, en dicha investigación se relaciona los coeficientes de alteración de potencia de dos módulos fotovoltaicos con respecto a la temperatura, de acuerdo a los distintos ensayos realizados en la investigación se llega a la conclusión de que las elevadas temperaturas afectan en gran medida a la eficiencia del módulo, teniendo pérdidas en la generación de energía.

En la tesis realizada por Conde et al. (2020), quien implementó un laboratorio para realizar la investigación en el área fotovoltaica y certificar módulos fotovoltaicos, así como también su respectiva calibración, en estos estudios también se analiza la degradación de los módulos fotovoltaicos, teniendo en cuenta distintos parámetros como

los son la temperatura, irradiancia, humedad, polvo, y el espectro de la luz. Este laboratorio cuenta con instalaciones de módulos fotovoltaicos y sistemas de adquisición de datos en los cuales se obtienen datos para poder realizar las correspondientes calibraciones, como resultado se logró obtener un laboratorio capaz de realizar distintos ensayos de módulos fotovoltaicos como el análisis del comportamiento de los módulos, así como también ver su degradación en función de las condiciones climática.

Según el trabajo realizado por Torrico et al. (2020) desarrollaron varias pruebas con módulos fotovoltaicos en las instalaciones del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (C.I.E.M.A.T.) ubicada en la ciudad de Madrid, en donde realizaron el trazado de curva IV de distintos módulos fotovoltaicos, en los cuales establecieron condiciones de laboratorio, considerando medidas para cinco temperaturas distintas a radiación constante, y luego se realizó más ensayos considerando cuatro radiaciones solares distintas pero a temperatura constante, para todas las pruebas se utilizó el trazador de curva I-V modelo: PVPM 1000CX, dando como resultados la tradicional gráfica de la curva característica de los módulos fotovoltaicos, así como también se tuvo en cuenta no sobrepasar los valores de condiciones estándares referidos a la tensión y corriente, razón por la cual los módulos fotovoltaicos no producían la potencia máxima que especifica en su ficha técnica.

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 Energía solar fotovoltaica

La potencia mundial instalada de energía solar se encuentra por encima de los 178 GW, lo que la convierte en la tercera fuente de energía renovable más utilizada del planeta, dominada por la tecnología fotovoltaica principalmente, y con visión de seguir creciendo a un ritmo constante durante los próximos años (Gonzales, 2015).

Los países que más fuerte están apostando en los últimos años son China y Japón, pero además en Europa por primera vez, genera más energía que la nuclear. En Alemania, Italia, China, los Estados Unidos y Japón, poseen la mayor capacidad de energía solar fotovoltaica en el mundo gracias a la abundante

irradiancia directa que se tiene como se muestra en la Figura 3, mientras que España tiene una potencia instalada de más de 4672 MW de la capacidad mundial en energía solar concentrada, es decir, el 12 % de lo que tiene Alemania, cuando en 2008 fue el primer país de Europa, gracias a una legislación muy favorable con respecto a la instalación y funcionamiento de módulos fotovoltaicos (Varrillas, 2015).

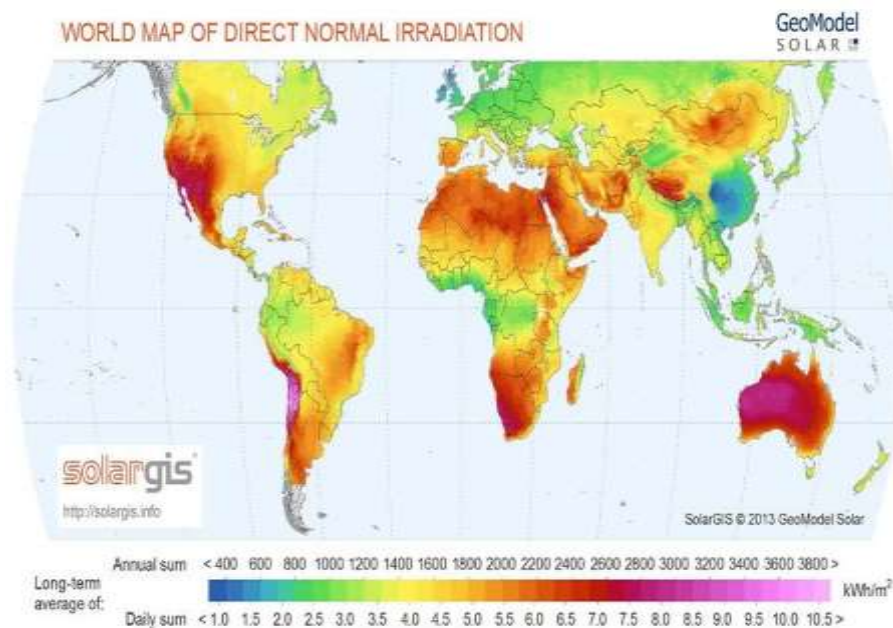


Figura 3. Mapa global de irradiación solar directa (Solargis).

Se puede tomar en cuenta que los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica de corriente continua (CC). En un sistema conectado a la red eléctrica, esta energía mediante el uso de un inversor, es transformada a corriente alterna (AC), la cual puede ser utilizada en hogares e industrias (Quintanilla, 2020).

La generación de energía eléctrica depende de diversos factores, entre ellos las horas de luz solar que inciden sobre los módulos fotovoltaicos, el tipo y la cantidad de módulos instalados, su orientación e inclinación y la radiación solar recibida como se puede apreciar en la Figura 4, la calidad de la instalación y su potencia nominal. En este proceso, los dispositivos encargados de absorber la energía solar son los módulos fotovoltaicos, los cuales son componentes esenciales de los sistemas fotovoltaicos. Estos módulos fotovoltaicos tienen la capacidad de

convertir la luz solar en energía eléctrica mediante el uso de celdas solares fabricadas con materiales semiconductores. Estas celdas desempeñan la función de capturar los fotones que viajan a través de los rayos solares (Gamarra, 2019).

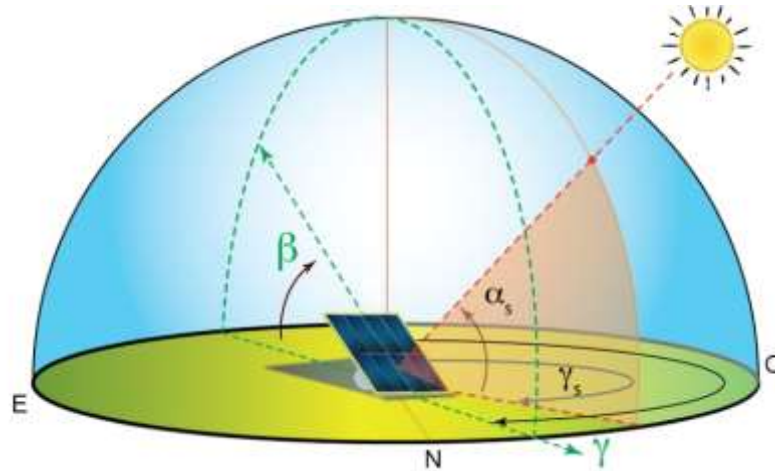


Figura 4. Ángulos de orientación e inclinación para ubicar un módulo fotovoltaico, adaptado de Heliosfera (2021).

2.2.2 Parámetros del módulo fotovoltaico

Los parámetros básicos que permiten cuantificar esta forma de energía son: la tensión o voltaje (que se mide en voltios, V), la corriente o intensidad eléctrica (que se mide en amperios, A), la potencia eléctrica (que se mide en vatios, W) y la energía eléctrica producida y/o consumida (que se mide en vatios-hora, W_h). A partir de estas unidades de medida básicas, se definen sus múltiplos, que son más utilizados en la práctica: kilovoltios (kV), kiloamperios (kA), kilovatios (kW), gigavatios (GW), gigavatios-hora (GW_h) (Energía y sociedad , 2017).

La potencia máxima (P_{mp}) de un módulo fotovoltaico, expresada en vatios pico (W_p), se alcanza cuando la corriente máxima de potencia (I_{mp}) y la tensión de alimentación máxima (V_{mp}). Otros parámetros de suma importancia son la corriente de cortocircuito (I_{sc}), obtenida a partir de la medida de la corriente del módulo cuando está en cortocircuito, y el voltaje de circuito abierto (V_{oc}), obtenida a partir de la medida de la tensión del módulo cuando no está muestra carga (Zilles et al., 2012).

2.2.3 Eficiencia del panel fotovoltaico

En 1985 se alcanzaba un 20% de eficiencia en las celdas fotovoltaicas y existían módulos en todas partes del mundo: USA, Australia, España, Kenia, Alemania, Ecuador, Japón, por mencionar algunos. En Chile, los primeros módulos se instalaron en la década de 1970, principalmente en zonas rurales con módulos de 50 W y baterías de 150 Ah que alimentaban los electrodomésticos de 12 V. En la década de 1990, Siemens compró ARCO Solar y formó Siemens Solar Industries, una de las empresas con la mayor producción de celdas solares en el mundo. Las células industriales de silicio suelen ofrecer eficiencias comprendidas entre el 13% y el 17 % (Perpiñan, 2013).

2.2.4 Pruebas de pre-acondicionamiento

La prueba de pre-acondicionamiento donde cada módulo fotovoltaico se expone al aire libre junto con un instrumento de medición, cuya función es medir la cantidad de energía solar que incide sobre el módulo bajo prueba mostrado en la Figura 5 (Mocelin, 2014).



Figura 5. Prueba de módulo fotovoltaico, pre-acondicionamiento (Mocelin, 2014).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Irradiancia e irradiación

Para poder determinar cuánta energía llega del sol a la tierra, se usan dos magnitudes como la irradiancia y la irradiación, donde la irradiancia es una magnitud que se usa para poder cuantificar la radiación del sol, esta unidad describe la potencia que incide sobre la superficie en un metro cuadrado por ende su unidad es el vatio por metro cuadrado, y la irradiación es la suma de todas las irradiancias durante un periodo de tiempo determinado, su unidad está dada en julios por metro cuadrado, la irradiancia que puede llegar a generar el sol es aproximadamente de $6.35 \times 10^7 \text{ W/m}^2$, pero de toda esta energía producida a la tierra llega una porción diminuta, siendo el valor aproximado que llega a la superficie de la atmósfera terrestre 1367 W/m^2 dicho valor también es conocido como constante solar (Castejón & Santamaría, 2010).

2.3.2 Ángulo de inclinación de un módulo

Para poder recibir la mayor cantidad de energía del sol todo módulo fotovoltaico debe de estar en perpendicular a la incidencia de los rayos solares, como la posición del sol varía a lo largo del día, así como también a lo largo del año es necesario tener un ángulo de inclinación óptimo el cual aprovechará la mayor cantidad de energía solar como se muestra en la Figura 6, el ángulo de inclinación es representado por la letra beta del alfabeto griego y es el ángulo que forma la superficie del generador con el plano horizontal (Castejón & Santamaría, 2010).

El ángulo de inclinación también es conocido como ángulo de elevación, dicho ángulo se puede determinar a partir de la latitud donde se encuentra ubicado la instalación fotovoltaica, y de la declinación solar que se tiene con respecto al día en que se quiere saber la inclinación adecuada para el módulo fotovoltaico (Diaz & Carmona, 2010).

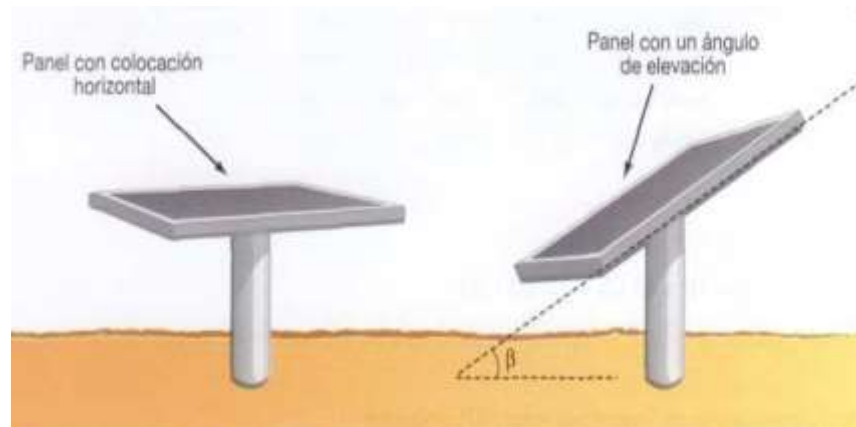


Figura 6. Ángulo de inclinación de un módulo fotovoltaico (Díaz & Carmona, 2010).

2.3.3 Tecnología de los módulos fotovoltaicos

La composición de un módulo fotovoltaico está conformada por un grupo o conjunto de células conectadas en serie como muestra en la Figura 7, este tipo de conexión permite controlar el nivel de voltaje que se quiere obtener de todo el conjunto de células denominado como la tensión de trabajo del módulo fotovoltaico, una célula fotovoltaica convencional de 100 cm² genera 1.5 W aproximadamente con una tensión de 0.5 V y una corriente de 3 A (Castejón & Santamaría, 2010).

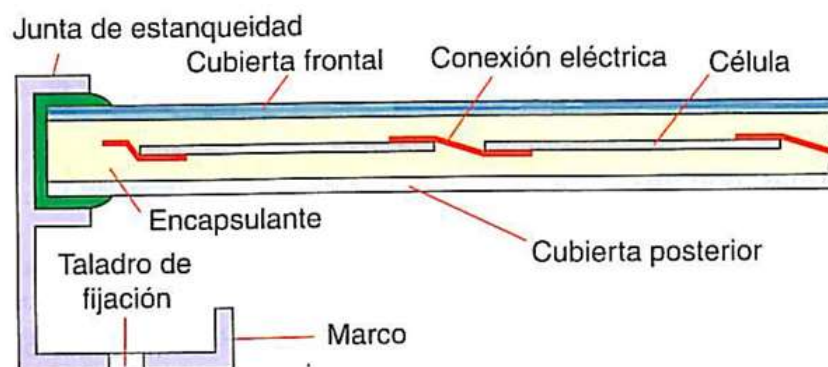


Figura 7. Composición de un módulo fotovoltaico (Castejón & Santamaría, 2010).

Las tecnologías comerciales más comunes con las que se cuenta son las siguientes: Monocristalino, con un rendimiento en laboratorio del 24 % y un rendimiento directo entre el 15 % y 18 %, cuyas características son la conexión de las células individuales entre sí, este tipo de célula se obtiene de silicio puro

fundido dopado con boro, policristalino, tiene un rendimiento de laboratorio del 19 % a 20 % y un rendimiento directo del 12 % al 14 % , la superficie está estructurada en cristales, también tiene distintos tonos de color azul, su proceso de fabricación es similar al monocristalino con la excepción de que se disminuye el número de fases de cristalización, donde es una técnica para purificar compuestos sólidos (Diaz Corcobado & Carmona Rubio, 2010).

2.3.4 Condiciones estándar de medida (STC)

Para poder medir el rendimiento de los módulos fotovoltaicos se ha establecido condiciones estándares de medida (CEM) también conocido en el idioma inglés como *Standard Test Conditions (STC)*, en donde se indica que se debe tener una temperatura de $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una irradiancia de $G = 1000\text{ W/m}^2$ con un espectro de masa de aire $AM = 1.5$ (adimensional), con las condiciones ya mencionada es que se podrá determinar la potencia máxima que puede alcanzar un módulo fotovoltaico (Castejón & Santamaría, 2010).

El fabricante debe proporcionar en la ficha técnica de cada módulo fotovoltaico los datos más resaltantes, dentro de ellos los coeficientes de temperatura, porque de acuerdo a la temperatura es que se aprecia como los parámetros del módulo fotovoltaico cambian, para los cuales tenemos el coeficiente de potencia, coeficiente de tensión, coeficiente de corriente (Diaz & Carmona, 2010).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación de hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La implementación del banco de ensayos permite caracterizar los módulos fotovoltaicos debido a la buena radiación a sol real en condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm.

3.1.2 Hipótesis específicas

- El beneficio que contribuirá el desarrollo de la estructura de banco de ensayos es el de poder caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a 3800 msnm.
- El sistema de control de temperatura implementado permitirá mostrar los resultados de la evaluación de la homogeneidad de la temperatura para que los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos atiendan a las condiciones estándares de acuerdo a la normativa IEC 61215.
- El banco de ensayos tendrá la capacidad de poder caracterizar los módulos fotovoltaicos en condiciones especificadas en la norma IEC- 61215 y realizar diferentes ensayos a sol real.

3.2 Metodología

3.2.1 Ámbito del proyecto

La evaluación del proyecto se realizó en el Instituto de Investigación de Energías Renovables y Eficiencia Energética donde se encuentra la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca en su sede Ayabacas. La ubicación en coordenadas es de latitud 15°24' 34'' y longitud de 70°05' 25'' a 3823 msnm como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Geolocalización del Instituto de investigación de energías renovables y eficiencia energética en la sede Ayabacas de la UNAJ (Google Earth, 2023).

3.2.2 Procedimiento de cálculo para ubicar la posición de sol

Para poder ubicar la posición del sol se revisó las distintas fuentes bibliográficas y un gran porcentaje de estas fuentes citaba el libro “Ingeniería Solar de Procesos Térmicos, Fotovoltaica y Eólica” de los autores John A. Duffie y William Beckman del cual se tomaron las ecuaciones que se mostrara a continuación donde primero se debe calcular la hora solar verdadera y posteriormente hallar los ángulos correspondientes a la Altura solar, zenit y acimut, los cuales se describen a continuación.

3.2.3 Tiempo solar verdadero (*TSV*)

La Ec. (1) se utiliza para determinar el tiempo solar verdadero, porque en muchos países la hora oficial *HO* no coincide con la hora civil y el huso horario elegido, esto se debe a que el reloj se adelanta o atrasa en función de la época del año, por motivos de ahorro energético.

$$TSV = HO - e + ET + \frac{1}{15}(\lambda_m - \lambda) \quad (1)$$

Donde, *TSV* es el tiempo solar verdadero, *HO* es la hora oficial del país, *e* es el adelanto con respecto a la hora civil, λ_m es la longitud del meridiano medio

del huso horario adaptando y λ es la longitud del meridiano que pasa por el punto estudiado.

3.2.4 Ecuación del tiempo (*ET*)

La ecuación mostrada Ec. (2) fue utilizada para determinar el tiempo:

$$ET = (9.87 * \sin(2 * b)) - (7.53 * \cos(b)) - (1.5 * \sin(b)) \quad (2)$$

Donde *ET* es la ecuación del tiempo en minutos y *B* es la corrección en grados sexagesimales.

La Ec. (3) se utiliza para determinar valores medios de la ecuación del tiempo exacto según el día del año.

$$B = \frac{360}{364} * (Z - 81) \quad (3)$$

3.2.5 Longitud correspondiente al huso horario

La Ec. (4) fue utilizada para corregir la longitud de una determinada ubicación, según el meridiano medio y el meridiano del sitio.

$$Correccion_por_long = \frac{meridiano_medio - meridiano_sitio}{15} \quad (4)$$

3.2.6 Corrección total (*CT*)

La Ec. (5) fue utilizada para realizar la corrección total:

$$CT = ET + Correccion_por_long \quad (5)$$

3.2.7 Corrección de tiempo solar verdadero

La Ec. (6) nos ayuda determinar el tiempo solar verdadero corregido de acuerdo a la hora local asignada.

$$TSV_c = HL + \frac{00}{60} + CT \quad (6)$$

Donde el TSV_c es tiempo solar verdadero corregido, *HL* es la hora local, *CT* es la corrección total.

3.2.8 Método de coordenadas horarias para determinar la posición del sol

Es un método para indicar la posición exacta del sol con respecto de un punto situado sobre la superficie terrestre, se basa en utilizar las coordenadas horarias. Figura 9, cabe destacar que la posición del sol se determina mediante los tres ángulos.

Declinación (δ): Es el ángulo formado entre el plano del ecuador, y el plano de traslación de la tierra.

Latitud (ϕ): El ángulo comprendido entre el paralelo del lugar y el ecuador, teniendo como positivo para el hemisferio norte y negativo para el hemisferio sur.

Ángulo horario (h).

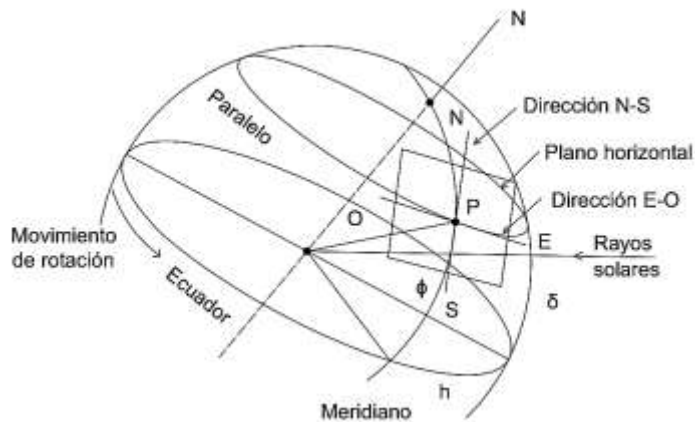


Figura 9. Los ángulos de inclinación y orientación para determinar la posición de un módulo fotovoltaico (Jutglar, 2004).

3.2.9 Hora solar (ángulo horario)

Es el plano meridiano que pasa por el punto considerado y el plano meridiano que pasa por el sol de un ángulo horario cuando el sol pasa por el punto más alto de su trayectoria denominado medio día solar denominado por la Ec. (7).

$$h = 15 * (TSV - 12) \quad (7)$$

Donde h es el ángulo horario expresado en grados y TSV es el tiempo solar verdadero expresado en horas.

3.2.10 Declinación (δ)

La Ec. (8) se denomina declinación por qué forma un ángulo entre plano de ecuador terrestre con la dirección donde se encuentra el sol y este varia a lo largo del año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación propuesta por Cooper.

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + Z}{365}\right) \quad (8)$$

Donde δ es la declinación en grados sexagesimales y z es el número del día del año denominado día juliano.

3.2.11 Zenit (ψ)

La Ec. (9) nos permite calcular el ángulo cenital que esta entre el sol y la vertical. Este ángulo cenital es similar al ángulo de elevación, excepto que se mide desde la vertical en lugar de la horizontal, por lo que el ángulo cenital es igual 90° menos el ángulo de elevación.

$$\cos(\psi) = \cos(\beta) * \cos(\delta) * \cos(h) + \sin(\beta) * \sin(\delta) \quad (9)$$

3.2.12 Elevación de Altura solar:

La Ec. (10) fue utilizada para realizar la corrección del ángulo que se toma para graficar la altura solar.

$$\psi' = 90 - \psi \quad (10)$$

Utilizando las Ecs. (1), (2) y (10) se determinó la altura solar correspondientes a los días de evaluación de módulo fotovoltaico mostrados en la Figura 10.

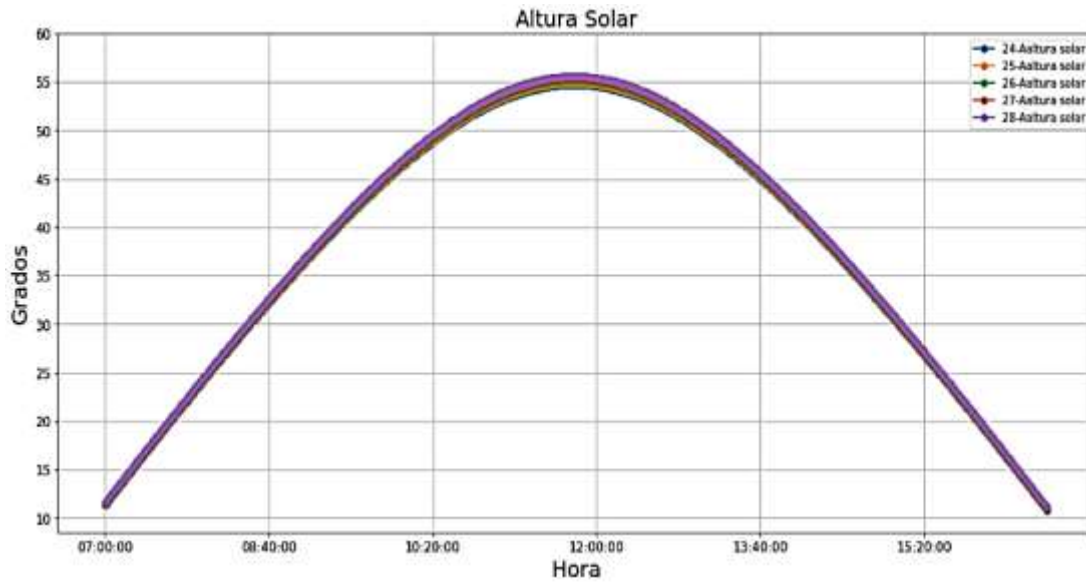


Figura 10. Curva de la altura solar según los resultados de la Ec. (10), estos valores de la curva nos permitirán determinar la altura del sol con respecto al lugar donde se está realizando las pruebas.

