

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**“OPTIMIZACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA
A TRAVÉS DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA EL
SUMINISTRO ELÉCTRICO EN LOS CENTROS
EDUCATIVOS DE LA ZONA CENTRO DEL PERÚ-2020”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE SISTEMAS DE
ENERGÍA ELÉCTRICA

AUTORES:

**YUNIOR ANGEL, BAUTISTA MALLQUI
GREGORIO LEONCIO ESPINOZA OSCCO**

ASESOR: DR. ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA












Callao, 2024

PERÚ

Document Information

Analyzed document	INFORME DE TESIS - YUNIOR Y GREGORIO 09032023.docx (D171486169)
Submitted	6/28/2023 11:26:00 PM
Submitted by	
Submitter email	yunior-angel@hotmail.com
Similarity	2%
Analysis address	fiie.posgrado.unac@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://ovacen.com/energias-renovables/solar/fotovoltaica/ Fetched: 10/21/2022 5:08:15 PM		1
SA	Avance 2 TFM- Eduardo Granda.docx Document Avance 2 TFM- Eduardo Granda.docx (D114892769)		1
SA	Tesis Ing Lenín Giler ..pdf Document Tesis Ing Lenín Giler ..pdf (D156243763)		3
SA	Trabajo de titulacion V6 rev(1).docx Document Trabajo de titulacion V6 rev(1).docx (D142315412)		5
SA	Práctica1_SergiOliva_Lluis Abril_JaumeVerger.pdf Document Práctica1_SergiOliva_Lluis Abril_JaumeVerger.pdf (D162112802)		1
SA	1425505729_Tesis Completa final 1.docx Document 1425505729_Tesis Completa final 1.docx (D13444944)		1
SA	TRABAJO FINAL DE ENERGIAS V1.pdf Document TRABAJO FINAL DE ENERGIAS V1.pdf (D142437677)		1
SA	TESIS LINDAO FINAL 14 FEB.pdf Document TESIS LINDAO FINAL 14 FEB.pdf (D63928712)		1
SA	Viera J..pdf Document Viera J..pdf (D110591823)		1
W	URL: https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/download/13... Fetched: 8/28/2021 5:05:21 AM		1
W	URL: https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316046.pdf Fetched: 6/8/2021 11:57:20 PM		1

Entire Document

INFORMACIÓN BÁSICA

- **FACULTAD**

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

- **TÍTULO:**

“Optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020”

- **AUTOR(ES):**

Bautista Mallqui, Yunion Angel, ORCID: 0009-0001-6267-5009

DNI: 43426408

Espinoza Oscoco, Gregorio Leoncio, ORCID: 0009-0008-5154-8574

DNI:08337982

- **ASESOR:**

Dr. ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS

- **LUGAR DE EJECUCIÓN**

Zona centro del Perú

- **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Explicativo y Aplicada

- **UNIDADES DE ANÁLISIS**

Componentes de la Generación Eléctrica

HOJA DE REFERENCIA DE JURADO EVALUADOR

JURADO EXAMINADOR:

- | | |
|--|------------|
| 1. Dr. JACOB ASTOCONDOR VILLAR | PRESIDENTE |
| 2. Dr. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ | SECRETARIO |
| 3. MG. ROBERTO ENRIQUE SOLIS FARFAN | MIEMBRO |
| 4. MSc. CARLOS HUMBERTO ALFARO RODRIGUEZ | MIEMBRO |

Asesor: Dr. Lic. ADAN ALMIRCAR TEJADA CABANILLAS

N° DE LIBRO: 01

N° DE FOLIO: 145

N° DE ACTA : 09_2024

FECHA DE APROBACIÓN: 25 JULIO, 2024

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicado a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir la Maestría, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona , a mis hermanos y sobrinos por sus palabras y compañía, a mi esposa y hija por sus palabras y confianza, por su amor y por brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente, a los docentes de la maestría, quienes nos brindaron y compartieron sus mejores conocimientos, experiencias, y concejos para formarnos como mejores profesionales y a mis amigos de la maestría, quienes de una y otra forma, llegaron a compartir sus experiencias y conocimientos en las diferentes áreas de este hermosa carrera, que es la ingeniería eléctrica-FIEE.

(Yunior Angel Bautista Mallqui)

Este trabajo es dedicado a mi amada esposa y a mis hijos que han sido fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mis padres y hermanos quienes con sus palabras de aliento no me dejaban para seguir adelante y siempre ser perseverante.

A mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías y todas aquellas personas que durante este tiempo estuvieron apoyándome y lograron este sueño se haga realidad.

(Gregorio Leoncio Espinoza Oscoco)

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional como “Maestro en Ingeniería Eléctrica con Mención en Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica”.

(Yunior Angel Bautista Mallqui)

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme guiado para la culminación de mi maestría, por guiarme a lo largo de este camino, por darme fuerzas en aquellos momentos de dificultad y debilidad, brindándome el coraje necesario para cumplir mis sueños y no desistir. agradezco a mis profesores, compañeros de la universidad y a mi compañero de tesis que fue vital apoyo para terminar este proyecto para la titulación.

A lo largo del camino siempre llegan las personas correctas quienes son un motivo más para esforzarte.

(Gregorio Leoncio Espinoza Oscoco)

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN	7
RESUMO	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1. Descripción de la realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema.....	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo general	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Limitantes de la investigación	14
1.4.1. Limitante espacial.....	14
1.4.2. Limitante temporal.....	14
II. MARCO TEÓRICO	15
2.1. Antecedentes	15
2.1.1. Antecedentes internacionales	15
2.1.2. Antecedentes nacionales	18
2.2. Bases teóricas	22
2.2.1. Coordenadas Geográficas.....	22
2.2.2. Radiación Solar	23
2.2.3. Irradiancia Solar	24
2.2.4. La irradiación.....	24
2.2.5. Definición de Optimización	25
2.2.6. Energía Solar Fotovoltaica	25
2.2.7. Efecto Fotovoltaico	26
2.2.8. Generación Fotovoltaica.....	27
2.2.9. Ventajas en un sistema fotovoltaico	27
2.2.10. Desventajas en un sistema fotovoltaico	28

2.2.11.	Generación Solar Fotovoltaica En Perú	28
2.2.12.	Componentes de las Instalaciones Solares Fotovoltaicas	31
2.2.13.	Descripción del sistema Fotovoltaico fijo Instalado en la Institución Educativa NEVATI	52
2.2.14.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico actual instalado en la institución educativa NEVATI.....	53
2.2.15.	Eficiencia del sistema fotovoltaico instalado.	72
2.2.16.	Seguidor Solar utilizado para optimizar el suministro de electricidad a la institución educativa NEVATI	75
2.2.17.	Tipos de seguidores solares	75
2.2.18.	Según el tipo de movimiento: Sistema de seguimiento solar de un eje 75	
2.2.19.	según el algoritmo de seguimiento: Seguidor con programación astronómica	76
2.3.	DESCRIPCIÓN COMPLETA DEL EXPERIMENTO.....	76
2.3.1.	Desarrollo Del Sistema De Control Automático Por Software Para La optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar para el Suministro Eléctrico en la IIEE NEVATI	96
2.3.2.	Desarrollo De Algoritmo Matemático Y Lógica De Programación Del Sistema De Control Automático.....	96
2.3.3.	Implementación del sistema completo en Simulink	105
2.3.4.	Modelado y simulación del seguidor solar en simulink	105
2.3.5.	Modelamiento del circuito del seguidor solar de un eje	109
2.3.6.	Circuito del punto de Máxima Potencia	110
2.3.7.	Perturbación y observación (P&O).	111
2.3.8.	Circuito de Medición	113
2.3.9.	V-Realm Builder	114
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	117
3.1.	Hipótesis	117
3.1.1.	Hipótesis general.....	117
3.1.2.	Hipótesis específicas	117
3.2.	Definición conceptual de variables.....	117
3.3.	Operacionalización de variable	118
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	120
4.1.	Tipo de investigación	120
4.2.	Diseño de investigación	120

4.3. Método de investigación	121
4.4. Población y muestra.....	121
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	122
V. RESULTADOS DE SIMULACIÓN	122
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	129
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	129
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares.....	130
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	132
VII. CONCLUSIONES.....	133
VIII. RECOMENDACIONES	134
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	135
ANEXOS	138
Anexo N° 01: Matriz De Consistencia	139
Anexo N° 02. Diagrama Unifilar De La Instalación Fotovoltaica En La Institución Educativa Nevati.	140
Anexo N° 03. Espacio Disponible Para La Instalación Fotovoltaica En La Institución Nevati.....	141
Anexo N° 04. Cuadro De Cargas De La Institución Educativa Nevati.....	142
Anexo N° 05. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico utilizando el software PV syst 7.2.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro de cargas de la IIEE Nevati.....	11
Tabla 2. Plantas solares en el Perú	30
Tabla 3. Coordenadas de la Institución Educativa NEVATI	54
Tabla 4. Irradiación Solar promedio 1984-2021-NASA.....	55
Tabla 5. Irradiación Solar Promedio (<i>kwh/m2</i>) por mes de los últimos 5 años- NASA	57
Tabla 6. Cuadro de Cargas de la Institución NEVATI.....	60
Tabla 7. Tensión Nominal del Sistema según la Potencia de generación	62
Tabla 8. Seguidores Solares a un Eje	73
Tabla 9. Radiación Vs Temperatura	77
Tabla 10. Datos de Radiación y Temperatura	79
Tabla 11. Conversión de día del mes <i>d</i> a números de día <i>N</i> en el año	97
Tabla 12. Parámetros de entrada al VRML	116
Tabla 13. Operacionalización de variable	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Coordenada Geográfica-Latitud	22
Figura N° 2. Coordenada Geográfica-Longitud	23
Figura N° 3. Irradiancia Solar	24
Figura N° 4. Irradiación Solar	25
Figura N° 5. Efecto Fotovoltaico Dentro de los Paneles Solares	26
Figura N° 6. Plantas Solares Fotovoltaicas en el Perú	30
Figura N° 7. Constitución de un Panel Solar.	31
Figura N° 8. Estructura de la Célula Solar.....	32
Figura N°9. Circuito Equivalente de la Célula Fotovoltaica Ideal.....	33
Figura N° 10. Circuito Equivalente de la Célula Fotovoltaica Real	35
Figura N° 11. Célula Fotovoltaica: a) En Cortocircuito b) En Circuito Abierto c) Conectado a una Carga	36
Figura N°12. Influencia de la temperatura sobre la célula fotovoltaica.....	38
Figura N° 13. Influencia de la irradiancia sobre la célula fotovoltaica.....	39
Figura N° 14. Influencia de la irradiancia sobre la célula fotovoltaica.....	39
Figura N° 15. Tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito	40
Figura N° 16. Tipos de Baterías en el Mercado Peruano	44
Figura N° 17. Descarga profunda de la Batería y su influencia	46
Figura N° 18. Conexión del regulador en un sistema fotovoltaico off grid	47
Figura N° 19. Curva de Potencia utilizando un regulador PWM.....	48
Figura N° 20. Curva de Potencia utilizando un regulador MPPT	49
Figura N° 21. Diagrama unifilar de la Instalación del SFV en la IIEE Nevati ...	52
Figura N° 22. Ubicación del sistema fotovoltaico	53
Figura N° 23. Orientación y ángulo Óptimo de Inclinación	54
Figura N° 24. Irradiación solar 1981-2022 – Nasa	56
Figura N° 25. Curva de Irradiación Solar-Nasa	57
Figura N° 26. Orientación del Panel Solar Fotovoltaico	59
Figura N° 27. Características eléctricas del panel solar utilizado (JAM6-72-300)	63
Figura N° 28. Configuración Fotovoltaica Instalada en la IIEE Nevati.....	64
Figura N° 29. Conexión de las Baterías en la Institución Educativa.....	68
Figura N° 30. Inversor	70
Figura N° 31. Caída de Tensión máxima Permitidas.....	71
Figura N° 32. Calibres de los conductores eléctricos	72
Figura N° 33. Eficiencia de un sistema Fotovoltaico	74
Figura N° 34. Seguidor Solar a un eje con algoritmo con programación.....	76
Figura N° 35. Declinación a lo largo del año	98
Figura N° 36. Ecuación del Tiempo.....	100
Figura N° 37. Operación real del seguimiento solar	102
Figura N° 38. Flujograma para desarrollo del software	104
Figura N° 39. Modelado del sistema Fotovoltaico para optimizar	106
Figura N° 40. Curva V-I, Panel tipo Policristalino	107

Figura N° 41. Curva V-I, Panel tipo Monocristalino	107
Figura N° 42. Curva V-I, del Panel Solar Policristalino con Seguidor.....	108
Figura N° 43. Algoritmo de seguimiento de diagrama de flujo en un eje.....	109
Figura N° 44. Circuito del seguidor solar	110
Figura N° 45. Circuito de MPPT	111
Figura N° 46: Parámetros de P&O	111
Figura N° 47. Parámetros de bloque	113
Figura N° 48. Circuitos de señales de entradas y salidas (From y Goto)	114
Figura N° 49. Modelado de seguidor solar en el V-Realm Builder	115
Figura N° 50. Jerarquía en el modelado del seguidor solar	115
Figura N° 51: Parámetros de VR to Video.....	116
Figura N° 52. Modelo de datos Obtenidos en la estación de Puerto Inca	123
Figura N° 53. Comportamiento Energético de PVS1 con paneles Monocristalino	124
Figura N° 54. Comportamiento Energético de PVS2 con paneles Policristalino	125
Figura N° 55. Comportamiento Energético de FV3 con Seguidor Solar.....	126
Figura N° 56. Captación de la radiación solar por los SFV Fijo Vs SFV con Seguidor Solar.	127
Figura N° 57. Potencia de salida en CA, sistema Fotovoltaico Con Tecnología Monocristalino	128
Figura N° 58. Potencia de salida en CA, sistema Fotovoltaico Con Tecnología Policristalino	128
Figura N° 59. Potencia de salida en CA, sistema Fotovoltaico Con Tecnología Policristalino con Seguidor Solar.....	128

RESUMEN

Objetivo: Determinar la influencia del seguidor solar de la generación fotovoltaica en el suministro eléctrico de los centros educativos de la zona centro del Perú-2020.

Metodología: El tipo de investigación es explicativo y demostrativo, diseño No experimental con un método cuantitativo. La población estuvo conformada por la Institución Educativa NEVATI, ubicada en el departamento de Pasco, Provincia de Oxapampa.

Resultados: Las potencias suministradas a una carga de 6,323W_p, en la cual la tecnología con seguidor solar, compuesto por 16 módulos fotovoltaicos de potencia 300W_p c/u, está generando una potencia de 4,536.28W_p, en comparación a las tecnologías monocristalino y policristalino compuestos por 26 módulos fotovoltaicos c/u 300W_p, que generan una potencia de 4430.73W_p y 4219.09W_p. respectivamente. Una vez más se comprueba q contando con tecnología con seguidor solar se puede generar el mismo valor de energía y potencia con una cantidad menor de paneles solares, con ellos se reduce el costo de instalación en los centros educativos, suministrados por esta tecnología.

Conclusiones: Generar más energía mayor energía con nuestros módulos fotovoltaicos y, por tanto, ser más eficiente permitir que nuestros paneles dispongan de seguidores solares es una buena idea. Y puesto a introducir capacidad de seguimiento lo ideal es dotar a nuestros paneles de un eje de libertad para así extraer la máxima potencia a lo largo del día.

Palabras Clave: solar, fotovoltaico, suministro.

RESUMO

Objetivo: Determinar a influência do seguidor solar de geração fotovoltaica no abastecimento elétrico dos centros educativos da zona central do Peru-2020.

Metodología: O tipo de pesquisa é explicativo e demonstrativo, com desenho não-experimental e método quantitativo. A população foi constituída pela Instituição Educacional NEVATI, localizada no departamento de Pasco, Província de Oxapampa.

Resultados: A potência fornecida a uma carga de 6.323W_p, em que a tecnologia com seguidor solar, composta por 16 módulos fotovoltaicos de potência 300W_p cada, está a gerar uma potência de 4.536,28W_p, em comparação com as tecnologias monocristalina e policristalina compostas por 26 módulos fotovoltaicos de 300W_p cada, que geram uma potência de 4430,73W_p e 4219,09W_p. respetivamente. Mais uma vez se comprova que, com a tecnologia de seguidores solares, se pode gerar o mesmo valor de energia e potência com um menor número de painéis solares, reduzindo assim o custo de instalação nos centros educativos, abastecidos por esta tecnologia.

Conclusões: Para gerar mais energia com os nossos módulos fotovoltaicos e, portanto, ser mais eficientes, é uma boa ideia dotar os nossos painéis de seguidores solares. E ao introduzir a capacidade de seguimento, é ideal dotar os nossos painéis de um eixo de liberdade para extrair a máxima potência ao longo do dia.

Palavras-chave: solar, fotovoltaico, abastecimento.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la instalación de paneles solares fotovoltaicos para aprovechar la energía solar se ha hecho evidente con el paso de los años. Uno de los problemas principales que se tienen al aprovechar esta energía solar utilizando paneles fotovoltaicos, es el elevado costo de estos en proporción a la cantidad de energía que producen. Ahora bien, el uso de sistemas de seguimiento solar busca que los rayos del sol sean perpendiculares al panel fotovoltaico, lo cual es una buena opción para mejorar la relación costo-beneficio a largo plazo de estos sistemas en particular. En el presente informe de tesis se realizó la optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar de un eje para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú, con un sistema de control sencillo y económico. Con el objetivo de mejorar la eficiencia de paneles solares fotovoltaicos, se comparó la eficiencia del sistema diseñado con la de un sistema fotovoltaico fijo. Los resultados demostraron que la máxima eficiencia alcanzada por ambos sistemas fotovoltaicos se obtuvo entre las 10:00-11:30 y 12:40 -3:25 horas, alcanzando valores por encima del 95 % para la condición de día soleado. Finalmente, el porcentaje promedio de la eficiencia del sistema de seguimiento solar fue mayor que el sistema fijo en un 51.9 %, aproximadamente. Al extraer más energía del panel fotovoltaico con seguimiento solar durante un tiempo mayor, promueve que el sistema propuesto sea más rentable comparado con la energía que se logra con paneles solares fijos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Hoy en día el acceso a la energía eléctrica convencional en la zona rural de la selva central del Perú es escaso especialmente en las comunidades nativas, debido a la ubicación geográficas de los lugares, ante este hecho el GOBIERNO REGIONAL DE PASCO, viendo la marginación y abandono de la población rural cuyo índice de analfabetismo es el 40%. Se organizaron para ejecutar proyectos de infraestructura y equipamiento que beneficien a los niños y que les permita disponer de servicios educativos de calidad. Es por ello que se logra ejecutar el proyecto denominado "INSTALACIÓN Y EQUIPAMIENTO A LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS FOCALIZADAS DEL NIVEL INICIAL EN EL MARCO DEL PELA EN EBR- AMPLIACIÓN DE COBERTURA DE LA RED N 2- PASCO".

Este proyecto de dotación de energía eléctrica para los centros educativos mediante una fuente no convencional (sistemas fotovoltaicos), instalados en las seis instituciones educativas de la zona Centro del territorio peruano (tales como: IIEE Buena Ventura, Acolla, Palmacocha, Nueva Esperanza, Primavera, Nevati), están conformado por: veintiséis (26) paneles fotovoltaicos de 300 Wp c/u , Banco de baterías (conformado por 24 baterías de $6V/567Ah \text{ c/u}$), Dos Reguladores o controladores de carga (70 y 80 Ampere), un inversor de onda sinusoidal pura (10KVA), llaves termomagnéticas, interruptor diferencial, un pararrayo tipo franklin, sistemas de puesta a tierra y estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos instalados de manera fija, con una orientación al norte y una inclinación de 20° .

Este sistema fotovoltaico actual necesario para suministrar energía eléctrica exteriores e interiores de los centros educativos, no es aprovechado eficientemente, debido al sistema fijo instalado y a la inclinación no óptima de los módulos fotovoltaico, por ello se tendrá algunos inconvenientes en las épocas de invierno donde las cantidad de

autonomía supera los 3 días de ausencia del sol, así mismo en esta época será difícil de abastecer de energía eléctrica a todos los equipos electrodomésticos mencionados en la siguiente tabla N°1:

Tabla 1. Cuadro de cargas de la IIEE Nevati

ITEM	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Potencia Total	Área de Funcionamiento
1	Luminarias	4	32	128	AULA 2
2	Computadoras	3	150	450	AULA2
3	Luminarias	1	24	24	SS.HH. VARONES
4	Luminarias	1	24	24	SS.HH. MUJERES
5	Luminarias	4	32	128	AULA 1
6	Computadoras	3	150	450	AULA 1
7	Luminarias	4	32	128	SUM
8	Luminarias	4	24	96	SUM
9	Refrigeradora	1	180	180	SUM
10	Luminarias	6	24	144	TOPICO
11	Computadoras	1	150	150	TOPICO
12	Luminarias	2	24	48	DIRECCIÓN
13	Impresoras	2	400	800	DIRECCIÓN
14	Computadoras	1	150	150	DIRECCIÓN
15	Luminarias	4	32	128	SAL-COCINA-DORM
16	Luminarias	1	24	24	SAL-COCINA-DORM
17	Refrigeradora	1	180	180	SAL-COCINA-DORM
18	TV 40"	2	190	380	SAL-COCINA-DORM
19	Luminarias	4	32	128	SPICOMOTRICIDAD
20	Luminarias	40	18	720	PARTE EXTERNA
21	Electrobomba	1	373	373	BOMBEO DE AGUA
22	Luminarias	1	24	24	ESTACION DEL PANEL

Fuente: Elaboración Propia del Autor

Es por ello que en el informe de tesis se da a conocer la optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar que se instalará en los centros educativos de la zona centro del Perú, con ello se conseguirá posicionar los módulos fotovoltaicos en dirección

perpendicular a los rayos del sol, de esa manera mejorar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos y sobre todo reducir la cantidad de paneles instalados, manteniendo la misma potencia y energía suministrada. Para este proyecto se vio la necesidad de tomar en consideración la institución educativa NEVATI.



Figura N° 1. Sistema Fotovoltaico Fijo Instalado en la IIEE Nevati
Fuente: Elaboración Propia del Autor

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye el seguidor solar de la generación fotovoltaica en el suministro eléctrico de los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué parámetros son requeridos para el dimensionamiento de un seguidor solar en la optimización de la generación fotovoltaica para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?
- ¿Qué tecnología será la más adecuada para la optimización de la generación fotovoltaica para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?
- ¿De qué manera el proyecto tendrá una aplicación para el óptimo aprovechamiento de la energía solar para el mejor rendimiento eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia del seguidor solar de la generación fotovoltaica en el suministro eléctrico de los centros educativos de la zona centro del Perú-2020

1.3.2. Objetivos específicos

- Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico de auto posicionamiento para optimizar el suministro eléctrico en la Institución Educativa NEVATI.
- Diseñar el circuito de control, que permita generar las señales de control que requieren los actuadores para orientar los generadores fotovoltaicos.

- Determinar el análisis económico de la instalación de un sistema fotovoltaico a través de un seguidor solar en la Institución Educativa NEVATI.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Limitante espacial

La investigación se desarrollará en los seis centros educativos de la zona centro del Perú, especialmente en el departamento de Pasco, para lo cual se tomó como muestra al centro educativo NEVATI, ubicado en el departamento de Pasco, Provincia de Oxapampa, Distrito Puerto Bermúdez, Comunidad Nativa de Redención Nevati, con coordenadas Latitud -10.3738 Longitud -74.8547, dicha institución se encuentra aislada a la red de distribución eléctrico convencional.

1.4.2. Limitante temporal

La investigación tendrá una duración de 12 meses.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis presentada por García Reyes y Peñate Santos (2016) la cual estuvo titulada “Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución” y tenía como objetivo construir un sistema de seguimiento solar de eje horizontal y evaluar su aporte en la generación fotovoltaica. El estudio fue de tipo aplicativo experimental. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que la implementación del seguidor solar se logra un incremento significativo en la generación de energía eléctrica, obteniendo un aumento del 38% en un día soleado con respecto a los sistemas fijos, sin embargo, en un día nublado se registró un incremento del 18% esto se debe a que la radiación difusa es mayor que la radiación directa en días nublados, que es la que se busca aprovechar con el seguimiento solar y El software empleado en el sistema de control, resulto ser muy versátil, este permite configurar los rangos de movimiento del seguidor solar, y es utilizable en sistemas de seguimiento tanto de eje horizontal como en seguidores solares de eje inclinado con los mismos resultados, los cálculos a realizar en el algoritmo se desarrollan a partir de datos adquiridos de un GPS, (hora, fecha, latitud), esto hace que el seguimiento sea preciso, porque el sistema de control realiza el cálculo de ω (ángulo hora solar), constantemente a lo largo del día.

En la investigación realizada por Escobar Mejía, Holguín Londoño y Osorio R. (2010) la cual tuvo como objetivo presentar el desarrollo e implementación de un prototipo que permite realizar el seguimiento de la trayectoria solar. La investigación es de tipo aplicativo y descriptivo. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que el prototipo construido cumple con las características requeridas de seguimiento en un solo eje, realizando el seguimiento azimutal del sol, el sistema

presenta una alta resolución de entrada que le permite muestrear de forma satisfactoria la señal de voltaje proveniente de los sensores y de esta manera reaccionar adecuadamente ante mínimos cambios de luminosidad y el tiempo de respuesta del dispositivo (movimiento del motor) puede ser modificado desde el algoritmo de seguimiento, de esta manera aumentar o disminuir el torque del motor.

En la investigación realizada por Miranda Escobar (2016) la cual tuvo como objetivo desarrollar y aplicar metodologías confiables para proyectos de centrales fotovoltaicas de baja potencia y aplicarlos a viviendas típicas ubicadas en diversas ciudades del país. El estudio es de tipo explicativo. Los resultados obtenidos fueron que es más conveniente utilizar paneles policristalinos para generar energía por sobre los monocristalinos, debido a que sus costos son menores, y la eficiencia de ambos tipos es parecida (15,4% monocristalinos y 14,14% policristalinos). Sin embargo, se debe considerar que el costo de los paneles es una variable muy volátil, que depende de las eventuales ofertas que existan en el mercado y se podría dar que exista una oferta temporal en que los paneles monocristalinos resulten más económicos que los policristalinos y entonces, el proyecto con paneles monocristalinos sea más rentable. Se llegó a las siguientes conclusiones: la instalación de generación solar fotovoltaica en una vivienda no es un proyecto atractivo para los clientes de las distribuidoras. Ello se debe a la alta inversión inicial y al bajo pago recibido por conceptos de energía inyectada, lo que se traduce en una rentabilidad baja y largos periodos de recuperación del capital, que pueden alcanzar los 10 años o más. Se observa que ciertas medidas que se pueden aplicar tienen diferente impacto dependiendo de la zona en que se aplican, lo que lleva a concluir que se debe diferenciar según zona geográfica donde se aplica el proyecto.

En la investigación realizada por Vargas Gálvez (2020) la cual tuvo como objetivo determinar el dimensionamiento y ubicación óptimo para la generación fotovoltaica en una Microred georreferenciada

utilizando generación de columnas. La investigación es de tipo Aplicada y explicativa. Los resultados obtenidos fueron: se cumple los balances de potencia, al momento de realizar el flujo óptimo de potencia FOP, También se observa que se han entrado en funcionamiento algunas unidades de generación fotovoltaica, que el optimizador ha considerado necesario para poder minimizar el costo de operación del sistema, es así que se han activado en cada caso 5 unidades de generación, obteniendo como resultado la ubicación de la generación distribuida. Las conclusiones a las que se llegó fueron: La micro generación distribuida es una de las posibles soluciones para satisfacer las necesidades, tanto del sistema de distribución eléctrica, como del sistema de transmisión, el método de generación de columnas reduce el tiempo computacional que se necesita para encontrar un óptimo resultado a un modelo matemático específico y el optimizador entrega resultados lo más cercanos a los simuladores, con un error menor mínimo lo que resulta muy útil para optimizar tiempos de trabajo, además que es posible realizar el análisis de un SDE y la optimización del mismo, bajo el mismo código de programación y dentro del mismo software.

En el estudio realizado por Agudelo, Delgado y Aristizábal (2016) en el cual tuvieron como objetivo fomentar el uso de energías renovables como un asunto de interés nacional y de compromiso con el medio ambiente. El estudio es de tipo explicativo correlacional y estuvo dividido en 2 etapas. Los resultados obtenidos fueron los meses con mayor radiación son junio y julio alcanzando valores aproximados de 3.83 kWh/m^2 y los de menor radiación abril, agosto y noviembre con valores aproximados de 1.59 kWh/m^2 . La temperatura presenta un comportamiento bastante definido con valores promedios máximos de $26 \text{ }^\circ\text{C}$ y promedios mínimos de $22 \text{ }^\circ\text{C}$, en las condiciones de la ciudad de Quibdó, se logra una tasa interna de retorno del 5.3 % y un periodo de repago de capital en 14.7 años; condiciones que son favorables para un proyecto con un periodo de vida de 25 años. Las

conclusiones a las que se llegaron fueron: La temperatura presenta un comportamiento regular en cuanto a máximos y mínimos presentes en todos los meses del año. Se determinó que en la región se registran temperaturas máximas entre 27 y 31 °C y temperaturas mínimas entre 22 y 23 °C. La implementación de un sistema fotovoltaico con las características establecidas es viable, gracias a que la recuperación de la inversión se alcanza antes del tiempo de vida del proyecto; tanto en Alemania como en Colombia y en específico para la ciudad de Quibdó. Si en Colombia existiese el mismo escenario de regulación en la venta de electricidad que existe en Alemania, la generación por energía renovable podría presentar mayores crecimientos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la tesis presentada por Sagua Mamani (2017) la cual llevaba por título “Análisis y modelamiento para un módulo fotovoltaico, basado en un sistema de generación de energía renovable Microred en la ciudad de puno” y tenía por objetivo analizar el comportamiento de un módulo fotovoltaico, a partir de un modelo matemático el cual nos permita describir y explicar los parámetros eléctricos obtenidos de la célula solar; y su integración a una Microred. La investigación fue de tipo descriptiva y analítica. Las conclusiones a las que se llegó fueron que Durante el desarrollo de la presente investigación, se partió de los principios físicos teóricos, del circuito equivalente de una célula solar fotovoltaica, obteniéndose un modelo matemático; el cual mediante un algoritmo de programación se puede simular en MATLAB/Simulink y obteniéndose como respuesta; el comportamiento exacto de la curva característica $I - V$ y $P - V$ de un módulo PV y que La corriente generada por el módulo PV , está ligada directamente a la irradiación solar; mientras la temperatura se relaciona al voltaje de esta; al cual también está sujeto la potencia de salida y la eficiencia del módulo.

Estos son los factores determinantes para modelamiento del módulo *PV*.

En la investigación realizada por Mayta Roque (2019) la cual estuvo titulada como “Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro” y tuvo como objetivo evaluar el efecto en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía teniendo en cuenta diversos niveles de protección (de 0 a 2 reajustes) del sistema eléctrico de distribución en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro durante el año 2018. El estudio fue de carácter analítico con un diseño no experimental transversal explicativo. La población estuvo conformada por el total de alimentadores dentro del sistema eléctrico del valle de Mantaro. Los resultados demuestran que la protección del sistema eléctrico de distribución afecta positivamente en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el Alimentador A4502 de la Unidad del Valle del Mantaro, toda vez que en casos de fallas dentro del sistema se activan otros interruptores para asegurar la calidad del servicio de energía. Dentro de las conclusiones obtenidas se determinó que la protección del sistema eléctrico de distribución mediante relevadores electromecánicos afecta de manera positiva en la calidad del producto del servicio eléctrico de energía en el alimentador A4502, se vio que la protección del sistema ofrece ventajas como la seguridad, protección de equipos y selectividad.

En el estudio realizado por Chapoñan Cuzo (2018) el cual tuvo como objetivo dimensionar un sistema de generación fotovoltaica aislada para el suministro de energía eléctrica para la localidad de Cruz de Pañala, ubicado en el distrito de Morrope. La investigación es de tipo descriptiva. La muestra estuvo conformada por la comunidad local de Cruz de Pañala siendo un total de 138 habitantes y 38 viviendas. Las conclusiones a las que se llegaron fueron: el cálculo del consumo de energía diaria total de las 38 viviendas, 01 centro educativo, 01 Local

comunal y 01 iglesia el cual es de $25,72 \text{ kWh/día}$ y una potencia de $6,41 \text{ kW}$ teniendo en cuenta un periodo de tiempo de utilización de cada equipo instalado en cada vivienda, los datos de radiación solar promedio mensual de todo un año por medio de datos estadísticos brindados por la página de la NASA y del atlas del SENAMHI, en donde se tomó el nivel de radiación solar más bajo $4,01 \text{ kWh/ /día}$, para así no tener problemas con el sistema de generación de energía para la localidad de Cruz de Pañala. La mini central eléctrica fotovoltaica estará compuesta por 60 paneles fotovoltaicos de 185 Wp de potencia cada uno, 48 baterías de acumuladores, 3 reguladores de carga y 3 inversores. Dando una potencia instalada del sistema de captación de energía de $11,10 \text{ kWp}$.

En la investigación realizada por Camacho Narváez (2019) el cual tuvo como objetivo diseñar un sistema de generación fotovoltaica para suministrar energía eléctrica a las viviendas del caserío El Higuero del Distrito de Pampas de Hospital, Tumbes – 2018. La investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental. La población estuvo conformada por todas las viviendas del caserío El Higuero del distrito de Pampas de Hospital en Tumbes con un total de habitantes de 54. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que la máxima demanda y la energía que requieren las viviendas del Caserío El Higuero es de $4,925 \text{ kW}$ y de $24.85 \text{ kW} - \text{h/día}$ respectivamente, la variación de radiación solar que se registraron en la zona que permitan generar electricidad es de $3,48 \text{ kWh/m}^2$, el Sistema Fotovoltaico estará conformado por 56 Paneles Fotovoltaicos *SIMAX* 190 Wp , 16 Baterías Rolls de 503 Ah , 01 inversor VICTRON ENERGY de 10 kW , las Redes de Distribución Eléctrica para el caserío El Higuero serán de Aluminio Autoportante de $2 \times 25 \text{ mm}^2 + 16 \text{ mm}^2$, con poste de 8m de CAC y el Presupuesto que involucra el Sistema Fotovoltaico es de: S/. 42092,60 y la Red Eléctrica Secundaria es de S/. 66352,61, haciendo un Presupuesto Total de S/. 155301,69.

En la investigación realizada por Velásquez Cruz (2020) el cual tuvo como objetivo diseñar y analizar la operación de una instalación fotovoltaica de generación distribuida para el autoconsumo de la UCSM. La investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental. La población estuvo conformada por la Universidad Católica de Santa María. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que se ha diseñado y analizado los componentes en operación de un sistema solar fotovoltaico de GD usando software ETAP que satisfacen el autoconsumo de las instalaciones de la UCSM, encontrándose un costo de energía de S/0,11/kWh para GD, se tiene en GD mayor factibilidad económica con respecto a un sistema autónomo, mostrando una TIR del 7% y un tiempo de recuperación de la inversión de 11 años en GD, para un sistema autónomo se tiene una TIR del 4% y 16 años de tiempo de recuperación de inversión, se han determinado los equipos considerando y evaluando el consumo eléctrico de la UCSM en función a su comportamiento promedio diario anual de 4321,7 kWh realizándose el dimensionado para un tiempo proyectado de 25 años y se determinó que los módulos policristalinos AE7P325-VB5B de 325 Wp serán los más efectivos evaluando su relación costo por unidad de potencia suministrada con respecto a otras alternativas, que ocuparán un área horizontal aproximada en conjunto de 6240 m² , en el caso de generación autónoma se requerirán 3216 módulos, agrupados en 268 campos controlados de 12 módulos (4 en serie y 3 en paralelo), mientras que para GD se requerirán 3276 módulos, en 39 campos de 84 módulos (21 en serie y 4 en paralelo).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Coordenadas Geográficas

- a) **Latitud.** -Es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto. Se mide de 0° a 90° y se define como positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur.

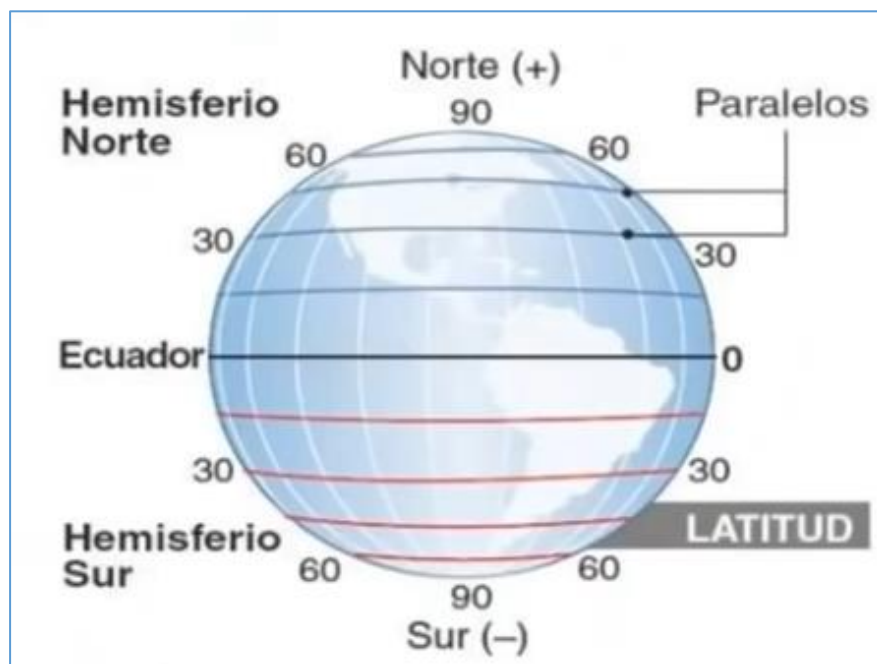


Figura N° 1. Coordenada Geográfica-Latitud

Fuente: Escuela Técnica de Ingeniería-INEL

- b) **Longitud.** -Es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera de la superficie terrestre y el meridiano de Greenwich, medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto. El meridiano de Greenwich divide a la tierra en dos hemisferios llamado este(oriental) y oeste (occidental).

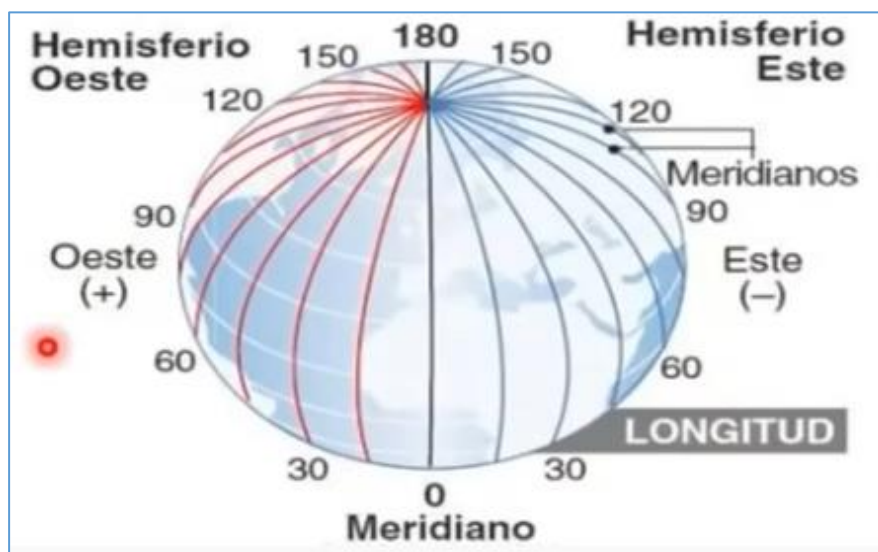


Figura N° 2. Coordenada Geográfica-Longitud
Fuente: Escuela Técnica de Ingeniería-INEL

2.2.2. Radiación Solar

Se refiere a la energía que nos llega del sol como la radiación solar, que consiste en radiación directa y radiación difusa. La directa viene en línea recta del sol. La difusa llega después de estar reflejada por las nubes, smog, o polvo. La combinación de la radiación directa, reflejada y difusa se llama la radiación global.

Hay cuatro factores que pueden afectar la cantidad de radiación solar disponibles en un lugar:

- **Latitud:** La posición al norte o al sur del ecuador
- **Nubosidad:** Durante un día nublado, la cantidad de radiación solar difusa puede ser una décima parte de lo que llegaría si fuera directa.
- **Humedad:** La humedad en el aire absorbe la radiación solar.
- **Claridad atmosférica:** Nubes, smog, o polvo, obstaculizan la llegada de la radiación solar.

2.2.3. Irradiancia Solar

La irradiancia solar es una medida de la radiación solar que cae sobre una superficie determinada, y se mide en $\frac{W}{m^2}$ ó $\frac{kW}{m^2}$. Cuando la energía solar llega a la atmosfera, tiene una potencia de aproximadamente de $1350 \frac{W}{m^2}$. Sin embargo, mientras atraviesa la atmósfera, pierde potencia, y llega a la superficie de la tierra con una potencia máxima de aproximadamente de $1000 \frac{W}{m^2}$.

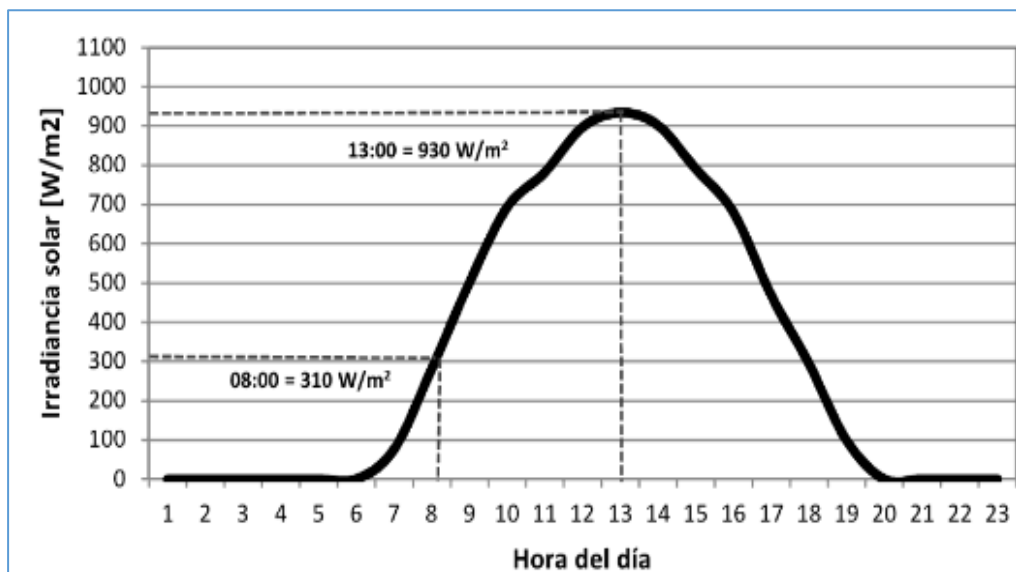


Figura N° 3. Irradiancia Solar
Fuente: Itica Appropriate Technology

2.2.4. La irradiación

La irradiación solar es una medida de la cantidad de energía solar que llega a una superficie determinada durante un periodo de tiempo determinado. Las unidades más frecuentes son $\frac{Wh}{m^2}$ o $\frac{kWh}{m^2}$. Para el dimensionamiento de los *SFA* de baja potencia, se suele referir a la irradiación solar como Hora Solar Pico (HSP), equivalente a las horas del día en que la irradiación es $1000 \frac{W}{m^2}$.

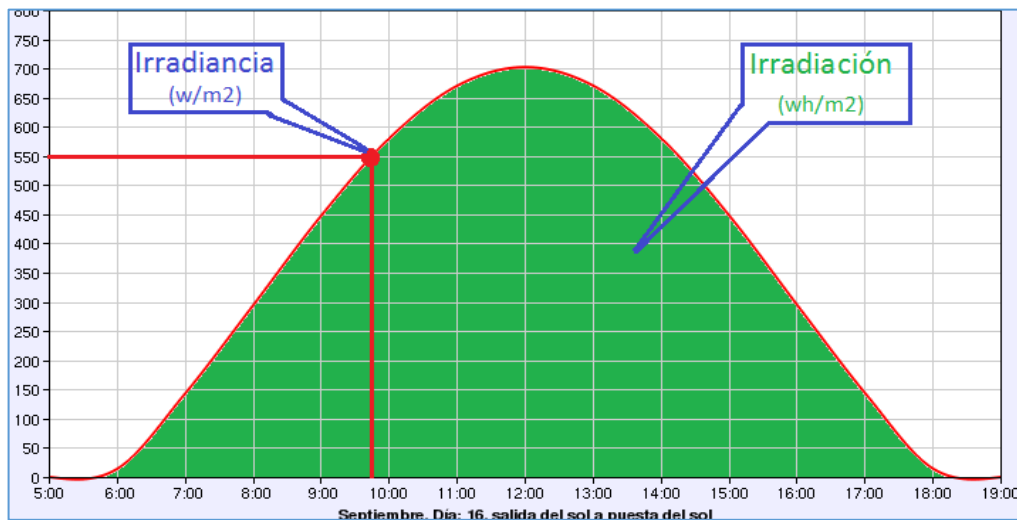


Figura N° 4. Irradiación Solar

Fuente: Itica Appropriate Technology

2.2.5. Definición de Optimización

Según (Mauricio G.C., y otros, 2006), la optimización es la disciplina que estudia los problemas relacionados con la mejora de determinados procesos y sus posibles alternativas.

2.2.6. Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica. Esto se consigue aprovechando las propiedades de los materiales semiconductores mediante las celdas fotovoltaicas. El material base para su fabricación suele ser el silicio. Cuando la luz del sol (Fotones) incide en una de las caras de la celda genera una corriente eléctrica que se utiliza como fuente de energía (Pinochet Pino, y otros, 2018).

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotovoltaico, que consiste en captar la radiación y transformarla en energía eléctrica, a través de unos dispositivos semiconductores denominados células solares o celdas fotovoltaicas. La energía fotovoltaica permite producir electricidad para redes de distribución, abastecer viviendas aisladas y alimentar todo tipo de aparatos (De León Morales, 2008).

2.2.7. Efecto Fotovoltaico

Proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Para entender como sucede hay que saber que la luz solar está compuesta de diferentes tipos de partículas llamadas fotones, los cuales están compuestos por diferentes tipos de energía, desde luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, rayos gamma y rayos x. Cuando los fotones inciden sobre una celda fotovoltaica pueden ser reflejados, absorbidos o pueden pasar a través de ella; solo los fotones absorbidos generan electricidad (Reyes Angeles, 2019).

Cuando la radiación (luz) incide sobre la célula fotovoltaica, los fotones que la integran chocan con los electrones del silicio dándoles energía y transformándolos en conductores. Los electrones son orientados y fluyen de la capa "P" a la capa "N", debido al campo eléctrico generado en la unión P-N. Con la ayuda de un conductor externo, se conecta la capa negativa (N) a la positiva (P), generándose un flujo de electrones (corriente eléctrica) en la conexión, el cual se mantendrá mientras la luz continúe incidiendo en la célula (Reyes Angeles, 2019).

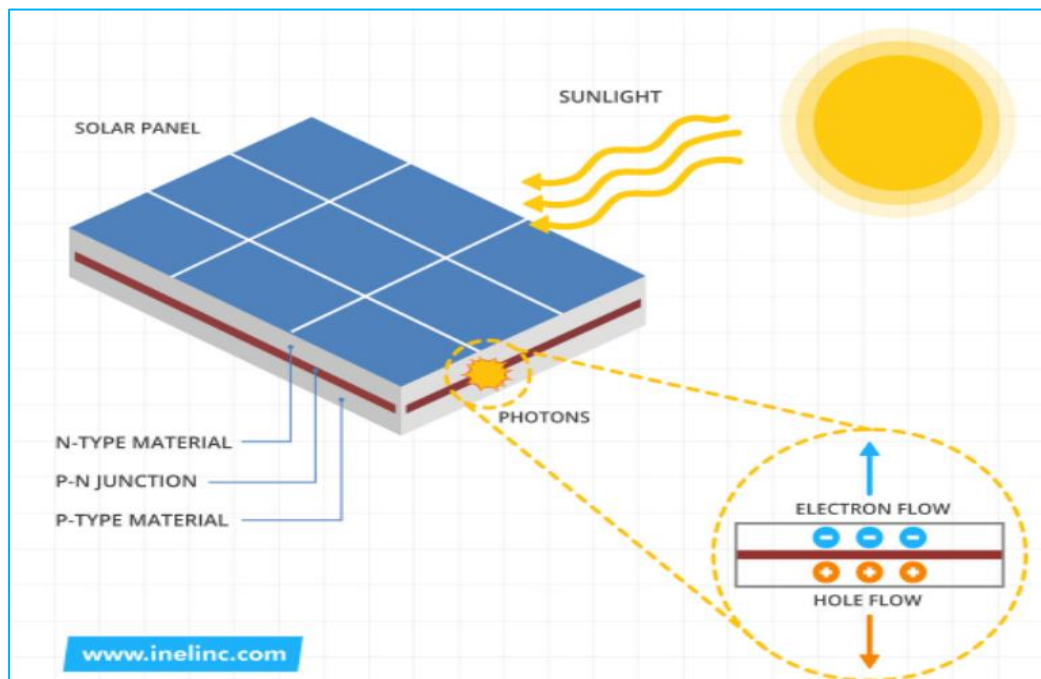


Figura N° 5. Efecto Fotovoltaico Dentro de los Paneles Solares
Fuente: Elaboración Propia del Autor

2.2.8. Generación Fotovoltaica

La generación solar fotovoltaica (*FV*) es la conversión directa de la energía del sol que llega en forma de radiación a electricidad, esta transformación se da gracias a la célula solar que es la unidad básica que produce el efecto fotovoltaico. Estas células están hechas de materiales semiconductores, los cuales tienen electrones en la banda de energía denominada banda de valencia. Al aplicar un cuanto, de energía a un electrón de valencia, este se pasa a una nueva banda de energía denominado banda de conducción. De manera selectiva dichos electrones son llevados a un circuito externo y realizan un trabajo. Esto se da a una temperatura ambiente y sin ninguna parte móvil y debido a que las células solares solo convierten en electricidad una parte de la energía absorbida de los fotones, estas se calientan entre 25 – 30 °C por encima de la temperatura ambiente (Janeth Fernanda , y otros, 2019).

Se basa en el efecto fotovoltaico consistente en la conversión de la energía que transporta los fotones de la luz, cuando inciden sobre materiales semiconductores convenientemente tratados, en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones despedidos a través de un circuito, realizando un trabajo útil.

Es necesario un tratamiento del material semiconductor ya que la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones de dicho material está destinada a convertirse en calor inútil, tras cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica (Martínez Jiménez, 2012).

2.2.9. Ventajas en un sistema fotovoltaico

- Son sencillos y fáciles de instalar.
- Elevada versatilidad: pueden situarse en casi cualquier lugar y en instalaciones de diferente tamaño.
- Tiene al sol como fuente de energía, por lo que no tiene costo alguno para la generación de energía eléctrica.

- La producción de energía eléctrica no produce ninguna emisión de CO_2 , es amigable con el medio ambiente.
- El costo económico de operación y mantenimiento es muy bajo y sencillo.
- Los módulos fotovoltaicos tienen un promedio de vida de 20 años.
- Los módulos pueden ser integrados tanto en estructuras nuevas como estructuras existentes.
- Evita un costo de mantenimiento de líneas eléctricas en zonas de difícil acceso.
- Elimina los costos ecológicos y estéticos de la instalación de líneas en esas condiciones.

2.2.10. Desventajas en un sistema fotovoltaico

- La inversión inicial es muy alta
- Se necesita grandes espacios para la recolección de energía
- Las baterías de almacenamiento tienen un costo muy elevado
- El sistema fotovoltaico solo funcionará en periodos donde haya sol en caso de no tener un banco de baterías para el almacenamiento de energía.