3.2.13 Azimut (α)

La Ec. (11) se utiliza para determinar la orientación de la superficie y se define como ángulo comprendido entre la proyección de la normal sobre el plano horizontal y la dirección sur, para que una superficie considerada negativo hacia el Este y positivo hacia el Oeste.

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(\delta) * \sin(h)}{\cos(\psi')} \quad (11)$$

Por consiguiente, se determinó el ángulo azimut para poder orientar la estructura del banco de ensayos para realizar pruebas de los módulos fotovoltaicos el cual se muestra en la Figura 11.

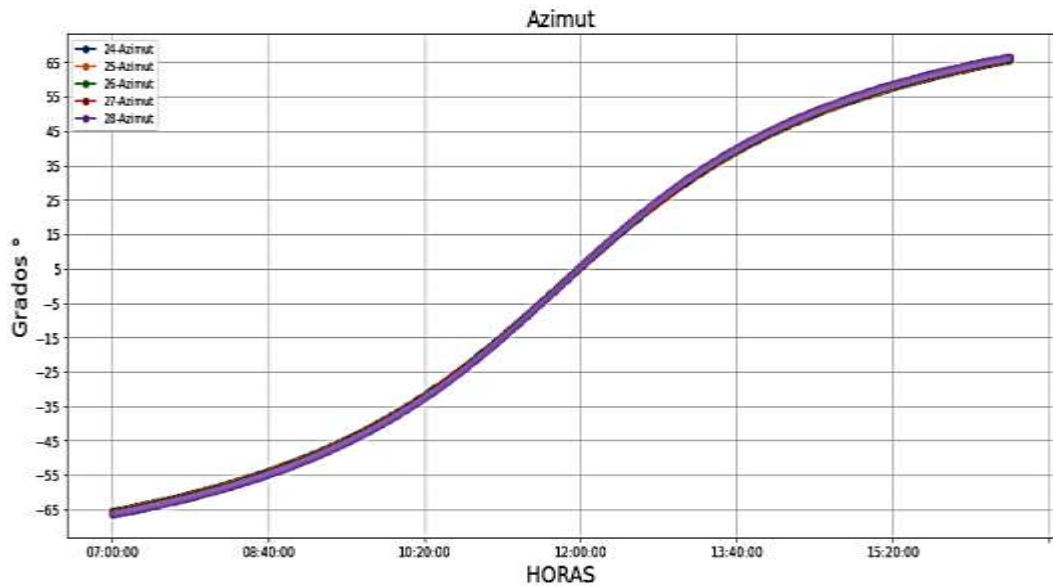


Figura 11. Curva azimutal según los resultados de la Ec. (11), estos datos permiten conocer la orientación del módulo fotovoltaico.

3.2.14 Masa de aire

La masa de aire es la longitud del camino de la luz a través de la atmósfera, tomando el camino más corto posible (es decir, cuando el sol está directamente perpendicular). La calidad del aire cuantifica la pérdida de energía a medida que la luz viaja a través de la atmósfera y es absorbida por el aire y el polvo está definido por la siguiente Ec. (12):

$$AM = \frac{1}{\cos(\psi)} \quad (12)$$

Dónde AM es masa de aire, ψ es el ángulo de la vertical (ángulo cenital).

Con el procedimiento de las ecuaciones se determinó la masa de aire de los respectivos días para la evaluación de módulos fotovoltaicos en condiciones estándares como lo indica la normativa IEC 60904-1 se llegó a los resultados que se muestra en la Figura 12.

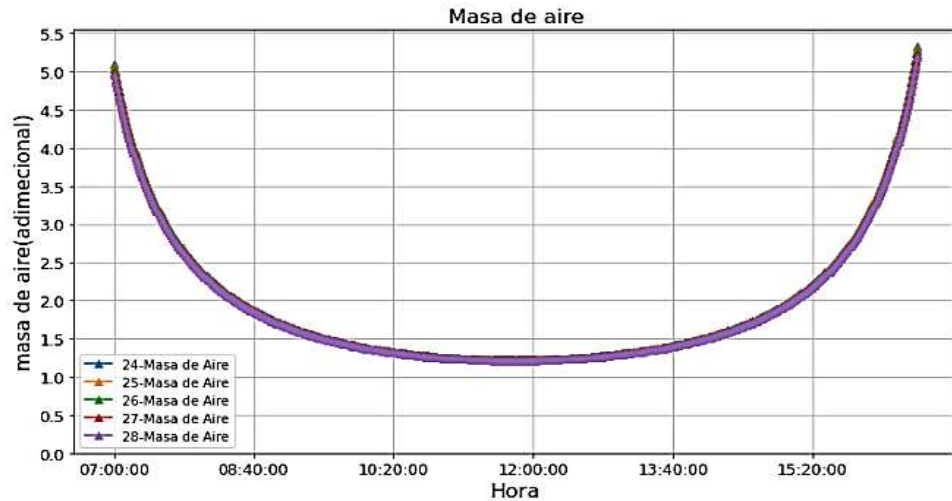


Figura 12. Masa de aire según los resultados de la ecuación (12), este dato nos permite saber la hora a la cual la masa de aire es la adecuada para realizar pruebas en condiciones STC.

3.3 Diseño de la estructura del banco de ensayos de caracterización

Se desarrollo el diseño de dos estructuras con las cuales poder realizar las pruebas correspondientes.

3.3.1 Estructura de pre-acondicionamiento a sol real

La estructura se realizó con la finalidad de poder realizar la inspección visual de los módulos fotovoltaicos, esta estructura tiene la capacidad para sostener hasta 2 módulos fotovoltaicos de 450 W o módulos más pequeños como se muestra en la siguiente Figura 13.

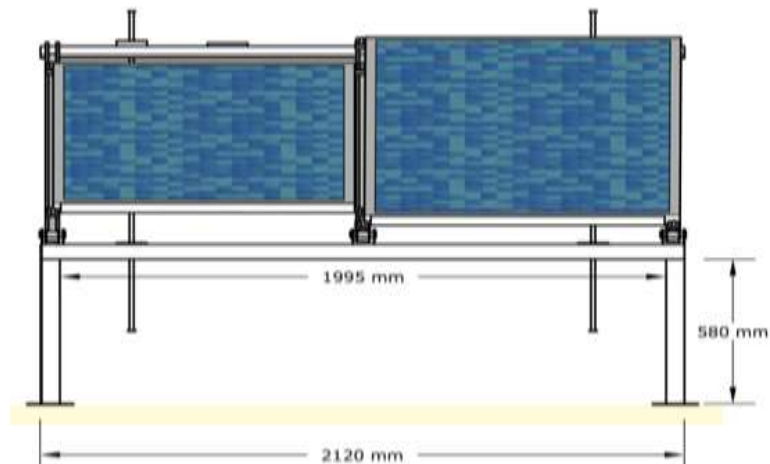


Figura 13. Vista frontal estructura de pre-acondicionamiento.

Un detalle a considerar es que la estructura puede variar su ángulo gracias al eje de rotación para adaptarse a las necesidades específicas de la investigación y así facilitar la realización de las pruebas como se observa en la Figura 14, este sistema cuenta con un ángulo de apertura máximo de hasta 45°.

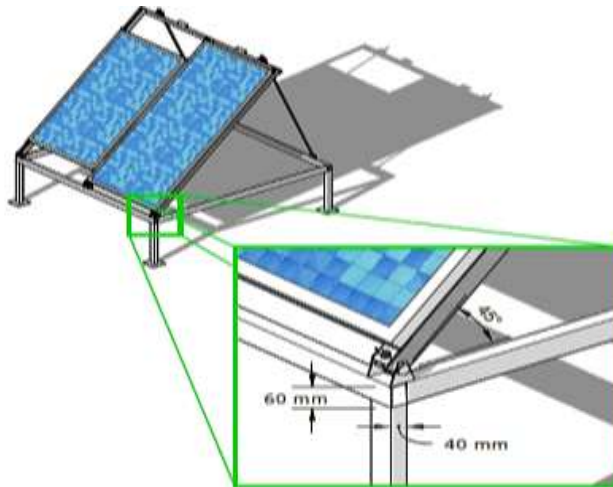


Figura 14. Vista de apertura y eje de rotación de 45° de la estructura pre-acondicionamiento.

Dicha estructura cuenta con 2 tubos que permiten fijar el ángulo deseado como se muestra en la Figura 15, también cuenta con cuatro perfiles en L en donde el módulo fotovoltaico se colocara y que se pueden graduar según el tamaño del módulo fotovoltaico utilizado.

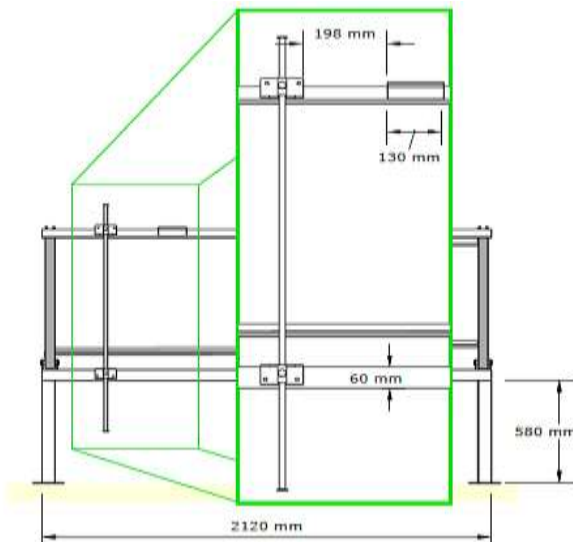


Figura 15. Vista posterior y visualización de tubos de fijación al ángulo deseado de la estructura de pre-acondicionamiento.

3.3.2 Estructura de post-acondicionamiento a sol real

La estructura de post-acondicionamiento se realizó para poder llevar a cabo el control de temperatura dentro del área semi aislada, en el cual se pueden caracterizar un módulo de hasta 450 W como se aprecia en la siguiente Figura 16.

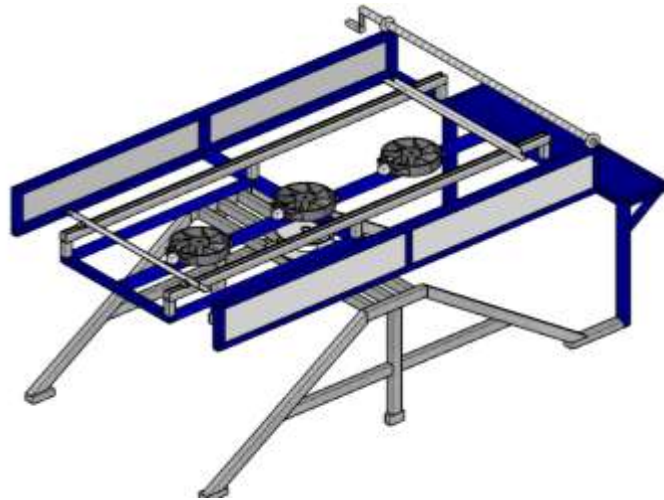


Figura 16. Vista en perspectiva de la estructura de post-acondicionamiento.

Una de las partes importantes de esta estructura de post-acondicionamiento es el diseño de la base de apoyo en el cual tiene un sistema de giro de dos grados de libertad en la parte superior para poder mover todo el sistema de control de temperatura junto con el módulo fotovoltaico y ubicarlo en la dirección del sol, como se muestra en la siguiente Figura 17.

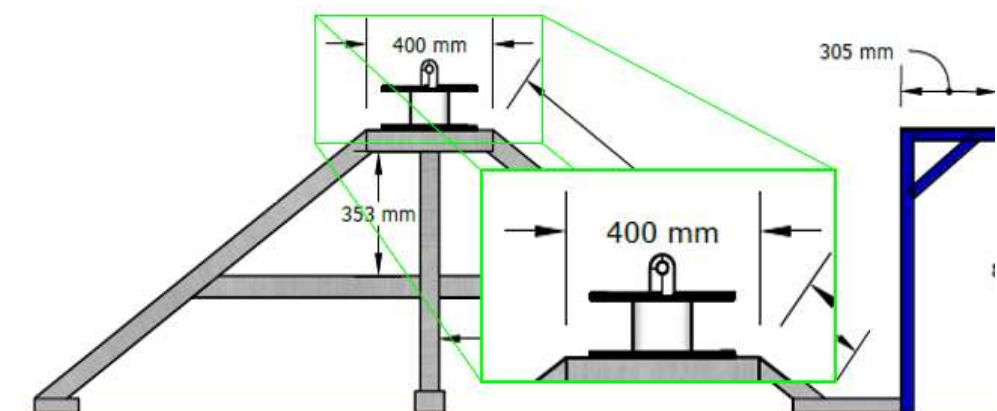


Figura 17. Vista de perfil de la base de apoyo y giratorio de la estructura de post-acondicionamiento.

La otra parte importante del sistema de post-acondicionamiento Figura 18, es el diseño de la estructura de control de temperatura, el cual cuenta con 3 ventiladores ubicados estratégicamente para controlar la temperatura de los módulos fotovoltaicos, gracias a su diseño se puede colocar un módulo de distintos tamaños, que no sobrepasen los 450 W.

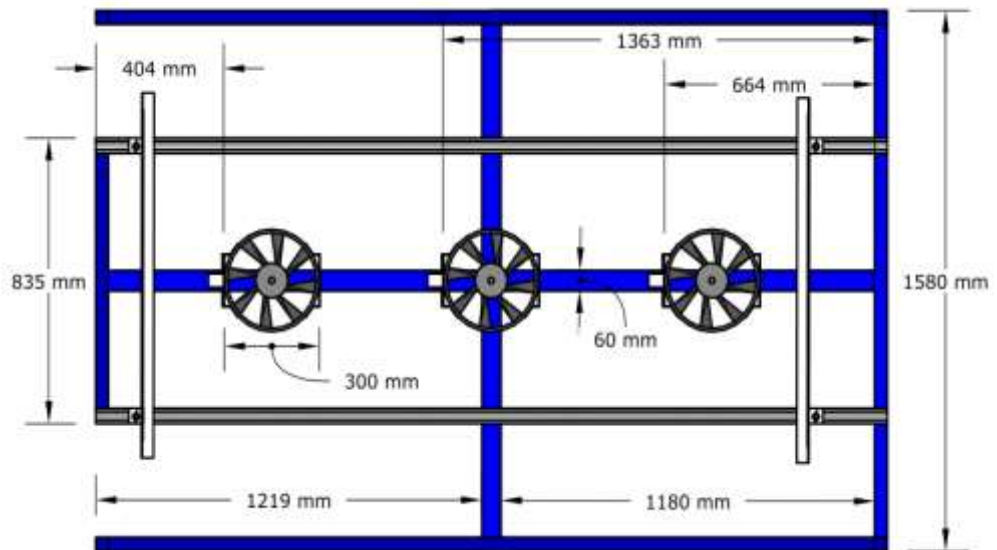


Figura 18. Vista de ventiladores para controlar la temperatura dentro del sistema de post-acondicionamiento.

3.4 Diseño de sistema de control

Para el diseño de control de temperatura se realizó los diagramas multifilares y la correspondiente programación, como se detalla a continuación:

3.4.1 El sistema de control de temperatura

Está compuesto por ventiladores los cuales tienen como función controlar y enfriar el módulo fotovoltaico, este sistema cuenta con un sensor de temperatura para cada zona donde se ubica el ventilador. Se desarrolló el diseño eléctrico de la conexión del sistema de ventilación para controlar la temperatura de forma manual o automática mediante el uso de un PLC, para ello tenemos el diagrama de fuerza y una fuente de alimentación de 12 V, así como también se tiene relés de 12 Voltios para cada ventilador, como se muestra en la Figura 19.

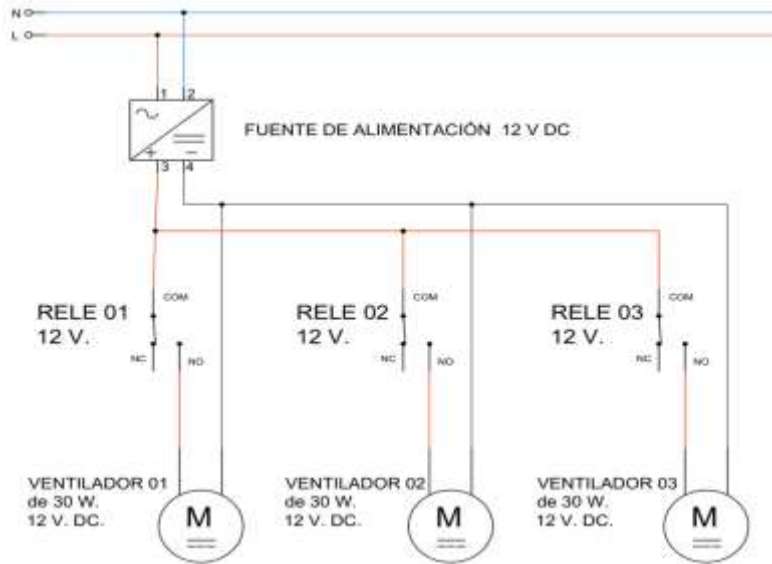


Figura 19. Esquema de conexión de los ventiladores en DC.

Luego se desarrolló el esquema de conexiones para controlar los ventiladores, en el cual se tiene un PLC logo 8 con dos módulos de expansión AM2 RTD que permiten conectar los sensores de temperatura pt100, el PLC luego de obtener el dato de temperatura puede activar una de sus salidas, que energiza la bobina del relé de 12 Voltios y así poder encender el ventilador, la forma de la conexión se puede apreciar en la Figura 20.

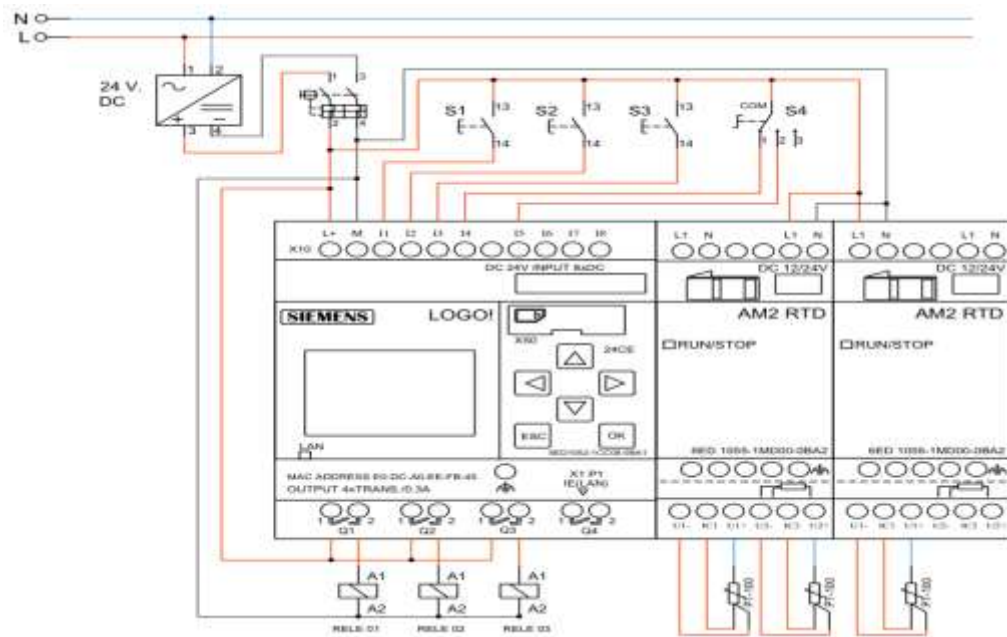


Figura 20. Diagrama de conexión para el control de temperatura con un PLC logo 8.

3.4.2 Programación en PLC logo

Luego se desarrolló la programación del PLC con el fin de poder realizar el control de temperatura de forma manual y automática según se requiere para la evaluación de módulos fotovoltaicos a sol real, con el cual se usó el software Logo Soft Confort que permite realizar la programación con la conexión de bloques, como se aprecia en la Figura 21.

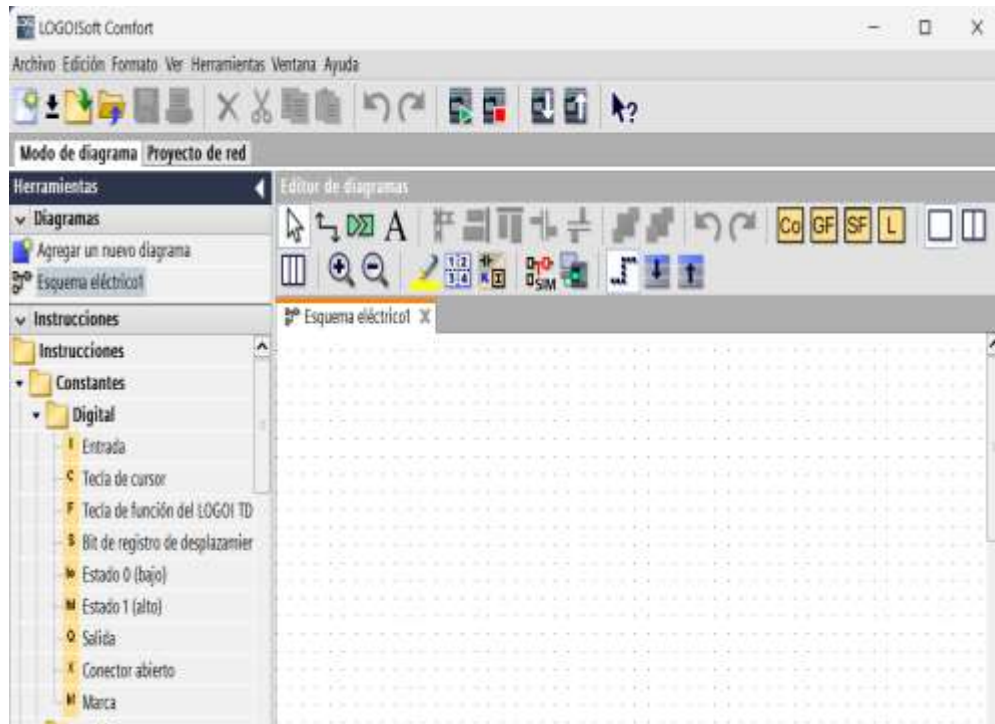


Figura 21. Interfaz de programación Logo Soft Confort utilizado para realizar el programa de control para los ventiladores del sistema.

3.4.3 Logo Web Editor para la creación de interfaces HMI

También se desarrolló una interfaz HMI con el fin de poder controlar los ventiladores desde una sala de control, dicha interfaz se desarrolló en el programa logo Web Editor como se muestra en la Figura 22, la interfaz HMI puede ser visualizada en un navegador desde una computadora o un celular.

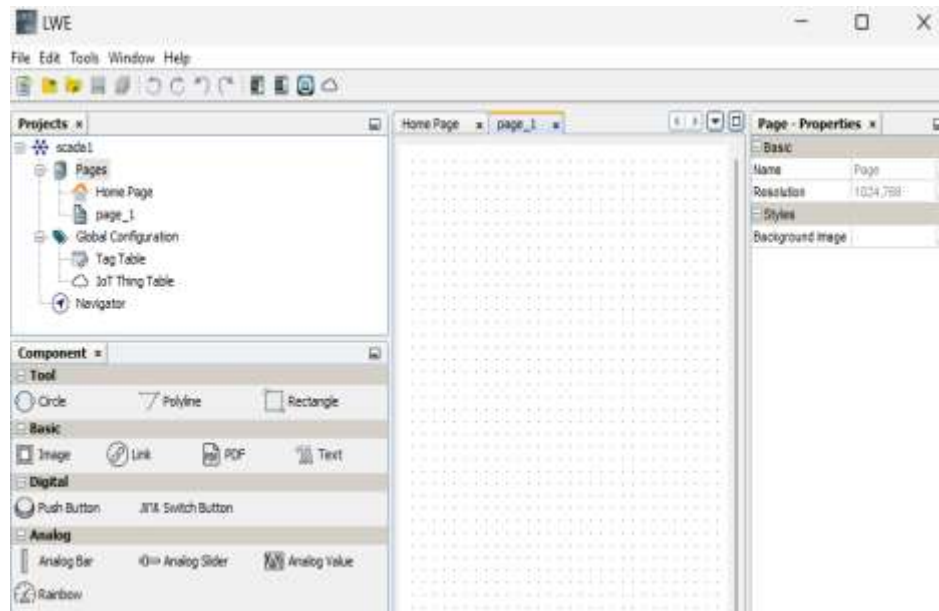


Figura 22. Interfaz de desarrollo Logo Web Editor utilizados para la creación de HMI y mostrar datos en tiempo real.