2.2.11. Generación Solar Fotovoltaica En Perú

La energía solar es una de las opciones que se están desarrollando como alternativas a las energías provenientes de la quema de combustibles fósiles. A diferencia de los países nórdicos, el territorio peruano, por estar mucho más próximo al Ecuador, cuenta con sol durante la mayor parte del año. Según el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, el Perú tiene una elevada radiación solar anual siendo en la sierra de aproximadamente

$5.5 \text{ a } 6.5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$; $5.0 \text{ a } 6.0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ en la Costa y en la Selva de aproximadamente $4.5 \text{ a } 5.0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$.

En el Perú hay tres ámbitos donde se ha desarrollado el uso de energía solar en el Perú. El primer ámbito (y más tradicional) es el uso como fuente térmica a través de termas de agua en zonas del sur peruano, principalmente **Arequipa y Puno**, departamentos en los que existe cerca de 30 empresas dedicadas a la fabricación y mantenimiento de estos aparatos.

Otro ámbito donde existen avances es en la provisión de electricidad a las zonas rurales. cabe precisar que el Programa Masivo Fotovoltaico, implementado desde el 2017 en todo el Perú, llevó energía eléctrica, durante su primera etapa, a un total de 205,138 viviendas de sectores rurales, así como 2,368 instituciones educativas y 639 establecimientos de salud.

El Ministerio de Energía y Minas (Minem) informó que durante el 2021 el Programa Masivo Fotovoltaico II, que impulsa a nivel nacional para llevar energía eléctrica a las poblaciones rurales de las zonas más alejadas del país, electrificará en su segunda etapa a 100 mil viviendas del ámbito rural lo que beneficiará a medio millón de peruanos.

El tercer ámbito de desarrollo, y el más promisorio, en el Perú actualmente operan ocho parques o plantas solares fotovoltaicas, con una capacidad total instalada de 284.48 Mw_p conectados al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional SEIN y actualmente se tiene proyectado construir la octava planta solar, denominada Las Dunas de 150 Mw_p , a continuación, un breve análisis actualizado al 2022 de las plantas solares instaladas y la proyección de una nueva planta proyectada.

Tabla 2. Plantas solares en el Perú

PLANTAS SOLARES FOTOVOLTAICAS EN EL PERÚ 2022		
Centrales	Capacidad Nominal (MWp)	Producción Anual (GWh)
Central Majes Solar	20	37.63
Central Solar Repartición	20	37.44
Central Tacna Solar	20	47.196
Panamericana Solar	20	50,676
Central Moquegua FV	16	43
Central Rubí	144.48	415
Central Intipampa	40	108,40
Central Yarucaya	1.62	0,000066563

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

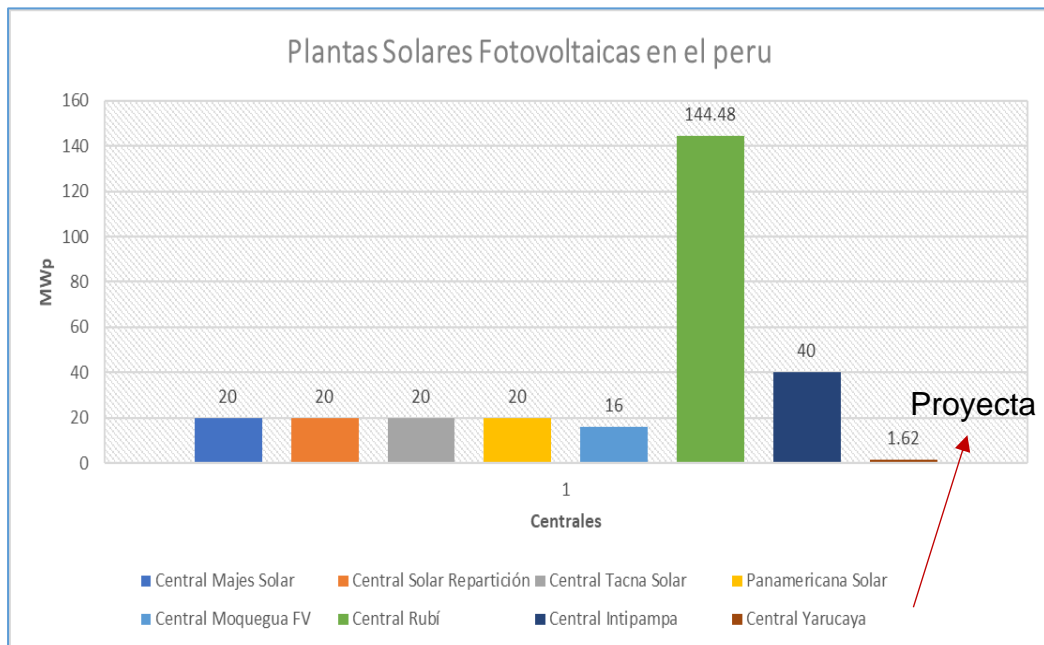


Figura N° 6. Plantas Solares Fotovoltaicas en el Perú

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

No cabe duda de que las opciones de uso de la energía solar son grandes. Lamentablemente, aún existe desconocimiento de aquellos sectores que pueden aprovecharlo más intensamente. Desarrollar este subsector energético sería crucial ya que es una de las mejores opciones para cambiar la actual matriz energética mundial intensiva en gases de efecto invernadero (Minas, 2003).

2.2.12. Componentes de las Instalaciones Solares Fotovoltaicas

Los componentes más importantes de una instalación fotovoltaica son las siguientes:

(A) Paneles Solares

A partir de la luz solar, se produce energía eléctrica en forma de corriente continua, con polaridad positiva y negativa. Un panel solar o modulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6V, 12V, 24V, etc.), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico (García Martín, 2021).

En la Figura N° 8. Se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

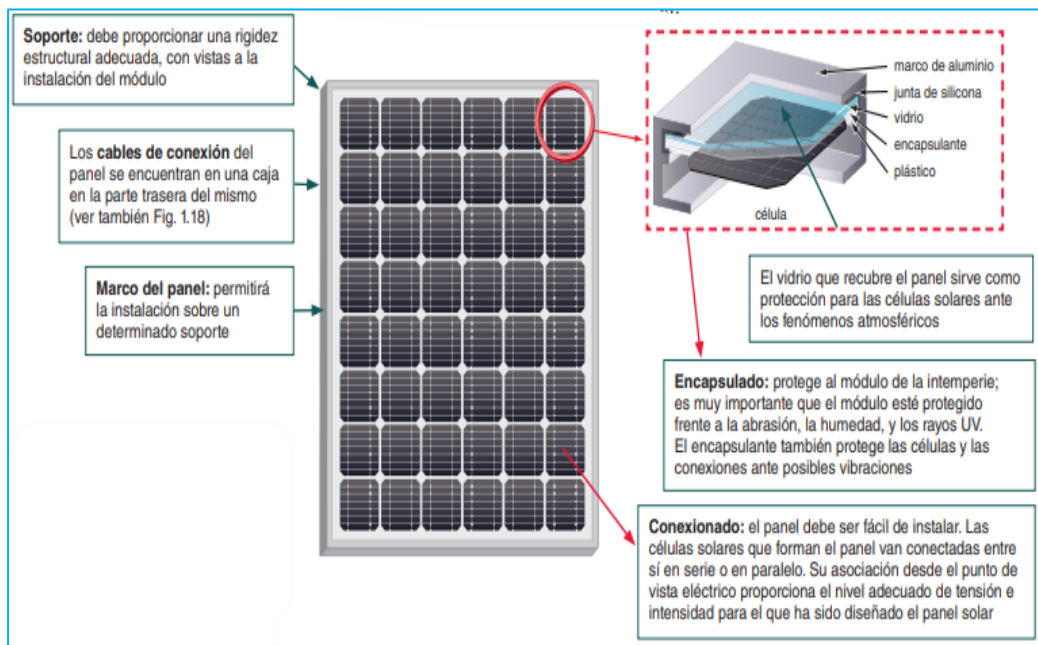


Figura N° 7. Constitución de un Panel Solar.

Componente de un panel solar

1) Células Fotovoltaicas

Una célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, cuyo grosor varía entre los $0.25 - 0.35 \text{ mm}$, generalmente de forma cuadrada, con una superficie de aproximadamente 100 cm^2 (Méndez Muñiz, y otros, 2007).

El elemento principal de cualquiera instalación de energía solar es el generador, que recibe el nombre de Célula Solar. Se caracteriza por convertir directamente en electricidad los fotones provenientes de la luz del sol. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico.

Una célula solar se comporta como un diodo. La parte expuesta a la radiación solar es la N, y la parte situada en la zona de oscuridad, la P. Los terminales de conexión de la célula se halla sobre cada una de estas partes del diodo: la cara correspondiente a la zona P se encuentra metalizada por completo (no tiene que recibir luz), mientras que en la zona N el metalizado tiene forma de peine, a fin de que la radiación solar llegue al semiconductor (Figura N° 9) (Méndez Muñiz, y otros, 2007).

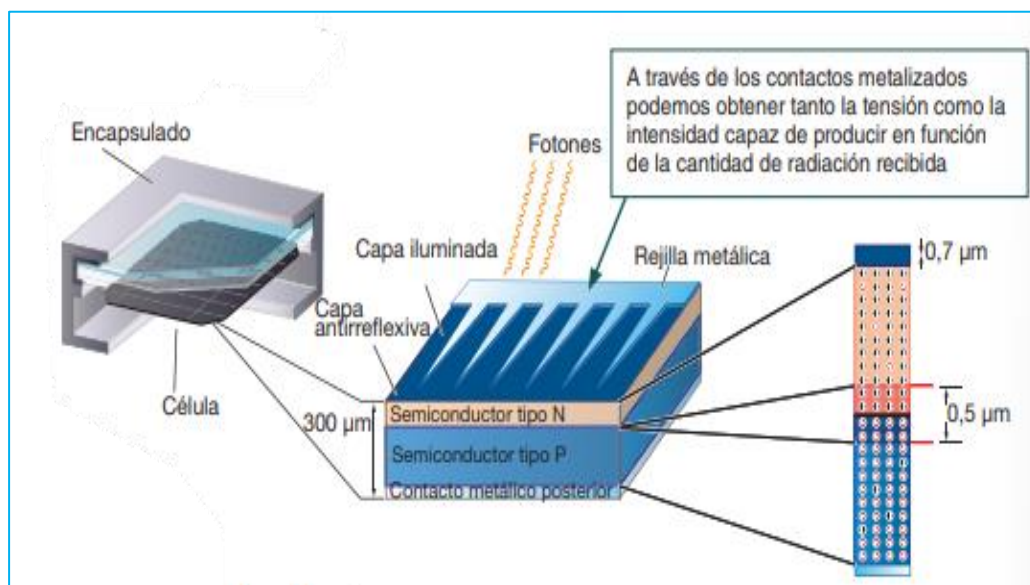


Figura N° 8. Estructura de la Célula Solar

Fuente: Energía Solar Fotovoltaica para Todos-García Martín, Pedro Francisco

Características y Efectos sobre una célula fotovoltaicas

a) Circuito Eléctrico Equivalente De Una Célula Fotovoltaica

El modelo eléctrico o circuito equivalente de una célula fotovoltaica ideal (Figura N° 10.) está formado por una fuente de corriente que modela la intensidad de iluminación foto generadora por el efecto fotovoltaico (I_{ph}), conectada en paralelo con un diodo que modela la intensidad de oscuridad debida a la recombinación de portadores producidas por el voltaje externo (I_D), la intensidad de iluminación (I_{ph}) depende de la irradiancia solar que recibe la célula (Vicente Mascarós, 2015).

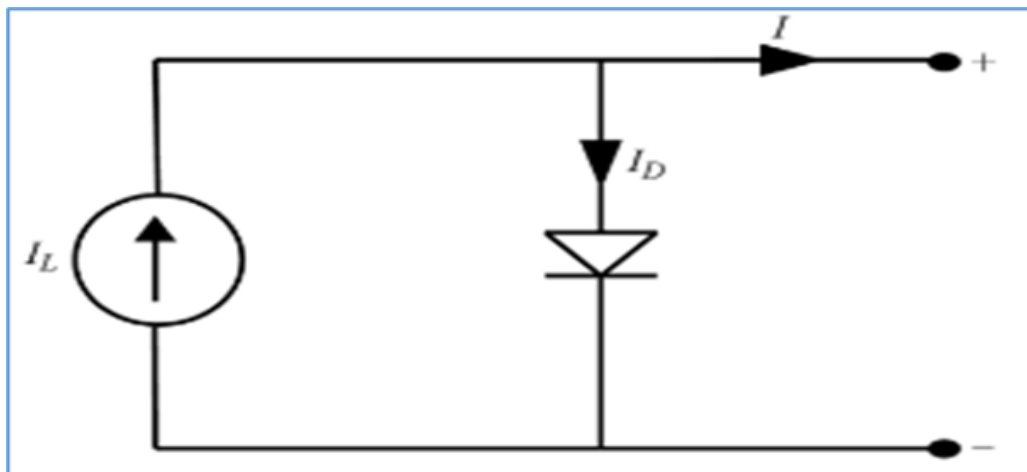


Figura N°9. Circuito Equivalente de la Célula Fotovoltaica Ideal
Fuente: Digsilent Power Factory 15

La intensidad total (I) que suministra la célula fotovoltaica se representa mediante la expresión:

$$I = I_{ph} - I_0 * \left(e^{\left(\frac{V}{m * V_t} \right)} - 1 \right)$$

Donde:

I_{ph} : Es la intensidad de Iluminación

I_0 : Es la intensidad de saturación en oscuridad del diodo

V : Es la tensión en bornes del diodo.

m : Es el factor de idealidad del diodo. Adopta valores comprendidos entre 1 y 2 (1 Para el germanio) y (2 para el silicio).

V_t : Es la tensión térmica.

A su vez, el valor de la tensión V_t viene dado por la expresión

$$V_t = \frac{k * T}{q}$$

k : Es la constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23} \frac{J}{K}$).

T : Es la temperatura del diodo en grados Kelvin.

q : Es la carga del electrón ($1.6 * 10^{-19} C$)

Cuando la célula fotovoltaica está en corto circuito, la intensidad suministrada se debe exclusivamente a la intensidad de iluminación, denominándose en este caso intensidad en cortocircuito (I_{SC}). Esta intensidad depende de a la irradiación solar recibida. Cuando la célula se encuentra en circuito abierto, la acumulación de cargas en cada una de las capas N y P da lugar a una tensión de circuito abierto (V_{oc}) que también depende de la irradiancia solar incidente. La ecuación que expresa la intensidad entregada por la célula se puede reescribir incluyendo estos dos parámetros.

$$I = I_{SC} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{q \cdot (V_{oc} - V)}{m \cdot k \cdot T}\right)}\right)$$

Sin embargo, en el modelo de la célula fotovoltaica real se debe considerar una resistencia serie (R_s) que representa principalmente la resistencia de los contactos metálicos con el semiconductor y la resistencia de propio material semiconductor y una resistencia paralela (R_{sh}) que representa las fugas de corriente entre los bornes de la célula.

El circuito equivalente de la célula fotovoltaica real, incluyendo las resistencias serie y paralelo, se presenta en la Figura N° 11. En las células fotovoltaicas de silicio la resistencia serie (R_s) toma valores comprendidos entre 0.05 y 0.1 Ω , mientras que la resistencia paralela (R_{sh}) adopta valores comprendidos entre 200 y 300 Ω . En el caso concreto de la célula ideal, la resistencia serie es igual a cero y la resistencia paralela es infinito (Vicente Mascarós, 2015).

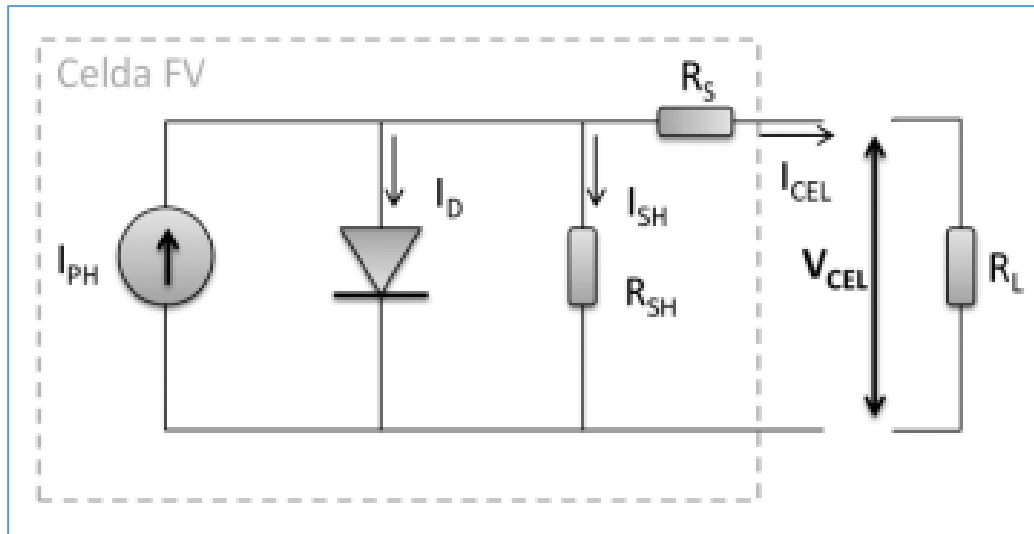


Figura N° 10. Circuito Equivalente de la Célula Fotovoltaica Real
Fuente: Digsilent Power Factory 15

Teniendo en cuenta la resistencia serie (R_s) y la resistencia paralela (R_{sh}), la intensidad total que suministra la célula real viene expresada por la ecuación.

$$I_{CEL} = I_{ph} - I_D - I_{SH}$$

$$I = I_{CEL}$$

$$I = I_{ph} - I_0 * \left(e^{\frac{q*(V+I*R_S)}{K*T*m}} - 1 \right) - \frac{V + I * R_S}{R_{sh}}$$

Considerando que la resistencia paralela (R_{sh}) es suficientemente grande frente a su numerador, que la intensidad de cortocircuito (I_{sc}) es igual a la intensidad de iluminación (I_{ph}) y que el valor de la exponencial es mucho mayor de uno, la expresión que relaciona la intensidad que genera la célula con la tensión en sus bornes puede ser simplificada. Una vez expresada en función de la tensión de circuito abierto (V_{oc}) y la intensidad en cortocircuito (I_{sc}), se obtiene finalmente la relación.

$$I = I_{sc} * \left(1 - \exp\left(\frac{V - V_{oc} + I * R_S}{m * V_t}\right) \right)$$

Si se cierra el circuito eléctrico mediante una resistencia eléctrica de carga, la célula fotovoltaica genera una determinada intensidad eléctrica que provoca a su vez una determinada caída de tensión en dicha

resistencia. Si varía la resistencia de carga entre los valores cero e infinito, la intensidad y la tensión varían siguiendo una curva de funcionamiento denominada curva característica de intensidad -tensión o curva ($I - V$).

Es decir, el valor de la resistencia de carga conectada a la célula fotovoltaica condiciona el punto de trabajo sobre la curva característica ($I - V$). Los puntos extremos de la curva se corresponden con la célula en circuito abierto y en cortocircuito.

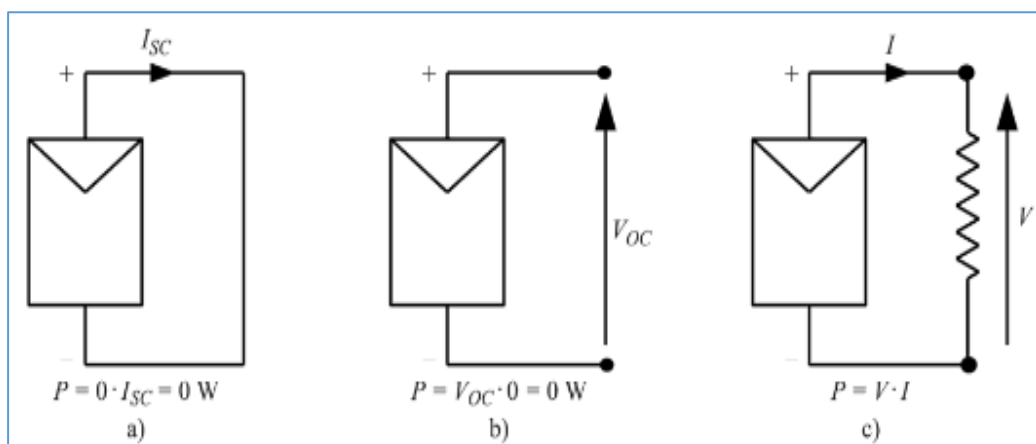


Figura N° 11. Célula Fotovoltaica: a) En Cortocircuito b) En Circuito Abierto c) Conectado a una Carga

Fuente: Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas-Vicente Mascarós Mateo

b) Influencia de la temperatura sobre la célula fotovoltaica

Las condiciones estándar de medida establecen una temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica de 25°C . Sin embargo, se trata de unas condiciones de laboratorio. Cuando la célula está funcionando a la intemperie, su temperatura depende principalmente de la temperatura ambiente, de la radiación solar y de la velocidad del viento. La potencia de la célula en el punto de máxima potencia (P_{mpp}), el valor de la tensión de circuito abierto (V_{oc}) y la intensidad de cortocircuito (I_{sc}) depende de la temperatura de trabajo de la célula. Para calcular el valor de estos parámetros a una temperatura diferente de 25°C , el fabricante suministra

los denominados parámetros térmicos, expresados normalmente en %°C.

- El coeficiente de temperatura de la intensidad en cortocircuito (α).
- El coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto (β).
- El coeficiente de temperatura de la máxima potencia (γ).

La potencia de la célula en el punto de máxima potencia a una temperatura de trabajo T_c se puede calcular con la expresión.

$$P_{mpp,Tc} = P_{mpp,stc} * (1 + \frac{\gamma}{100} * (T_c - T_{c,STC}))$$

Donde:

P_{mpp} : Es la máxima potencia que puede entregar la célula fotovoltaica, en W .

$P_{mpp,stc}$: Es la máxima potencia que puede entregar la célula fotovoltaica en condiciones estándar de medida, en W .

γ : Es el coeficiente de temperatura de la máxima potencia, en %/°C.

T_c : Es la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en °C.

$T_{c,STC}$: Es la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica, en condiciones estándar de medida, en °C.

Procediendo de la misma forma, se puede calcular el valor de la intensidad en cortocircuito (I_{sc}) y tensión de circuito abierto (V_{oc}), a la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica T_c con las siguientes expresiones.

$$I_{sc,Tc} = I_{sc,stc} \cdot (1 + \frac{\alpha}{100} \cdot (T_c - T_{c,stc}))$$

$$V_{oc,Tc} = V_{oc,stc} \cdot (1 + \frac{\beta}{100} \cdot (T_c - T_{c,stc}))$$

El efecto de la temperatura de trabajo de la célula fotovoltaica en la intensidad en cortocircuito tiene mucho menos peso que sobre la tensión de circuito abierto.

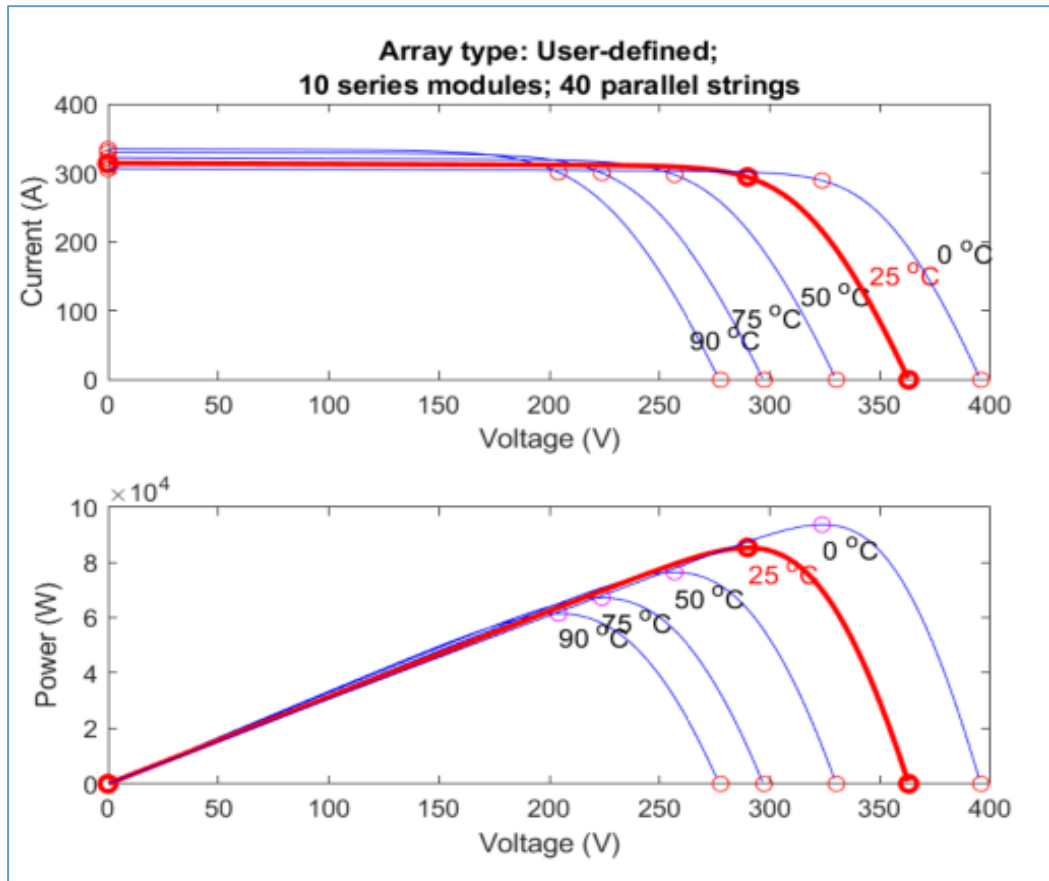


Figura N°12. Influencia de la temperatura sobre la célula fotovoltaica
Fuente: Elaboración Propia del Autor

c) Influencia de la irradiancia sobre la célula fotovoltaica

La potencia eléctrica suministrada por un módulo fotovoltaica depende de la irradiancia solar incidente. La máxima potencia que un módulo puede suministrar se aproxima con la siguiente formula:

$$P_{mpp,g} = P_{mpp} \cdot \frac{G}{G_{stc}}$$

Donde:

$P_{mpp,g}$: máxima potencia del módulo fotovoltaico con una irradiancia (G).

P_{mpp} : Máxima potencia del módulo en condiciones estándar de medida.

G : Irradiancia recibida en $(\frac{W}{m^2})$.

G_{stc} : Irradiancia en condiciones estándar $(1000 \frac{W}{m^2})$.

Cuanto menor es la irradiancia solar incidente, menor es la intensidad en cortocircuito y menor es la potencia eléctrica entregada por el módulo (Vicente Mascarós, 2015).

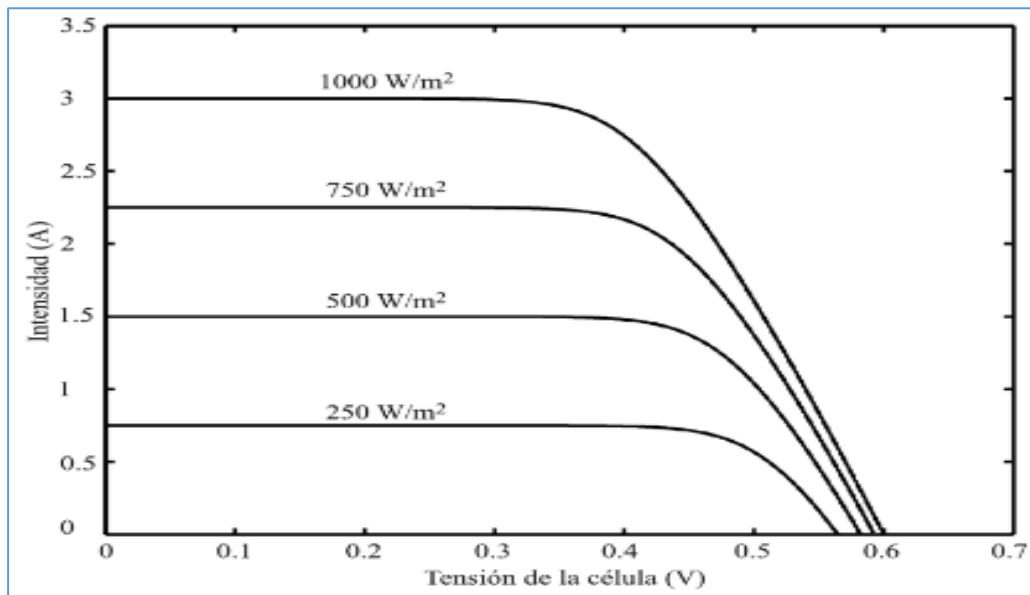


Figura N° 13. Influencia de la irradiancia sobre la célula fotovoltaica
Fuente: Vicente Mascarós Mateo

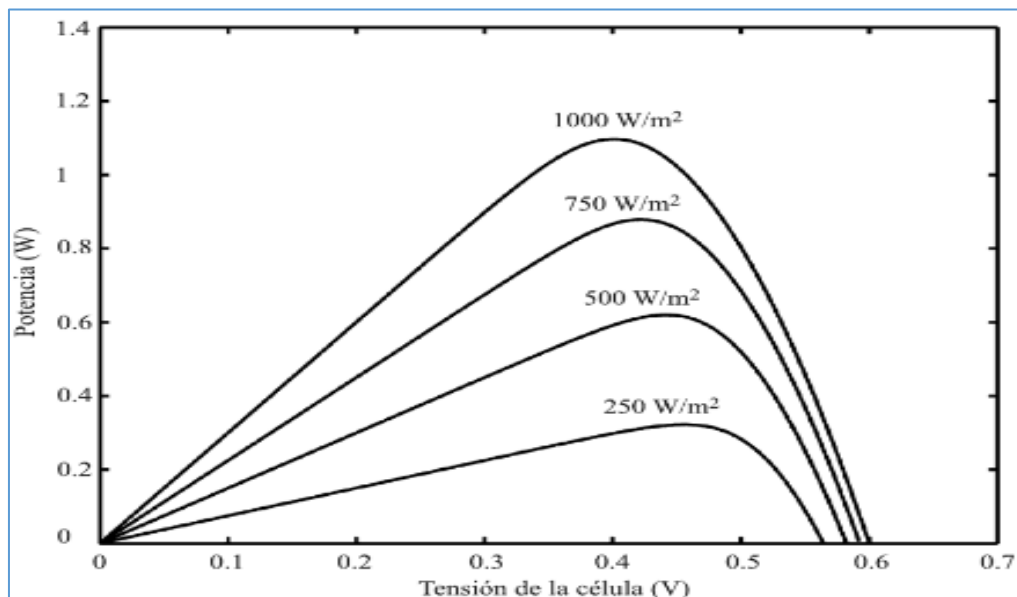


Figura N° 14. Influencia de la irradiancia sobre la célula fotovoltaica
Fuente: Vicente Mascarós Mateo

d) Parámetros fundamentales de una célula fotovoltaica

Una vez entendido el funcionamiento y las condiciones físicas que rigen el comportamiento de la célula fotovoltaica, se van a describir cada uno de sus parámetros fundamentales:

- **Corriente de Iluminación (I_L ó I_{PH}).**- Corriente generada cuando incide la radiación sobre la célula.
- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}).**- Máxima tensión q se obtiene en los extremos de la célula solar, que se da cuando no está conectada a ninguna carga. Está determinada por las propiedades del material semiconductor, la iluminación y la temperatura (si el aumenta el valor, el voltaje disminuye). La potencia de salida es cero, pues la corriente es cero (Figura N° 16).
- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}).**- Máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados. Varía en función de la radiación del sol y el área de las celdas. La potencia de salida es cero, pues la tensión es cero (Figura N° 16).

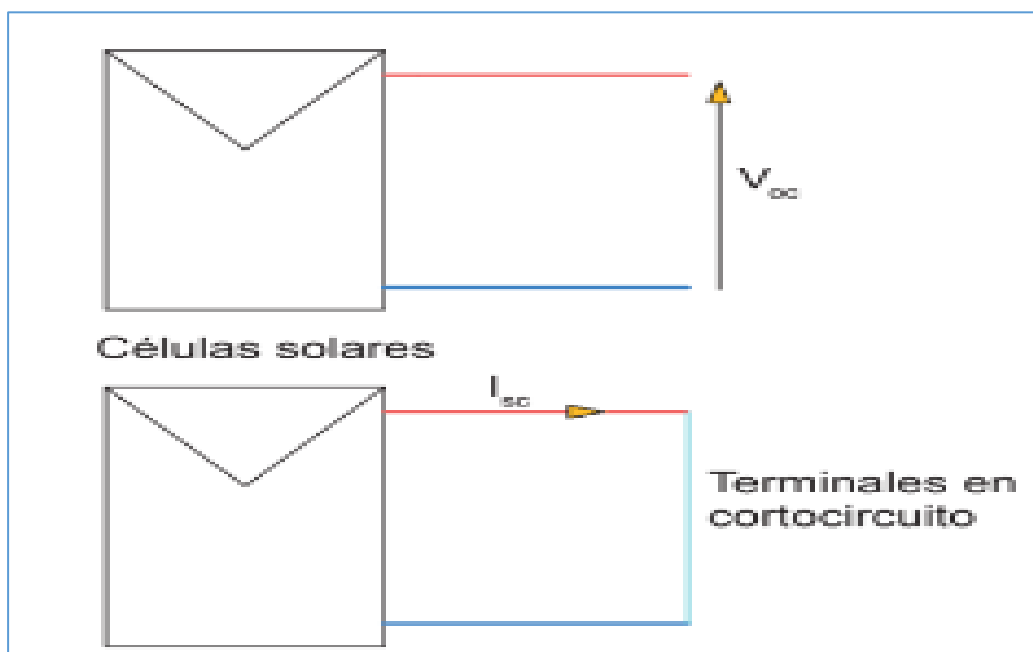


Figura N° 15. Tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito
Fuente: Elaboración propia del Autor

- **Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mp}).** - Su valor es inferior a V_{oc} .
- **Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}).** - Su valor es menor a I_{sc} .
- **Potencia máxima generada, potencia pico o punto de máxima potencia (P_{mpp}).**- Es el punto correspondiente, en las condiciones estándar de medida, al máximo de la curva de potencia.

La localización de este punto viene definida por la condición $\frac{\partial p}{\partial v} = 0$. La potencia entregada por la celda en este punto será la considerada como potencia nominal.

- **Factor de Forma (FF).**- También conocido como factor de llenado, es la relación entre la potencia máxima y el producto de I_{sc} por V_{oc} . *El factor de forma es tanto más cercano a la unidad cuánto más acentuado sea el codo localizado en el punto de máxima potencia. Este valor oscila entre 0.6 y 0.8.*

$$FF = \frac{P_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{I_{mp} * V_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

- **Eficiencia (η).**- Es la relación entre la potencia máxima generada y el producto del área por la irradiancia que incide sobre él.

$$\eta = \frac{P_{mpp}}{A * 1000 \frac{W}{m^2}}$$

- **Coficiente de temperatura.** – El módulo pierde rendimiento cuanto más se calienta la célula. Quiere decir que cuanto más se calienta las células, menos cantidad de energía solar es capaz de convertir en electricidad.

e) Influencia simultanea de la irradiancia solar y la temperatura sobre el módulo fotovoltaico

Teniendo en cuenta de forma simultánea el efecto de la irradiancia y el efecto de la temperatura de trabajo, la máxima potencia eléctrica que puede entregar el módulo fotovoltaico, la intensidad en cortocircuito y la tensión de circuito abierto, para unas condiciones diferentes de las condiciones estándar de medida, se pueden calcular mediante las siguientes expresiones (Vicente Mascarós, 2015):

$$P_{MPP_{G,T_C}} = P_{MPP_{STC}} * \frac{G}{G_{STC}} * (1 + \frac{\gamma}{100} * (T_C - T_{C_{STC}}))$$

$$I_{SC_{G,T_C}} = I_{SC_{STC}} * \frac{G}{G_{STC}} * (1 + \frac{\alpha}{100} * (T_C - T_{C_{STC}}))$$

$$V_{OC_{G,T_C}} = (V_{OC_{STC}} + \frac{m * k * T_C}{e} * \ln\left(\frac{G}{G_{STC}}\right)) * (1 + \frac{\beta}{100} * (T_C - T_{C_{STC}}))$$

Donde:

$P_{MPP_{G,T_C}}$: Es la potencia máxima que puede entregar el módulo fotovoltaico.

$P_{MPP_{STC}}$: Es la potencia máxima que puede entregar el módulo fotovoltaico en condiciones estándar de medida.

G : Es la irradiancia solar que incide sobre el módulo fotovoltaico.

G_{STC} : Es la irradiancia solar en condiciones estándar de medida.

T_C : Es la temperatura de trabajo de la célula.

$T_{C_{STC}}$: Es la temperatura de trabajo de la célula en condiciones estándar de medida.

$I_{SC_{G,T_C}}$: Es la intensidad de cortocircuito

$I_{SC_{STC}}$: Es la intensidad de cortocircuito en condiciones estándar de medida.

$V_{OC_{G,TC}}$: Es la tensión de circuito abierto

$V_{OC_{STC}}$: Es la tensión de circuito abierto en condiciones estándar de medida.

α : Es el coeficiente de temperatura de la intensidad en cortocircuito.

β : Es el coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto.

γ : Es el coeficiente de temperatura de la máxima potencia.

k : Es la constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23} \frac{J}{K}$)

e : Es la carga del electrón ($1.6 * 10^{-19} C$)

m : Es el factor de idealidad del diodo

(B) Las baterías acumuladoras de energía

Una batería solar o acumulador eléctrico es un dispositivo capaz de almacenar energía en forma de energía química para poder ser utilizada en otro momento, gracias a procedimientos internos electroquímicos. Este procedimiento puede repetirse varias veces en función de la naturaleza de la batería, el uso, desgaste y condiciones externas. O lo que es lo mismo, una batería es un generador eléctrico secundario, y no puede funcionar sin que anteriormente se le haya suministrado electricidad a través del proceso de carga.

Las baterías de almacenamiento solar permiten la autonomía energética a las viviendas con paneles solares aquellos días en los que hay baja radiación solar o las horas nocturnas. En el mercado existe una amplia variedad de baterías de almacenamiento solar que se adaptan a las necesidades más variadas, así pues, existen baterías de almacenamiento solar que no requieren de mantenimiento, o también conocidas como baterías solares monoblock; baterías de almacenamiento solar a las que las descargas profundas les afectan menos que a otras baterías como las baterías estacionarias o baterías de almacenamiento solar con una larga vida útil aunque la inversión

inicial es superior a la de cualquier otro tipo de batería de almacenamiento solar.

i) Función de una batería solar

El funcionamiento de una batería solar se basa en el principio químico de reducción-oxidación (redox), donde mientras un componente se oxida o pierde electrones, el otro se reduce o gana electrones. Los parámetros que definen la naturaleza de una batería solar son: el voltaje, la corriente, la capacidad de carga, la capacidad eléctrica, la energía, la resistencia, la masa, el rendimiento, la constante carga/descarga y el efecto de la memoria.

ii) Tipos de Baterías:



Figura N° 16. Tipos de Baterías en el Mercado Peruano

Fuente: Elaboración propia del autor

iii) Características que definen su comportamiento de la batería solar

De todas ellas las más importantes son, la capacidad en Ah y Descarga Profunda.

Capacidad en Amperios Hora (AH).- Los Amperios hora de una batería son simplemente el número de Amperios que proporciona

multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente.

Sirve para determinar, en una instalación fotovoltaica, cuanto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación luminosa que recargue las baterías. Esta medida de los días de autonomía es una de las partes importantes en el diseño de la instalación.

Existen factores que pueden hacer variar la capacidad de una batería:

- **Ratios de carga y descarga.** Si la batería es cargada o descargada a un ritmo diferente al especificado, la capacidad disponible puede aumentar o disminuir. Generalmente, si la batería se descarga a un ritmo más lento, su capacidad aumentará ligeramente. Si el ritmo es más rápido, la capacidad se reducirá.
- **Temperatura.** Otro factor que influye en la capacidad es la temperatura de la batería y la de su ambiente. El comportamiento de una batería se cataloga a una temperatura de 27 grados. Temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente. Temperaturas más altas producen un ligero aumento de su capacidad, pero esto puede incrementar la pérdida de agua y disminuir el número de ciclos de vida de la batería. **Profundidad de descarga (DOD).**- La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga.

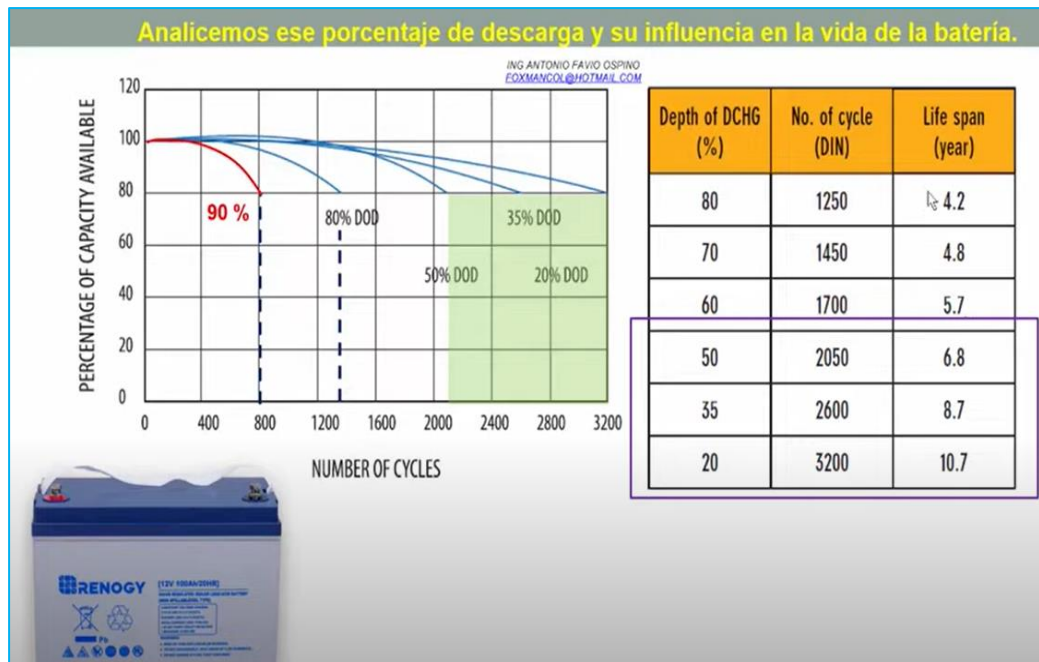


Figura N° 17. Descarga profunda de la Batería y su influencia
Fuente: Antonio Ospino.

(C) El Regulador O Controlador De Carga

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. La función del regular es evitar situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

El regular por lo tanto trabaja en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería (Pueyo Serrano, 2016).

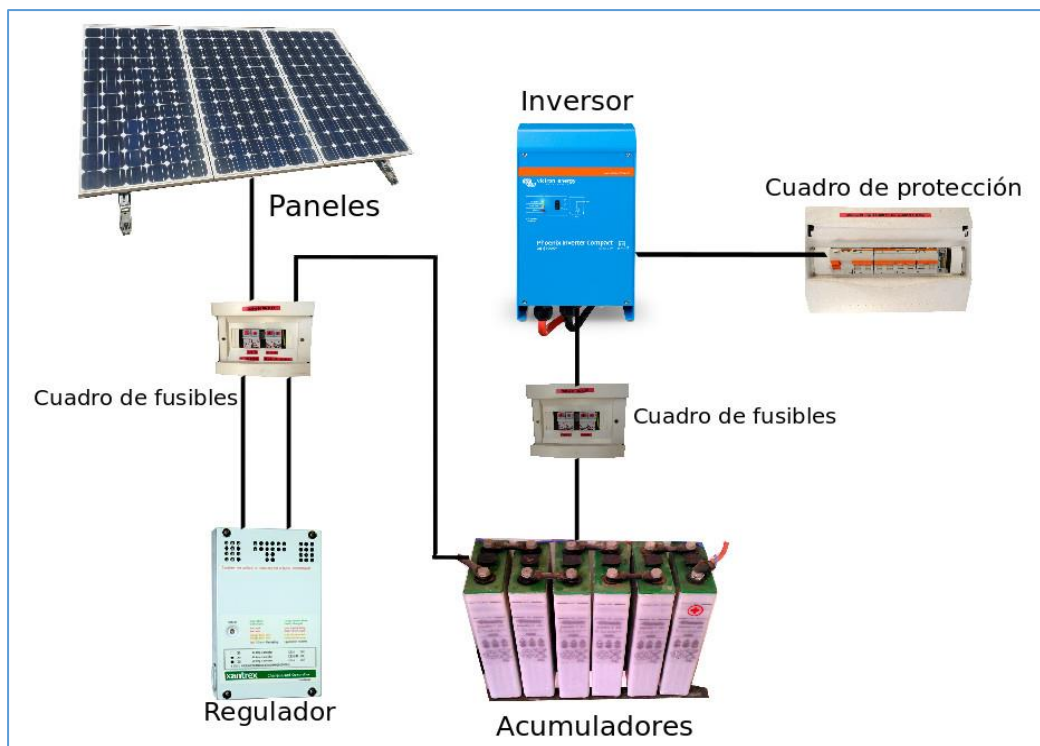


Figura N° 18. Conexión del regulador en un sistema fotovoltaico off grid
Fuente: José Luis Pueyo Serrano

i) Funciones del Regulador de Carga

- Controla la carga y descarga de la batería
- Regula la intensidad de carga para alargar la vida útil de la batería.
- Genera alarma en función de la carga
- Protege contra cortocircuitos y polaridad inversa
- Evita que la corriente de las baterías vuelva hacia los paneles (esto sucede cuando no hay sol).

ii) Tipos de Reguladores:

- **Controladores PWM (Pulse Width Modulation).** – Los reguladores PWM son reguladores sencillos que actúan como interruptores entre las placas fotovoltaicas y la batería. Estos reguladores fuerzan a los módulos fotovoltaicos a trabajar a la tensión de la batería, sin ningún tipo de instalación extra. Cuando se alcanza la etapa de absorción en la carga de la batería, el regulador modifica la intensidad de los pulsos, corta varias veces por segundo el contacto entre los módulos y la batería, evitando que la batería se sobrecargue.

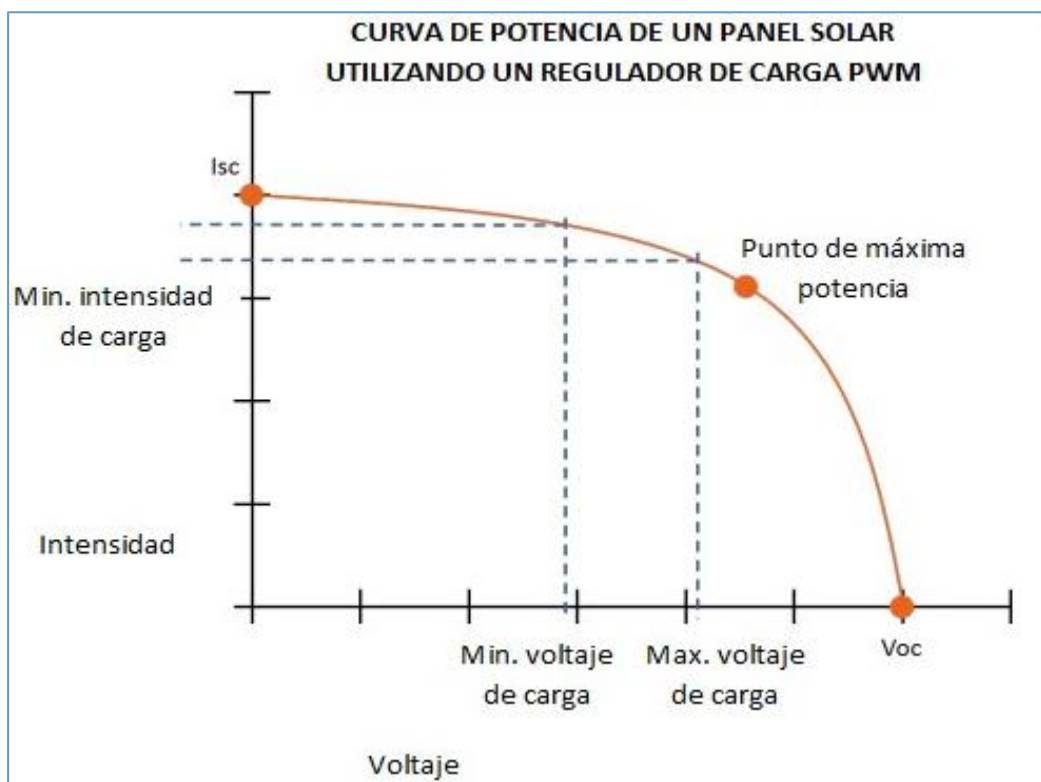


Figura N° 19. Curva de Potencia utilizando un regulador PWM
Fuente: Auto Solar Energía del Perú

- **Controladores MPPT.** - Los controladores MPPT deben sus siglas a (**Máximo Power Point Tracking**) lo que significa que hacen trabajar al panel en su punto de máxima potencia, por lo que no tenemos la desventaja de los PWM en los que se iguala la tensión de batería a la del panel, perdiendo eficiencia. Este modo de trabajo trae una serie de ventajas y una de las más interesantes es que no hace falta que el panel tenga la

misma tensión que la batería, pero sí que debe ser igual o superior. Por eso la nomenclatura de los modelos MPPT incluye una cifra de voltaje, que es el máximo que podremos usar en el campo solar.

El rendimiento de un panel solar describe una curva de funcionamiento en la que llega a un máximo de voltaje y de potencia, es en ese punto en el que el panel puede ofrecer cerca de su potencia nominal, obviando condiciones perjudiciales como orientación y temperatura, que también afectan.

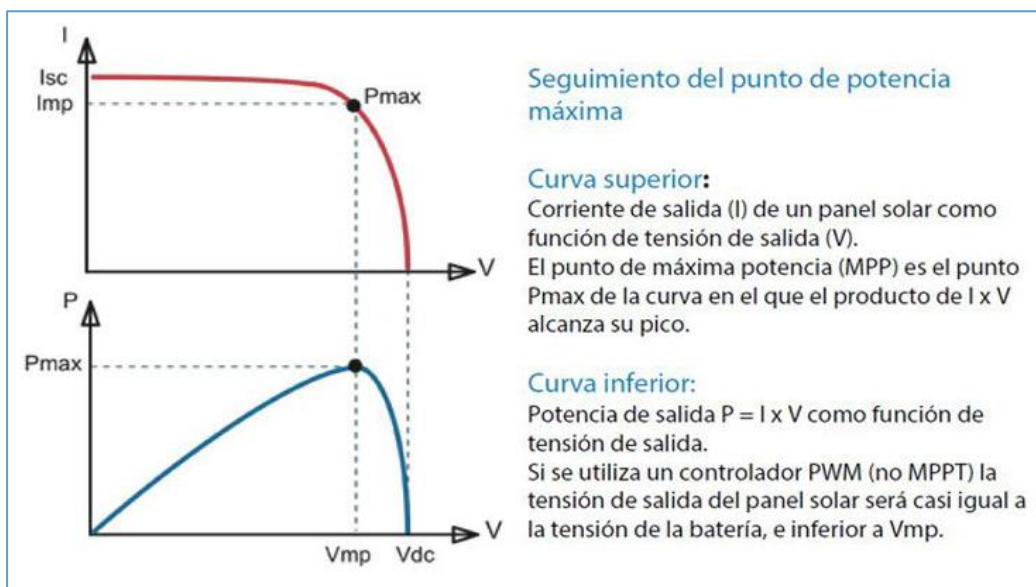


Figura N° 20. Curva de Potencia utilizando un regulador MPPT
Fuente: Auto Solar Energía del Perú

(A) Inversores solares

En sistemas fotovoltaicos autónomos para poder utilizar cargas en corriente alterna se necesita un dispositivo electrónico, denominado inversor, que convierta la corriente continua en corriente alterna. Habitualmente en sistemas fotovoltaicos autónomos el inversor está conectado a una batería, mientras en un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica el inversor está conectado directamente al generador fotovoltaico.