3.5 Materiales eléctricos y mecánicos

Los materiales que se utilizaron para elaborar el proyecto de investigación son los que se detallan a continuación.

3.5.1 Descripción de materiales mecánicos

a) Tubo rectangular

El tubo rectangular es un componente estructural ampliamente utilizado en proyectos mecánicos y de construcción. Se fabrica comúnmente con acero y se caracteriza por su forma rectangular como se visualiza en la Figura 23, Debido a su diseño, el tubo rectangular ofrece una excelente resistencia a la compresión y flexión, el cual lo hace ideal para soportar cargas pesadas y proporcionar estabilidad estructural, su diseño permite su uso en una amplia gama de aplicaciones como estructuras de soporte, los tubos rectangulares son fáciles de unir mediante soldadura (Espinosa, 2012).

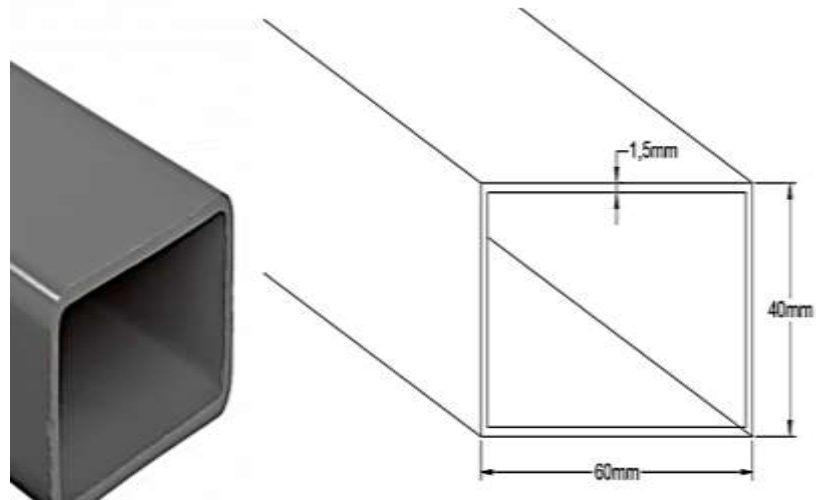


Figura 23. Tubo rectangular de acero 60x40x1.5mm (Homecenter, 2023).

b) Ángulos y platinas

Los ángulos se caracterizan por su forma en L como se aprecia en la Figura 24, con dos lados perpendiculares entre sí, mientras que las platinas son piezas planas y rectangulares, ambos componentes se fabrican comúnmente con acero al carbono, lo que les confiere alta resistencia y rigidez. Los ángulos se utilizan para crear uniones en ángulo recto, proporcionando estabilidad y soporte en estructuras metálicas, las platinas, por otro lado, son ideales para distribuir cargas concentradas y reforzar áreas específicas de una estructura, dichos materiales se pueden unir mediante soldadura, y su versatilidad los hace indispensables en la construcción de estructuras de soporte (Mato, 2020).

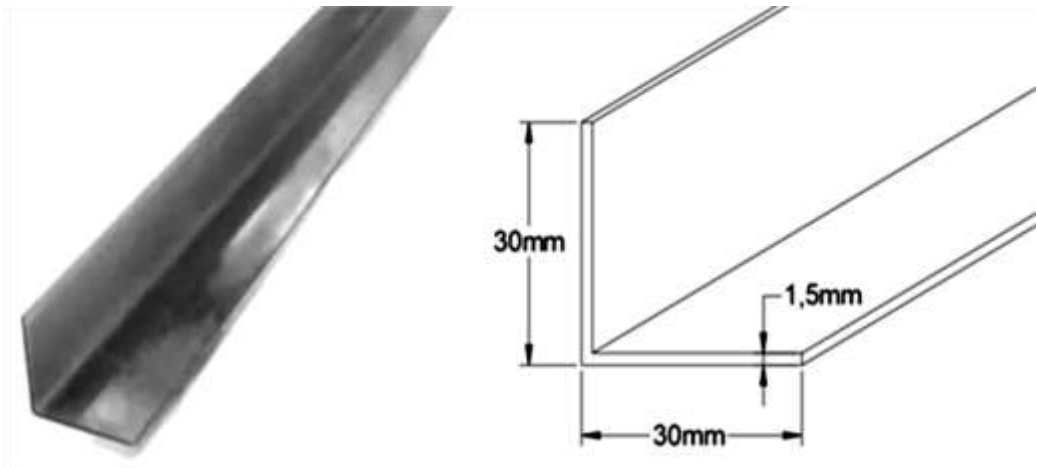


Figura 24. Ángulo de acero 30x30x1.5mm (Homecenter, 2023)

c) Tubería metálica

La tubería metálica se fabrica con diferentes tipos de metales, como acero, cobre o acero inoxidable como se aprecia en la Figura 25, en función de los requisitos específicos del proyecto. La tubería metálica es conocida por su resistencia mecánica, durabilidad y capacidad para soportar altas presiones y temperaturas, se utiliza en muchas aplicaciones industriales (Espinosa, 2012).



Figura 25. Tubería metálica (Homecenter, 2023).

d) Plancha metálica

La plancha metálica, también conocida como lámina metálica, es un material plano y rectangular como se observa en la Figura 26, está disponible en diferentes grosores según las necesidades específicas del proyecto. Las planchas metálicas pueden ser moldeadas, cortadas y perforadas para adaptarse a diferentes formas y tamaños requeridos en la construcción de componentes estructurales, cubiertas y revestimientos. Además, las planchas metálicas pueden ser sometidas a procesos de plegado, para obtener formas y geometrías específicas (Mato, 2020).



Figura 26. Plancha metálica (Aceros Arequipa, 2023).

e) **Riel Strut**

Es un componente metálico utilizado en la construcción de sistemas de soporte y estructuras mecánicas. Fabricado con acero galvanizado, se presenta en forma de perfil en U con perforaciones a lo largo de su longitud como se ve en la Figura 27, estas perforaciones permiten una fácil instalación y ajuste de accesorios. El riel Strut es versátil y se utiliza en una variedad de aplicaciones, como la construcción de estanterías, sistemas de conducción eléctrica, sistemas de suspensión y soporte para conductos (Industrias Electric, 2023).



Figura 27. Riel Strut (Industrias Electric, 2023)

f) **Rodamientos o cojinetes de bola**

Los rodamientos son elementos mecánicos para reducir la fricción y facilitar el movimiento suave entre dos partes en contacto. Están compuestos por una serie de bolas o rodillos alojados en una estructura metálica como se muestra en la Figura 28, fabricados en acero, los rodamientos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones mecánicas (Budynas & Nisbett, 2012).

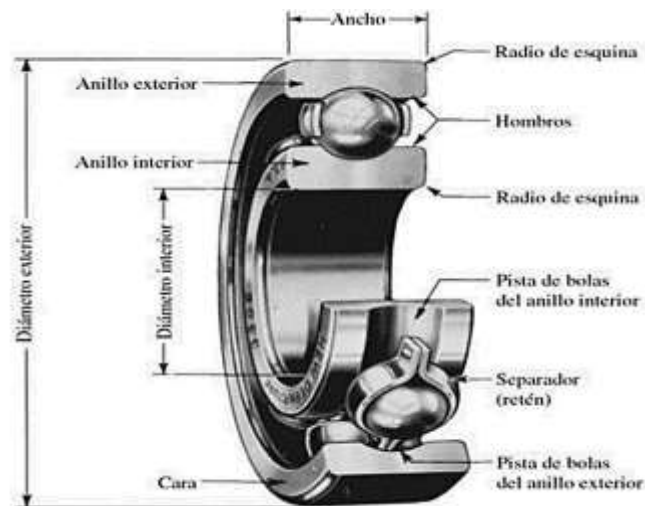


Figura 28. Rodamiento o cojinete (Budynas & Nisbett, 2012).

g) Pernos y tuercas

Un perno es un elemento de fijación mecánica diseñado para unir dos o más piezas de forma segura, también conocido como tornillo, el perno consta de un cuerpo cilíndrico con una cabeza en un extremo y una rosca en el otro. La cabeza del perno suele tener una forma hexagonal o cuadrada para facilitar su manipulación como se observa en la Figura 29, como una llave o una llave inglesa. Las roscas del perno están diseñadas para encajar en las roscas de una tuerca (Budynas & Nisbett, 2012).

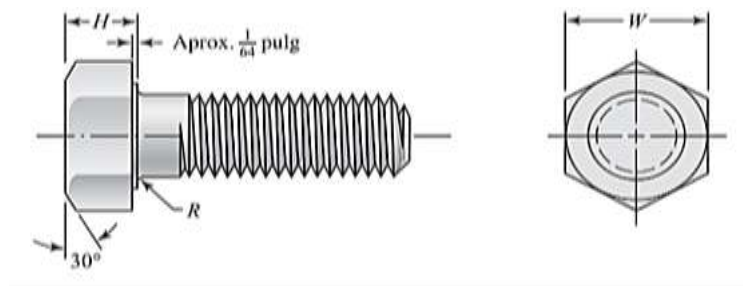


Figura 29. Tornillo de cabeza hexagonal (Budynas & Nisbett, 2012).

3.5.2 Descripción de materiales eléctricos

En este apartado se menciona los materiales eléctricos que se requieren para la monitorización de los datos:

a) PLC Logo

PLC LOGO es el módulo lógico general de Siemens Figura 30, que integra unidades de control, operación y visualización, fuente de alimentación, interfaz de módulo de programa y cable de PC, algunas funciones básicas prácticas, como retardo de activación/desactivación y relé de pulso (SIEMENS, 2018).



Figura 30. Controlador lógico programable Logo 8 (SIEMENS, 2018).

b) Tarjeta de ampliación LOGO AM2 RTD

Módulo de expansión LOGO AM2 RTD, fuente de alimentación: DC 12/24V, 2 entradas analógicas para sensores Pt100. El módulo base LOGO 8 se puede ampliar a 24 entradas digitales, 20 salidas digitales, 8 entradas analógicas y 8 salidas analógicas. Para ello, están disponibles varios módulos de expansión para aumentar el número de entradas y salidas digitales y analógicas como se aprecia en la Figura 31 (SIEMENS, 2018).



Figura 31. Tarjeta de ampliación para entradas analógica tipo AM2 RTD (SIEMENS, 2018).

c) Fuente de alimentación

Una fuente de alimentación Figura 32, es un dispositivo que convierte la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) para alimentar los diferentes circuitos de los dispositivos electrónicos conectados (computadoras, televisores, impresoras, enrutadores, etc.). La fuente de alimentación de los equipos electrónicos se puede dividir básicamente en fuente de alimentación lineal y fuente de alimentación conmutada (Rodriguez , 2018).



Figura 32. Fuente de alimentación (Rodriguez , 2018)

d) Relés

Son dispositivos electromagnéticos encargados de abrir y cerrar el paso de la corriente eléctrica y son activados por el mismo tipo de energía. Como se ve en la Figura 33, los relés se pueden utilizar para activar circuitos que consumen mucha energía magnetizando una bobina con un pequeño circuito de alimentación de 12 o 24 voltios (ADINDUSTRIAL, 2019).



Figura 33. Relés de 12 Voltios (ADINDUSTRIAL, 2019)

e) Un interruptor de palanca

Un interruptor de palanca o basculante es un tipo de interruptor eléctrico como se aprecia en la Figura 34, se activa manualmente mediante una palanca mecánica, manija o mecanismo basculante. Los interruptores de palanca vienen en muchos estilos y tamaños diferentes y se utilizan en una variedad de aplicaciones. Muchos están diseñados para activar múltiples componentes de contacto eléctrico simultáneamente o para controlar grandes cantidades de corriente eléctrica o energía de red (ADINDUSTRIAL, 2019).



Figura 34. Interruptor tipo palanca (ADINDUSTRIAL, 2019)

f) Selector de 3 posiciones

Un selector es un dispositivo eléctrico que permite modificar el circuito que debe seguir la corriente eléctrica Figura 35, Se asemejan a los interruptores en su diseño exterior, los selectores nos ayudan a tener un buen control en los sistemas de automatización (Energía y sociedad , 2017).



Figura 35. Selector de tres tiempos (Energía y sociedad , 2017)

g) Cable ethernet

Un cable Ethernet es un cable de red que se utiliza para conectar una computadora a un módem o enrutador. Sin embargo, también se puede usar con otros dispositivos, como algunos dispositivos de almacenamiento en red, consolas e incluso televisores inteligentes. Además, no siempre es necesario pasar el cable directamente al enrutador Figura 36. El Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF) mantiene los protocolos y servicios funcionales del conjunto de protocolos TCP/IP de nivel superior. Sin embargo, varias organizaciones de ingeniería profesional (IEEE, ANSI, ITU) o empresas privadas (protocolos propietarios) describen los protocolos y servicios funcionales de las capas de enlace de datos y física del modelo OSI (Industrias Electric, 2023).



Figura 36. Cable Ethernet (Industrias Electric, 2023)

h) Drone con cámara termográfica FLIR Bosón

Se tiene el equipo drone está equipado con el último sensor térmico FLIR Boson 640×512 como se muestra en la Figura 37, de una resolución térmica y tiene una frecuencia de imagen de 30 Hz garantiza un movimiento térmico suave y dinámico al adaptar las imágenes térmicas a la frecuencia de imagen del vídeo.



Figura 37. Drone cámara termográfica FLIR Boson 640×512 de resolución térmica (AUTEL ROBOTICS, 2022).

i) Ventiladores

Son maquinas rotatorias capaces de crear movimientos a una determinada masa de aire, a la que permite comunicar una cierta presión, lo suficiente para que pueda vencer las pérdidas de carga que se producen en la ventilación de los conductos Figura 38 (ADINDUSTRIAL, 2019).



Figura 38. Ventilador industrial (ADINDUSTRIAL, 2019)

j) Sensor de temperatura

Un sensor de temperatura basado en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura como se muestra en la Figura 39. Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia.



Figura 39. Sensor de temperatura PT100 (ADINDUSTRIAL, 2019).

La variación de la resistencia puede ser expresada de manera polinómica como sigue a continuación. Por lo general, la variación es bastante lineal en márgenes amplios de temperatura

k) Trazador de curva

Este dispositivo PVPM puede medir las características IV de los módulos fotovoltaicos, así como cadenas y matrices de hasta 1500 V y 20 ADC mostrado en la Figura 40. Utilizando un método patentado, el instrumento calcula la potencia máxima, R_s y R_p a partir de las características medidas directamente en el sitio de instalación y muestra estos valores en la pantalla gráfica integrada. El

PVPM1500X es un instrumento portátil alojado en una caja de plástico resistente al agua con una batería interna y un cargador de batería externo de amplio rango (PV-Engineering GmbH, 2018).



Figura 40. Trazador de curva PVPM1500X (PV-Engineering GmbH, 2018)

3.6 Software de monitoreo del sistema

El software es la parte más importante de este proyecto, ya que nos proporciona solides en las partes de la investigación. En la cual se menciona el software y complementos que se usaron para conllevar a cabo este proyecto.

- Sketchup.
- Jupyterlab.
- Notebook.
- Logo soft Confort.

3.7 Implementación de banco de ensayos

3.7.1 Construcción de la estructura

Para realizar la estructura de la implementación de un banco de ensayo, se comenzó la construcción con los diseños realizados y con los materiales adquiridos según el requerimiento de las pruebas al realizar como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. Estructura en construcción para el banco de pruebas de pre acondicionamiento y post acondicionamiento.

3.7.2 Instalación de la estructura post acondicionamiento

Una vez terminado con la construcción se trasladó hasta el Instituto de investigación en Energías Renovables y Eficiencia Energética, UNAJ sede Ayabacas, donde se empezó la instalación en el espacio estratégico seleccionado cuidadosamente para no tener interferencias por las sombras. La instalación de la primera estructura mostrado en la Figura 42, la misma nos servirá para la realización de pruebas de post-acondicionamiento según el procedimiento de las normativas indicadas para realización de pruebas a condiciones estándares (STC).



Figura 42. Instalación de la primera estructura de banco de ensayos.

3.7.3 Instalación de banco de pre-acondicionamiento

Se realizó la instalación de la segunda estructura diseñada para pre-acondicionar los módulos fotovoltaicos, el cual tiene una capacidad dos módulos de 450 W como se muestra en la Figura 43. Una vez terminada la instalación de las estructuras se realizan las pruebas de movimiento para que no tenga ningún inconveniente con el espacio, donde se pueda hacer rotaciones fácilmente.



Figura 43. Instalación de la estructura de pre acondicionamiento.

3.8 Instalación de los sistemas de control

3.8.1 Instalación de ventiladores en el sistema de control de temperatura

Los ventiladores son instalados sobre la estructura mediante pernos y tuercas para su fijación, esto permitirá su montaje y desmontaje fácilmente si se desea cambiar por otro ventilador, como se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Ventilador de 30 W sujetado en la estructura.

3.8.2 Instalación del tablero de control

Luego se acomoda e instala los dispositivos requeridos en el tablero de control, en donde se tiene la fuente de alimentación, un interruptor termomagnético, un PLC logo 8 con sus respectivas tarjetas de expansión para registrar los datos de temperatura y luego se tiene los relés de 12 Voltios que permiten el accionamiento de los ventiladores, todo ello se observa en la Figura 45.



Figura 45. Disposición de dispositivos en el tablero de control.

3.8.3 Instalación de los interruptores

El tablero de control cuenta con un interruptor de 3 posiciones el cual permite alternar entre el modo manual y automático, de la misma forma tiene un interruptor tipo palanca para accionar los ventiladores cuando está en el modo manual, como se aprecia en la Figura 46.



Figura 46. Selector de tres posiciones e interruptores tipo palanca.

3.8.4 Instalación del programa en el PLC

Una vez instalado los dispositivos correspondientes, se carga la programación en el PLC logo, el cual permitirá realizar el control de temperatura, y los valores de temperatura se podrá visualizar en la pantalla que viene incorporado en el PLC logo 8, como se muestra en la siguiente Figura 47.



Figura 47. Visualización de temperatura en el PLC logo.

3.8.5 Acceso a la interfaz HMI

Para acceder a la interfaz HMI del PLC logo 8 se tiene dos opciones: la primera es conexión directa a la computadora mediante cable ethernet, y la segunda es conectarlo a un router que permitirá el acceso inalámbrico desde una laptop o un celular como se aprecia en la Figura 48.



Figura 48. Conexión inalámbrica con la interfaz HMI del PLC logo 8.

3.8.6 Acceso desde una laptop

Para conectarnos a la interfaz HMI del PLC logo desde una laptop, debemos realizar una conexión mediante wifi o cable ethernet, luego de ello abrimos un navegador web, digitamos la IP del PLC logo 8 y cargara la ventana de inicio de sesión, en donde ponemos la contraseña correspondiente como se muestra en la Figura 49.

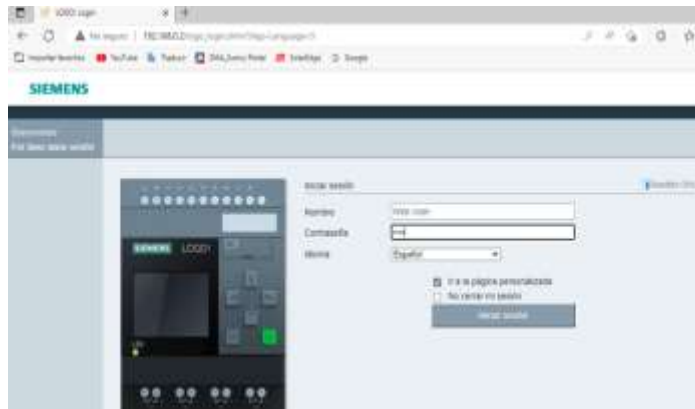


Figura 49. Ventana de inicio de sesión del PLC logo 8.

Luego de iniciar sesión se abrirá la interfaz HMI en el cual podemos visualizar la temperatura que tiene el sensor pt-100 que está ubicado estratégicamente cerca de cada ventilador, y desde el interfaz podemos encender y apagar los ventiladores mediante los pulsadores colocados en la interfaz como se muestra en la Figura 50.



Figura 50. Interfaz HMI del PLC logo 8 desarrollador para visualizar los valores de la temperatura en tiempo real, donde se puede seleccionar el ventilador a operar en el enfriamiento del módulo fotovoltaico.

3.8.7 Acceso desde un celular

Para el acceso a la interfaz desde un celular se debe conectarse a la red local mediante wifi, y luego se procede a digitar la dirección IP del PLC logo 8, seguidamente se abrirá la interfaz de inicio de sesión del PLC logo 8, en donde colocamos la contraseña e iniciamos sesión y una vez dentro ya se muestra la interfaz HMI como se observa en la Figura 51.

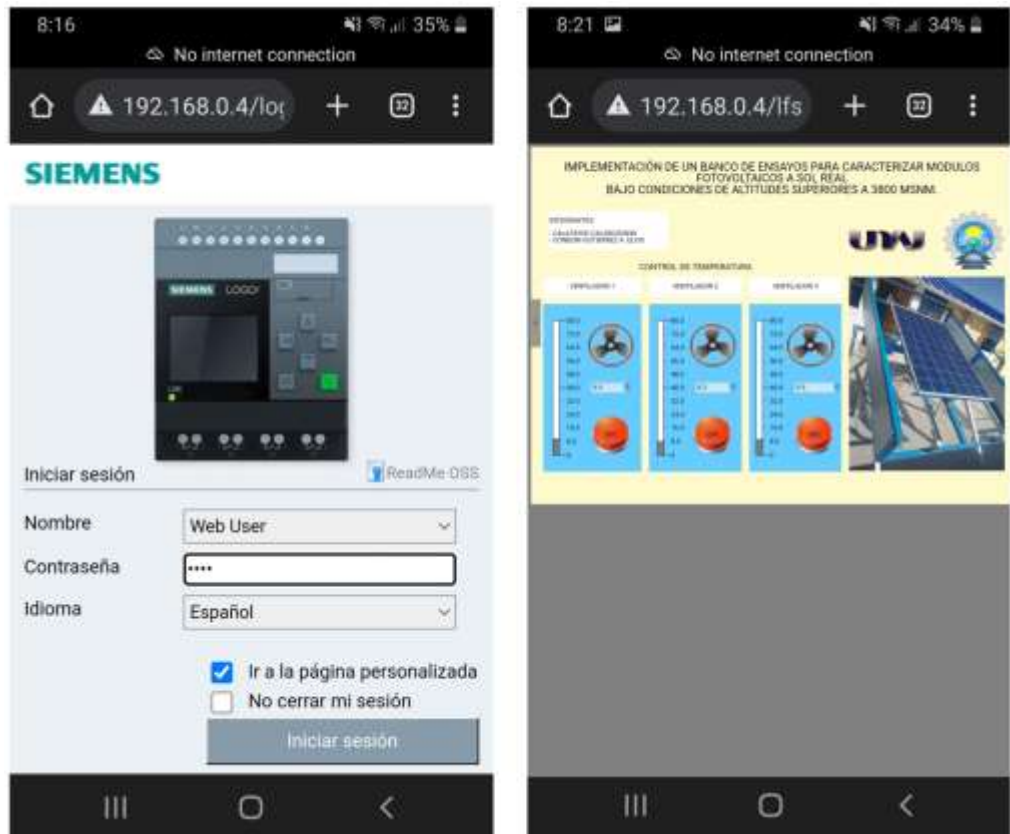


Figura 51. Acceso a la interfaz HMI desde un celular.

3.9 Procedimiento de Pruebas a diferentes irradiancias y temperaturas

Primero elegimos el módulo con el cual se hará las pruebas correspondientes, para este caso es el módulo fotovoltaico PROSTAR PPS-120W Policristalino, para el cual según su ficha técnica nos da la siguiente información como se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Datos de la ficha técnica del módulo fotovoltaico Prostar PPS-120W Policristalino.