Las funciones principales de los inversores son: inversión *DC/AC*, modulación de la onda alterna de salida y regulación del valor eficaz de la tensión de salida. Los inversores que se pueden encontrar normalmente pueden ser monofásicos o trifásicos a 60 Hz, con diferentes voltajes nominales de entrada con un amplio rango de potencias disponibles, de unos pocos vatios hasta varios megavatios. Pueden operar conectados a baterías o directamente al generador FV y pueden estar conectados a diferentes consumos o inyectar energía en la red eléctrica. Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida:

- De onda cuadrada
- De onda modificada o quasi-senoidal.
- De onda senoidal (muy parecida a la onda de la red eléctrica).

i) Compatibilidad de los inversores de corriente con las baterías

La elección de un inversor de corriente va directamente relacionada con el voltaje de la batería de la instalación, pues optar por uno con voltaje diferente al de la batería no permitirá el correcto funcionamiento de la instalación.

Por lo que, una batería de 12V deberá ir conectada a un inversor de corriente 12V, una batería de 24V deberá conectarse a un inversor de corriente 24V, y una batería de 48V (o conjunto de baterías que en total conectadas sumen 48V deberá conectarse a un inversor de corriente 48V, y así sucesivamente.

ii) Características de los inversores solares

- **Potencia del inversor:** La potencia nominal del inversor es la máxima potencia sostenida que puede ofrecer el inversor. Se puede ofrecer en dos tipos de unidades, en vatios (W) y voltio-amperios (VA). Ambas unidades se refieren a potencia y se diferencian por el tipo de consumidor que haya. Las cargas resistivas como bombillas incandescentes, hornos, resistencias,

etc. Tienen la tensión y la intensidad sin desfase alguno y la potencia que demandan son directamente vatios. En cambio, en caso de consumidores inductivos o capacitivos como motores, fluorescentes y en general aparatos con transformadores tienen la tensión y la intensidad desfasadas entre sí, consumiendo voltio-amperios.

Por tanto, según las cargas que cuelguen del inversor la potencia demandada tendrá mayor o menor energía reactiva.

- **Potencia máxima del inversor solar:** La potencia máxima que puede ofrecer un inversor suele ser el doble de la nominal. Se da durante pocos segundos, y sirve para responder a los picos de consumo de cargas como motores al arrancar.
- **Temperatura del inversor fotovoltaico:** Los inversores tienen una potencia nominal definida en unas condiciones, habitualmente a 25°C. Cuando la temperatura ambiente aumenta la disipación del calor generado por efecto Joule en el propio inversor se hace más dificultosa y en consecuencia la potencia que puede ofrecer el inversor disminuye.
- **Tensión del inversor:** La tensión de un inversor define la tensión del banco de baterías que hay que conectar al inversor para que funcione. Los inversores de 12V suelen tener potencias bajas, hasta unos 2.000W, los inversores de 24V potencias intermedias de 2.000W a 3.000W y los de 48V de 4.000W a 10.000W. Esto se debe a la conversión de energía de corriente continua a alterna y a la intensidad que pase por la línea de batería a inversor.
- **Consumo en Stand by del inversor:** El consumo en stand by es el consumo que tiene un inversor aun cuando no haya consumos a su salida. Cuanto mayor sea la potencia del inversor mayor será el consumo en stand by.

2.2.13. Descripción del sistema Fotovoltaico fijo Instalado en la Institución Educativa NEVATI

1. Sistema Fotovoltaico fijo (Sistema Actual)

El sistema fijo instalado en la institución educativa NEVATI, no poseen un sistema de seguimiento según la posición del sol, por lo que presenta menor eficiencia. Si embargo, es posible calcular la orientación óptima para captar la mayor cantidad de energía posible.

El sistema fotovoltaico fijo utilizado en este proyecto, están posicionado con un ángulo de 20°, ver Figura N° 22. Se puede observar este sistema, el cual fue instalado en la institución educativa NEVATI, ubicado en el departamento de Pasco, Provincia de Oxapampa, CC NN NEVATI con coordenadas Latitud -10.3738 Longitud -74.8547, para a bastecer de energía eléctrica.

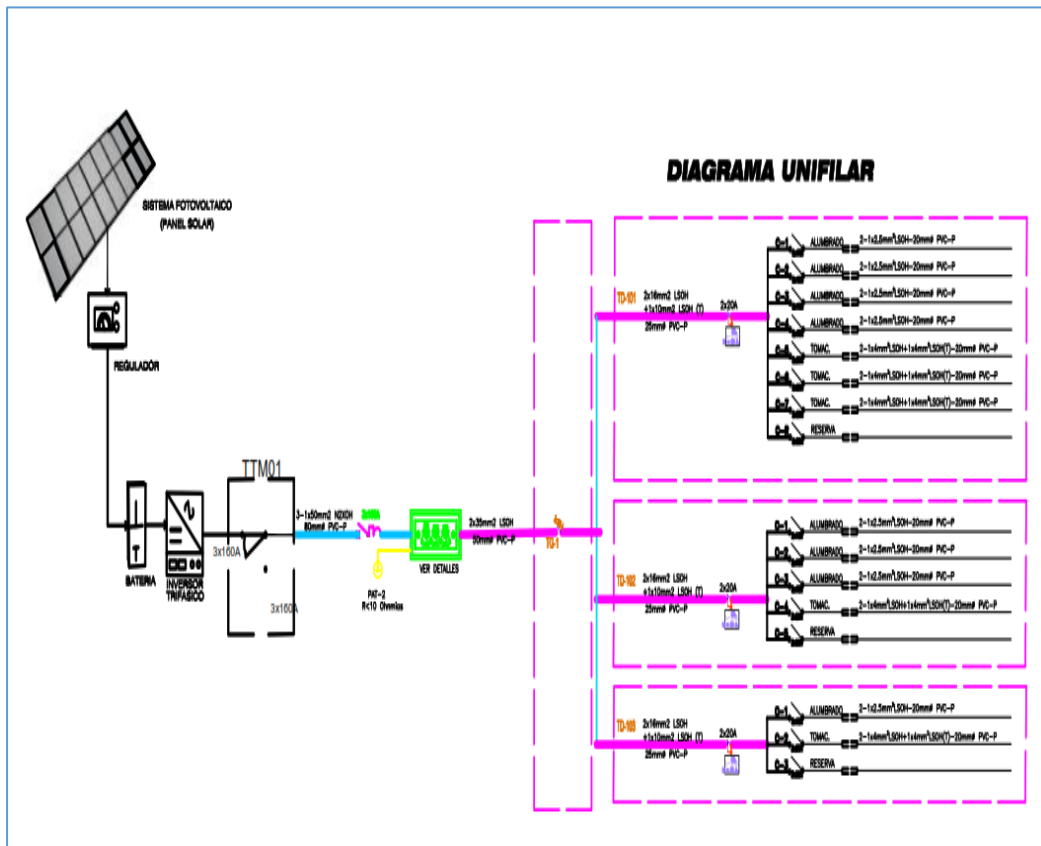


Figura N° 21. Diagrama unifilar de la Instalación del SFV en la IIEE Nevati
Fuente: Elaboración propia del autor

2.2.14. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico actual instalado en la institución educativa NEVATI.

Para comprobar el dimensionamiento adecuado del sistema fotovoltaico actual realizado por el gobierno regional de pasco, se debe de seguir los siguientes pasos:

- **Paso N° 1:**

i) Ubicación del sistema fotovoltaico actual instalado

Demarcación política:

La institución educativa se encuentra comprendido en la organización política del Perú, según se indica:

Región	: Pasco
Departamento	: Pasco
Provincia	: Oxapampa
Distrito	: Puerto Bermúdez
CC NN	: Comunidad Nativa Redención Nevati

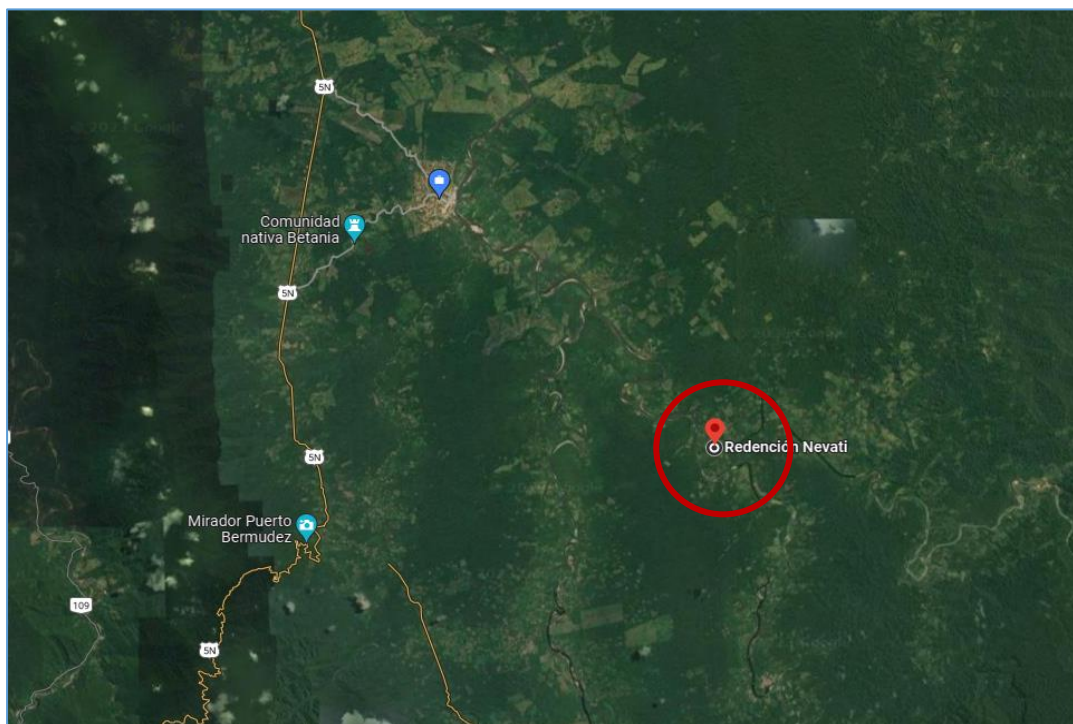


Figura N° 22. Ubicación del sistema fotovoltaico
Fuente: Mapa de Escuelas-Escale

- **Paso N° 2:**

ii) Selección de la Orientación e Inclinación Óptimo de los Módulos Fotovoltaicos

Se llama orientación al punto cardinal hacia el que gira la cara activa del panel fotovoltaico.

Los módulos se fijan a una estructura permanente, por lo que deben inclinarse para obtener un rendimiento invernal óptimo con un ángulo de inclinación de 20°, como se muestra en la siguiente figura N° 24.

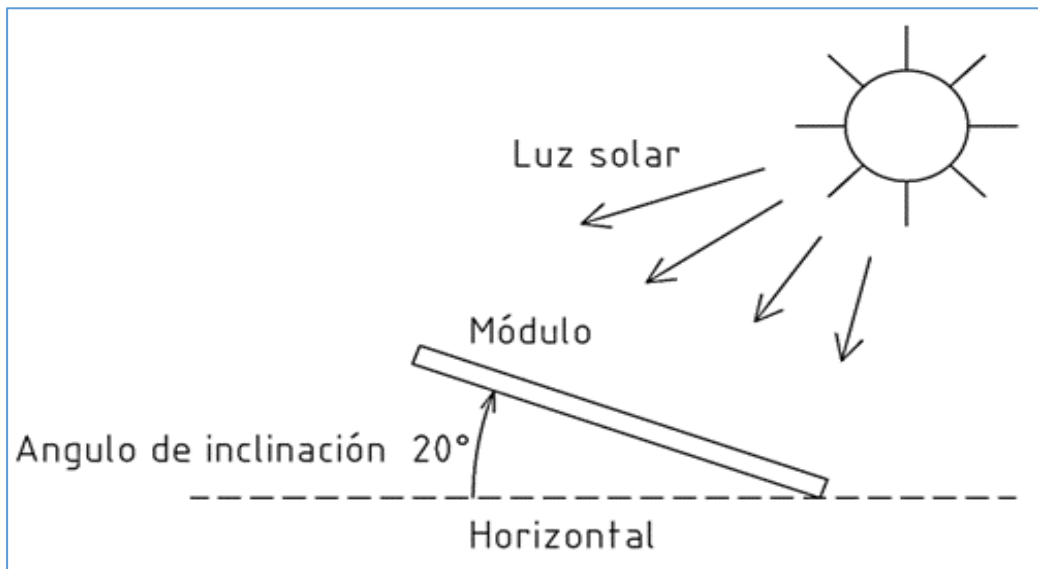


Figura N° 23. Orientación y ángulo Óptimo de Inclinación
Fuente: Elaboración Propia del Autor

- **Paso N° 3:**

iii) Análisis del recurso solar (NASA)

Los siguientes datos de la NASA fueron obtenidos mediante coordenadas de latitud y longitud de la Institución Educativa NEVATI.

Tabla 3. Coordenadas de la Institución Educativa NEVATI

INSTITUCIÓN EDUCATIVA N° 34574	
Latitud	-10.3738
Longitud	-74.8547

Fuente: Elaboración Propia del Autor

iv) Irradiación solar promedio por mes entre 1984 y 2021

A continuación, en la tabla N° 04 se puede observar la irradiación directa promedio por mes que otorga la NASA mediante un proyecto denominado POWER (predicción de los recursos energéticos mundiales), esto datos fueron obtenidos gracias a su aplicación Visor Power Data Access Viewer (Acceso a las vistas de datos de energía) que brinda un promedio solar de 37 años, que maneja esta organización.

Tabla 4. Irradiación Solar promedio 1984-2021-NASA

YEAR	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1984	5.7	5.26	5.11	5.44	5.07	4.92	4.97	5.36	5.98	5.39	5.56	5.62
1985	5.43	5.49	5.48	5.06	5.1	4.96	5.37	5.23	5.53	6.37	6.26	5.89
1986	4.92	5.23	4.8	5.32	5.58	5.54	5.14	5.06	5.4	6.39	6.61	5.72
1987	5.73	6	6.4	6.1	5.71	5.6	5.57	5.94	5.62	6.39	5.79	5.49
1988	5.04	5.77	5.71	4.71	5.29	5.44	5.56	5.8	5.39	5.57	5.85	5.56
1989	5.39	5.56	4.99	5.31	5.47	4.99	5.44	5.41	6.05	6.04	6.72	6.76
1990	5.64	6.46	5.86	5.71	5.37	4.67	5.38	5.55	5.73	5.89	6.26	5.78
1991	5.98	6	5.28	5.68	5.6	5.42	5.62	5.77	5.94	5.9	6.36	6.89
1992	6.45	6.23	5.7	5.79	5.79	4.77	5.43	5.31	5.72	5.34	6.24	6.23
1993	5.23	5.4	5.21	5.01	5.29	5.59	5.19	5.54	4.95	5.3	5.15	5.29
1994	5.32	5.49	5.5	5.26	5.41	5.05	5.3	5.66	5.54	6.01	6.16	5.67
1995	6.18	5.98	5.56	5.67	5.78	5.28	5.51	5.75	5.6	6.01	6.42	6.34
1996	5.26	5.66	5.29	5.24	5.19	5.42	5.68	5.28	5.88	6.06	6.33	5.79
1997	5.57	5.67	6.03	5.83	5.51	5.62	5.65	5.27	5.8	6.19	6.25	5.86
1998	5.74	5.73	5.64	5.86	5.98	5.12	5.63	5.4	6.06	5.86	6.26	5.72
1999	5.6	5.27	5.02	5.08	5.39	5.36	5.31	5.8	5.5	5.58	6.47	5.25
2000	5.22	5.21	4.61	4.88	5.43	5.07	5.18	5.32	5.64	5.51	6.71	5.89
2001	4.18	4.16	4.26	4.72	4.79	4.73	4.47	5.33	4.65	4.86	4.74	5.24
2002	5	4.28	4.38	4.55	4.6	4.69	4.31	4.79	4.59	4.79	4.66	4.75
2003	4.61	4.53	4.27	4.47	4.36	4.96	5.03	4.88	5.02	5.58	5.64	4.37
2004	5.32	4.28	4.32	4.94	5.13	4.49	4.37	4.74	3.94	4.81	5.29	4.56
2005	5.02	4.74	4.3	4.69	5.28	5.19	5.34	4.84	4.71	4.9	5.64	4.47
2006	4.77	4.36	4.31	4.66	5.48	4.48	5.41	4.74	5	4.99	4.66	4.6
2007	4.69	4.73	4.22	4.51	4.93	5.46	4.76	5.09	4.01	4.84	5.34	4.86
2008	4.21	4.5	4.39	4.77	5.24	5.11	5.02	5	4.97	4.84	5.18	4.96
2009	4.44	4.22	4.22	4.5	5.03	5.04	4.81	5.34	5.33	5.3	4.83	4.35
2010	4.47	4.46	4.58	4.9	5.18	5.04	5.49	5.39	4.84	5.26	5.26	4.43
2011	4.38	4.2	4.3	4.56	5.07	5.08	4.99	5.45	4.75	5.19	5.55	4.6
2012	5.07	4.31	4.45	4.42	4.94	4.96	5.3	5.45	4.76	5.11	5.05	4.35
2013	4.96	4.32	4.34	5.42	4.76	4.28	4.65	5.12	5.48	4.79	5.4	4.72
2014	4.61	4.24	4.55	4.62	4.78	5.15	4.72	5.18	4.95	4.9	5.43	4.76
2015	4.81	4.6	4.3	4.27	4.36	4.98	5.48	5.51	5.03	5.27	5.49	4.94
2016	5.48	4.55	4.75	5.32	5.21	5.14	5.56	5.13	5.04	5.19	6.05	4.92
2017	4.4	4.3	4.23	4.57	4.28	4.76	5.31	5.36	4.45	5.37	5.14	4.97
2018	4.55	4.44	4.3	4.46	5.02	4.58	4.76	4.84	5.49	4.43	5.06	5.05
2019	4.46	4.15	4.4	4.59	4.97	5.16	4.99	5.55	4.64	5.13	5.01	4.39
2020	4.92	4.25	4.58	4.93	4.57	5.02	5.37	5.65	4.32	5.06	5.49	4.37
2021	4.31	4.9	4.49	4.68	5.05	4.76	5.27	5.25	4.68	5.36	4.53	4.99

Fuente. NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)-
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

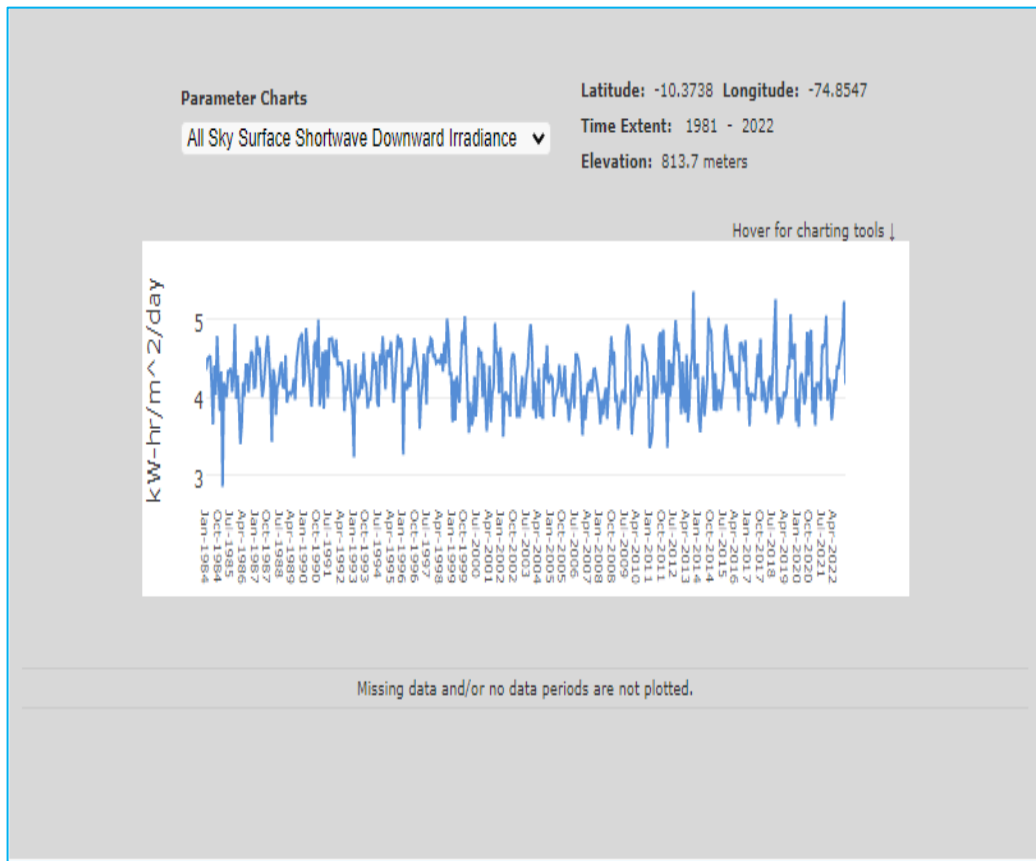


Figura N° 24. Irradiación solar 1981-2022 – Nasa
Fuente: Nasa Data Access Viewer

Según las predicciones de la NASA la mayor irradiación se produce en el mes de Julio mientras que la menor irradiación se produce en el mes de febrero.

v) Datos de la irradiación solar promedio por mes de los últimos 5 años según NASA

Los siguientes datos fueron obtenidos de la aplicación Visor Power Data Access Viewer de NASA.

Tabla 5. Irradiación Solar Promedio (kwh/m^2) por mes de los últimos 5 años-NASA

MES	2017	2018	2019	2020	2021	Irr. Min	Irr. Max
Enero	4.4	4.55	4.46	4.92	4.31	4.31	4.92
Febrero	4.3	4.44	4.15	4.25	4.9	4.15	4.9
Marzo	4.23	4.3	4.4	4.58	4.49	4.23	4.58
Abril	4.57	4.46	4.59	4.93	4.68	4.46	4.93
Mayo	4.28	5.02	4.97	4.57	5.05	4.28	5.05
Junio	4.76	4.58	5.16	5.02	4.76	4.58	5.16
Julio	5.31	4.76	4.99	5.37	5.27	4.76	5.37
Agosto	5.36	4.84	5.55	5.65	5.25	4.84	5.65
Setiembre	4.45	5.49	4.64	4.32	4.68	4.32	5.49
Octubre	5.37	4.43	5.13	5.06	5.38	4.43	5.38
Noviembre	5.14	5.06	5.01	5.49	4.53	4.53	5.49
Diciembre	4.97	5.05	4.39	4.37	4.99	4.37	5.05

Fuente: NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)

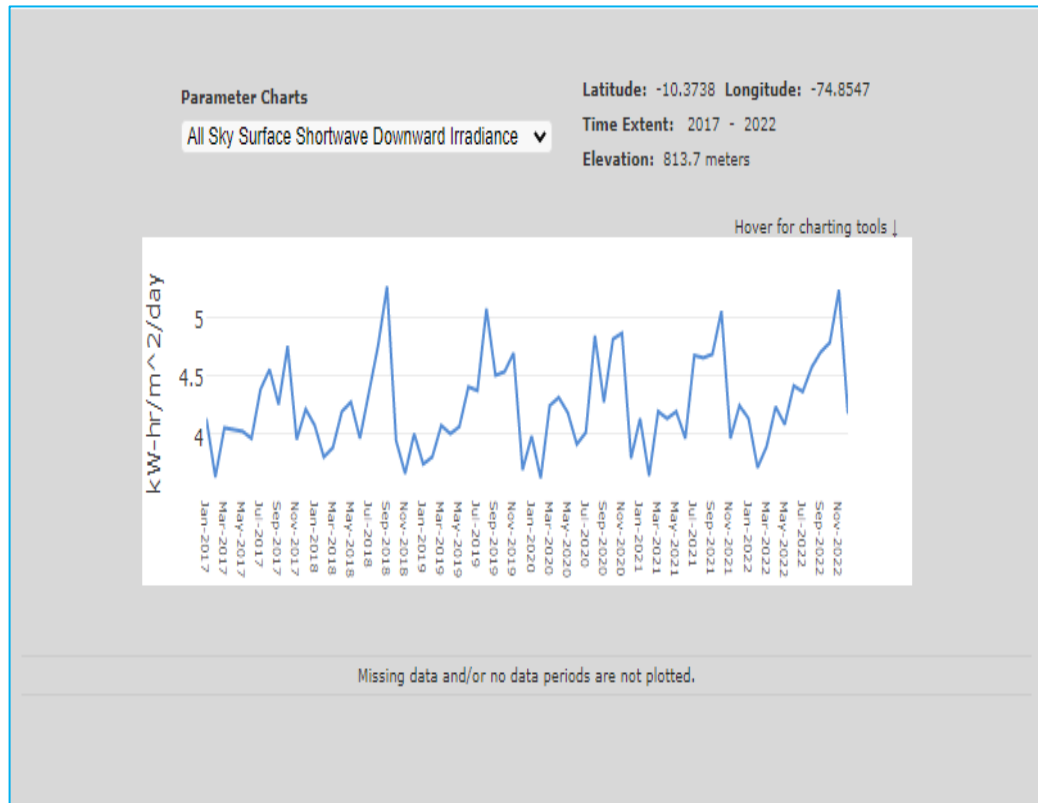


Figura N° 25. Curva de Irradiación Solar-Nasa

Fuente: NASA Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)

- **Paso N° 4.**

vi) Dimensionamiento del sistema fotovoltaico actual

Los siguientes cálculos fueron elaborados en base a datos históricos de la NASA, para que de esta forma los cálculos obtenidos sean los más acertados posibles.

vii) Orientación e inclinación de los paneles solares

Técnicamente la orientación del módulo hace referencia al ángulo acimutal, que se refiere a la posición de los paneles solares con respecto a la línea ecuatorial. Esta posición dependerá de la ubicación geográfica donde nos encontremos. Es decir, los módulos deberán apuntar hacia el ecuador, por ejemplo:

Si te encuentras ubicado en el hemisferio norte (por encima de la línea del ecuador), los paneles deben de ser colocados con orientación hacia el sur.

Si te encuentras ubicado en el hemisferio sur como en el Perú, (por debajo de la línea del ecuador), los paneles deben de ser colocados con orientación hacia el norte (Inclinación y Orientación de paneles solares en el Perú, 2020).

Determinar la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos es fundamental para optimizar la generación de energía eléctrica. La latitud del lugar tiene un alto grado de influencia en estos parámetros. La orientación del panel deberá ser hacia al norte como lo sugiere la Norma Técnica de edificación EM-080 en la sección de "Instalaciones con energía solar".

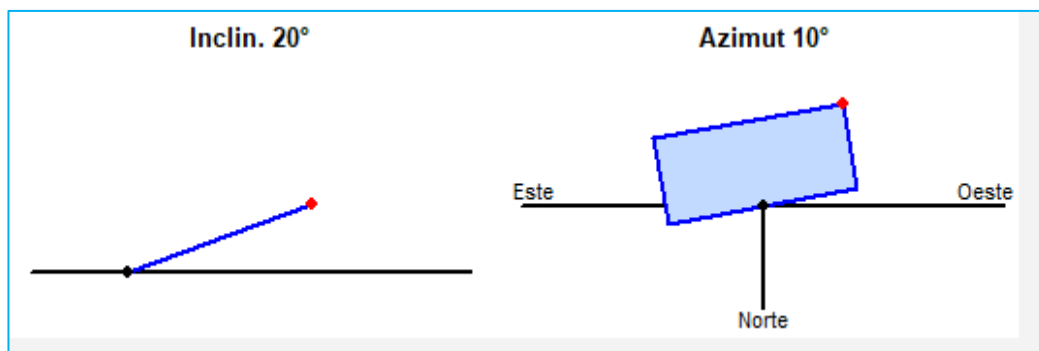


Figura N° 26. Orientación del Panel Solar
Fuente: PVsyst

viii) La inclinación (β)

La inclinación fija es la que se le da a un panel fotovoltaico en función a su latitud, según la época del año en la que se encuentra debido a la inclinación entre el planeta tierra y el sol.

El ángulo de inclinación, depende principalmente de la latitud del lugar (a mayor latitud, mayor inclinación) y de la época (estación) en la que se prevea dar uso a la instalación.

El ángulo de inclinación de los paneles solares recomendados por la norma técnica EM-080 en este caso es:

$$\beta = |L| + 10$$

La inclinación óptima para todo el año se puede determinar por la siguiente formula:

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |L|$$

Teniendo los siguientes resultados:

$$\beta_{norma\ técnica} = 10.3738 + 10 = 20.37^\circ$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + (0.69 * 10.37) = 10.86^\circ$$

Teniendo los valores calculados, el Gobierno Regional de Pasco, con aprobación del MINEM, deciden instalar los sistemas fotovoltaicos en las instituciones educativas como: Buena Ventura, Acolla, Palmacocha, Nueva Esperanza, primavera, Redención

Nevati con un ángulo de inclinación de 20 grados, la cual se optó por lo recomendado por la norma técnica EM-80.

Consumo diario de energía eléctrica de la IIEE NEVATI

La institución educativa tiene un consumo tal como se muestra en la siguiente imagen:

Tabla 6. Cuadro de Cargas de la Institución NEVATI

APARATOS E EQUIPOS	POTENCIA (Watts)	Cantidad	h/día	Ciclo/servicio	Días/Semana	Factor-Arranque	f.p	potencia total	Potencia Pico	VA total	Energía (Wh/Día)				
Electrobomba 0.5HP	373	1	2	0.50	7	3	0.85	373	1119	439	373				
PC	150	8	6	0.50	7	1	0.85	1200	1200	1412	3600				
Refrigerador Mediano	180	2	24	0.50	7	3	0.85	360	1080	424	4320				
Tv 40"	190	2	6	0.50	7	1	0.85	380	380	447	1140				
Equipo de Sonido	400	1	4	1.00	7	1	0.85	400	400	471	1600				
Luminarias	32	20	6	1.00	7	1	0.70	640	640	914	3840				
Luminarias	24	16	6	1.00	7	1	0.70	384	384	549	2304				
Luminarias	18	40	6	1.00	7	1	0.70	720	720	1029	4320				
Impresora Multifuncional	200	2	1	1.00	7	1	0.70	400	400	571	400				
										Energía Total Requerida por día		21897.000	wh/día		
										Potencia Activa Total Necesaria-Instalada		4857	w		
CONSTANTE 1	0.69											Potencia Activa Pico Necesaria-Instalada		6323	w
CONSTANTE 2	3.7											Potencia Aparente Total		6255	VA

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

EL GOBIERNO REGIONAL DE PASCO, para su dimensionamiento de sus sistemas en las seis instituciones educativas consideró.

Teniendo:

$$P_{demandada} = Potencia instalada = 6323 \text{ Wp}$$

$$E_{demandada} = Energía Demandada = 21,897 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}$$

Es importante determinar la demanda energética con respecto a los equipos a utilizar ya considerando las pérdidas es:

$$Demanda_{energetica} = \frac{Energía consumida_{diaria}}{Rendimiento global}$$

$$Rendimiento global = (1 - K_b - K_i - K_r - K_v) * (1 - \frac{K_a * N}{D_p})$$

El rendimiento global es donde se establece ciertas pérdidas que puede haber en el sistema fotovoltaico, tales así:

- Pérdidas en el proceso de acumulación (K_b)
- Pérdidas en el controlador de cargas (K_r)
- Autodescarga de la batería (K_a)
- Pérdida por el rendimiento del inversor (K_i)
- Otras pérdidas no consideradas como es el tema de los cableados (K_v)
- Profundidad de descarga máxima admisible (D_p)
- Números de días de autonomía (N)

Para el dimensionamiento del SFV de la institución educativa se utilizaron:

$$\begin{aligned}
 K_b &= 0.05 \\
 K_i &= 0.05 \\
 K_r &= 0.1 \\
 K_v &= 0.1 \\
 D_p &= 0.5 \\
 K_a &= 0.005 \\
 N &= 2
 \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\text{Rendimiento global} = (1 - 0.05 - 0.05 - 0.1 - 0.1) * \left(1 - \frac{0.005 * 2}{0.5}\right)$$

$$\text{Rendimiento global} = 0.686$$

$$\text{Demanda}_{\text{energetica}} = \frac{21,897 \text{ Wh}}{0.686}$$

$$\text{Demanda}_{\text{energetica}} = 31,919.83 \frac{\text{Wh}}{\text{Día}}$$

Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico

Para calcular el número de paneles se debe saber el valor de la potencia del generador FV.

Para ello:

$$P_{G-FV} = \frac{\text{Demanda}_{\text{energetica}}}{HSP}$$

$$P_{G-FV} = \frac{31,919.83 \frac{\text{Wh}}{\text{Día}}}{4.15 \text{ h}}$$

$$P_{G-FV} = 7,691.53 \frac{W}{Día}$$

Teniendo el valor de la potencia generada se realiza la elección de tensión Nominal del sistema en función de la potencia (Cantos Serrano, 2016). Viendo el mercado peruano de sistemas fotovoltaicos aún no hay tecnologías para sistemas de 120 y 130V, es por ello que se eligió, sistemas de 48V.

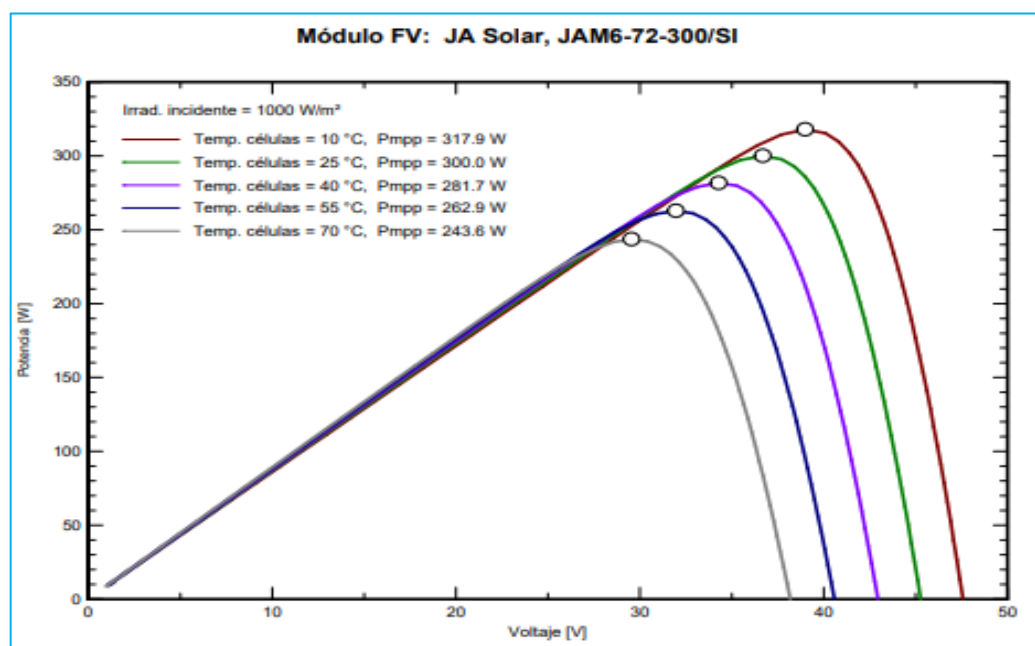
Tabla 7. Tensión Nominal del Sistema según la Potencia de generación

Potencia	Tension nominal
$P \leq 800 \text{ W}$	12 V
$800 \leq P \leq 1600 \text{ W}$	24 V
$1600 \leq P \leq 3200 \text{ W}$	48 V
$P > 3200 \text{ W}$	120 o 300 V

Fuente: Julián Canto-Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV \text{ elegido}}}$$

Para la instalación del sistema fotovoltaico en la institución educativa se utilizó un panel solar JAM6-72-300/SI, de potencia pico $300W_p$.



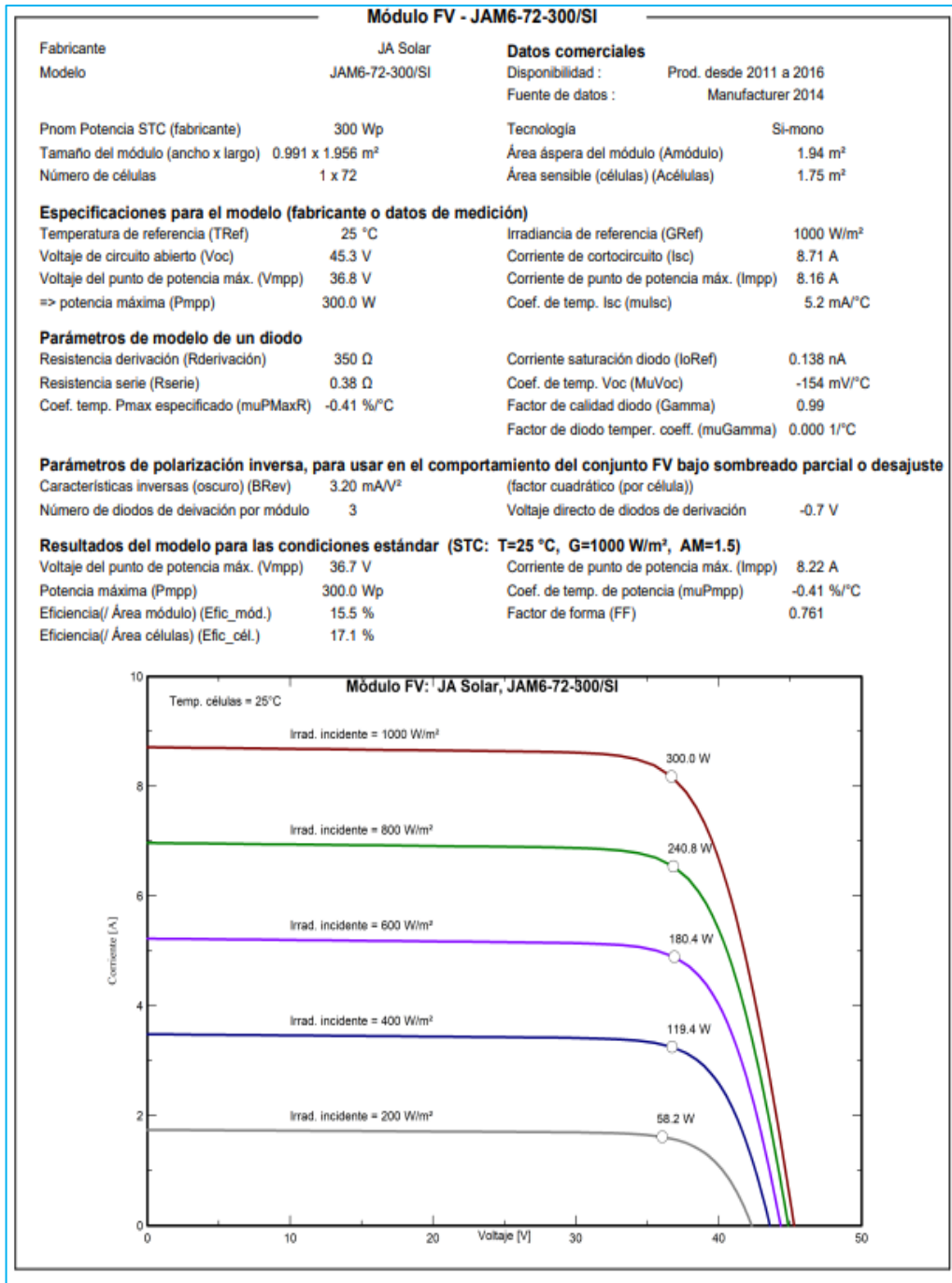


Figura N° 27. Características eléctricas del panel solar utilizado (JAM6-72-300)

Fuente: Elaboración Propia del Autor

$$N^{\circ} \text{ paneles} = \frac{7,691.53 \text{ W}}{300 \text{ W}}$$

$$N^{\circ} \text{ paneles} = 25.64 \cong 26 \text{ paneles}$$

Finalmente se puede determinar la cantidad de paneles en paralelo y en serie de a la siguiente manera:

$$N^{\circ}_{ps} = \frac{V_{nominal\ del\ sistema}}{V_{mpp}}$$

$$N^{\circ}_{ps} = \frac{48\ V}{36.8\ V}$$

$$N^{\circ}_{ps} = 1.3 \cong 2$$

$$N^{\circ}_{pp} = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV\ elegido} * N^{\circ}_{ps}}$$

$$N^{\circ}_{pp} = \frac{7,691.53}{300 * 2}$$

$$N^{\circ}_{pp} = 12.8 \cong 13\ paneles$$

Lo que se buscó para la configuración del sistema en 2 módulos en serie, como se puede ver en el anexo N°2, la cual fue calculado con el PV SYST V6.7. ver figura N° 29.

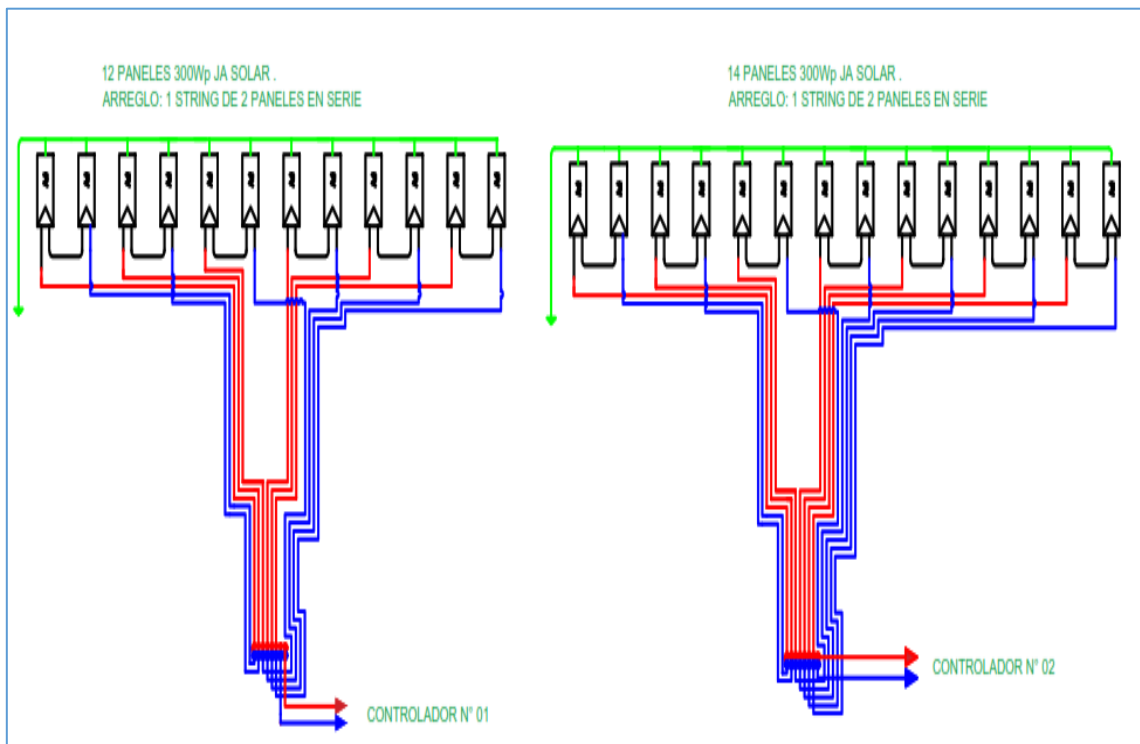


Figura N° 28. Configuración Fotovoltaica Instalada en la IIEE Nevati

Fuente: Elaboración Propia del Autor

ix) Dimensionamiento de la batería

Se debe tener especial cuidado con el dimensionamiento de las baterías, ya que, si se sub dimensiona, los ciclos de vida se pueden reducir drásticamente. Debido a una profundidad de descarga mayor a la máxima.

Consumo de corriente total diaria (Q_M) se halló con la siguiente ecuación

$$Q_M = \frac{E_{demandada}}{\eta_{Inversor} \times V_{sistema\ Fotovoltaico}}$$
$$Q_M = \frac{21,897\ Wh/día}{0.94 \times 48V} = 485.31 \frac{Ah}{día}$$

Para un adecuado dimensionamiento se debe calcular el consumo de corriente corregidos, en base a factores de rendimiento de cableado y de baterías comunes en la industria.

$$Q_{Mcorregido} = \frac{Q_M}{F_{cableado} \times F_{batería}}$$
$$Q_{Mcorregido} = \frac{485.31 \frac{Ah}{día}}{0.98 \times 0.9} = 550.24 \frac{Ah}{día}$$

Donde:

- $F_{cableado}$: Es el factor de rendimiento debido al cableado, no debe ser menor a 0.98
- $F_{batería}$: Es el factor de rendimiento debido a la batería, no debe ser menor a 0.9

Una vez teniendo en claro que consumo por día requerida, se realiza el dimensionamiento de las baterías:

Para el cálculo del banco de batería se tomó el valor de 0.8 para la descarga profunda.

$$C_{Banco} = \frac{Q_{Mcorregido} \times DOA \times F_{seguridad}}{PD_{m\acute{a}x} \times F_{temperatura}}$$

$$C_{Banco} = \frac{550.24 \frac{Ah}{d\acute{a}a} \times 2 \times 1.5}{0.8 \times 0.9} = 2,293Ah$$

Donde:

- DOA: Días de autonomía, es recomendable mayor a 3 días, por lo cual que tomaron 2 días de autonomía. Haciendo que reduzca la capacidad de la batería y con ello el precio de cada unidad de batería.
- $PD_{m\acute{a}x}$: Profundidad máxima de descarga, es decir el 80%.
- $F_{seguridad}$: Factor de seguridad, normalmente se toma valores entre 1.5-2. Se escogió 1.5.
- $F_{Temperatura}$: Factor de temperatura es de 0.9

El número de baterías debe poder satisfacer la capacidad necesaria, es por ello, que se calcula de la siguiente manera: para este sistema se tiene baterías de 567 Ah, con una tensión de cada batería de 6V.

$$N_{bp} = \frac{C_{Banco}}{C_{bater\acute{a}a}} = \frac{2,293Ah}{567Ah} = 4.04 \cong 3$$

Nota: Poner varias baterías en paralelos lo que se está haciendo es cerrar el circuito creando corrientes de desequilibrios, estas corrientes de desequilibrio benefician al envejecimiento prematuro de las baterías.

$$N_{bs} = \frac{V_{sistema}}{V_{bater\acute{a}a}} = \frac{48V}{6V} = 8$$

Donde:

- N°_{bp} = Es la cantidad de baterías en paralelo
- N°_{bs} = Es la cantidad de baterías en serie
- $C_{bater\acute{a}a}$ =
Es la capacidad de la batería q contamos, en este caso es de 567Ah
- $V_{bater\acute{a}a}$ =
Es el voltaje de operación nominal de la batería, en este caso es 6V

El número de batería en paralelo define el nuevo valor de la capacidad de del banco de baterías:

$$C_{banco} = N^{\circ}_{bp} * C_{batería}$$

$$C_{banco} = 3 * 567 = 1,701Ah$$

Sin embargo, para cuidar la vida útil de la batería y evitar su rápido degradación. Se debe cumplir lo siguiente:

$$PD = \frac{Q_{Mcorregido} * 0.75}{C_{banco}} < 20\%$$

Donde:

PD: Es la profundidad de descarga real de la batería

$$PD = \frac{550.24 \frac{Ah}{día} * 0.75}{567Ah} = 72.78\%$$

Por lo tanto, teniendo el banco de baterías conectado en serie y paralelo se tiene una descarga profunda real del 72.78%, con ello se está cuidado la vida útil del banco de baterías, más lo contrario no se aceleran la degradación de cada una de ellas.

Finalmente, el banco de baterías debe estar compuesto por 3 arreglos de batería en paralelo y 8 baterías en serie, dando un total de 24 Baterías tal como se puede ver en la Figura N°30.

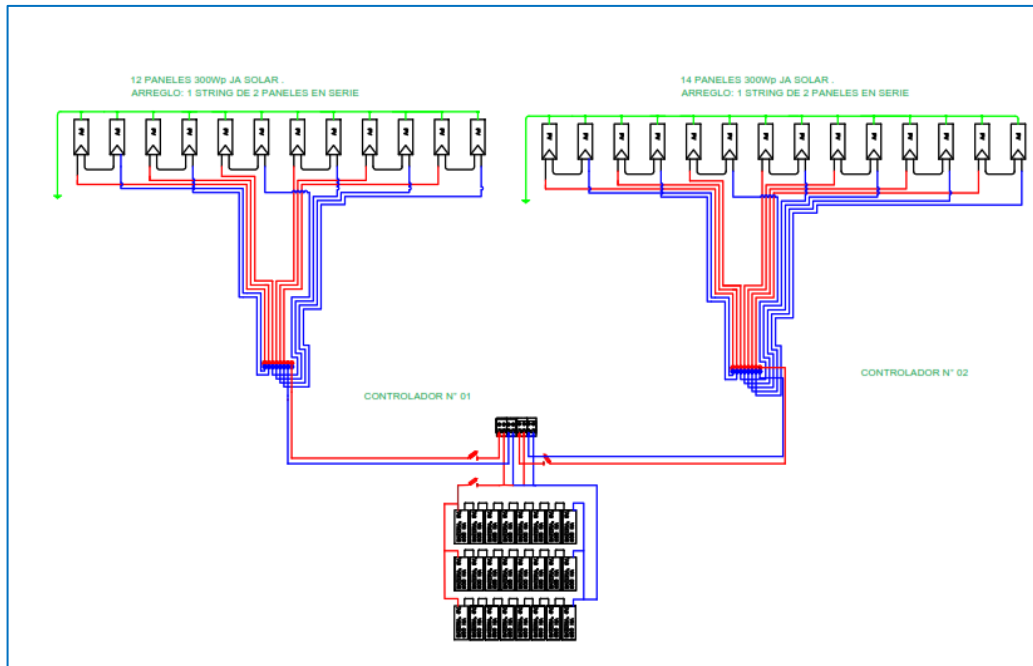


Figura N° 29. Conexión de las Baterías en la Institución Educativa
Fuente: Elaboración Propia del Autor

x) Dimensionamiento del Controlador

Para el dimensionamiento del controlador o regulador de carga se tendrá en cuenta la corriente pico de cada panel fotovoltaico y el número de paneles fotovoltaicos en paralelo.

Así mismo por el controlador debe pasar la energía generada por los paneles, se debe considerar el peor escenario, y este es el de la intensidad de cortocircuito para todos los paneles.

$$I_{Controlador} = I_{sc} * N^{\circ}_{pp} * 1.25$$

$$I_{Controlador01} = 8.947 A * 6 * 1.25 = 67.10 A \cong 70A$$

$$I_{Controlador02} = 8.947 A * 7 * 1.25 = 78.3 A \cong 80A$$

Al seleccionar el regulador de carga deberá tener un valor comercial mayor al de la corriente de cortocircuito del sistema fotovoltaico, una tensión de 48V y deberá ser del tipo MPPT para optimizar el rendimiento del sistema fotovoltaico.

Por lo tanto, los reguladores 02 y 01 de carga seleccionados son de 80 A y 70 A respectivamente.

xi) Dimensionamiento del Inversor DC/AC

El inversor se encarga de transformar la corriente DC en AC, es por ello que el parámetro que define a este equipo es la potencia mínima a convertir.

Es muy poco probable que todas las cargas funcionen al mismo tiempo. Sin embargo, asumiendo el caso crítico, es prudente colocar un coeficiente de simultaneidad de 100%.

Típicamente la eficiencia de un inversor está dentro de 90-95%, por lo tanto, se consideró en cuenta la eficiencia de 95% y un factor de potencia de 0.8.

La potencia nominal en la que deberá operar el inversor es la siguiente:

$$P_{inv} = F_s * \left(\frac{P_{carga-max\ diaria-AC}}{Eff_{inv}} \right)$$

$$P_{inv} = 1.2 * \left(\frac{6323}{0.95} \right)$$

$$P_{inv} = 7,986.95W \cong 8,000W$$

$$S_{inv} = \frac{P_{inv}}{FP}$$

$$S_{inv} = \frac{8,000}{0.8} = 10,000VA$$

F_s : Es el coeficiente de seguridad, el coeficiente escogido es 1.2.