PROSTAR PPS – 120 W Policristalino	
Potencia máxima (P_{max}).	120 W
Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mpp}).	18.0 V
Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mpp}).	6.67 A
Voltaje en circuito abierto (V_{oc}).	22.5 V
Corriente en corto circuito (I_{sc}).	7.2 A
Eficiencia del módulo en STC.	15.31 %
Rango de temperatura de operación.	-40 % a + 85 % °C
Coefficiente de temperatura de P_{max} .	-0.40 %/°C
Coefficiente de temperatura de V_{oc} .	-0.30 %/°C
Coefficiente de temperatura de I_{sc} .	0.05 %/°C

Para realizar las pruebas a distintas irradiancias y temperaturas se utilizó la estructura de post-acondicionamiento como se ve en la siguiente Figura 52, que permite variar el ángulo de inclinación, así como también realizar el control de temperatura.



Figura 52. Módulo Fotovoltaico colocado en la estructura de Post-acondicionamiento para poder realizar el trazado de curva correspondiente.

Luego desde la sala de control, se observó los valores de irradiancia, y temperatura a la cual está el módulo fotovoltaico como se observa en la Figura 53 y mediante la interfaz HMI activamos los ventiladores para controlar la temperatura.



Figura 53. Sala de control, para activar ventiladores mediante WI-FI o cable HMI.

Luego de realizar el trazado de curva correspondiente a cada medición, hacemos uso del software PV-Analysator para poder descargar la data registrada con el trazador de curva a la PC, como se muestra en la siguiente Figura 54.

File	Date	Voc/V	Isc/A	Pm/W	TMod/De	TSema/De	Eff/Wim	Mod.Type
24-07-2023 10_14_08.SUI	2023-07-24 10:14:00	22.52	8.9	111.5	20.6	36.6	998	PPS120W
24-07-2023 11_27_26.SUI	2023-07-24 11:27:26	22.07	7.0	111.6	24.9	41.9	1002	PPS120W
24-07-2023 11_30_58.SUI	2023-07-24 11:30:58	21.75	7.8	108.5	30.8	44.1	1002	PPS120W
24-07-2023 11_36_40.SUI	2023-07-24 11:36:40	21.24	7.0	106.4	35.1	46.5	1000	PPS120W
24-07-2023 11_40_12.SUI	2023-07-24 11:40:12	20.91	7.1	105.7	40.7	47.7	1002	PPS120W
24-07-2023 11_46_18.SUI	2023-07-24 11:46:18	20.60	7.1	104.0	46.5	48.8	1001	PPS120W
24-07-2023 12_03_38.SUI	2023-07-24 12:03:38	20.35	7.1	100.6	50.3	53.2	1000	PPS120W

Figura 54. Descarga de datos con el software PV-Analysator.

Luego verificamos la gráfica de la curva IV en el mismo software como se aprecia en la Figura 55, para ver que los parámetros sean los correctos, y luego exportamos los datos para poder realizar la comparación de las distintas pruebas que se realizaron.

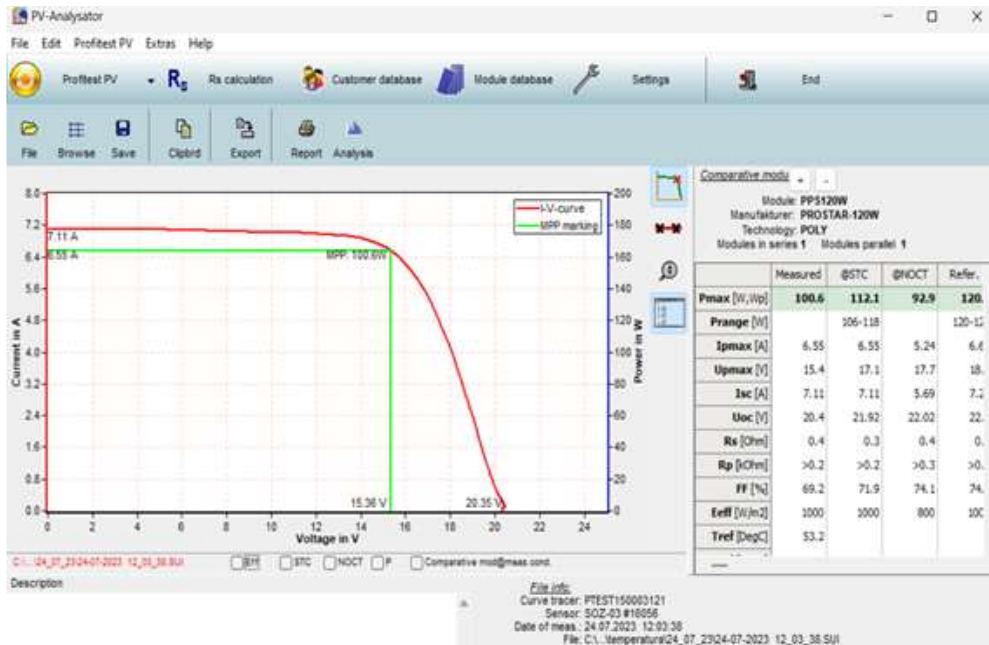


Figura 55. Pruebas a distintas Temperaturas e irradiancia constante.

3.9.1 Procedimiento para la prueba de homogeneidad de temperatura dentro de cámara de ensayo.

Para la realización de la prueba de la homogeneidad se tiene tres ventiladores como se aprecia en la Figura 56, de alta potencia el cual se encargará impulsar el aire hacia la celda fotovoltaica para poder bajar la temperatura y también controlar la temperatura dentro del banco de ensayos.

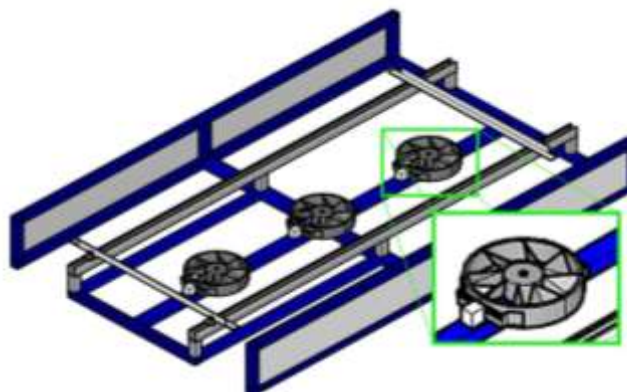


Figura 56. Ventiladores para control de temperatura dentro de la cámara de ensayos.

Para bajar la temperatura de manera rápida y para lograr la homogeneidad se lo coloca la cubierta que cubrirá toda la parte del área donde está el módulo

fotovoltaico como se ve en la Figura 57, el cual está diseñado para que sea práctico y no requiera mucho esfuerzo.

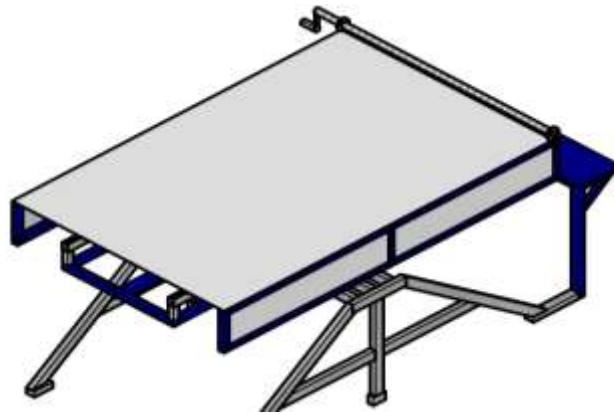


Figura 57. Vista en perspectiva de la cubierta para el control de temperatura implementación de la cubierta en la estructura.

3.10 Procedimiento para la evaluación de módulos fotovoltaicos a condiciones estándares según la normativa IEC 61215, IEC 60901-1

Para la evaluación de un módulo fotovoltaico en condiciones estándares, se realizó siguiendo los procedimientos según la normativa IEC 61215 y la normativa IEC 60904-1 que nos muestra pasos y condiciones para realizar pruebas a sol real, con ello verificar y certificar la calidad de un producto fotovoltaico, esos pasos y condiciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Pruebas de etiquetado para módulos fotovoltaicos (Mocelin, 2014).

Ensayo	Descripción
Control inicial	Realice una inspección visual del módulo que coincida con la información de la placa de identificación y verifique la información del manual de operación del equipo.
Pre acondicionamiento	Exponer el módulo fotovoltaico en circuito abierto a un nivel de irradiación entre 5 kWh/m ² y 5.5 kWh/m ² .
Inspección visual después del pre acondicionamiento	Comprobar que, tras la exposición, el módulo fotovoltaico no ha sufrido ninguna modificación visual.
Determinación de la potencia máxima	Determinación del punto de máxima potencia del módulo bajo las condiciones estándar de prueba (STC).







3.10.1 Control inicial para evaluar un módulo fotovoltaico en STC.

Lectura de las normativas de referencia que se indicaron anteriormente. Se seleccionó un módulo fotovoltaico nuevo Figura 58 y la obtención de la hoja de datos técnicos del fabricante las principales características eléctricas: P_{max} , I_{sc} , V_{oc} , V_{PMP} , I_{PMP} . Incluir los valores de los coeficientes de temperatura de la corriente, la tensión y la potencia (α , β , δ).



Figura 58. Módulos fotovoltaicos sometidos a ensayos.

Realización de la inspección visual del módulo fotovoltaico con la que debe coincidir la información de la placa de identificación y verificar que la información del manual de operación del producto fotovoltaico como se muestra en la Figura 59.

55 Watt Mono Solar Module		TPS-1055-55W	
Specifications			
Maximum Power (P_{max})	53W		
Rated Voltage (V_{mp})	17.2V		
Rated Current (I_{mp})	3.20A		
Open Circuit Voltage (V_{oc})	21.5V		
Short Circuit Current (I_{sc})	3.52A		
Maximum System Voltage	1000V		
Test Condition	AM1.5, 1000W/m ² , 25°C		
Safety			
Field Wiring: Copper Wire only	Wind resistance	2400PA	
22 AWG Minimum	Maximum system voltage	1000V	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">       </div>			
WARNING			
The module will increase in power when exposed to light. This photovoltaic module is a live power source in sunlight or artificial light.			
MADE IN CHINA			

Prueba de rendimiento en condiciones	
potencia pico (Wp)	55
Voltaje de circuito de abierto (Voc)	21.8
Corriente de corto circuito (Isc)	3.23
Voltaje de maxima potencia (Vmp)	18.3
Corriente de máxima potencia (Imp)	3

Figura 59. Especificaciones del módulo fotovoltaico TPS-10S-55W.

3.10.2 Pre acondicionamiento

Se requiere acondicionar el módulo seleccionado previo a la inspección visual de los datos, donde la normativa IEC 60904 indica exponer en circuito abierto a un nivel de irradiación entre 5 kWh/m^2 y 5.5 kWh/m^2 (Mocelin, 2014). Para llevar a cabo estos procedimientos de observación, la norma IEC 61215 requiere un nivel de iluminación superior a 1.000 lux, siendo necesario el uso de un luxómetro para medir este nivel en el momento de la inspección visual como se muestra en la Figura 60.



Figura 60. Módulo fotovoltaico TPS-10S-55W en pre-acondicionamiento donde se utiliza un luxómetro que indica una medida mayor a los 1000 lux.

3.10.3 Inspección visual después del pre acondicionamiento

Se observa cuidadosamente que el módulo fotovoltaico no haya sufrido ninguna modificación visual durante el pre-acondicionamiento como se aprecia en la Figura 61.



Figura 61. Inspección visual del módulo fotovoltaico.

3.10.4 Determinación de la potencia máxima

Para la determinación de la potencia máxima a sol real se consideró las siguientes condiciones para establecer la prueba en STC según las normativas para evaluar un módulo fotovoltaico: Se calculo la masa de aire (AM) de 1.5 para el día 24 de julio del 2023, se encontró la hora exacta para el día mencionado fue a las 9:32 horas y 9:33 horas como se muestra en la Figura 62.

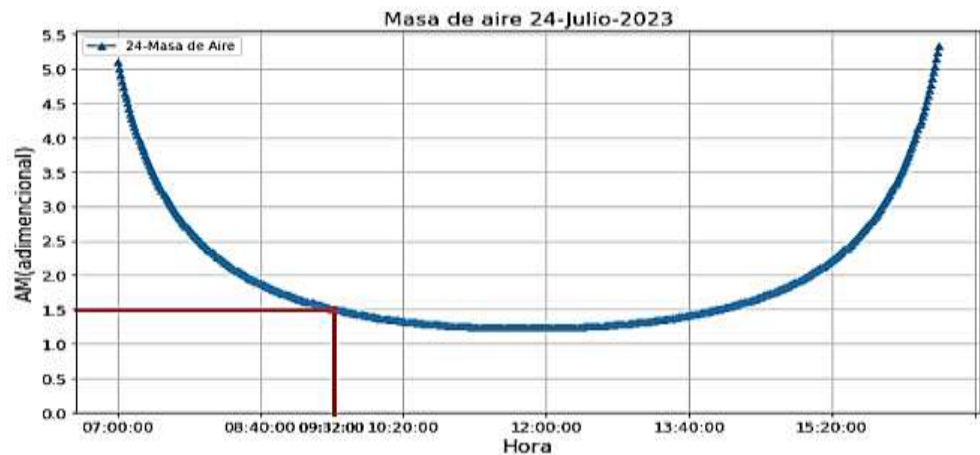


Figura 62. Curva de masa de aire y verificación de la masa de aire en (AM) 1.5 (adimensional) en hora y el día determinado.

De mismo modo se calculó la altura solar para el día 24 de julio del 2023 donde según la masa de aire 1.5 (adimensional) que da a las 9:32 am dada por la Ec. (12) y la inclinación de la altura solar que debe tomar el módulo es de 41.6° dada por la Ec. (10) como se muestra en la Figura 63.

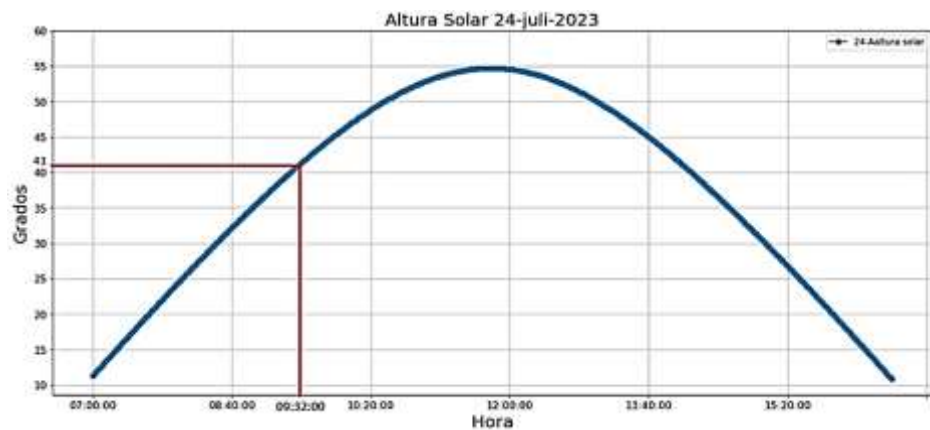


Figura 63. Curva de altura solar en grados y verificación de la hora y el grado.

Prosiguiendo, se ubicó el azimut para el día 24-julio-2023 según la masa de aire 1.5 (adimensional) y la hora de 09:32:00 am se encontró un ángulo de -44.6 como se aprecia en la Figura 64, hacia el oeste tomado el punto de inicio el sur.

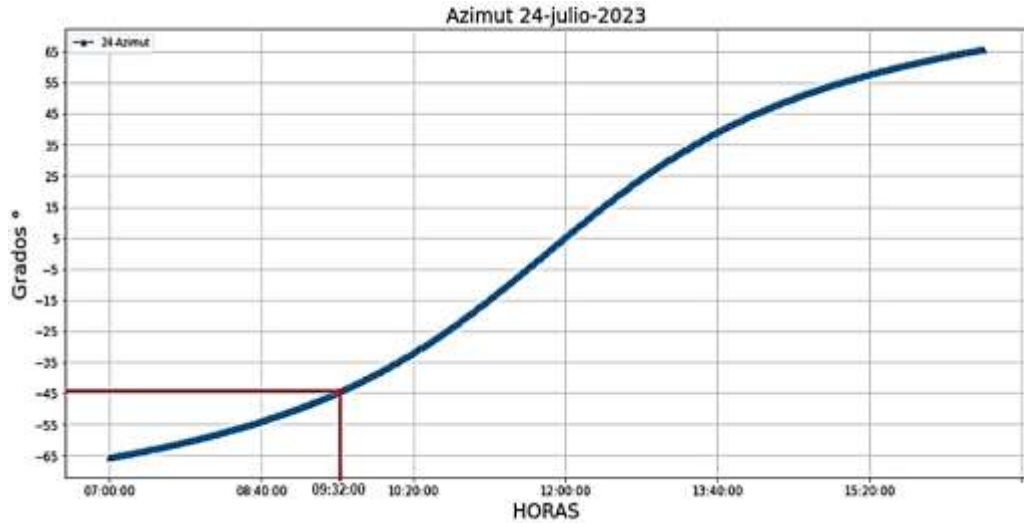


Figura 64. La curva de azimut y verificación del ángulo y la hora según la masa de aire.

Teniendo los datos obtenidos de referencia como la masa de aire 1.5 (adimensional), orientados a la altura solar a 41.6 grados y el azimut a -44.6 grados se procede a la realización de la prueba en nuestro banco de ensayos colocando la brújula considerada negativo hacia el Este y positivo hacia el oeste Figura 65.



Figura 65. Colocación al ángulo azimutal según a la hora y el día correspondiente.

Se posiciona la altura solar del banco de ensayo con el inclinómetro a los 41.6° mostrado en la Figura 66, según la hora y el día correspondiente.



Figura 66. Colocación de altura solar según ángulo correspondiente a la hora para realización de la prueba.

Después de la pre acondicionamiento se puso el módulo al banco de ensayos, prosiguiendo las indicaciones de las normativas mencionadas, del mismo modo se verifican los sensores de temperatura para monitorear toda el área del módulo fotovoltaico como se puede apreciar en la Figura 67, la normativa IEC 60904 y IEC 61215 recomienda tomar las medidas a $25^\circ \pm 1^\circ \text{C}$ para tomar la curva en STC.



Figura 67. Sensores de temperatura colocados en la modulo fotovoltaico.

Se monitorea la irradiancia según la normativas mencionadas y IEC 61215 nos recomienda que la evaluación se debe realizar a $1000 \pm 1 \text{ W/m}^2$, el cual se verifica gracias a la celda calibrada que lleva el trazador de curva como se ve en la Figura 68.



Figura 68. Celda calibrada o sensor de irradiancia solar SOZ03 monocristalino.

3.10.5 Sala de control y monitorización

La sala de control es donde se verifica las temperaturas, irradiancia, donde se encuentra el trazador de curvas para realizar el trazo de la curva en condiciones estándares STC u otras condiciones. Una vez alcanzado las condiciones estándares según las normativas mencionadas se realiza la prueba de la potencia máxima con el trazador de la curva PVPM1500X Siendo el instrumento principal para realizar las evaluaciones el cual nos indicara los resultados P_{\max} , P_{\min} , I_{sc} , I_{mpp} , V_{ac} , V_{mpp} , como se muestra en la Figura 69.

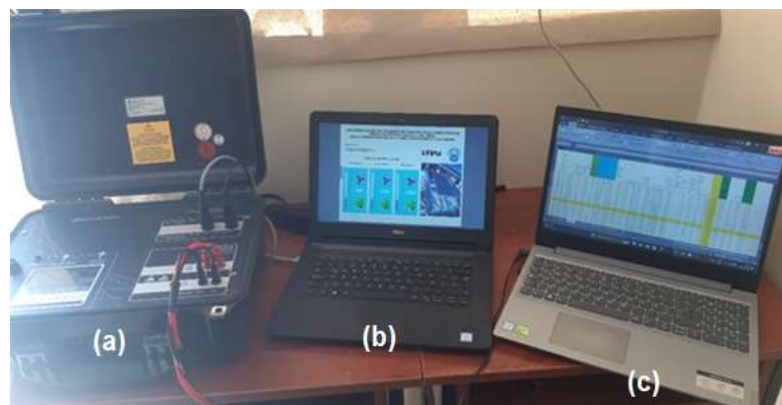


Figura 69. Sala de control y monitorización: (a) trazador de curvas, (b) laptop con interfaz de control de temperatura, (c) laptop de procesamiento de datos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados de pruebas variando la irradiancia y la temperatura

Posterior al trabajo de campo se fueron analizando los datos obtenidos de las pruebas realizadas a distintas temperaturas e irradiancia constante, y del mismo modo se realizó el análisis de las pruebas a distintas irradiancias y temperatura constante, con el fin de demostrar que el banco de ensayos tiene la capacidad de desarrollar distintas pruebas.

4.1.1 Curva I-V a distintas temperaturas e irradiancia constante

Para ver el comportamiento de la curva I-V del módulo fotovoltaico PROSTAR PPS de 120 W se realizó 5 medidas a temperaturas: 30.78 °C, 35.10 °C, 40.67 °C, 46.53 °C y 50.29 °C, todos con una irradiancia de 1000 W/m² con una tolerancia del ±0.5 % para la irradiancia sugeridas por la normativa IEC 60904, el conjunto de datos completos tomados se aprecia en el Anexo 2 y una pequeña muestra de estos datos en la Tabla 3.

Tabla 3

Muestra de los primeros 12 datos de las distintas pruebas a distintas temperaturas para irradiancia constantes con toleración de ±0.5 %, G es la irradiancia en W/m², T es la temperatura en °C, U es la tensión expresada en V, I es la corriente expresada en A.

G (W/m ²): 1002		G (W/m ²): 1000		G (W/m ²): 1002		G (W/m ²): 1001		G (W/m ²): 1000	
T (°C): 30.78		T (°C): 35.10		T (°C): 40.67		T (°C): 46.53		T (°C): 50.29	
U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)
0.00	7.03	0.00	7.04	0.00	7.07	0.00	7.09	0.00	7.11
5.24	7.03	5.23	7.04	5.22	7.07	5.23	7.09	5.30	7.11
8.21	6.98	8.38	6.98	8.44	7.01	8.59	7.04	8.91	7.05
9.66	6.95	9.90	6.96	9.96	6.99	10.13	7.00	10.61	7.02
10.38	6.94	10.64	6.95	10.69	6.97	10.83	6.99	11.33	7.00
11.14	6.93	11.41	6.93	11.45	6.96	11.57	6.98	12.05	6.99
11.89	6.92	12.16	6.92	12.19	6.95	12.30	6.97	12.75	6.97
12.64	6.91	12.89	6.90	12.91	6.93	13.00	6.96	13.42	6.94
13.38	6.90	13.60	6.90	13.62	6.92	13.67	6.93	14.04	6.88
14.08	6.89	14.28	6.87	14.29	6.89	14.31	6.89	14.62	6.78
14.75	6.86	14.94	6.82	14.92	6.84	14.91	6.82	15.17	6.63
15.39	6.80	15.55	6.73	15.51	6.74	15.47	6.69	15.66	6.42

Luego de tener los datos organizados, realizamos la gráfica correspondiente a dichos datos, considerando el voltaje como eje de las abscisas, y la corriente como eje de las ordenadas. Viendo la gráfica que se muestra en la Figura 70, se puede apreciar claramente que las distintas temperaturas hacen que se produzca una variación en el voltaje, comprobando que a mayor temperatura disminuye el voltaje.

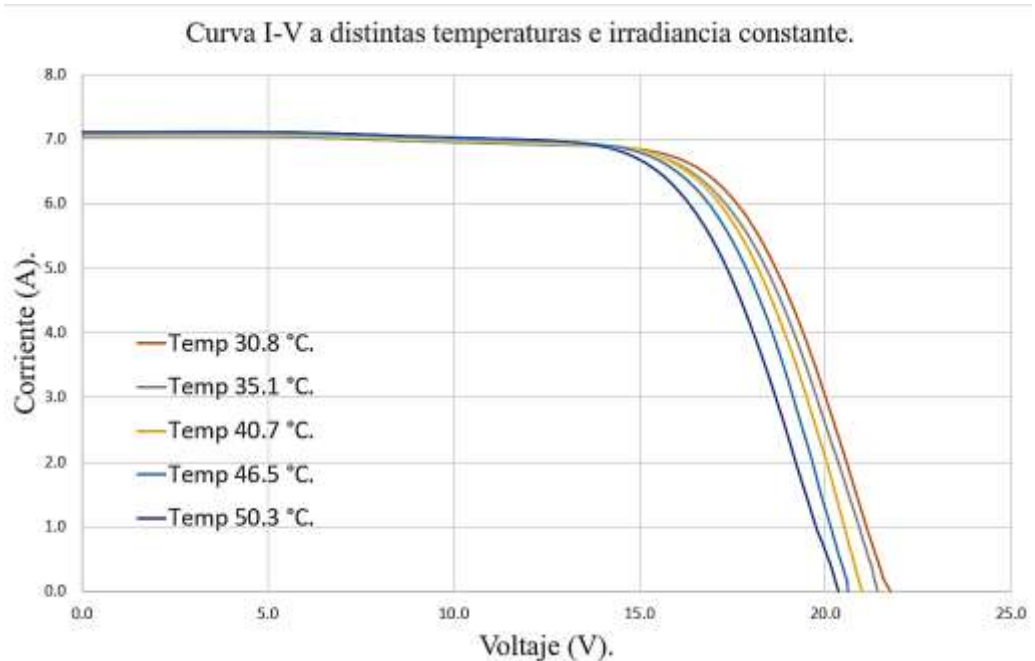


Figura 70. Gráfica de las curvas I-V a distintas temperaturas, donde se aprecia que a mayor temperatura disminuye el voltaje afectando a si al rendimiento óptimo de un módulo fotovoltaico.