Por lo tanto, el inversor escogido tiene los siguientes parámetros:

- 48V (DC)-220V (AC)
- Frecuencia 60Hz
- Potencia de salida Nominal 6,323W y potencia máxima de entrada 7,800W.

$$N^{\circ}_{inv} = \frac{W_{inv}}{W_{sistema}} = \frac{8,000W}{7,800W} = 1.025 \cong 1 \text{ inversor DC/AC}$$



Figura N° 30.Inversor

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

xii) Dimensionamiento de conductores

El dimensionamiento del cableado se realizará bajo las recomendaciones de norma técnica peruana (NTP) y código nacional de electricidad (CNE).

El método utilizado se basa en la norma IEC 603646-5-52 “instalaciones eléctricas en edificios”, parte 5-52, “selección y utilización de materiales eléctricos -canalizaciones”.

Requisitos del cableado:

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador fotovoltaico y regulador de carga, inferiores al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferior al 5% entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente (Minas, 2005).

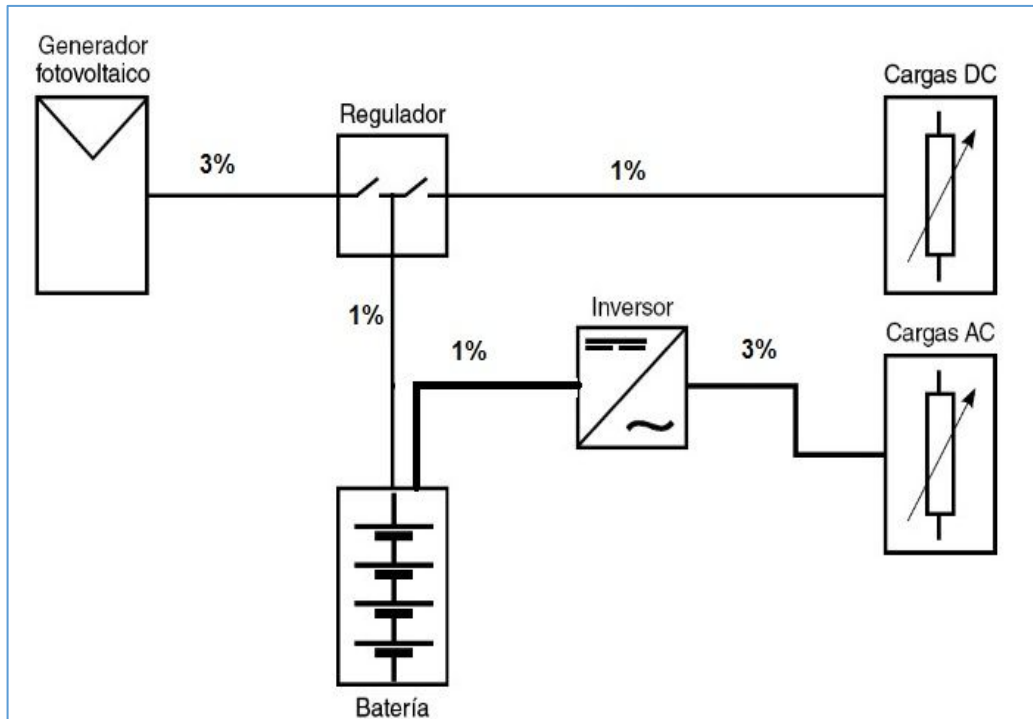


Figura N° 31.Caída de Tensión máxima Permitidas
Fuente: MINEM

xiii) Cálculo de la sección del conductor

$$s = \frac{2 \times \rho \times L \times I}{V \times \Delta v \%}$$

Distancia de los componentes del sistema fotovoltaico

$$L_{Panel-Regulador}: 16 \text{ m}$$

$$L_{Bateria-Regulador}: 4 \text{ m}$$

$$L_{bateria-Inversor}: 4 \text{ m}$$

$$L_{Inversor-Carga}: 25 \text{ m}$$

Sección de conductores para cada componente

$$s_{P-R} = \frac{2 \times 0.01786 \times 16 \times \frac{6,323}{48}}{48 \times 3\%} = 52.28 \text{ mm}^2 \cong 53 \text{ mm}^2 = 1/0 \text{ AWG}$$

$$s_{B-R} = \frac{2 \times 0.01786 \times 4 \times \frac{6,323}{48}}{48 \times 1\%} = 39.21 \text{ mm}^2 \cong 39 \text{ mm}^2 = 1 \text{ AWG}$$

$$S_{B-I} = \frac{2 \times 0.01786 \times 4 \times \frac{6,323}{48}}{48 \times 1\%} = 39.21 \text{ mm}^2 \cong 39 \text{ mm}^2 = 1 \text{ AWG}$$

$$S_{I-C} = \frac{2 \times 0.01786 \times 10 \times \frac{6,323}{48}}{220 \times 3\%} = 7.13 \text{ mm}^2 \cong 7 \text{ mm}^2 = 10 \text{ AWG}$$

EQUIVALENCIAS		
AWG	Sección Real (mm ²)	mm ²
22	0.324	0.5
20	0.517	0.75
18	0.821	1
16	1.31	1.5
14	2.08	2.5
12	3.31	4
10	5.26	6
8	8.37	10
6	13.3	16
4	21.2	25
2	33.6	35
1	42.4	50
1/0	53.3	70
2/0	67.4	70
3/0	85	95
4/0	107.2	120

Figura N° 32. Calibres de los conductores eléctricos
Fuente: Soluciones Eléctricas

2.2.15. Eficiencia del sistema fotovoltaico instalado.

La eficiencia de la instalación depende de varios factores, como por ejemplo el tipo de placa solar que se utilice. Las placas fotovoltaicas más usadas actualmente se dividen en tres categorías:

- Células monocristalinas
- Células policristalinas
- Células amorfas

Otro factor decisivo en la eficiencia a la hora de obtener energía fotovoltaica es si el sistema fotovoltaico tiene o no seguidor solar, y en

caso de tenerlo de qué tipo es. El objetivo del sistema de seguimiento es aumentar el área expuesta a la radiación solar. Los paneles pueden dividirse en tres tipos:

- Fijo
- Seguidor de un eje
- Seguidor de dos ejes

i) Sistemas fotovoltaicos fijos

No posee un sistema de seguimiento que lo oriente perpendicular al sol. El panel se encuentra inmóvil en una posición óptima para obtener la mayor cantidad de energía a lo largo del año. Es la peor opción pues para un mismo panel en la misma ubicación es la que menos energía capta.

ii) Seguidor de un eje

El panel gira en un eje, pero se mantiene fijo en los otros. De esta forma sigue la órbita del sol, pero sin estar perpendicular a la dirección de los rayos solares. Dentro de este tipo de seguidores, se distinguen varios tipos según el eje de giro y la disposición del panel.

Tabla 8. Seguidores Solares a un Eje

Tipo de Seguidor a un eje	Características
Eje x	Los seguidores de “inclinación” son los más simples de hacer y rotan alrededor del eje este - oeste.
Eje y	El eje de rotación es el norte - sur, mientras que la altura del Sol sobre el horizonte se ignora. Estos rastreadores son particularmente adecuados para países de baja latitud, donde la trayectoria del sol es, en promedio, más ancha durante el año.
Eje z	Los seguidores de azimut tienen un grado de libertad con un eje cenital - nadir. Para lograr esto, el panel se monta sobre una base giratoria servoasistida, al ras del suelo.
Eje Polar	Se mueven en un solo eje inclinado con respecto al suelo y aproximadamente paralelo al eje de rotación de la tierra. Este eje es similar al alrededor del cual el sol dibuja su trayectoria en el cielo.

Fuente: Fernando Meléndez-Advance

iii) Seguidor de dos ejes

El panel se mueve en dos ejes de forma que siempre se encuentra perpendicular al sol captando de esta forma la máxima energía posible. Con un sistema de seguimiento fiable se puede mejorar de forma notable la captación solar respecto a sistemas sin seguidor.

Así mismo la eficiencia de un sistema fotovoltaico depende de la eficiencia de sus componentes, la figura N°.34 nos muestra la mejor eficiencia de los componentes del sistema.

Con la adición de cada componente se presentan más pérdidas, por lo que un sistema conectado a red será más eficiente que un sistema aislado que cuente con almacenamiento de energía.

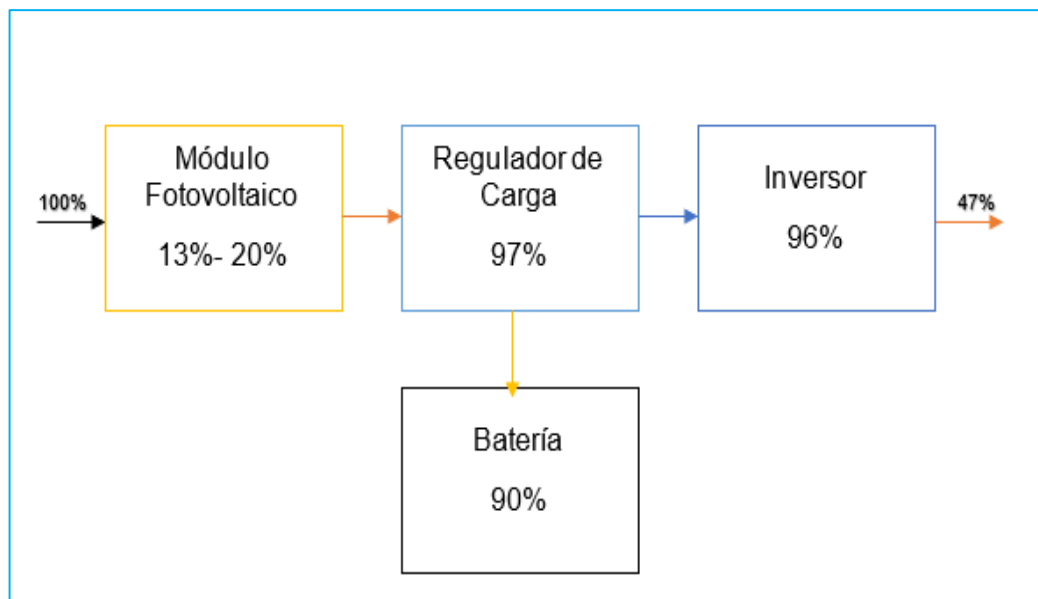


Figura N° 33. Eficiencia de un sistema Fotovoltaico
Fuente: VHESC, 2007

Se observa que el componente más crítico son los paneles fotovoltaicos, con una eficiencia muy baja y afectada por las condiciones de operación. Se desea entonces que las condiciones de operación sean las óptimas, puesto que no es posible actuar sobre las condiciones climáticas queda la opción de corregir la orientación de los paneles con respecto al Sol, tendencia que se conserva en los nuevos desarrollos, es por ello que en este proyecto vemos como se

mejora la generación fotovoltaica mediante seguidores solares en comparación a sistemas fotovoltaicas fijas.

2.2.16. Seguidor Solar utilizado para optimizar el suministro de electricidad a la institución educativa NEVATI

i) Seguidor solar como dispositivo de optimización

El seguidor solar es un aparato tecnológico, cuyo objetivo es aumentar la producción de los paneles fotovoltaicos y otros dispositivos de concentración por medio de sistemas mecánicos hidráulicos, eléctricos y electrónicos que siguen la trayectoria del sol como lo haría un girasol, captando de este modo la máxima radiación solar durante el mayor tiempo posible.

Un seguidor solar es una máquina automática diseñada por el hombre que cuenta con una parte fija y otra móvil que dispone de una superficie de captación solar lo más perpendicular al sol posible a lo largo del día y dentro de sus rangos de movimiento que le permiten aumentar la eficiencia o rendimiento productivo a la pantalla fotovoltaica mediante su área efectiva.

2.2.17. Tipos de seguidores solares

Los seguidores solares pueden ser clasificados según tipo del movimiento que realicen y según el algoritmo de seguimiento.

2.2.18. Según el tipo de movimiento: Sistema de seguimiento solar de un eje

El seguimiento solar se realiza en un eje, siguiendo el movimiento del sol el cual durante el día va de Este a Oeste desde el amanecer hasta el atardecer. De este modo se logra la máxima captación de radiación solar incidente y permitiendo además visualizar los parámetros del sistema como: Potencia nominal generada, corriente nominal, voltaje, ángulo de elevación solar en un sistema HMI instalado en conjunto con el sistema.

2.2.19. según el algoritmo de seguimiento: Seguidor con programación astronómica

En este proyecto se utilizó un algoritmo basado en ecuaciones matemáticas la cual determinan la dirección exacta del Sol en un instante de tiempo determinado (función de la fecha y hora). Con esta información, el sistema de control posiciona la superficie de captación. Este control presenta total independencia de las condiciones climáticas. El seguimiento en este caso depende únicamente de una serie de ecuaciones que predicen la ubicación del Sol en cualquier momento.

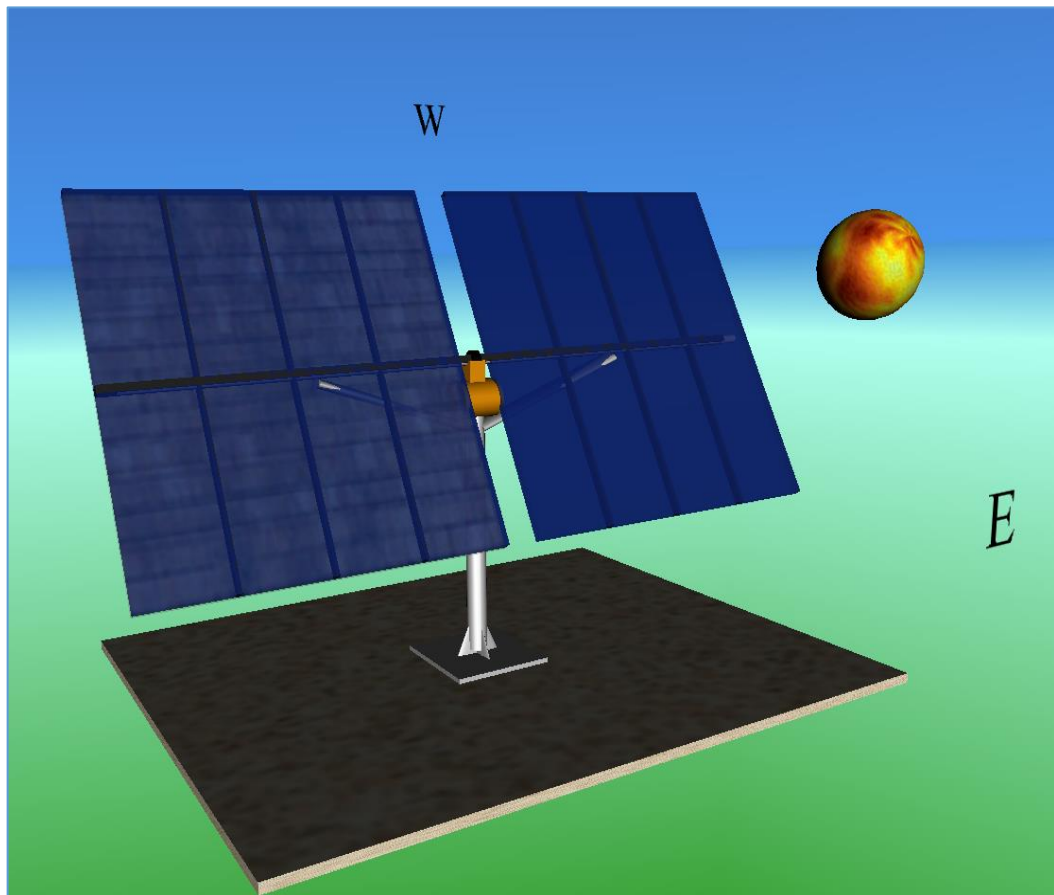


Figura N° 34. Seguidor Solar a un eje con algoritmo con programación
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

2.3. DESCRIPCIÓN COMPLETA DEL EXPERIMENTO

Para el desarrollo de este proyecto se realizó de la siguiente manera:

PASO N° 1.

En esta etapa se ha considerado los principales aspectos, una de ellas una base de datos de recursos meteorólogos con radiación y temperatura no uniforme.

Radiación Vs Temperatura:

Tabla 9. Radiación Vs Temperatura

Radiación solar	Temperatura	hora	Radiación solar
0	12.1	0	0
5	11.8	0.05	10
17	11.7	0.06	34
35	11.7	0.07	70
44	12.1	0.08	88
70	12.8	0.09	140
125	13.4	0.1	250
186	14.1	0.11	372
240	14.8	0.12	480
229	15.1	0.13	458
216	15.1	0.14	200
201	15.1	0.15	200
216	14.3	0.16	200
302	14.6	0.17	604
103	16.3	0.18	206
44	16.8	0.19	88
160	17.3	0.2	320
596	17.4	0.21	1192
867	17.6	0.22	1734
769	17.5	0.23	1538
884	18.7	0.24	1768
892	18.4	0.25	1784
1098	19.8	0.26	1000
919	19.5	0.27	800
558	19.9	0.28	500
475	19.8	0.29	400
377	19.6	0.3	754
415	20	0.31	830
443	20.2	0.32	886
349	19.6	0.33	698
296	19.1	0.34	592
284	18.9	0.35	568
378	19.2	0.36	340
609	19.7	0.37	600

775	20.2	0.38	760
665	20.7	0.39	660
752	21.3	0.4	750
720	21.5	0.41	700
622	21.4	0.42	600
582	21.4	0.43	400
564	21.4	0.44	400
593	21.3	0.45	400
476	21.5	0.46	400
953	21.2	0.47	900
571	22.9	0.48	400
323	22	0.49	300
553	21.9	0.5	500
353	21.9	0.51	700
704	21.6	0.52	1408
681	21.9	0.53	1362
891	22.4	0.54	1782
833	23.7	0.55	1666
773	23.4	0.56	1546
791	23.8	0.57	1582
720	23.4	0.58	1440
690	23.8	0.59	1380
660	24.6	0.6	1320
625	24.6	0.61	1250
597	24.6	0.62	1194
584	24.8	0.63	1168
593	25.1	0.64	1186
388	24.6	0.65	776
202	23.1	0.66	404
269	22.2	0.67	538
364	21.9	0.68	728
222	21.2	0.69	444
290	19.1	0.7	580
212	18.9	0.71	424
60	18.5	0.72	120
33	17.7	0.73	66
70	17.5	0.74	140
35	17.9	0.75	70
14	17.5	0.76	28

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

PASO N° 2.

Recolección de datos como radiación, temperatura, potencia, voltaje y energía, de la estación meteorológica PUERTO INCA.

Tabla 10. Datos de Radiación y Temperatura

Time	Radiación	Temperatura	Potencia	Corriente	Voltaje	Energía
0.000	0	22.7	0.00E+00	0.00E+00	5.12E+01	0.00E+00
0.001	0	22.7	0.00E+00	0.00E+00	6.90E+01	0.00E+00
0.002	0	22.7	0.00E+00	0.00E+00	9.29E+01	0.00E+00
0.003	0	22.7	1.00E-03	0.00E+00	1.22E+02	1.67E-08
0.004	0	22.7	1.00E-03	0.00E+00	1.54E+02	3.33E-08
0.005	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	1.86E+02	6.67E-08
0.006	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	2.16E+02	1.00E-07
0.007	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	2.42E+02	1.33E-07
0.008	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	2.63E+02	1.67E-07
0.009	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	2.80E+02	2.00E-07
0.010	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	2.94E+02	2.33E-07
0.011	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.08E+02	2.67E-07
0.012	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.21E+02	3.00E-07
0.013	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.33E+02	3.33E-07
0.014	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.44E+02	3.67E-07
0.015	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.55E+02	4.00E-07
0.016	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.65E+02	4.33E-07
0.017	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.75E+02	4.67E-07
0.018	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.83E+02	5.00E-07
0.019	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.91E+02	5.33E-07
0.020	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	3.98E+02	5.67E-07
0.021	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.05E+02	6.00E-07
0.022	0	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.13E+02	6.33E-07
0.023	1	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.25E+02	6.67E-07
0.024	1	22.7	3.00E-03	0.00E+00	4.43E+02	7.17E-07
0.025	3	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.58E+02	7.50E-07
0.026	4	22.7	3.00E-03	0.00E+00	4.65E+02	8.00E-07
0.027	4	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.65E+02	8.33E-07
0.028	3	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.61E+02	8.67E-07
0.029	3	22.7	3.00E-03	0.00E+00	4.67E+02	9.17E-07
0.030	5	22.7	3.00E-03	0.00E+00	4.78E+02	9.67E-07
0.031	8	22.7	3.00E-03	0.00E+00	4.85E+02	1.02E-06
0.032	9	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.87E+02	1.05E-06
0.033	9	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.89E+02	1.08E-06
0.034	10	22.7	2.00E-03	0.00E+00	4.92E+02	1.12E-06
0.035	12	22.7	1.00E-02	0.00E+00	4.93E+02	1.28E-06

0.036	12	22.7	9.00E-03	0.00E+00	4.97E+02	1.43E-06
0.037	14	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.00E+02	1.58E-06
0.038	15	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.02E+02	1.73E-06
0.039	16	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.03E+02	1.88E-06
0.040	17	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.04E+02	2.03E-06
0.041	18	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.05E+02	2.20E-06
0.042	18	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.06E+02	2.35E-06
0.043	19	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.07E+02	2.50E-06
0.044	20	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.08E+02	2.67E-06
0.045	20	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.08E+02	2.83E-06
0.046	20	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	3.00E-06
0.047	21	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	3.17E-06
0.048	21	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	3.33E-06
0.049	21	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.10E+02	3.50E-06
0.050	21	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.10E+02	3.67E-06
0.051	23	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.11E+02	3.83E-06
0.052	23	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.12E+02	4.00E-06
0.053	23	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.12E+02	4.17E-06
0.054	24	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.12E+02	4.33E-06
0.055	23	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.11E+02	4.50E-06
0.056	23	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.11E+02	4.67E-06
0.057	22	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.10E+02	4.82E-06
0.058	22	22.7	9.00E-03	0.00E+00	5.09E+02	4.97E-06
0.059	21	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	5.13E-06
0.060	21	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	5.30E-06
0.061	22	22.7	1.00E-02	0.00E+00	5.10E+02	5.47E-06
0.062	23	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.10E+02	5.63E-06
0.063	23	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.10E+02	5.82E-06
0.064	22	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	5.98E-06
0.065	22	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.08E+02	6.15E-06
0.066	21	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.07E+02	6.32E-06
0.067	20	22.9	1.00E-02	0.00E+00	5.05E+02	6.48E-06
0.068	19	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.04E+02	6.67E-06
0.069	19	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.04E+02	6.83E-06
0.070	20	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.05E+02	7.00E-06
0.071	20	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.07E+02	7.17E-06
0.072	21	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	7.35E-06
0.073	23	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	7.52E-06
0.074	23	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.10E+02	7.68E-06
0.075	24	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.10E+02	7.87E-06
0.076	23	22.9	1.00E-02	0.00E+00	5.10E+02	8.03E-06
0.077	23	22.8	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	8.20E-06
0.078	22	22.9	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	8.38E-06

0.079	22	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	8.57E-06
0.080	22	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	8.75E-06
0.081	23	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	8.93E-06
0.082	23	22.8	1.10E-02	0.00E+00	5.09E+02	9.12E-06
0.083	23	22.9	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	9.30E-06
0.084	22	22.9	1.10E-02	0.00E+00	5.08E+02	9.48E-06
0.085	21	22.9	1.10E-02	0.00E+00	5.07E+02	9.67E-06
0.086	21	22.9	1.10E-02	0.00E+00	5.05E+02	9.85E-06
0.087	19	22.9	1.00E-02	0.00E+00	5.03E+02	1.00E-05
0.088	17	22.9	1.00E-02	0.00E+00	4.99E+02	1.02E-05
0.089	15	22.9	9.00E-03	0.00E+00	4.96E+02	1.03E-05
0.090	14	22.9	9.00E-03	0.00E+00	4.94E+02	1.05E-05
0.091	14	22.9	9.00E-03	0.00E+00	4.94E+02	1.06E-05
0.092	14	22.9	1.00E-02	0.00E+00	4.95E+02	1.08E-05
0.093	15	23	9.00E-03	0.00E+00	4.96E+02	1.10E-05
0.094	15	23	9.00E-03	0.00E+00	4.97E+02	1.11E-05
0.095	15	23	1.00E-02	0.00E+00	4.97E+02	1.13E-05
0.096	16	23	1.00E-02	0.00E+00	4.98E+02	1.14E-05
0.097	16	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.99E+02	1.16E-05
0.098	16	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.99E+02	1.18E-05
0.099	17	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.99E+02	1.19E-05
0.100	16	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.99E+02	1.21E-05
0.101	16	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.97E+02	1.23E-05
0.102	15	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.96E+02	1.24E-05
0.103	15	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.96E+02	1.26E-05
0.104	15	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.97E+02	1.28E-05
0.105	16	23.1	1.00E-02	0.00E+00	4.98E+02	1.29E-05
0.106	17	23.1	1.00E-02	0.00E+00	5.00E+02	1.31E-05
0.107	19	23.1	1.00E-02	0.00E+00	5.02E+02	1.33E-05
0.108	20	23.1	1.00E-02	0.00E+00	5.04E+02	1.34E-05
0.109	21	23.2	1.00E-02	0.00E+00	5.06E+02	1.36E-05
0.110	23	23.2	1.00E-02	0.00E+00	5.09E+02	1.38E-05
0.111	25	23.2	1.00E-02	0.00E+00	5.11E+02	1.39E-05
0.112	28	23.2	1.00E-02	0.00E+00	5.15E+02	1.41E-05
0.113	32	23.2	1.00E-02	0.00E+00	5.18E+02	1.43E-05
0.114	37	23.2	1.00E-02	0.00E+00	5.22E+02	1.44E-05
0.115	43	23.3	1.00E-02	0.00E+00	5.26E+02	1.46E-05
0.116	50	23.3	1.10E-02	0.00E+00	5.30E+02	1.48E-05
0.117	57	23.3	1.10E-02	0.00E+00	5.32E+02	1.50E-05
0.118	63	23.3	9.98E-01	2.34E+00	4.27E+02	3.16E-05
0.119	66	23.3	1.06E+03	2.47E+00	4.30E+02	1.77E-02
0.120	69	23.3	1.11E+03	2.56E+00	4.34E+02	3.62E-02
0.121	73	23.3	1.18E+03	2.69E+00	4.38E+02	5.58E-02