4.1.2 Curva P-V a distintas temperaturas e irradiancia constante

También se puede realizar la gráfica de la curva P-V este tipo de graficas nos permite analizar como varia el comportamiento de la potencia y el voltaje cuando se evalúa a distintas temperatura y se aprecia que a mayor temperatura el módulo fotovoltaico baja su potencia y es por ello que tiene un rendimiento menor, con los datos obtenidos del módulo fotovoltaico PROSTAR PPS de 120 W se ordenó los datos considerando una irradiancia constante de 1000 W/m^2 , y a distintas temperaturas de $30.78 \text{ }^\circ\text{C}$, $35.10 \text{ }^\circ\text{C}$, $40.67 \text{ }^\circ\text{C}$, $46.53 \text{ }^\circ\text{C}$, $50.29 \text{ }^\circ\text{C}$, los datos completos de la prueba se encuentran en el Anexo 2, una pequeña muestra se aprecia en la siguiente Tabla 4, en donde P es la potencia expresada en W.

Tabla 4

Muestra de los primeros 12 datos de las pruebas realizadas a distintas temperatura e irradiancia constante considerando una toleración del $\pm 0.5\%$ para la irradiancia, el tiempo en que se toma estos datos es en milisegundos.

G (W/m ²): 1002		G (W/m ²): 1000		G (W/m ²): 1002		G (W/m ²): 1001		G (W/m ²): 1000	
T (°C): 30.78		T (°C): 35.10		T (°C): 40.67		T (°C): 46.53		T (°C): 50.29	
U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.2	36.9	5.2	36.8	5.2	36.9	5.2	37.1	5.3	37.7
8.2	57.3	8.4	58.5	8.4	59.2	8.6	60.4	8.9	62.8
9.7	67.1	9.9	68.9	10.0	69.6	10.1	71.0	10.6	74.4
10.4	72.1	10.6	73.9	10.7	74.5	10.8	75.7	11.3	79.4
11.1	77.2	11.4	79.1	11.4	79.7	11.6	80.8	12.0	84.2
11.9	82.3	12.2	84.1	12.2	84.7	12.3	85.7	12.8	88.9
12.6	87.4	12.9	89.0	12.9	89.5	13.0	90.4	13.4	93.1
13.4	92.3	13.6	93.8	13.6	94.2	13.7	94.8	14.0	96.6
14.1	97.0	14.3	98.2	14.3	98.5	14.3	98.6	14.6	99.2
14.8	101.2	14.9	101.9	14.9	102.1	14.9	101.6	15.2	100.6
15.4	104.7	15.6	104.6	15.5	104.5	15.5	103.5	15.7	100.5

Una vez que se tiene la tabla ordenada, realizamos la gráfica de los datos, en donde se observó que el aumento de la temperatura influye en la perdida de potencia como se aprecia en la siguiente Figura 71.

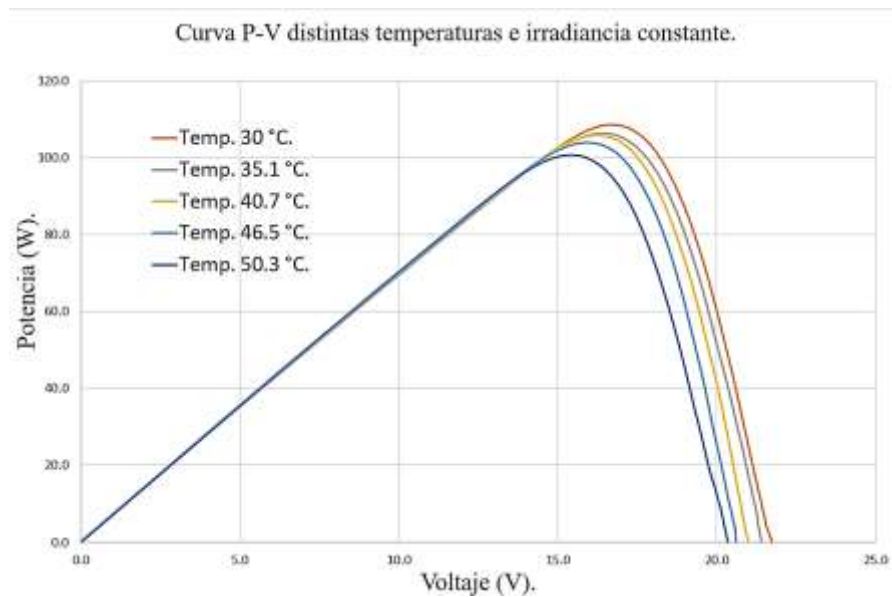


Figura 71. Grafica de las curvas P-V a distintas temperaturas e irradiancia constante, donde se aprecia que a mayor temperatura se tiene una menor potencia.

4.1.3 Curva I-V a diferentes irradiancias y temperatura constante

Seguidamente analizamos los datos que se obtuvieron en las pruebas a realizadas al módulo fotovoltaico PROSTAR PPS de 120 W, en donde se tiene 5 medidas con irradiancias de 901 W/m², 952 W/m², 1000 W/m², 1050 W/m² y 1090 W/m², todos con una temperatura de 25 °C y una tolerancia de ±5% para la temperatura, todo el conjunto de datos tomados se visualiza en el Anexo 2 y un modelo de estos datos está en la siguiente Tabla 5.

Tabla 5.

Los primeros 12 datos de las pruebas realizadas a distintas irradiancias y temperatura constante, la muestra de datos se obtuvo en milisegundos.

G (W/m²): 901		G (W/m²): 952		G (W/m²): 1000		G (W/m²): 1050		G (W/m²): 1090	
T (°C): 25.52		T (°C): 25.29		T (°C): 25.66		T (°C): 25.20		T (°C): 25.25	
U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)
0.00	6.26	0.00	6.62	0.00	6.97	0.00	7.33	0.00	7.62
4.95	6.26	5.08	6.62	5.22	6.97	5.35	7.33	5.46	7.62
7.17	6.22	7.59	6.58	8.40	6.90	9.05	7.26	8.82	7.56
8.31	6.20	8.85	6.55	9.96	6.87	10.74	7.23	10.44	7.53
8.94	6.18	9.52	6.53	10.71	6.86	11.49	7.22	11.24	7.51
9.60	6.17	10.22	6.52	11.49	6.85	12.29	7.20	12.06	7.50
10.27	6.15	10.95	6.51	12.26	6.84	13.07	7.19	12.87	7.49
10.96	6.15	11.68	6.49	13.02	6.83	13.83	7.18	13.66	7.48
11.65	6.14	12.41	6.48	13.75	6.81	14.56	7.16	14.43	7.47
12.35	6.13	13.13	6.47	14.47	6.80	15.26	7.14	15.15	7.45
13.05	6.12	13.84	6.47	15.16	6.77	15.92	7.09	15.84	7.40
13.73	6.11	14.53	6.46	15.80	6.73	16.53	7.00	16.48	7.32

Luego de tener los datos organizados en una tabla, realizamos la gráfica correspondiente a los datos, teniendo en cuenta el voltaje como eje de las abscisas, y la corriente como eje de las ordenadas. Observando la gráfica que se muestra en la Figura 72, en donde observamos que a medida que se tiene distintas irradiancias, hace que la corriente del módulo cambie, en el cual se observa que a mayor irradiancia hay mayor corriente.

Curva I-V a diferentes irradiancias y temperatura constante.

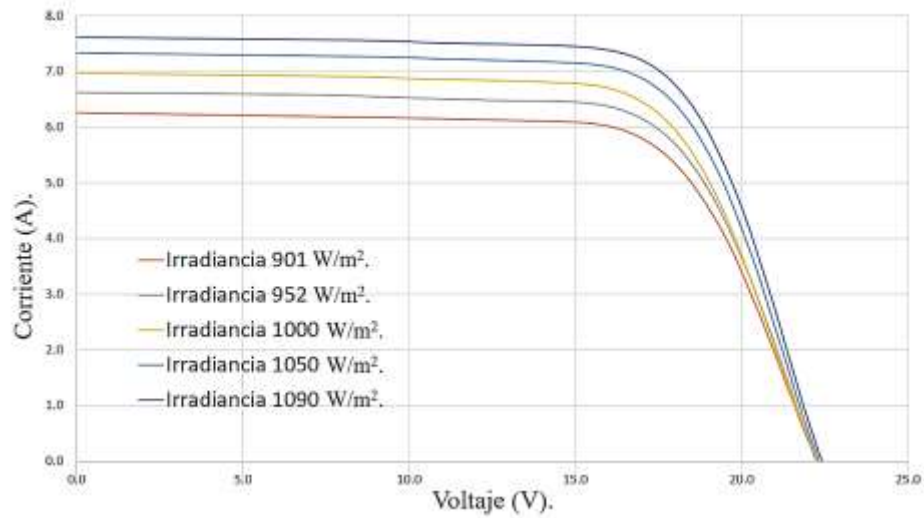


Figura 72. Grafica de las curvas IV a distintas irradiancias.

4.1.4 Curva P-V a diferentes irradiancias y temperatura constante

La curva de potencia versus voltaje es obtenida con la temperatura constante de 25 °C y distintas e irradiancias de 901 W/m², 952 W/m², 1000 W/m², 1050 W/m², 1090 W/m², los datos completos obtenidos están en el Anexo 2 y una muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Muestra de los primeros 12 datos con diferentes irradiancias y temperatura constante, el trazador de curva PVPM1500X toma la muestra de datos en milisegundos.

G (W/m ²): 901		G (W/m ²): 952		G (W/m ²): 1000		G (W/m ²): 1050		G (W/m ²): 1090	
T (°C): 25.52		T (°C): 25.29		T (°C): 25.66		T (°C): 25.20		T (°C): 25.25	
U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	31.0	5.1	33.7	5.2	36.4	5.3	39.2	5.5	41.6
7.2	44.6	7.6	49.9	8.4	58.0	9.0	65.7	8.8	66.7
8.3	51.5	8.9	58.0	10.0	68.4	10.7	77.6	10.4	78.6
8.9	55.3	9.5	62.2	10.7	73.5	11.5	82.9	11.2	84.4
9.6	59.2	10.2	66.6	11.5	78.7	12.3	88.5	12.1	90.4
10.3	63.2	11.0	71.3	12.3	83.9	13.1	93.9	12.9	96.4
11.0	67.4	11.7	75.9	13.0	88.9	13.8	99.2	13.7	102.3
11.7	71.6	12.4	80.4	13.8	93.7	14.6	104.3	14.4	107.8
12.4	75.7	13.1	84.9	14.5	98.3	15.3	108.9	15.2	112.8
13.0	79.8	13.8	89.5	15.2	102.7	15.9	112.9	15.8	117.3
13.7	83.9	14.5	93.9	15.8	106.3	16.5	115.7	16.5	120.7

Luego con los datos ordenados en una tabla realizamos las gráficas correspondientes, considerando a la potencia como eje de las ordenadas y el voltaje en el eje de las abscisas. Observando la Figura 73.

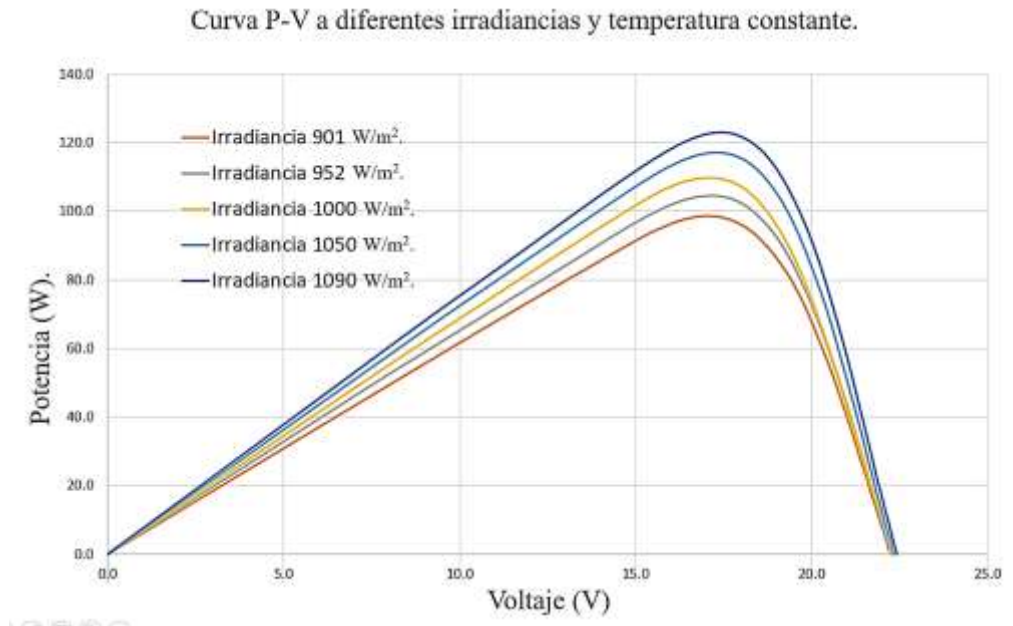


Figura 73. Curva de potencia vs voltaje a diferentes irradiancias y temperatura constante.

4.2 Resultados de la prueba de homogeneidad

La verificación de la homogeneidad en el módulo fotovoltaico demanda que toda su área mantengan una temperatura uniforme. Con el propósito de llevar a cabo pruebas en condiciones estándar (STC), se ha fijado el rango de temperatura de $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$, conforme a las directrices establecidas en la normativa IEC 61215-2 del año 2021. Esta medida es esencial para garantizar la rigurosidad y validez de las pruebas realizadas a la temperatura específica requerida, proporcionando un marco normativo que asegure la coherencia y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Para ellos se realizó pruebas al medio día con un Dron como se muestra en el Anexo 3, donde la temperatura llego a las temperaturas más altos o críticos, donde se registró a una temperatura de $54 ^\circ\text{C}$ como se muestra en la Figura 74, donde la temperaturas de los sensores PT100 registra los siguientes datos $53.6 ^\circ\text{C}$, $53.5 ^\circ\text{C}$ y $54.0 ^\circ\text{C}$ y se comprueba con los resultados de la cámara termográfica en la Figura 75.



Figura 74. Temperatura de 54 °C obtenida en tiempo real, para comparar los datos de los sensores con los datos de la cámara termográfica.

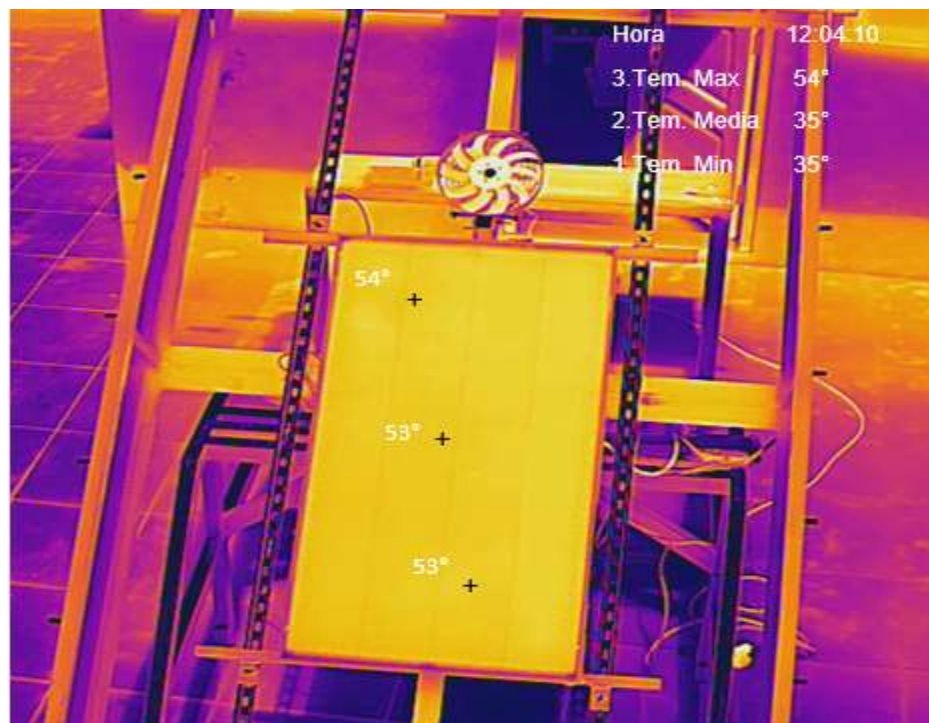


Figura 75. Temperatura registrada con la cámara termográfica donde se aprecia la temperatura uniforme a en el área del módulo fotovoltaico, el cual es también comparada con la temperatura de los sensores PT-100 instalados en el sistema.

Una vez obtenido el valor de la temperatura alta a la que llegó el módulo fotovoltaico, se activó los ventiladores con el fin de enfriar el módulo fotovoltaico, en el

cual se aprecia un gradiente de temperatura, que indica que la temperatura no baja uniformemente, como se aprecia en los datos registrados 33.3 °C, 35.5 °C 31.8 °C en la Figura 76, cabe aclarar en esta evaluación solo está trabajando dos ventiladores y tres sensores de PT100. Los resultados de la Figura 77, se refleja en las ilustraciones tomadas con la cámara termográfica en la que se aprecia como empieza a perder la temperatura por puntos.

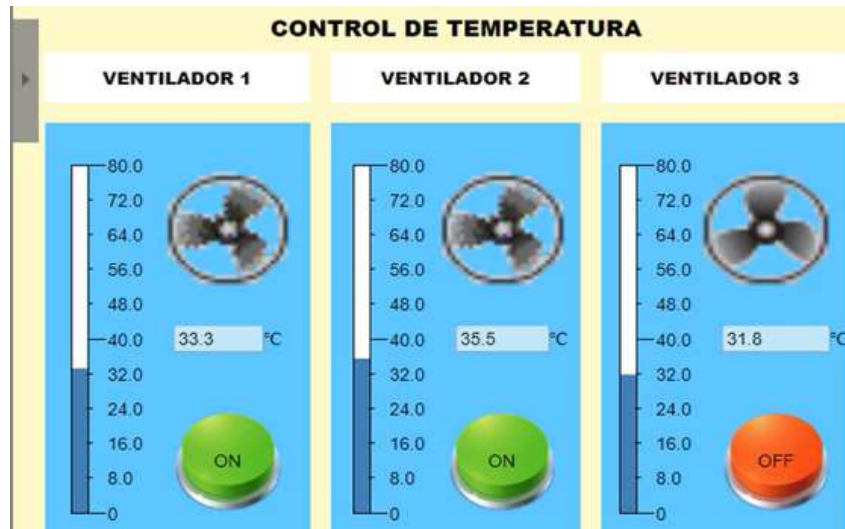


Figura 76. Gradientes de las temperaturas ocasionados al accionar los ventiladores en donde se aprecia la variación de temperatura en los sensores instalados

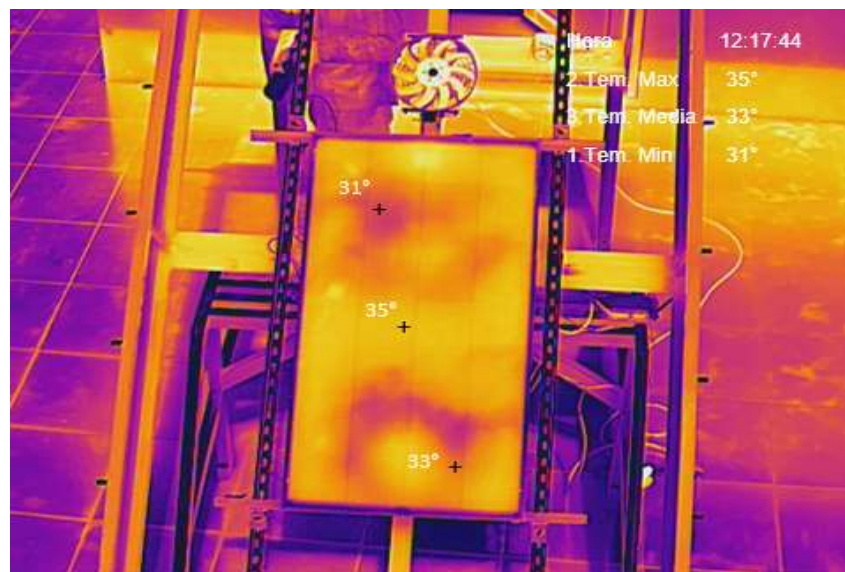


Figura 77. Temperaturas detectadas en forma gradiente térmico, donde hay zonas más frías que otras en el área del módulo fotovoltaico.

Entonces como se observó ese gradiente de temperatura en el área útil del módulo fotovoltaico, se procedió a cubrir el sistema de post-acondicionamiento como se muestra en la siguiente Figura 78, todo ello con el fin de poder enfriar más rápido el módulo fotovoltaico y llegar a un valor inferior a la temperatura deseada.



Figura 78. Deslizamiento de la cubierta para el sistema Post- acondicionamiento para controlar mejor la temperatura.

Para llegar a la homogeneidad y que esta temperatura sea la mismas en cada célula o celda solar del módulo fotovoltaico, se debe enfriar el sistema a una temperatura inferior llegando hasta los 20 °C como se muestra en la Figura 79, llegando a una temperatura mínima de 19.9 °C, 19.5 °C y 18.5 °C para luego poder apagar los sistemas de enfriamientos y que la temperatura naturalmente suba a la temperatura deseada.

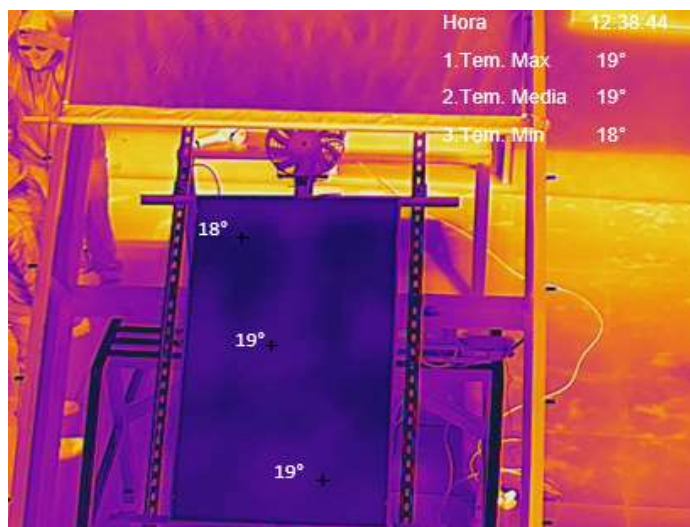


Figura 79. Temperatura mínima registrada por la cámara termográfica mostrando las temperaturas enfriadas.

Una vez que la temperatura se acerque al dato deseado de 25 °C, se destapa la cubierta, donde en ese proceso se homogeniza las temperaturas como se puede ver en la Figura 80, llegado a una temperatura a 25.6 °, 25.3 ° y 25.5 ° registradas por los sensores de la temperatura mostrados en la Figura 81, eso gracias a que la estructura del banco de ensayos que está diseñado para las condiciones que requiere las normativas para la caracterización de módulos fotovoltaicos.

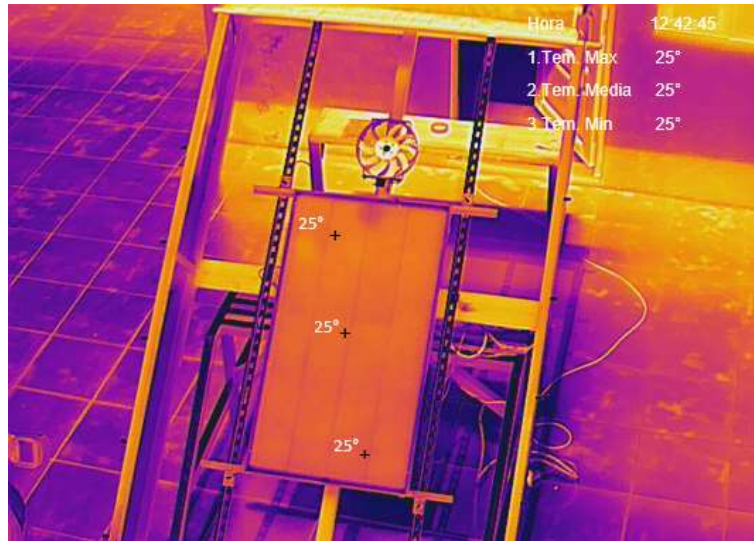


Figura 80. Temperaturas a 25° tomado por la cámara termográfica.



Figura 81. Temperatura registrada por los sensores de la temperatura, donde nos muestra que las temperaturas vuelven homogenizar en todo el módulo fotovoltaico.

4.3 Resultados de la prueba del panel monocristalino realizada a condiciones estándares STC.

La evaluación en STC se realizó el día 24 de julio del 2023 donde se calculó la masa de aire teniendo un valor de 1.5 (adimensional) el cual siendo las 9:32:00 am Figura 62, la altura solar a esa hora es de 41.6° y el ángulo azimutal siendo -44.6° .

Teniendo esos datos se realiza la prueba en el banco de ensayos, llegando a las condiciones estándares exigidas de las normativas IEC 61215 y IEC 60904.

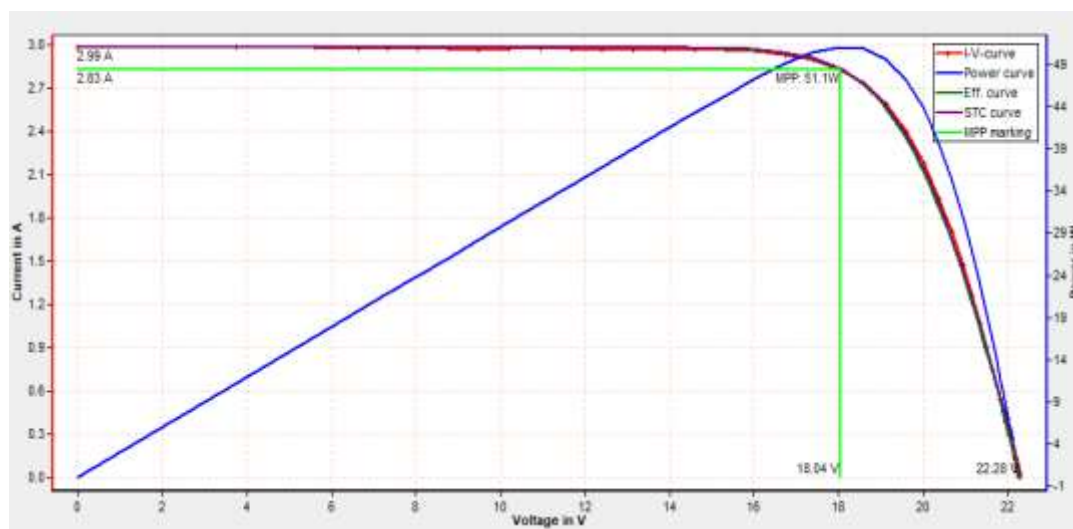


Figura 82. Curva corriente voltaje en condiciones estándares STC tomado con el trazador de curva PVPM1500X.

En el resultado de la prueba estándar se logró llegar a una irradiancia según la altura solar, el azimut y la masa de aire para las condiciones del día asignada a 1000 W/m^2 y a una temperatura de 25.4°C y a una masa de aire de 1.5 (adimensional), en el cual podemos apreciar en la Figura 82, la curva I-V con las comparaciones de la curva en STC, la eficiente y la curva trazada en las condiciones estándares bajo el sol real, al sobreponer las gráficas podemos visualizar y analizar nuestras primeras conclusiones del módulo TPS-105S-55W, cumple con las condiciones que debe tener la curva de una celda fotovoltaica con respecto a la curva obtenida con el trazador de curva PVPM1500X.

El módulo evaluado tiene un informe detallado, en la que se encontró una desviación de -6.9% en la potencia, su corriente I_{pmax} tiene -5.6% de desviación, la tensión V_{pmax0} tiene -1.2% , corriente en cortocircuito tiene una desviación de -7.5% y la tensión en circuito abierto V_{oc} tiene una desviación de 2.4% mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7

Datos obtenidos de trazado de la curva del módulo TPS-105S-55W monocristalino.

En serie 1: paralelo 1		Medida	Nominal	Desviación (%)
Valor en STC	Pk:	51.2 W _p	55 W	-6.90
	Ppk max:	53.8 W	n.a.	-
	Ppk min:	48.6 W	n.a.	-
	I pmax0:	2.83 A	3.00 A	-5.60
	V pmax0:	18.1 V	18.3 V	-1.20
	I sc0:	2.99 A	3.23 A	-7.50
	Voc0:	22.3 V	22.8 V	2.40
Valores máximos (reales)	Ppk max:	51.2 W _p	-	-
	I pmax0:	2.83 A	-	-
	V pmax0:	18.1 V	-	-
	I sc0:	2.99 A	-	-
	Voc0:	22.3 V	-	-

En los valores de R_s tiene una desviación de 35.6 %, R_p se encontró una desviación de -31.5 % y el factor de forma (FF) se encontró una desviación de -1.6 % teniendo esos datos el módulo Tabla 8, cumple con el 95.8 % de sus características nominales, ese porcentaje se somete gracias a que en las desviaciones encontradas no se encontró mayores al 8 % en sus características dadas según el fabricante.

Tabla 8

Valores calculados y Condiciones durante la medición realizados por el trazador de curva PVPM1500X.

En serie 1, paralelo 1		Medida	Nominal	Desviación (%)
Valores calculados	R_s	0.6 Ohm.	0.5 Ohm.	35.60
	Perdidas por R_s	-1 W		
	R_p	313 Ohm.	457 Ohm.	-31.50
	FF	0.77	0.78	-1.60
	NOCT	24 °C		
Condiciones durante la medición	Temperatura de la celda T mod	25.5 °C		
	Irradiancia E eff	1000 W/m ²		
	Temperatura de referencia cell ref	45.6 °C		

4.4 Resultados de la prueba del panel Policristalino realizada a condiciones estándares STC.

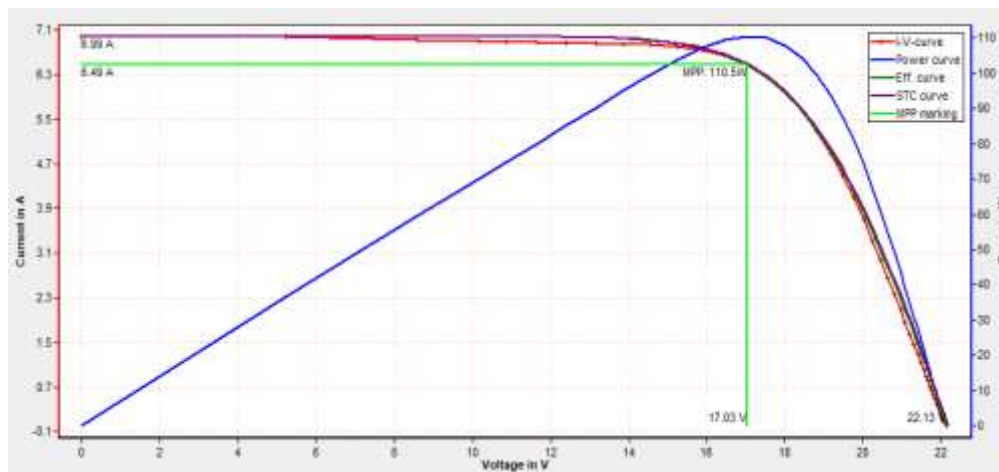


Figura 83. Curva corriente voltaje en condiciones estándares STC panel policristalino tomado con el trazador de curva PVPM1500X.

En la cura I-V en la figura anterior se realizaron las comparaciones entre la curva I-V, Potencia, eficiencia y STC, donde la desviación de la curva se debe al estrés térmico del panel solar, al momento del ensayo el sensor de la celda calibrada registró una temperatura de 47.3 °C mostrada en la tabla 10.

Tabla 9

Datos obtenidos de trazado de la curva del módulo PPS120W policristalino.

En serie 1: paralelo 1		Medida	Nominal	Desviación (%)
Valor en STC	Pk:	110.7 Wp	120 W	-7.7
	Ppk max:	116.3 W	n.a.	-
	Ppk min:	105.2 W	n.a.	-
	I pmax0:	6.48 A	6.67 A	-2.8
	V pmax0:	17.1 V	18.0 V	-5.1
	I sc0:	6.99 A	7.20 A	-2.9
	Voc0:	22.2 V	25.5 V	-1.5
Valores máximos (reales)	Ppk max:	110.5 Wp	-	-
	I pmax0:	6.49 A	-	-
	V pmax0:	17.0 V	-	-
	I sc0:	6.99 A	-	-
	Voc0:	22.1 V	-	-

La caracterización del panel monocristalino cumple con el 96.5 % de sus parámetros eléctricos, con respecto a los datos proporcionados por el proveedor, y las desviaciones encontradas no son mayores al 8 % Tabla 9.

Tabla 10

Valores calculados y Condiciones durante la medición realizados por el trazador de curva PVPM1500X para el panel policristalino.

En serie 1, paralelo 1		Medida	Nominal	Desviación (%)
Valores calculados	Rs	0.4 Ohm.	0.3 Ohm.	21.7
	Perdidas por Rs	-3 W		
	Rp	188 Ohm.	210 Ohm.	-10.7
	FF	0.71	0.74	-3.7
	NOCT	24 °C		
Condiciones durante la medición	Temperatura de la celda T mod	25.5 °C		
	Irradiancia E eff	1001 W/m ²		
	Temperatura de referencia cell ref	47.3 °C		

Cabe destacar de estos resultados obtenidos el banco de ensayo implementado es capaz de caracterizar paneles de diferentes tecnologías a sol real en las condiciones estándares exigidas por la normativa IEC 61215 e IEC 60904-1.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se desarrolló las estructuras para el banco de ensayos del pre-acondicionamiento y otra de post-acondicionamiento, ambas para caracterizar módulos fotovoltaicos a sol real bajo condiciones de altitudes superiores a los 3800 msnm. Este banco de ensayos está implementado con accesorios que facilitan y garantizan las mediciones de forma confiable, gracias a ello se llegó a la conclusión de que los módulos fotovoltaicos caracterizados de las tecnologías monocristalino y policristalino cumple con el 95.8 % y 96.5 % de sus parámetros eléctricos nominales ya que las desviaciones encontradas son menores al 8 % el cual se ilustra en la Tabla 7 y 9 de los resultados.

El sistema fue implementado mediante un control automatizado con un PLC logo 8, en el cual se puede homogenizar la temperatura del módulo fotovoltaico sometido al ensayo, llegando a 25 °C como se muestra en la Figura 81, donde se cumple con las especificaciones dadas por la normativa IEC 61215. Y además la temperatura máxima fue de 54 °C este resultado se aprecia en la Figura 74 y la mínima alcanzada utilizando el sistema de enfriamiento con ventiladores fue de 18 °C dicho resultado se muestra en la Figura 79, los resultados demostrados fueron adquiridos mediante la cámara termográfica del DRONE Autel y los datos de los sensores PT100 monitoreados en la interfaz HMI.

El sistema instalado cuenta con la capacidad adecuada para realizar varios tipos de ensayos, dentro de los cuales están las evaluaciones de módulos fotovoltaicos a diferentes temperaturas de 30.78 °C; 35.10 °C; 40.67 °C; 46.53 °C y 50.29 °C, todos con una irradiancia de 1000 W/m² con una tolerancia del ±0.5 % el cual se muestra en la Tabla 3. Así como también la evaluación de módulos fotovoltaicos a diferentes irradiancias, llegando a 901 W/m², 952 W/m², 1000 W/m², 1050 W/m² y 1090 W/m², demostrados en la Tabla 5. De esta forma se consiguió graficar las curvas I-V en las Figuras 70,72 y las curvas P-V en las Figuras 71,73. Realizar estos ensayos nos permitió caracterizar y validar los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos en las condiciones estándares dadas por las normativas IEC 61215 e IEC 60904-1.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda siempre usar el equipo de seguridad adecuado, principalmente guantes por que se trabaja con módulos fotovoltaicos de gran tamaño y peso considerable.

Por otra parte, se debe realizar el cálculo previo de la posición del sol para ver donde se ubica a diferentes horas del día, y así poder realizar los ensayos de forma correcta.

Se recomienda realizar las pruebas por la mañana a partir de las 08:30 am hasta las 01:00 pm, ya que la temperatura es más estable a una masa de aire de 1.5 (adimensional) y el aire no corre a grandes velocidades y esto es recomendado por varios investigadores que realizan pruebas a sol real, Antes de realizar las pruebas se debe observar el cielo y asegurar la ausencia de nubes, con el fin de poder asegurar el recurso solar para realizar las pruebas.

Para homogenizar la temperatura, es decir uniformizar la temperatura en las celdas fotovoltaicas es recomendable enfriar el módulo fotovoltaico a una temperatura inferior a la deseada, realizando las distintas pruebas se llegó a una temperatura mínima de 19 °C el cual se mostró en la Figura 79, razón por la cual se consideró enfriar el módulo a 5 °C por debajo de la temperatura estándar de 25 °C como refiere la normativa IEC 61215 para realizar las pruebas.

5.3 Sugerencia de trabajos de investigación futuros

A continuación, presentamos algunas sugerencias para trabajos de investigación futuros relacionado al presente tema de investigación desarrollado:

- Evaluación de la eficiencia de módulos fotovoltaicos.
- Calibración de celdas fotovoltaicas.
- Análisis de puntos calientes en módulos fotovoltaicos.
- Análisis de los coeficientes de temperatura alfa, beta, y gamma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (Junio de 2023). *Aceros Arequipa Planchas de Acero*. Obtenido de Aceros Arequipa: <https://acerosarequipa.com/pe/es/categorias/87/productos-planos-planchas-de-acero>
- ADINDUSTRIAL. (2019). Obtenido de <https://sdindustrial.com.mx/blog/relevadores/#:~:text=Conocidos%20tambi%C3%A9n%20como%20rel%C3%A9s%20son,este%20mismo%20tipo%20de%20energ%C3%ADa>
- Aguilar Aguirre, J. A. (2014). *Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*. Universidad de el Salvador.
- AUTEL ROBOTICS. (2022). *Autel Robotics*. Obtenido de Autel Robotics: <https://www.autelrobotics.com/>
- Banco mundial . (2022). Panorama general. *Online*.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. New York: McGraw-Hill.
- Castejo Oliva, A., & Santamaria Herranz, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.
- Conde, L., Montes Romero, J., Carhuavilca Vela, A., Perich Ibañez, R., Guerra Torres, J., Sevillano Bendezu, M., . . . Palomino Tofflinger, J. (2020). *Puesta en marcha de un laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas a sol real bajo las condiciones climáticas de Lima*. Lima.
- Diaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (2010). *Instalaciones solares Fotovoltaicas*. McGraw Hill.
- Duffie, J., & Beckman, W. (2020). *Ingeniería Solar de Procesos Térmicos, Fotovoltaica y Eólica*.
- Energía y sociedad . (2017). Aspectos básicos de la electricidad.
- Firman, A., Vera, L., Cáceres, M., Gonzales, A. R., & Bertotto, O. A. (2018). *Ensayos de certificación de módulos fotovoltaicos*. Extensionismo Innovación y Transferencia Tecnológica.

- Gamarra , J. L. (2019). Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para electrificar al centro poblado siete techos en reque - Chiclayo - Lambayeque”.
- Gamarra , J. L. (2019). Dimensionamiento de un sistema híbrido eólico fotovoltaico para electrificar al centro poblado siete techos en reque - Chiclayo - Lambayeque”.
- Gonzales, I. (2015). Perspectivas de la Energía Solar Fotovoltaica en la Edificación.
- Heliosfera. (2021). *Como instalar paneles fotovoltaicos*. Obtenido de <https://www.heliosfera.com/como-instalar-paneles-fotovoltaicos/>
- Herrera, R. (2013). Modelado y caracterización de paneles fotovoltaicos.
- Industrias Electric. (Junio de 2023). *Industrias Electric Riel STRUT*. Obtenido de Industrias Electric: <https://sgindustriaselectric.pe/wp-content/uploads/2018/11/SG-Riel-STRUT.pdf>
- Jacome, O. (2017). Importación de paneles solares con tecnología plug & play desde china para su comercialización en las ciudades de huancayo, chanchamayo, satipo y tarma del departamento de junin.
- Jutglar, I. (2004). *Energía Solar. Editrialseac*.
- Mamani, J. (2022). Diseño de un seguidor solar en dos ejes para un sistema fotovoltaico de 2 kw.
- Margarido, G., Trigos, F., Frajuca, C., & Oliveira, M. (2020). *Valores encontrados em ensaios de influência da temperatura no rendimento em módulos fotovoltaicos comerciais*. Sao Paulo: TAS journal.
- Mato, M. (2020). *Soldadura y carpintería metálica*. Madrid: Paraninfo.
- MINEM. (2015). *Norma DGE especificacion técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural*. MINEM.
- Mocelin, A. (2014). *Cualificación y formación profesional laboratorio en sistemas fotovoltaicos*.
- Perpiñan Lamigueiro, O. (2020). *Energía solar fotovoltaica*. creative commons.
- Perpiñan, O. (2013). *Energía solar fotovoltaica*.

- PV-Engineering GmbH. (2018). Peak Power Measuring Device and I-V-Curve Tracer for PV Modules and Generators. *manual PV*.
- Quintanilla, A. (2020). Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para suministrar de energía eléctrica la localidad de patahuasi -pampa cañahuas.
- Ramos, E. (2018). Desenvolvimento de simulador solar contínuo para teste de estabilização de módulos fotovoltaicos. *Tesis*.
- Rodriguez , A. (2018). *Diseño, fabricacion y validacion de fuente de alimentacion*.
- Rodriguez Castañeda, C. A. (2016). *Determinacion de desempeño y confiabilidad en modulos fotovoltaicos expuestos a campo mediante ensayos destructivos y no destructivos*. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- SIEMENS. (2018). Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82567/v1/Logo_s.pdf
- Torrico Bravo, J. A., & Gullon Urbano, M. (2021). *Energía Solar fotovoltaica: Medida de las curvas características de un módulo fotovoltaico utilizando un trazador de curvas I-V a temperatura constante y a irradiación solar constante tomando como base la norma IEC 60904-1:2020*.
- Varrillas, A. (2015). Sistema de energía hibrida eólico-fotovoltaica para vivienda unifamiliar aislada. *obtencion de grado*.
- Zilles, R., Negro, W., Barros, M., & Ferreira, S. (2012). *Sistemas fotovoltaicos conectados a red eléctrica*.

ANEXO 1. FASE DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS|

Se realizo el diseño de la estructura para las condiciones de prueba post-acondicionamiento en el cual se podrá controlar la temperatura Figura A.1, en este diseño se considera el espacio suficiente para que entre un módulo fotovoltaico de 450 W como máximo, o módulos pequeños de menor potencia.

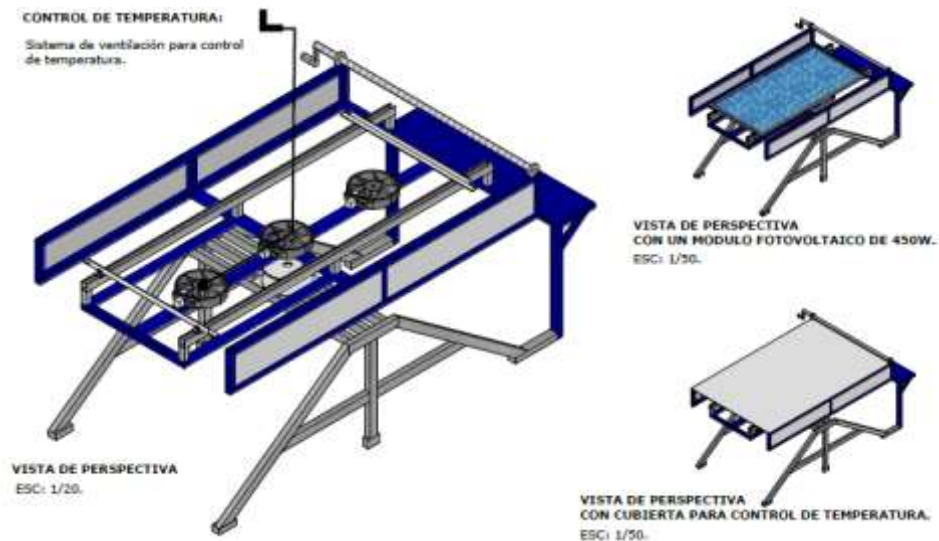


Figura A.1. Vistas en perspectiva del diseño realizado del banco de post-acondicionamiento

Diseño de pre acondicionamiento el cual nos ayudar a realizar una inspección visual del módulo fotovoltaico durante la exposición al sol, esta estructura permite variar de ángulo de inclinación gracias al eje de rotación colocado y al mecanismo de sujeción Figura A.2.

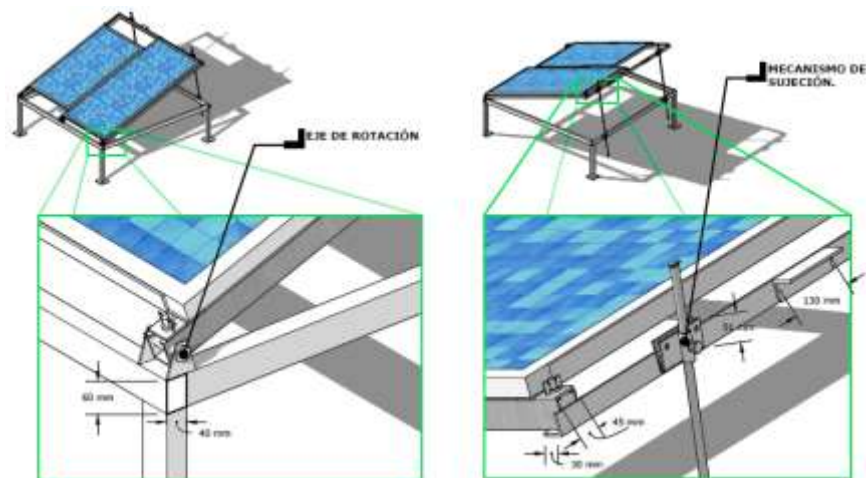


Figura A.2. Vista en perspectiva del diseño de sistema de pre acondicionamiento

Se prosiguió con la construcción de las dos estructuras utilizando tubos rectangulares según el diseño realizado como se observa en la Figura A.3.



Figura A.3. Construcción del banco de ensayos

Una vez armado las estructuras de pre-acondicionamiento y post-acondicionamiento se prosiguieron al pintado con pintura anticorrosiva a cada una de las partes de la estructura el resultado se muestra en la Figura A.4.



Figura A.4. Pintado de la estructura

Una vez terminado el pintado se llevó al traslado y armado de la estructura en la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, laboratorio de energía fotovoltaica como se aprecia en la Figura A.5.



Figura A.5. Armado de las dos estructuras

Luego del Armado de la estructura se realiza la inspección visual de módulos fotovoltaicos y el pre-acondicionamiento como se muestra en la Figura A.6.



Figura A.6. Realización de pre- acondicionamiento

ANEXO 2. RESULTADOS DE PRUEBAS VARIANDO IRRADIANCIAS Y TEMPERATURAS

Para realizar la gráfica de la curva I-V considerando una irradiancia constante, y temperatura variable se tiene los siguientes datos como se muestra en la Tabla A.1.

Tabla A.1

Datos de las pruebas registradas a distintas temperaturas e irradiancia constante.

G (W/m²): 1002		G (W/m²): 1000		G (W/m²): 1002		G (W/m²): 1001		G (W/m²): 1000	
T (°C): 30.78		T (°C): 35.10		T (°C): 40.67		T (°C): 46.53		T (°C): 50.29	
U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)
0.00	7.03	0.00	7.04	0.00	7.07	0.00	7.09	0.00	7.11
5.24	7.03	5.23	7.04	5.22	7.07	5.23	7.09	5.30	7.11
8.21	6.98	8.38	6.98	8.44	7.01	8.59	7.04	8.91	7.05
9.66	6.95	9.90	6.96	9.96	6.99	10.13	7.00	10.61	7.02
10.38	6.94	10.64	6.95	10.69	6.97	10.83	6.99	11.33	7.00
11.14	6.93	11.41	6.93	11.45	6.96	11.57	6.98	12.05	6.99
11.89	6.92	12.16	6.92	12.19	6.95	12.30	6.97	12.75	6.97
12.64	6.91	12.89	6.90	12.91	6.93	13.00	6.96	13.42	6.94
13.38	6.90	13.60	6.90	13.62	6.92	13.67	6.93	14.04	6.88
14.08	6.89	14.28	6.87	14.29	6.89	14.31	6.89	14.62	6.78
14.75	6.86	14.94	6.82	14.92	6.84	14.91	6.82	15.17	6.63
15.39	6.80	15.55	6.73	15.51	6.74	15.47	6.69	15.66	6.42
15.98	6.71	16.12	6.58	16.05	6.58	15.99	6.50	16.11	6.15
16.53	6.56	16.64	6.38	16.55	6.37	16.47	6.26	16.53	5.84
17.04	6.35	17.12	6.12	17.01	6.11	16.90	5.97	16.92	5.48
17.51	6.08	17.56	5.82	17.43	5.79	17.29	5.63	17.27	5.10
17.93	5.76	17.96	5.46	17.81	5.43	17.65	5.26	17.58	4.70
18.30	5.40	18.33	5.08	18.15	5.05	17.97	4.87	17.85	4.31
18.65	5.02	18.66	4.69	18.46	4.65	18.26	4.48	18.11	3.92
18.97	4.62	18.95	4.29	18.74	4.26	18.52	4.08	18.34	3.55
19.26	4.22	19.21	3.90	18.99	3.87	18.75	3.69	18.55	3.20
19.52	3.83	19.45	3.52	19.22	3.50	18.95	3.33	18.73	2.87
19.75	3.45	19.66	3.17	19.42	3.14	19.13	2.99	18.90	2.57
19.95	3.10	19.85	2.84	19.60	2.81	19.29	2.68	19.05	2.29
20.14	2.77	20.02	2.53	19.76	2.51	19.44	2.40	19.17	2.04
20.31	2.47	20.18	2.26	19.91	2.24	19.57	2.14	19.29	1.82
20.46	2.20	20.33	2.01	20.04	1.99	19.69	1.90	19.40	1.62
20.60	1.96	20.46	1.79	20.16	1.77	19.79	1.69	19.50	1.44

Tabla A.1

Datos de las pruebas registradas a distintas temperaturas e irradiancia constante (continuación).

20.71	1.73	20.57	1.59	20.25	1.57	19.88	1.50	19.59	1.28
20.82	1.53	20.67	1.41	20.33	1.40	19.96	1.33	19.66	1.14
20.91	1.36	20.76	1.25	20.40	1.25	20.04	1.19	19.73	1.02
20.99	1.21	20.84	1.11	20.46	1.11	20.10	1.06	19.80	0.91
21.07	1.08	20.90	0.99	20.52	0.99	20.16	0.94	19.86	0.82
21.13	0.95	20.96	0.88	20.57	0.88	20.21	0.84	19.93	0.74
21.19	0.85	21.01	0.79	20.61	0.78	20.26	0.76	19.97	0.66
21.24	0.76	21.06	0.71	20.65	0.70	20.29	0.68	20.01	0.59
21.29	0.68	21.10	0.64	20.68	0.63	20.32	0.61	20.05	0.54
21.32	0.61	21.13	0.57	20.72	0.57	20.36	0.55	20.09	0.49
21.36	0.56	21.15	0.52	20.75	0.52	20.39	0.50	20.12	0.44
21.39	0.51	21.19	0.47	20.76	0.47	20.42	0.45	20.15	0.41
21.42	0.46	21.21	0.43	20.78	0.43	20.44	0.41	20.19	0.37
21.44	0.41	21.23	0.39	20.80	0.39	20.45	0.38	20.22	0.34
21.46	0.38	21.25	0.36	20.81	0.36	20.47	0.35	20.25	0.32
21.48	0.35	21.26	0.33	20.82	0.33	20.49	0.32	20.28	0.30
21.50	0.32	21.27	0.31	20.83	0.30	20.49	0.30	20.31	0.27
21.51	0.30	21.28	0.28	20.85	0.28	20.50	0.28	20.32	0.25
21.52	0.27	21.28	0.26	20.86	0.26	20.52	0.26	20.34	0.23
21.53	0.25	21.29	0.24	20.87	0.24	20.53	0.24	20.36	0.22
21.54	0.23	21.28	0.23	20.88	0.23	20.53	0.23	20.37	0.21
21.54	0.22	21.28	0.21	20.89	0.21	20.55	0.21	20.39	0.20
21.55	0.21	21.27	0.20	20.90	0.20	20.56	0.20	20.40	0.18
21.54	0.20	21.27	0.19	20.90	0.19	20.56	0.19	20.40	0.17
21.54	0.19	21.27	0.18	20.90	0.17	20.57	0.18	20.41	0.17
21.52	0.17	21.26	0.16	20.90	0.17	20.58	0.16	20.41	0.16
21.51	0.16	21.27	0.16	20.91	0.16	20.59	0.15	20.42	0.15
21.50	0.16	21.27	0.15	20.92	0.15	20.59	0.15	20.43	0.14
21.49	0.15	21.27	0.15	20.92	0.14	20.59	0.14	20.44	0.14
21.49	0.14	21.26	0.14	20.92	0.13	20.59	0.14	20.44	0.13
21.49	0.13	21.25	0.13	20.93	0.13	20.59	0.13	20.44	0.12
21.48	0.12	21.25	0.13	20.94	0.13	20.59	0.13	20.44	0.12
21.48	0.12	21.25	0.12	20.94	0.12	20.59	0.12	20.44	0.12
21.48	0.12	21.25	0.11	20.94	0.11	20.59	0.11	20.45	0.12
21.48	0.11	21.25	0.11	20.94	0.11	20.59	0.11	20.45	0.11
21.48	0.10	21.25	0.10	20.94	0.10	20.60	0.11	20.45	0.10
21.47	0.10	21.25	0.10	20.94	0.10	20.60	0.10	20.45	0.10
21.46	0.10	21.25	0.10	20.94	0.10	20.59	0.10	20.45	0.10
21.46	0.10	21.25	0.10	20.94	0.10	20.59	0.09	20.45	0.10

Tabla A.1

Datos de las pruebas registradas a distintas temperaturas e irradiancia constante (continuación).

21.46	0.10	21.25	0.10	20.94	0.10	20.60	0.09	20.45	0.09
21.46	0.09	21.26	0.09	20.95	0.09	20.60	0.10	20.45	0.09
21.45	0.08	21.26	0.09	20.94	0.09	20.60	0.09	20.45	0.09
21.45	0.08	21.26	0.08	20.94	0.09	20.60	0.09	20.44	0.08
21.46	0.08	21.25	0.08	20.94	0.08	20.60	0.08	20.43	0.08
21.47	0.08	21.25	0.08	20.94	0.08	20.59	0.08	20.42	0.08
21.48	0.08	21.25	0.08	20.94	0.08	20.58	0.08	20.40	0.08
21.48	0.07	21.25	0.08	20.94	0.08	20.57	0.08	20.39	0.08
21.49	0.08	21.25	0.07	20.94	0.08	20.56	0.08	20.39	0.08
21.50	0.08	21.26	0.07	20.94	0.07	20.57	0.07	20.38	0.07
21.51	0.08	21.26	0.07	20.94	0.07	20.57	0.07	20.38	0.07
21.51	0.07	21.27	0.07	20.94	0.07	20.57	0.07	20.37	0.07
21.52	0.06	21.27	0.07	20.94	0.07	20.57	0.06	20.36	0.07
21.53	0.07	21.27	0.07	20.94	0.06	20.58	0.06	20.35	0.07
21.54	0.07	21.26	0.06	20.93	0.07	20.58	0.07	20.34	0.07
21.55	0.06	21.26	0.07	20.92	0.07	20.57	0.07	20.34	0.06
21.55	0.06	21.27	0.07	20.91	0.06	20.57	0.07	20.34	0.06
21.56	0.06	21.26	0.06	20.91	0.06	20.58	0.06	20.34	0.06
21.58	0.06	21.26	0.06	20.91	0.06	20.57	0.06	20.33	0.06
21.59	0.06	21.26	0.06	20.91	0.06	20.57	0.06	20.32	0.06
21.59	0.05	21.26	0.06	20.91	0.06	20.57	0.06	20.32	0.05
21.59	0.05	21.26	0.06	20.92	0.06	20.58	0.06	20.32	0.05
21.60	0.06	21.27	0.06	20.92	0.06	20.58	0.06	20.32	0.06
21.61	0.06	21.26	0.05	20.92	0.06	20.57	0.06	20.32	0.06
21.62	0.06	21.25	0.04	20.92	0.04	20.58	0.04	20.32	0.04
21.65	0.04	21.25	0.01	20.92	0.01	20.59	0.01	20.34	0.01
21.72	0.01	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00
21.75	0.00	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00
21.75	0.00	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00
21.75	0.00	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00
21.75	0.00	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00
21.75	0.00	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00
21.75	0.00	21.24	0.00	20.91	0.00	20.60	0.00	20.35	0.00

Para realizar la gráfica de la curva P-V considerando una irradiancia constante, y temperatura variable se tiene los siguientes datos como se muestra en la Tabla A.2.

Tabla A.2

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante.

G (W/m²): 1002		G (W/m²): 1000		G (W/m²): 1002		G (W/m²): 1001		G (W/m²): 1000	
T (°C): 30.78		T (°C): 35.10		T (°C): 40.67		T (°C): 46.53		T (°C): 50.29	
U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.2	36.9	5.2	36.8	5.2	36.9	5.2	37.1	5.3	37.7
8.2	57.3	8.4	58.5	8.4	59.2	8.6	60.4	8.9	62.8
9.7	67.1	9.9	68.9	10.0	69.6	10.1	71.0	10.6	74.4
10.4	72.1	10.6	73.9	10.7	74.5	10.8	75.7	11.3	79.4
11.1	77.2	11.4	79.1	11.4	79.7	11.6	80.8	12.0	84.2
11.9	82.3	12.2	84.1	12.2	84.7	12.3	85.7	12.8	88.9
12.6	87.4	12.9	89.0	12.9	89.5	13.0	90.4	13.4	93.1
13.4	92.3	13.6	93.8	13.6	94.2	13.7	94.8	14.0	96.6
14.1	97.0	14.3	98.2	14.3	98.5	14.3	98.6	14.6	99.2
14.8	101.2	14.9	101.9	14.9	102.1	14.9	101.6	15.2	100.6
15.4	104.7	15.6	104.6	15.5	104.5	15.5	103.5	15.7	100.5
16.0	107.2	16.1	106.1	16.1	105.7	16.0	104.0	16.1	99.2
16.5	108.5	16.6	106.2	16.6	105.5	16.5	103.1	16.5	96.6
17.0	108.2	17.1	104.8	17.0	103.9	16.9	100.9	16.9	92.8
17.5	106.4	17.6	102.1	17.4	100.9	17.3	97.3	17.3	88.0
17.9	103.2	18.0	98.2	17.8	96.7	17.6	92.8	17.6	82.7
18.3	98.9	18.3	93.2	18.1	91.6	18.0	87.6	17.9	77.0
18.6	93.6	18.7	87.4	18.5	85.9	18.3	81.8	18.1	71.1
19.0	87.7	18.9	81.3	18.7	79.7	18.5	75.5	18.3	65.1
19.3	81.3	19.2	74.9	19.0	73.5	18.8	69.3	18.5	59.4
19.5	74.7	19.5	68.5	19.2	67.2	19.0	63.2	18.7	53.8
19.7	68.2	19.7	62.3	19.4	61.0	19.1	57.3	18.9	48.5
20.0	61.8	19.8	56.3	19.6	55.1	19.3	51.8	19.0	43.6
20.1	55.8	20.0	50.7	19.8	49.6	19.4	46.7	19.2	39.2
20.3	50.2	20.2	45.6	19.9	44.6	19.6	41.9	19.3	35.2
20.5	45.0	20.3	40.9	20.0	39.9	19.7	37.5	19.4	31.5
20.6	40.3	20.5	36.6	20.2	35.6	19.8	33.4	19.5	28.1
20.7	35.9	20.6	32.6	20.2	31.8	19.9	29.7	19.6	25.1
20.8	31.9	20.7	29.1	20.3	28.5	20.0	26.6	19.7	22.5
20.9	28.5	20.8	26.0	20.4	25.4	20.0	23.8	19.7	20.1
21.0	25.5	20.8	23.2	20.5	22.7	20.1	21.4	19.8	18.0

Tabla A.2

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

21.1	22.7	20.9	20.7	20.5	20.3	20.2	19.0	19.9	16.2
21.1	20.1	21.0	18.5	20.6	18.1	20.2	17.0	19.9	14.7
21.2	18.0	21.0	16.6	20.6	16.1	20.3	15.3	20.0	13.3
21.2	16.2	21.1	14.9	20.6	14.4	20.3	13.8	20.0	11.9
21.3	14.5	21.1	13.5	20.7	13.1	20.3	12.4	20.1	10.7
21.3	13.1	21.1	12.1	20.7	11.9	20.4	11.2	20.1	9.7
21.4	11.9	21.2	11.0	20.7	10.7	20.4	10.2	20.1	8.9
21.4	10.8	21.2	10.0	20.8	9.8	20.4	9.2	20.2	8.2
21.4	9.8	21.2	9.1	20.8	8.9	20.4	8.4	20.2	7.5
21.4	8.9	21.2	8.3	20.8	8.1	20.5	7.8	20.2	6.9
21.5	8.1	21.2	7.6	20.8	7.5	20.5	7.2	20.2	6.5
21.5	7.5	21.3	7.0	20.8	6.8	20.5	6.6	20.3	6.0
21.5	6.9	21.3	6.5	20.8	6.2	20.5	6.2	20.3	5.6
21.5	6.4	21.3	6.1	20.8	5.8	20.5	5.7	20.3	5.2
21.5	5.8	21.3	5.6	20.9	5.4	20.5	5.3	20.3	4.7
21.5	5.4	21.3	5.2	20.9	5.1	20.5	4.9	20.4	4.4
21.5	5.1	21.3	4.8	20.9	4.7	20.5	4.6	20.4	4.2
21.5	4.7	21.3	4.5	20.9	4.4	20.5	4.3	20.4	4.0
21.5	4.5	21.3	4.2	20.9	4.2	20.6	4.0	20.4	3.7
21.5	4.3	21.3	4.0	20.9	3.9	20.6	3.9	20.4	3.5
21.5	4.1	21.3	3.7	20.9	3.6	20.6	3.7	20.4	3.5
21.5	3.7	21.3	3.5	20.9	3.5	20.6	3.4	20.4	3.2
21.5	3.5	21.3	3.4	20.9	3.4	20.6	3.1	20.4	3.0
21.5	3.4	21.3	3.3	20.9	3.2	20.6	3.0	20.4	2.9
21.5	3.3	21.3	3.1	20.9	2.9	20.6	2.9	20.4	2.8
21.5	3.1	21.3	2.9	20.9	2.7	20.6	2.8	20.4	2.7
21.5	2.9	21.3	2.7	20.9	2.6	20.6	2.7	20.4	2.5
21.5	2.7	21.3	2.7	20.9	2.6	20.6	2.6	20.4	2.4
21.5	2.5	21.3	2.6	20.9	2.5	20.6	2.5	20.4	2.4
21.5	2.5	21.3	2.4	20.9	2.4	20.6	2.4	20.4	2.4
21.5	2.4	21.3	2.3	20.9	2.2	20.6	2.3	20.4	2.2
21.5	2.2	21.3	2.2	20.9	2.1	20.6	2.3	20.5	2.0
21.5	2.1	21.3	2.2	20.9	2.1	20.6	2.1	20.5	2.0
21.5	2.1	21.3	2.2	20.9	2.1	20.6	2.0	20.5	2.0
21.5	2.1	21.3	2.1	20.9	2.1	20.6	1.9	20.4	1.9
21.5	2.0	21.3	2.0	20.9	2.0	20.6	1.9	20.4	1.9
21.5	1.9	21.3	2.0	20.9	1.9	20.6	2.0	20.4	1.9
21.4	1.8	21.3	1.9	20.9	1.9	20.6	1.9	20.4	1.8

Tabla A.2

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

21.5	1.8	21.3	1.8	20.9	1.9	20.6	1.8	20.4	1.6
21.5	1.8	21.3	1.7	20.9	1.7	20.6	1.7	20.4	1.6
21.5	1.8	21.3	1.7	20.9	1.7	20.6	1.7	20.4	1.6
21.5	1.7	21.3	1.7	20.9	1.7	20.6	1.6	20.4	1.6
21.5	1.6	21.3	1.7	20.9	1.7	20.6	1.6	20.4	1.6
21.5	1.6	21.3	1.5	20.9	1.6	20.6	1.6	20.4	1.5
21.5	1.7	21.3	1.5	20.9	1.5	20.6	1.5	20.4	1.4
21.5	1.6	21.3	1.6	20.9	1.5	20.6	1.5	20.4	1.4
21.5	1.5	21.3	1.5	20.9	1.5	20.6	1.4	20.4	1.4
21.5	1.4	21.3	1.5	20.9	1.4	20.6	1.3	20.4	1.4
21.5	1.4	21.3	1.4	20.9	1.4	20.6	1.3	20.3	1.4
21.5	1.4	21.3	1.4	20.9	1.4	20.6	1.4	20.3	1.4
21.5	1.4	21.3	1.4	20.9	1.4	20.6	1.4	20.3	1.3
21.5	1.4	21.3	1.4	20.9	1.4	20.6	1.4	20.3	1.2
21.6	1.3	21.3	1.3	20.9	1.4	20.6	1.3	20.3	1.1
21.6	1.2	21.3	1.4	20.9	1.2	20.6	1.2	20.3	1.1
21.6	1.2	21.3	1.3	20.9	1.2	20.6	1.2	20.3	1.1
21.6	1.3	21.3	1.2	20.9	1.3	20.6	1.2	20.3	1.2
21.6	1.3	21.3	1.1	20.9	1.2	20.6	1.2	20.3	1.2
21.6	1.3	21.3	0.8	20.9	0.9	20.6	0.8	20.3	0.8
21.6	0.9	21.2	0.3	20.9	0.3	20.6	0.3	20.3	0.3
21.7	0.3	21.2	0.0	20.9	0.0	20.6	0.0	20.4	0.0
21.8	0.0	21.2	0.0	20.9	0.0	20.6	0.0	20.4	0.0

Para realizar la gráfica de la curva I-V considerando diferentes irradiancias, y temperatura constante se tiene los siguientes datos como se muestra en la Tabla A.3.

Tabla A.3

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante.

G (W/m²):		G (W/m²):		G (W/m²):		G (W/m²):		G (W/m²):	
901		952		1000		1050		1090	
T (°C):		T (°C):		T (°C):		T (°C):		T (°C):	
25.52		25.29		25.66		25.20		25.25	
U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)	U (V)	I (A)
0.00	6.26	0.00	6.62	0.00	6.97	0.00	7.33	0.00	7.62
4.95	6.26	5.08	6.62	5.22	6.97	5.35	7.33	5.46	7.62
7.17	6.22	7.59	6.58	8.40	6.90	9.05	7.26	8.82	7.56

Tabla A.3

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

8.31	6.20	8.85	6.55	9.96	6.87	10.74	7.23	10.44	7.53
8.94	6.18	9.52	6.53	10.71	6.86	11.49	7.22	11.24	7.51
9.60	6.17	10.22	6.52	11.49	6.85	12.29	7.20	12.06	7.50
10.27	6.15	10.95	6.51	12.26	6.84	13.07	7.19	12.87	7.49
10.96	6.15	11.68	6.49	13.02	6.83	13.83	7.18	13.66	7.48
11.65	6.14	12.41	6.48	13.75	6.81	14.56	7.16	14.43	7.47
12.35	6.13	13.13	6.47	14.47	6.80	15.26	7.14	15.15	7.45
13.05	6.12	13.84	6.47	15.16	6.77	15.92	7.09	15.84	7.40
13.73	6.11	14.53	6.46	15.80	6.73	16.53	7.00	16.48	7.32
14.39	6.10	15.20	6.44	16.40	6.63	17.09	6.85	17.07	7.19
15.04	6.09	15.83	6.39	16.96	6.47	17.62	6.63	17.61	6.98
15.66	6.05	16.41	6.30	17.47	6.26	18.10	6.34	18.10	6.70
16.24	5.98	16.96	6.16	17.95	5.99	18.54	6.00	18.55	6.36
16.79	5.86	17.47	5.97	18.38	5.66	18.93	5.62	18.95	5.97
17.30	5.69	17.94	5.73	18.77	5.30	19.28	5.21	19.31	5.55
17.77	5.47	18.37	5.43	19.13	4.91	19.60	4.79	19.65	5.10
18.20	5.21	18.77	5.09	19.45	4.51	19.89	4.36	19.95	4.65
18.61	4.90	19.14	4.74	19.73	4.11	20.15	3.94	20.22	4.21
18.98	4.57	19.45	4.37	19.99	3.73	20.39	3.55	20.45	3.79
19.32	4.23	19.74	4.00	20.22	3.36	20.60	3.18	20.66	3.40
19.62	3.89	20.01	3.63	20.43	3.01	20.78	2.83	20.86	3.03
19.89	3.55	20.26	3.28	20.63	2.69	20.94	2.52	21.03	2.70
20.13	3.21	20.47	2.95	20.80	2.40	21.10	2.24	21.18	2.39
20.35	2.90	20.66	2.64	20.94	2.13	21.23	1.98	21.31	2.11
20.56	2.61	20.84	2.35	21.08	1.89	21.35	1.75	21.43	1.87
20.73	2.34	20.99	2.10	21.22	1.68	21.46	1.55	21.54	1.65
20.90	2.08	21.13	1.87	21.33	1.49	21.55	1.37	21.64	1.46
21.04	1.86	21.25	1.66	21.43	1.32	21.63	1.22	21.72	1.29
21.17	1.66	21.36	1.48	21.52	1.17	21.70	1.08	21.79	1.15
21.28	1.48	21.46	1.32	21.61	1.04	21.77	0.96	21.85	1.02
21.38	1.31	21.54	1.17	21.68	0.93	21.82	0.86	21.92	0.90
21.48	1.17	21.62	1.04	21.74	0.83	21.87	0.76	21.97	0.81
21.57	1.05	21.69	0.93	21.81	0.74	21.92	0.68	22.02	0.72
21.63	0.93	21.75	0.83	21.87	0.66	21.96	0.61	22.06	0.64
21.69	0.83	21.80	0.74	21.92	0.60	21.99	0.56	22.09	0.58
21.75	0.75	21.85	0.66	21.97	0.54	22.03	0.50	22.13	0.52
21.80	0.68	21.89	0.60	22.01	0.48	22.05	0.45	22.15	0.48
21.84	0.61	21.93	0.54	22.04	0.44	22.08	0.42	22.17	0.44
21.88	0.54	21.96	0.48	22.07	0.41	22.10	0.38	22.20	0.40

Tabla A.3

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

21.92	0.49	21.98	0.44	22.10	0.37	22.12	0.35	22.22	0.36
21.95	0.45	22.01	0.40	22.12	0.34	22.14	0.32	22.23	0.33
21.97	0.41	22.04	0.37	22.15	0.31	22.15	0.30	22.24	0.30
21.99	0.38	22.06	0.34	22.17	0.29	22.16	0.27	22.26	0.28
22.02	0.35	22.07	0.31	22.20	0.27	22.17	0.25	22.27	0.26
22.05	0.32	22.08	0.29	22.22	0.25	22.19	0.24	22.29	0.25
22.06	0.29	22.10	0.27	22.24	0.24	22.20	0.22	22.29	0.23
22.07	0.27	22.11	0.25	22.26	0.22	22.21	0.21	22.29	0.22
22.08	0.25	22.12	0.23	22.28	0.21	22.23	0.20	22.30	0.21
22.09	0.24	22.14	0.22	22.29	0.19	22.23	0.18	22.30	0.19
22.11	0.22	22.15	0.21	22.31	0.18	22.23	0.17	22.31	0.18
22.12	0.20	22.15	0.19	22.32	0.17	22.24	0.16	22.31	0.17
22.13	0.19	22.16	0.18	22.33	0.16	22.25	0.16	22.31	0.16
22.14	0.18	22.17	0.17	22.33	0.15	22.25	0.15	22.31	0.15
22.14	0.17	22.17	0.16	22.33	0.14	22.26	0.14	22.32	0.15
22.15	0.16	22.18	0.15	22.32	0.14	22.26	0.13	22.31	0.14
22.16	0.16	22.18	0.15	22.32	0.14	22.26	0.12	22.31	0.14
22.16	0.15	22.19	0.14	22.32	0.13	22.26	0.12	22.32	0.13
22.16	0.14	22.19	0.13	22.32	0.13	22.26	0.11	22.32	0.11
22.16	0.14	22.19	0.12	22.32	0.12	22.26	0.11	22.32	0.11
22.16	0.13	22.20	0.12	22.33	0.11	22.27	0.11	22.33	0.10
22.17	0.12	22.21	0.12	22.33	0.11	22.28	0.11	22.34	0.10
22.18	0.12	22.21	0.11	22.33	0.10	22.28	0.10	22.36	0.10
22.18	0.12	22.21	0.11	22.33	0.10	22.28	0.10	22.36	0.09
22.18	0.11	22.21	0.11	22.33	0.10	22.28	0.10	22.36	0.08
22.19	0.10	22.21	0.10	22.32	0.10	22.28	0.10	22.36	0.08
22.19	0.10	22.21	0.10	22.31	0.10	22.28	0.09	22.37	0.08
22.19	0.10	22.21	0.09	22.30	0.09	22.28	0.09	22.37	0.08
22.19	0.10	22.21	0.09	22.29	0.09	22.29	0.08	22.37	0.08
22.19	0.09	22.22	0.09	22.28	0.08	22.30	0.08	22.37	0.08
22.20	0.09	22.22	0.09	22.28	0.08	22.30	0.08	22.38	0.08
22.20	0.09	22.23	0.09	22.26	0.08	22.29	0.08	22.38	0.08
22.19	0.09	22.22	0.08	22.25	0.08	22.29	0.08	22.38	0.08
22.18	0.08	22.22	0.08	22.25	0.08	22.30	0.08	22.38	0.08
22.19	0.07	22.22	0.07	22.24	0.08	22.30	0.08	22.38	0.08
22.20	0.08	22.22	0.07	22.23	0.07	22.30	0.08	22.39	0.07
22.20	0.08	22.22	0.07	22.23	0.07	22.30	0.07	22.38	0.07
22.21	0.07	22.23	0.06	22.23	0.07	22.30	0.07	22.38	0.07
22.21	0.07	22.23	0.07	22.23	0.07	22.30	0.07	22.39	0.07

Tabla A.3

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

22.21	0.06	22.23	0.07	22.22	0.07	22.31	0.07	22.39	0.07
22.21	0.06	22.23	0.07	22.22	0.06	22.31	0.06	22.39	0.07
22.22	0.06	22.23	0.06	22.22	0.07	22.32	0.06	22.39	0.07
22.21	0.06	22.23	0.06	22.22	0.07	22.32	0.06	22.39	0.06
22.21	0.06	22.23	0.06	22.22	0.06	22.32	0.06	22.39	0.06
22.21	0.06	22.23	0.06	22.21	0.06	22.31	0.06	22.39	0.06
22.21	0.06	22.23	0.06	22.21	0.06	22.31	0.06	22.39	0.06
22.22	0.06	22.23	0.06	22.21	0.06	22.31	0.06	22.39	0.06
22.22	0.06	22.23	0.06	22.21	0.06	22.32	0.06	22.40	0.06
22.22	0.06	22.23	0.06	22.21	0.06	22.32	0.06	22.39	0.06
22.22	0.06	22.23	0.06	22.21	0.05	22.32	0.06	22.40	0.04
22.21	0.06	22.24	0.05	22.21	0.04	22.32	0.04	22.42	0.01
22.22	0.04	22.26	0.02	22.23	0.01	22.33	0.02	22.42	0.00
22.24	0.01	22.27	0.00	22.23	0.00	22.33	0.00	22.42	0.00
22.25	0.00	22.27	0.00	22.23	0.00	22.33	0.00	22.42	0.00

Para realizar la gráfica de la curva P-V considerando diferentes irradiancias según la prueba realizada, y temperatura constante se tiene los siguientes datos como se muestra en la Tabla A.4.

Tabla A.4

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante.

G (W/m²):		G (W/m²):		G (W/m²):		G (W/m²):		G (W/m²):	
901		952		1000		1050		1090	
T (°C):		T (°C):		T (°C):		T (°C):		T (°C):	
25.52		25.29		25.66		25.20		25.25	
U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)	U (V)	P (W)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.0	31.0	5.1	33.7	5.2	36.4	5.3	39.2	5.5	41.6
7.2	44.6	7.6	49.9	8.4	58.0	9.0	65.7	8.8	66.7
8.3	51.5	8.9	58.0	10.0	68.4	10.7	77.6	10.4	78.6
8.9	55.3	9.5	62.2	10.7	73.5	11.5	82.9	11.2	84.4
9.6	59.2	10.2	66.6	11.5	78.7	12.3	88.5	12.1	90.4
10.3	63.2	11.0	71.3	12.3	83.9	13.1	93.9	12.9	96.4
11.0	67.4	11.7	75.9	13.0	88.9	13.8	99.2	13.7	102.3
11.7	71.6	12.4	80.4	13.8	93.7	14.6	104.3	14.4	107.8

Tabla A.4

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

12.4	75.7	13.1	84.9	14.5	98.3	15.3	108.9	15.2	112.8
13.0	79.8	13.8	89.5	15.2	102.7	15.9	112.9	15.8	117.3
13.7	83.9	14.5	93.9	15.8	106.3	16.5	115.7	16.5	120.7
14.4	87.9	15.2	97.9	16.4	108.7	17.1	117.0	17.1	122.7
15.0	91.5	15.8	101.2	17.0	109.7	17.6	116.8	17.6	123.0
15.7	94.7	16.4	103.4	17.5	109.3	18.1	114.9	18.1	121.3
16.2	97.1	17.0	104.5	17.9	107.5	18.5	111.3	18.5	118.0
16.8	98.4	17.5	104.3	18.4	104.1	18.9	106.4	19.0	113.2
17.3	98.4	17.9	102.8	18.8	99.4	19.3	100.5	19.3	107.1
17.8	97.2	18.4	99.8	19.1	93.9	19.6	93.9	19.6	100.3
18.2	94.8	18.8	95.6	19.4	87.7	19.9	86.7	20.0	92.9
18.6	91.2	19.1	90.6	19.7	81.2	20.1	79.5	20.2	85.2
19.0	86.8	19.5	85.0	20.0	74.5	20.4	72.4	20.5	77.5
19.3	81.8	19.7	78.9	20.2	67.9	20.6	65.5	20.7	70.2
19.6	76.4	20.0	72.7	20.4	61.5	20.8	58.9	20.9	63.2
19.9	70.6	20.3	66.4	20.6	55.5	20.9	52.8	21.0	56.7
20.1	64.7	20.5	60.3	20.8	49.9	21.1	47.2	21.2	50.6
20.4	59.0	20.7	54.5	20.9	44.6	21.2	42.0	21.3	45.0
20.6	53.6	20.8	49.1	21.1	39.8	21.4	37.4	21.4	40.0
20.7	48.4	21.0	44.2	21.2	35.6	21.5	33.3	21.5	35.6
20.9	43.5	21.1	39.6	21.3	31.8	21.5	29.6	21.6	31.6
21.0	39.1	21.2	35.3	21.4	28.3	21.6	26.4	21.7	28.0
21.2	35.1	21.4	31.6	21.5	25.2	21.7	23.5	21.8	25.0
21.3	31.4	21.5	28.3	21.6	22.5	21.8	20.9	21.9	22.2
21.4	28.1	21.5	25.2	21.7	20.2	21.8	18.7	21.9	19.8
21.5	25.2	21.6	22.4	21.7	18.1	21.9	16.7	22.0	17.7
21.6	22.6	21.7	20.1	21.8	16.1	21.9	14.9	22.0	15.8
21.6	20.2	21.8	18.0	21.9	14.5	22.0	13.5	22.1	14.1
21.7	18.1	21.8	16.1	21.9	13.1	22.0	12.2	22.1	12.7
21.7	16.3	21.8	14.5	22.0	11.8	22.0	11.1	22.1	11.6
21.8	14.8	21.9	13.1	22.0	10.6	22.1	10.0	22.2	10.6
21.8	13.3	21.9	11.8	22.0	9.8	22.1	9.2	22.2	9.7
21.9	11.9	22.0	10.6	22.1	9.0	22.1	8.4	22.2	8.8
21.9	10.8	22.0	9.7	22.1	8.3	22.1	7.6	22.2	8.0
22.0	9.9	22.0	8.9	22.1	7.5	22.1	7.1	22.2	7.3
22.0	9.0	22.0	8.2	22.1	6.9	22.2	6.5	22.2	6.8
22.0	8.3	22.1	7.5	22.2	6.4	22.2	6.0	22.3	6.2
22.0	7.7	22.1	6.9	22.2	5.9	22.2	5.6	22.3	5.9

Tabla A.4

Datos de las pruebas registradas a diferentes temperaturas e irradiancia constante (continuación).

22.0	7.1	22.1	6.3	22.2	5.5	22.2	5.3	22.3	5.5
22.1	6.5	22.1	5.9	22.2	5.3	22.2	5.0	22.3	5.1
22.1	5.9	22.1	5.5	22.3	5.0	22.2	4.6	22.3	4.8
22.1	5.6	22.1	5.2	22.3	4.6	22.2	4.3	22.3	4.6
22.1	5.3	22.1	5.0	22.3	4.2	22.2	4.1	22.3	4.3
22.1	4.9	22.1	4.6	22.3	4.0	22.2	3.9	22.3	4.0
22.1	4.5	22.2	4.2	22.3	3.9	22.2	3.7	22.3	3.8
22.1	4.2	22.2	4.0	22.3	3.7	22.2	3.5	22.3	3.5
22.1	3.9	22.2	3.8	22.3	3.4	22.3	3.3	22.3	3.3
22.1	3.8	22.2	3.7	22.3	3.2	22.3	3.2	22.3	3.2
22.1	3.7	22.2	3.4	22.3	3.1	22.3	2.9	22.3	3.1
22.2	3.5	22.2	3.2	22.3	3.0	22.3	2.7	22.3	3.0
22.2	3.4	22.2	3.1	22.3	2.9	22.3	2.7	22.3	2.9
22.2	3.2	22.2	2.9	22.3	2.9	22.3	2.6	22.3	2.6
22.2	3.0	22.2	2.7	22.3	2.7	22.3	2.5	22.3	2.4
22.2	2.8	22.2	2.7	22.3	2.5	22.3	2.5	22.3	2.3
22.2	2.6	22.2	2.6	22.3	2.4	22.3	2.4	22.3	2.2
22.2	2.6	22.2	2.5	22.3	2.3	22.3	2.3	22.4	2.1
22.2	2.6	22.2	2.4	22.3	2.2	22.3	2.3	22.4	2.0
22.2	2.4	22.2	2.4	22.3	2.1	22.3	2.2	22.4	1.9
22.2	2.3	22.2	2.3	22.3	2.1	22.3	2.1	22.4	1.9
22.2	2.3	22.2	2.2	22.3	2.1	22.3	2.1	22.4	1.9
22.2	2.3	22.2	2.1	22.3	2.1	22.3	2.0	22.4	1.8
22.2	2.1	22.2	2.0	22.3	1.9	22.3	1.9	22.4	1.8
22.2	2.0	22.2	1.9	22.3	1.8	22.3	1.8	22.4	1.8
22.2	2.1	22.2	1.9	22.3	1.8	22.3	1.7	22.4	1.8
22.2	2.1	22.2	1.9	22.3	1.8	22.3	1.7	22.4	1.8
22.2	1.9	22.2	1.9	22.3	1.8	22.3	1.7	22.4	1.8
22.2	1.7	22.2	1.7	22.2	1.7	22.3	1.7	22.4	1.8
22.2	1.4	22.2	1.4	22.2	1.4	22.3	1.3	22.4	1.4
22.2	1.3	22.2	1.3	22.2	1.3	22.3	1.4	22.4	1.4
22.2	1.3	22.2	1.3	22.2	1.2	22.3	1.4	22.4	1.3
22.2	1.3	22.2	1.3	22.2	1.3	22.3	1.3	22.4	1.3
22.2	1.2	22.2	1.2	22.2	1.3	22.3	1.3	22.4	1.4
22.2	1.3	22.2	1.3	22.2	1.3	22.3	1.3	22.4	1.3
22.2	1.3	22.2	1.3	22.2	1.2	22.3	1.2	22.4	0.9
22.2	1.3	22.2	1.0	22.2	0.9	22.3	1.0	22.4	0.3
22.2	0.9	22.3	0.3	22.2	0.3	22.3	0.3	22.4	0.0
22.2	0.3	22.3	0.0	22.2	0.0	22.3	0.0	22.4	0.0

ANEXO 3. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE HOMOGENEIDAD



Figura A.7. Realización de prueba con el Drone termográfico a una distancia aproximada de 3 metros y un ángulo de 35 °C.

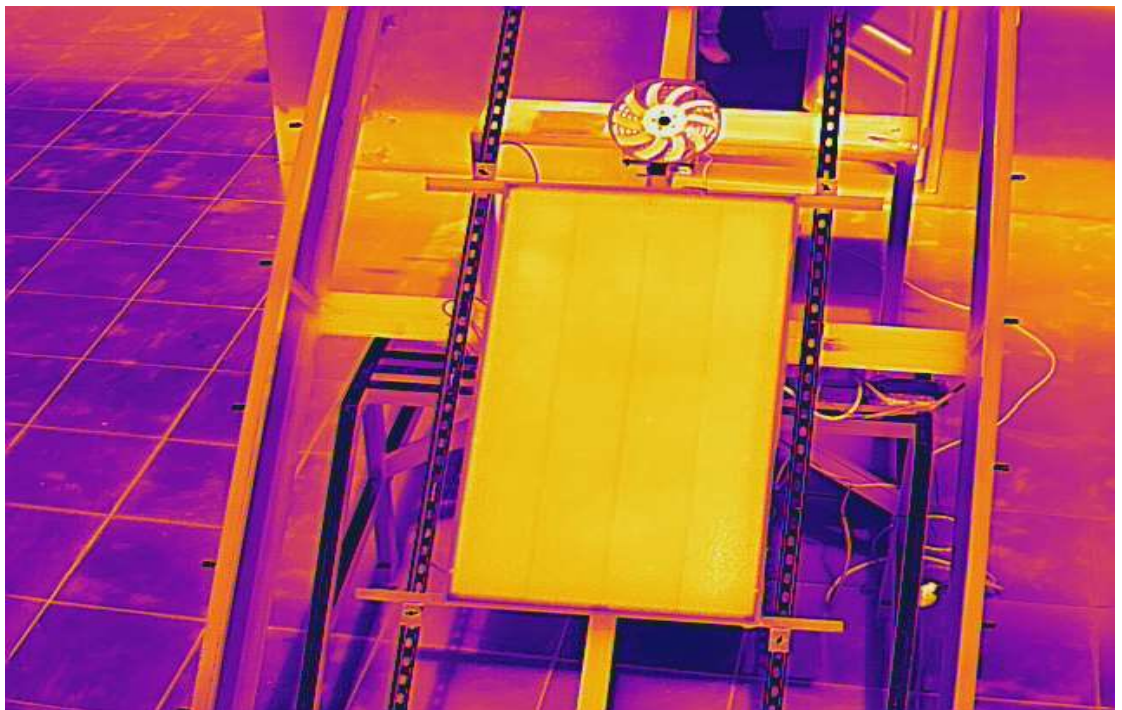


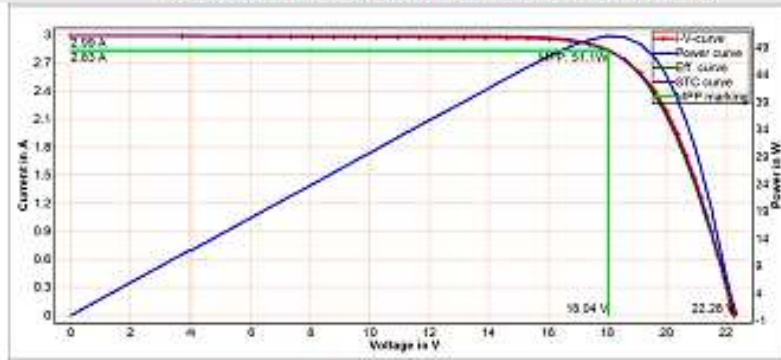
Figura A.8. Imágenes del Dron capturando las temperaturas con la cámara termográfica.

ANEXO 4. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS A CONDICIONES ESTÁNDARES

Instituto de Investigación en Energías
Renovables y Eficiencia Energética-
UNAJ sede ayabacas



Resultado de la medición de potencia fotovoltaica



Measurement Results

Module type: TP3-1053 (TP3-1053-55W)

In series: 1 - Parallel: 1

		Measurm.:	Nominal:	Deviation:
Values at STC:	Peak power P _{pk} :	51.2 Wp	55.0 W	-8.8 %
	P _{pk} max:	53.8 W	n.a.	
	P _{pk} min:	48.6 W	n.a.	
	I _{pmax0} :	2.83 A	3.00 A	-5.6 %
	V _{pmax0} :	18.1 V	18.3 V	-1.2 %
	I _{sc0} :	2.99 A	3.23 A	-7.5 %
	V _{oc0} :	22.3 V	21.8 V	2.4 %
Maximum values (actual):	P max:	51.1 W		
	I _{pmax} :	2.83 A		
	V _{pmax} :	18.0 V		
	I _{sc} :	2.99 A		
	V _{oc} :	22.3 V		
Calculated values:	R _s :	0.6 Ohm	0.5 Ohm	35.6 %
	Losses by add. R _s :	-1 W		
	R _p :	313 Ohm	457 Ohm	-31.5 %
	FF:	0.77	0.78	-1.6 %
	NOCT:	24 DegC		
Conditions during measurement:	Cell temperature T _{mod} :	25.4 DegC		
	Irradiance E _{eff} :	1000 W/m ²		
	Temperature reference cell T _{ref} :	45.6 DegC		

Additional Informations

File: C:\L\Measurement series file\Measurement series file\24-07-2023_09_46_30.SUI

Proffest PV Serial No.: PTEST160003121

Sensor: SCZ-03 #16066

Customer: EDWIN

PV plant: SOL-REAL

Plant part:

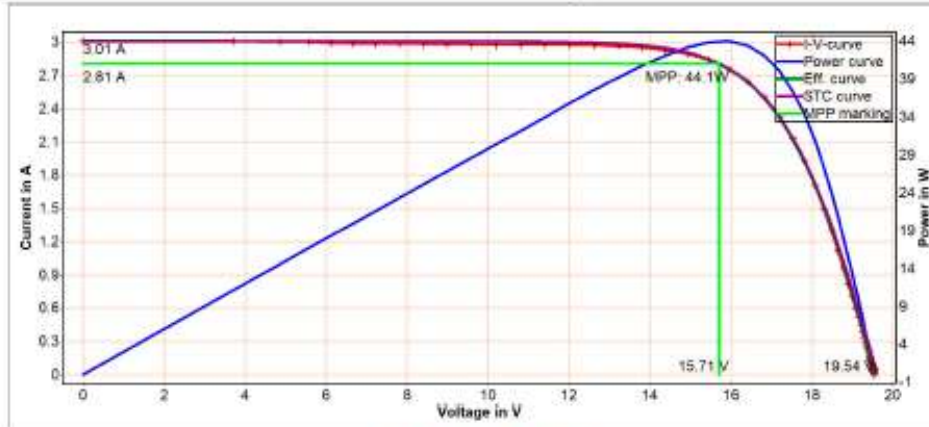
Date of measurement: 24.07.2023 09:46:30

Description:



Figura A.9. Resultado de la caracterización del módulo fotovoltaico del modelo TP3-1053-55W a condiciones STC, obtenidos por el instrumento trazador de curva PVPM1500X.

Resultado de la medición de potencia fotovoltaica



Measurement Results

Module type: TPS-105-50W-DF32 (TPS-105-50W-DF)

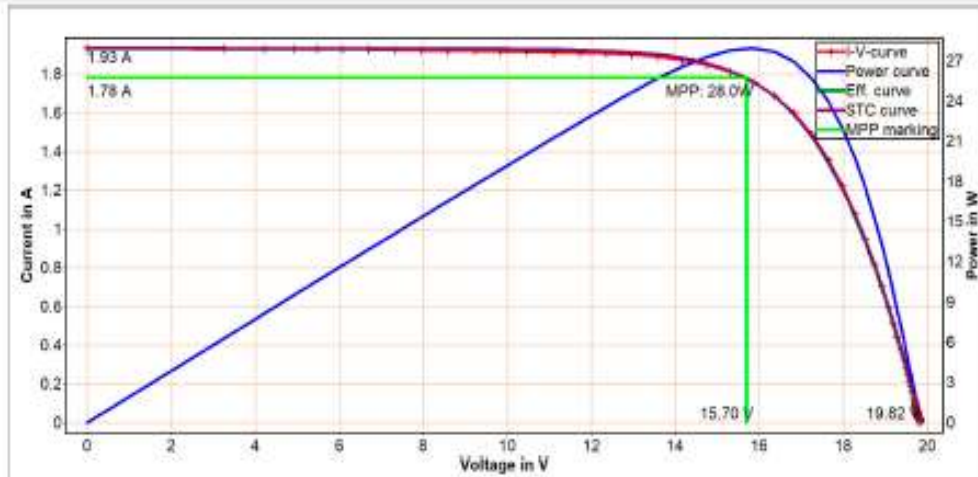
In series: 1 - Parallel: 1

Measum.: Nominal: Deviation:

Values at STC:		Peak power P_{pk} :	44.1 Wp	50.0 W	-11.7 %
		$P_{pk\ max}$:	46.3 W	n.a.	
		$P_{pk\ min}$:	41.9 W	n.a.	
		I_{pmax0} :	2.80 A	2.94 A	-4.6 %
		V_{pmax0} :	15.7 V	17.0 V	-7.4 %
		I_{sc0} :	3.01 A	3.55 A	-15.3 %
		V_{oc0} :	19.6 V	20.5 V	-4.8 %
Maximum values (actual):		P_{max} :	44.1 W		
		I_{pmax} :	2.81 A		
		V_{pmax} :	15.7 V		
		I_{sc} :	3.01 A		
		V_{oc} :	19.5 V		
Calculated values:		R_s :	0.6 Ohm	-	-
		Losses by add. R_s :	n.a.		
		R_p :	368 Ohm	-	-
		FF:	0.75	0.69	9.2 %

Figura A.10. Resultado de la caracterización del módulo fotovoltaico del modelo TPS-105-50W-DF32 a condiciones STC, obtenidos por el instrumento trazador de curva PVPM1500X.

Resultado de la medición de potencia fotovoltaica



Measurement Results

Module type: SIEMENS-SP25 (SIEMENS-SP25)

In series: 1 - Parallel: 1

		Measur.:	Nominal:	Deviation:
Values at STC:				
	Peak power P_{pk} :	28.0 Wp	25.0 W	11.8 %
	$P_{pk\ max}$:	29.4 W	n.a.	
	$P_{pk\ min}$:	26.8 W	n.a.	
	I_{pmax0} :	1.78 A	1.57 A	13.2 %
	V_{pmax0} :	15.7 V	17.4 V	-9.8 %
	I_{sc0} :	1.93 A	1.78 A	8.5 %
	V_{oc0} :	19.9 V	21.0 V	-5.5 %
Maximum values (actual):				
	P_{max} :	28.0 W		
	I_{pmax} :	1.78 A		
	V_{pmax} :	15.7 V		
	I_{sc} :	1.93 A		
	V_{oc} :	19.8 V		
Calculated values:				
	R_s :	1.0 Ohm	1.1 Ohm	-4.8 %
	Losses by add. R_s :	0 W		
	R_p :	656 Ohm	513 Ohm	27.8 %
	FF:	0.73	0.73	-0.3 %

Figura A.11. Resultado de la caracterización del módulo fotovoltaico del modelo SIEMENS-SP25 a condiciones STC, obtenidos por el instrumento trazador de curva PVPM1500X.

ANEXO 5. MANUAL DE USUARIO

El manual de usuario mostrado en la Figura A.12 es una guía donde se detalla el procedimiento que se debe seguir para poder realizar las pruebas de los módulos fotovoltaicos en el banco de ensayos, para obtener esta guía puede dirigirse al siguiente link: <https://acortar.link/MXX8oB>, donde encontrara un archivo PDF para su impresión.



Figura A.12. Manual de usuario del procedimiento para realizar pruebas en el sistema de ensayos.

UNW