0.122	78	23.3	1.27E+03	2.87E+00	4.41E+02	7.69E-02
0.123	83	23.3	1.38E+03	3.10E+00	4.45E+02	9.99E-02
0.124	90	23.4	1.50E+03	3.34E+00	4.49E+02	1.25E-01
0.125	95	23.4	1.58E+03	3.50E+00	4.53E+02	1.51E-01
0.126	91	23.4	1.61E+03	3.52E+00	4.56E+02	1.78E-01
0.127	98	23.5	1.63E+03	3.54E+00	4.60E+02	2.05E-01
0.128	100	23.5	1.67E+03	3.59E+00	4.64E+02	2.33E-01
0.129	104	23.5	1.71E+03	3.66E+00	4.68E+02	2.61E-01
0.130	107	23.7	1.76E+03	3.72E+00	4.72E+02	2.91E-01
0.131	111	23.6	1.83E+03	3.85E+00	4.76E+02	3.21E-01
0.132	119	23.6	1.93E+03	4.02E+00	4.79E+02	3.53E-01
0.133	112	23.7	2.00E+03	4.14E+00	4.83E+02	3.87E-01
0.134	123	23.7	2.03E+03	4.16E+00	4.87E+02	4.20E-01
0.135	125	23.7	2.02E+03	4.12E+00	4.91E+02	4.54E-01
0.136	116	23.8	1.97E+03	3.99E+00	4.95E+02	4.87E-01
0.137	123	23.8	1.87E+03	3.75E+00	4.98E+02	5.18E-01
0.138	122	23.8	1.71E+03	3.41E+00	5.02E+02	5.47E-01
0.139	108	23.8	1.49E+03	2.94E+00	5.06E+02	5.72E-01
0.140	98	23.9	1.26E+03	2.47E+00	5.10E+02	5.92E-01
0.141	91	23.9	1.12E+03	2.20E+00	5.10E+02	6.11E-01
0.142	85	23.9	1.02E+03	2.01E+00	5.09E+02	6.28E-01
0.143	83	23.9	9.62E-01	1.89E+00	5.09E+02	6.28E-01
0.144	78	23.9	8.96E-01	1.76E+00	5.11E+02	6.28E-01
0.145	79	23.9	8.85E-01	1.73E+00	5.11E+02	6.28E-01
0.146	79	23.9	9.30E-01	1.83E+00	5.09E+02	6.28E-01
0.147	80	23.8	8.92E-01	1.74E+00	5.13E+02	6.28E-01
0.148	76	23.8	9.37E-01	1.83E+00	5.11E+02	6.28E-01
0.149	81	23.8	9.64E-01	1.89E+00	5.09E+02	6.28E-01
0.150	69	23.8	8.56E-01	1.67E+00	5.13E+02	6.28E-01
0.151	76	23.7	7.78E-01	1.51E+00	5.15E+02	6.28E-01
0.152	76	23.7	7.79E-01	1.52E+00	5.15E+02	6.28E-01
0.153	77	23.8	8.21E-01	1.60E+00	5.15E+02	6.28E-01
0.154	85	23.8	9.38E-01	1.83E+00	5.13E+02	6.28E-01
0.155	86	23.8	1.01E+03	1.96E+00	5.13E+02	6.45E-01
0.156	89	23.7	1.14E+03	2.24E+00	5.10E+02	6.64E-01
0.157	92	23.8	1.23E+03	2.42E+00	5.08E+02	6.85E-01
0.158	97	23.8	1.23E+03	2.40E+00	5.12E+02	7.05E-01
0.159	101	23.8	1.34E+03	2.61E+00	5.12E+02	7.27E-01
0.160	108	23.9	1.53E+03	3.01E+00	5.10E+02	7.53E-01
0.161	120	23.9	1.79E+03	3.53E+00	5.06E+02	7.83E-01
0.162	132	24	1.92E+03	3.77E+00	5.10E+02	8.15E-01
0.163	145	24	2.12E+03	4.16E+00	5.10E+02	8.50E-01
0.164	150	24.1	2.28E+03	4.48E+00	5.10E+02	8.88E-01

0.165	154	24.1	2.33E+03	4.56E+00	5.10E+02	9.27E-01
0.166	157	24.2	2.22E+03	4.36E+00	5.10E+02	9.64E-01
0.167	148	24.2	2.15E+03	4.24E+00	5.06E+02	1.00E+00
0.168	143	24.2	2.01E+03	3.96E+00	5.08E+02	1.03E+00
0.169	139	24.1	2.02E+03	4.00E+00	5.04E+02	1.07E+00
0.170	136	24.1	1.94E+03	3.84E+00	5.04E+02	1.10E+00
0.171	127	24.1	1.74E+03	3.43E+00	5.08E+02	1.13E+00
0.172	125	23.9	1.66E+03	3.27E+00	5.08E+02	1.16E+00
0.173	124	24.1	1.64E+03	3.23E+00	5.08E+02	1.18E+00
0.174	128	24.1	1.70E+03	3.34E+00	5.10E+02	1.21E+00
0.175	139	24.1	1.97E+03	3.87E+00	5.08E+02	1.24E+00
0.176	160	24.1	2.37E+03	4.67E+00	5.06E+02	1.28E+00
0.177	183	24	2.85E+03	5.67E+00	5.02E+02	1.33E+00
0.178	208	24	3.25E+03	6.46E+00	5.03E+02	1.39E+00
0.179	217	24.1	3.56E+03	7.09E+00	5.03E+02	1.44E+00
0.180	241	24.1	3.80E+03	7.55E+00	5.03E+02	1.51E+00
0.181	255	24.2	3.96E+03	7.92E+00	5.01E+02	1.57E+00
0.182	265	24.2	4.04E+03	8.08E+00	5.01E+02	1.64E+00
0.183	266	24.3	4.06E+03	8.15E+00	4.99E+02	1.71E+00
0.184	264	24.3	3.95E+03	7.92E+00	4.99E+02	1.77E+00
0.185	255	24.3	3.76E+03	7.58E+00	4.97E+02	1.84E+00
0.186	241	24.4	3.46E+03	6.97E+00	4.97E+02	1.90E+00
0.187	217	24.4	3.19E+03	6.50E+00	4.91E+02	1.95E+00
0.188	202	24.3	2.94E+03	5.98E+00	4.91E+02	2.00E+00
0.189	193	24.3	2.77E+03	5.61E+00	4.95E+02	2.04E+00
0.190	196	24.3	2.77E+03	5.56E+00	4.98E+02	2.09E+00
0.191	205	24.4	2.81E+03	5.59E+00	5.02E+02	2.14E+00
0.192	208	24.4	2.94E+03	5.91E+00	4.99E+02	2.19E+00
0.193	205	24.4	2.92E+03	5.88E+00	4.97E+02	2.23E+00
0.194	202	24.4	2.89E+03	5.80E+00	4.99E+02	2.28E+00
0.195	208	24.4	3.05E+03	6.12E+00	4.98E+02	2.33E+00
0.196	225	24.4	3.25E+03	6.49E+00	5.01E+02	2.39E+00
0.197	245	24	3.52E+03	7.06E+00	4.99E+02	2.45E+00
0.198	250	24	3.67E+03	7.38E+00	4.97E+02	2.51E+00
0.199	252	24	3.70E+03	7.44E+00	4.97E+02	2.57E+00
0.200	251	24.6	3.70E+03	7.48E+00	4.95E+02	2.63E+00
0.201	252	24.7	3.61E+03	7.26E+00	4.97E+02	2.69E+00
0.202	245	24.7	3.58E+03	7.26E+00	4.93E+02	2.75E+00
0.203	246	24.8	3.35E+03	6.74E+00	4.97E+02	2.81E+00
0.204	232	24.8	3.16E+03	6.34E+00	4.99E+02	2.86E+00
0.205	234	24.9	3.19E+03	6.44E+00	4.95E+02	2.91E+00
0.206	227	24.9	3.11E+03	6.24E+00	4.99E+02	2.96E+00
0.207	225	25	3.17E+03	6.41E+00	4.95E+02	3.02E+00

0.208	219	25.1	3.06E+03	6.16E+00	4.97E+02	3.07E+00
0.209	215	25.1	2.98E+03	5.99E+00	4.97E+02	3.12E+00
0.210	203	25	2.88E+03	5.80E+00	4.97E+02	3.17E+00
0.211	200	25.1	2.77E+03	5.58E+00	4.97E+02	3.21E+00
0.212	191	25.1	2.66E+03	5.36E+00	4.97E+02	3.26E+00
0.213	179	25.1	2.56E+03	5.18E+00	4.95E+02	3.30E+00
0.214	180	25.1	2.36E+03	4.75E+00	4.97E+02	3.34E+00
0.215	164	25.2	2.24E+03	4.50E+00	4.97E+02	3.38E+00
0.216	155	25.1	2.25E+03	4.55E+00	4.95E+02	3.41E+00
0.217	164	25.1	2.29E+03	4.61E+00	4.97E+02	3.45E+00
0.218	171	25.1	2.38E+03	4.75E+00	5.00E+02	3.49E+00
0.219	196	25.1	2.76E+03	5.54E+00	4.99E+02	3.54E+00
0.220	220	25.1	3.35E+03	6.69E+00	5.01E+02	3.59E+00
0.221	270	24.9	4.34E+03	8.76E+00	4.95E+02	3.66E+00
0.222	305	25.2	4.88E+03	9.78E+00	4.99E+02	3.75E+00
0.223	316	25.3	5.03E+03	1.01E+01	4.99E+02	3.83E+00
0.224	313	25.3	4.91E+03	9.84E+00	4.99E+02	3.91E+00
0.225	291	25.4	4.62E+03	9.29E+00	4.97E+02	3.99E+00
0.226	268	25.4	4.27E+03	8.70E+00	4.91E+02	4.06E+00
0.227	241	25.4	3.85E+03	7.93E+00	4.85E+02	4.12E+00
0.228	220	25.3	3.53E+03	7.30E+00	4.83E+02	4.18E+00
0.229	221	25.3	3.52E+03	7.23E+00	4.87E+02	4.24E+00
0.230	230	25.3	3.73E+03	7.59E+00	4.91E+02	4.30E+00
0.231	244	25.3	3.92E+03	7.93E+00	4.95E+02	4.37E+00
0.232	256	25.3	4.08E+03	8.19E+00	4.99E+02	4.44E+00
0.233	269	25.3	4.19E+03	8.34E+00	5.03E+02	4.51E+00
0.234	274	25.4	4.27E+03	8.54E+00	5.01E+02	4.58E+00
0.235	271	25.2	4.18E+03	8.33E+00	5.03E+02	4.65E+00
0.236	265	25.2	4.12E+03	8.26E+00	4.99E+02	4.72E+00
0.237	261	25.2	4.04E+03	8.11E+00	4.99E+02	4.78E+00
0.238	261	25.2	4.16E+03	8.29E+00	5.02E+02	4.85E+00
0.239	290	25.2	4.47E+03	8.93E+00	5.01E+02	4.93E+00
0.240	303	25.2	4.58E+03	9.12E+00	5.03E+02	5.00E+00
0.241	306	25.3	4.69E+03	9.40E+00	4.99E+02	5.08E+00
0.242	298	25.4	4.58E+03	9.18E+00	4.99E+02	5.16E+00
0.243	298	25.3	4.47E+03	8.95E+00	4.99E+02	5.23E+00
0.244	300	25.4	4.55E+03	9.12E+00	4.99E+02	5.31E+00
0.245	317	25.4	5.00E+03	1.01E+01	4.97E+02	5.39E+00
0.246	362	25.6	5.79E+03	1.17E+01	4.95E+02	5.49E+00
0.247	421	25.4	6.81E+03	1.39E+01	4.90E+02	5.60E+00
0.248	521	25.5	7.91E+03	1.62E+01	4.88E+02	5.73E+00
0.249	566	25.6	8.53E+03	1.75E+01	4.88E+02	5.88E+00
0.250	526	25.7	8.07E+03	1.69E+01	4.78E+02	6.01E+00

0.251	487	25.9	7.42E+03	1.58E+01	4.69E+02	6.13E+00
0.252	476	26.1	7.38E+03	1.57E+01	4.69E+02	6.26E+00
0.253	479	26.1	7.70E+03	1.62E+01	4.74E+02	6.39E+00
0.254	517	26.1	8.11E+03	1.69E+01	4.80E+02	6.52E+00
0.255	580	25.9	9.38E+03	1.96E+01	4.78E+02	6.68E+00
0.256	651	25.9	1.02E+04	2.13E+01	4.79E+02	6.85E+00
0.257	800	25.9	1.19E+04	2.51E+01	4.73E+02	7.04E+00
0.258	697	25.9	1.03E+04	2.26E+01	4.56E+02	7.22E+00
0.259	579	26.1	8.27E+03	1.88E+01	4.39E+02	7.35E+00
0.260	569	26.3	8.56E+03	1.94E+01	4.42E+02	7.50E+00
0.261	559	26.5	8.45E+03	1.91E+01	4.42E+02	7.64E+00
0.262	568	26.7	8.53E+03	1.91E+01	4.46E+02	7.78E+00
0.263	570	26.8	8.53E+03	1.90E+01	4.50E+02	7.92E+00
0.264	536	26.9	7.95E+03	1.79E+01	4.44E+02	8.05E+00
0.265	495	27	7.27E+03	1.67E+01	4.36E+02	8.18E+00
0.266	479	27.1	7.09E+03	1.62E+01	4.36E+02	8.29E+00
0.267	479	27.3	7.12E+03	1.62E+01	4.40E+02	8.41E+00
0.268	493	27.4	7.29E+03	1.64E+01	4.44E+02	8.53E+00
0.269	500	27.4	7.59E+03	1.70E+01	4.48E+02	8.66E+00
0.270	520	27.3	7.83E+03	1.73E+01	4.51E+02	8.79E+00
0.271	511	27.2	7.68E+03	1.69E+01	4.53E+02	8.92E+00
0.272	492	27.1	7.53E+03	1.65E+01	4.57E+02	9.04E+00
0.273	509	27.1	7.78E+03	1.69E+01	4.61E+02	9.17E+00
0.274	539	27	8.17E+03	1.75E+01	4.67E+02	9.31E+00
0.275	567	27	8.33E+03	1.77E+01	4.71E+02	9.45E+00
0.276	540	27	8.11E+03	1.74E+01	4.67E+02	9.58E+00
0.277	483	27.1	7.28E+03	1.59E+01	4.57E+02	9.71E+00
0.278	490	27.2	7.38E+03	1.60E+01	4.61E+02	9.83E+00
0.279	490	27.2	7.37E+03	1.59E+01	4.65E+02	9.95E+00
0.280	453	27.4	6.92E+03	1.49E+01	4.63E+02	1.01E+01
0.281	448	27.5	6.80E+03	1.47E+01	4.63E+02	1.02E+01
0.282	480	27.6	7.14E+03	1.52E+01	4.69E+02	1.03E+01
0.283	542	27.8	8.22E+03	1.74E+01	4.72E+02	1.04E+01
0.284	624	27.9	8.60E+03	1.84E+01	4.69E+02	1.06E+01
0.285	503	27.9	7.44E+03	1.61E+01	4.61E+02	1.07E+01
0.286	475	27.8	7.14E+03	1.55E+01	4.61E+02	1.08E+01
0.287	459	27.8	6.93E+03	1.49E+01	4.65E+02	1.09E+01
0.288	469	27.6	7.16E+03	1.53E+01	4.69E+02	1.11E+01
0.289	499	27.3	7.55E+03	1.61E+01	4.69E+02	1.12E+01
0.290	420	27.2	6.42E+03	1.41E+01	4.55E+02	1.13E+01
0.291	423	27.3	6.50E+03	1.42E+01	4.59E+02	1.14E+01
0.292	447	27.3	6.96E+03	1.50E+01	4.65E+02	1.15E+01
0.293	479	27.2	7.47E+03	1.59E+01	4.70E+02	1.16E+01

0.294	528	27.2	8.16E+03	1.71E+01	4.76E+02	1.18E+01
0.295	559	27.1	8.69E+03	1.82E+01	4.78E+02	1.19E+01
0.296	661	27	1.03E+04	2.16E+01	4.77E+02	1.21E+01
0.297	699	27.1	1.06E+04	2.25E+01	4.73E+02	1.23E+01
0.298	932	27.2	1.17E+04	2.63E+01	4.44E+02	1.25E+01
0.299	647	27.3	8.25E+03	1.83E+01	4.50E+02	1.26E+01
0.300	388	27.4	5.64E+03	1.31E+01	4.30E+02	1.27E+01
0.301	358	27.6	5.29E+03	1.24E+01	4.27E+02	1.28E+01
0.302	368	27.4	5.47E+03	1.27E+01	4.31E+02	1.29E+01
0.303	398	27.4	6.00E+03	1.38E+01	4.36E+02	1.30E+01
0.304	419	27.3	6.45E+03	1.46E+01	4.42E+02	1.31E+01
0.305	485	27.3	7.73E+03	1.70E+01	4.55E+02	1.32E+01
0.306	561	27.2	8.68E+03	1.86E+01	4.67E+02	1.34E+01
0.307	671	27.2	1.09E+04	2.36E+01	4.61E+02	1.35E+01
0.308	973	27.3	1.66E+04	3.60E+01	4.61E+02	1.38E+01
0.309	629	27.4	8.79E+03	1.95E+01	4.50E+02	1.40E+01
0.310	500	27.5	7.32E+03	1.68E+01	4.35E+02	1.41E+01
0.311	485	27.7	7.21E+03	1.66E+01	4.35E+02	1.42E+01
0.312	478	27.7	7.22E+03	1.65E+01	4.38E+02	1.43E+01
0.313	477	27.8	7.27E+03	1.65E+01	4.42E+02	1.44E+01
0.314	487	27.7	7.38E+03	1.66E+01	4.46E+02	1.46E+01
0.315	478	27.7	7.31E+03	1.63E+01	4.50E+02	1.47E+01
0.316	456	27.7	7.00E+03	1.56E+01	4.50E+02	1.48E+01
0.317	453	27.8	7.02E+03	1.56E+01	4.50E+02	1.49E+01
0.318	474	27.8	7.42E+03	1.63E+01	4.55E+02	1.50E+01
0.319	487	27.8	7.52E+03	1.64E+01	4.59E+02	1.52E+01
0.320	447	27.8	6.87E+03	1.52E+01	4.51E+02	1.53E+01
0.321	419	27.8	6.33E+03	1.43E+01	4.44E+02	1.54E+01
0.322	380	27.8	5.60E+03	1.28E+01	4.36E+02	1.55E+01
0.323	321	27.8	4.57E+03	1.08E+01	4.25E+02	1.56E+01
0.324	246	27.8	3.50E+03	8.48E+00	4.13E+02	1.56E+01
0.325	210	27.9	2.88E+03	7.09E+00	4.06E+02	1.57E+01
0.326	187	27.8	2.73E+03	6.73E+00	4.06E+02	1.57E+01
0.327	200	27.8	2.86E+03	6.99E+00	4.09E+02	1.58E+01
0.328	205	27.9	3.05E+03	7.38E+00	4.13E+02	1.58E+01
0.329	219	27.8	3.30E+03	7.91E+00	4.17E+02	1.59E+01
0.330	238	27.9	3.60E+03	8.56E+00	4.21E+02	1.59E+01
0.331	237	27.9	3.56E+03	8.40E+00	4.24E+02	1.60E+01
0.332	216	27.9	3.29E+03	7.68E+00	4.28E+02	1.60E+01
0.333	205	27.9	3.13E+03	7.32E+00	4.28E+02	1.61E+01
0.334	211	27.8	3.19E+03	7.39E+00	4.32E+02	1.61E+01
0.335	220	27.9	3.39E+03	7.77E+00	4.36E+02	1.62E+01
0.336	249	27.9	3.76E+03	8.51E+00	4.42E+02	1.63E+01

0.337	253	28.1	3.99E+03	8.95E+00	4.45E+02	1.63E+01
0.338	234	27.9	3.74E+03	8.40E+00	4.45E+02	1.64E+01
0.339	214	27.9	3.40E+03	7.71E+00	4.42E+02	1.64E+01
0.340	213	27.8	3.30E+03	7.42E+00	4.45E+02	1.65E+01
0.341	227	27.9	3.52E+03	7.83E+00	4.49E+02	1.66E+01
0.342	272	28.1	4.19E+03	9.17E+00	4.57E+02	1.66E+01
0.343	339	28.1	5.31E+03	1.13E+01	4.70E+02	1.67E+01
0.344	381	28.1	6.43E+03	1.33E+01	4.83E+02	1.68E+01
0.345	315	28.2	5.28E+03	1.12E+01	4.70E+02	1.69E+01
0.346	272	28.3	4.44E+03	9.68E+00	4.59E+02	1.70E+01
0.347	246	28.2	3.95E+03	8.73E+00	4.53E+02	1.71E+01
0.348	232	28.1	3.63E+03	8.08E+00	4.49E+02	1.71E+01
0.349	215	28.1	3.42E+03	7.55E+00	4.53E+02	1.72E+01
0.350	199	28.1	3.20E+03	7.00E+00	4.57E+02	1.72E+01
0.351	183	28.1	2.80E+03	6.19E+00	4.53E+02	1.73E+01
0.352	150	27.9	2.39E+03	5.34E+00	4.47E+02	1.73E+01
0.353	126	28	1.99E+03	4.52E+00	4.41E+02	1.73E+01
0.354	113	28.1	1.73E+03	3.93E+00	4.41E+02	1.74E+01
0.355	107	27.9	1.66E+03	3.74E+00	4.45E+02	1.74E+01
0.356	111	27.9	1.70E+03	3.78E+00	4.49E+02	1.74E+01
0.357	110	27.9	1.74E+03	3.84E+00	4.53E+02	1.75E+01
0.358	110	27.7	1.69E+03	3.71E+00	4.56E+02	1.75E+01
0.359	98	27.7	1.58E+03	3.44E+00	4.60E+02	1.75E+01
0.360	84	27.6	1.46E+03	3.14E+00	4.64E+02	1.75E+01
0.361	86	27.6	1.36E+03	2.92E+00	4.68E+02	1.76E+01
0.362	83	27.6	1.29E+03	2.75E+00	4.72E+02	1.76E+01
0.363	77	27.6	1.19E+03	2.51E+00	4.75E+02	1.76E+01
0.364	69	27.4	1.06E+03	2.22E+00	4.79E+02	1.76E+01
0.365	70	27.4	1.04E+03	2.16E+00	4.83E+02	1.76E+01
0.366	72	27.4	1.07E+03	2.21E+00	4.87E+02	1.77E+01
0.367	78	27.3	1.17E+03	2.39E+00	4.91E+02	1.77E+01
0.368	77	27.2	1.35E+03	2.74E+00	4.95E+02	1.77E+01
0.369	109	27.1	1.67E+03	3.36E+00	4.98E+02	1.77E+01
0.370	133	27	2.06E+03	4.09E+00	5.04E+02	1.78E+01
0.371	164	26.9	2.59E+03	5.11E+00	5.08E+02	1.78E+01
0.372	197	26.8	3.19E+03	6.29E+00	5.06E+02	1.79E+01
0.373	192	26.8	3.41E+03	6.73E+00	5.06E+02	1.79E+01
0.374	174	26.8	3.07E+03	6.08E+00	5.04E+02	1.80E+01
0.375	168	26.6	2.84E+03	5.67E+00	5.01E+02	1.80E+01
0.376	168	26.6	2.88E+03	5.71E+00	5.04E+02	1.81E+01
0.377	179	26.6	2.97E+03	5.84E+00	5.08E+02	1.81E+01
0.378	190	26.4	3.15E+03	6.19E+00	5.08E+02	1.82E+01
0.379	199	26.4	3.42E+03	6.78E+00	5.04E+02	1.82E+01

0.380	205	26.3	3.49E+03	6.86E+00	5.08E+02	1.83E+01
0.381	227	26.3	3.78E+03	7.50E+00	5.04E+02	1.83E+01
0.382	252	26.2	4.31E+03	8.58E+00	5.03E+02	1.84E+01
0.383	294	26.2	5.01E+03	9.89E+00	5.07E+02	1.85E+01
0.384	345	26.3	5.93E+03	1.18E+01	5.03E+02	1.86E+01
0.385	408	26.2	7.09E+03	1.42E+01	4.99E+02	1.87E+01
0.386	464	26.2	8.06E+03	1.61E+01	5.01E+02	1.88E+01
0.387	539	26.3	9.12E+03	1.83E+01	4.99E+02	1.90E+01
0.388	553	26.2	9.49E+03	1.91E+01	4.96E+02	1.92E+01
0.389	604	26.2	1.01E+04	2.04E+01	4.94E+02	1.93E+01
0.390	626	26.3	1.08E+04	2.24E+01	4.82E+02	1.95E+01
0.391	684	26.3	1.19E+04	2.46E+01	4.86E+02	1.97E+01
0.392	673	26.4	1.15E+04	2.42E+01	4.77E+02	1.99E+01
0.393	590	26.6	1.09E+04	2.29E+01	4.75E+02	2.01E+01
0.394	533	26.8	9.14E+03	2.00E+01	4.58E+02	2.02E+01
0.395	508	26.9	8.59E+03	1.90E+01	4.52E+02	2.04E+01
0.396	509	27.1	8.40E+03	1.86E+01	4.52E+02	2.05E+01
0.397	511	27.3	8.44E+03	1.85E+01	4.55E+02	2.07E+01
0.398	526	27.3	8.66E+03	1.89E+01	4.59E+02	2.08E+01
0.399	550	27.4	9.03E+03	1.95E+01	4.63E+02	2.09E+01
0.400	583	27.6	9.54E+03	2.04E+01	4.69E+02	2.11E+01
0.401	601	27.6	9.92E+03	2.09E+01	4.75E+02	2.13E+01
0.402	619	27.4	1.02E+04	2.13E+01	4.78E+02	2.14E+01
0.403	557	27.6	9.33E+03	1.98E+01	4.71E+02	2.16E+01
0.404	535	27.6	8.92E+03	1.91E+01	4.67E+02	2.17E+01
0.405	528	27.5	8.73E+03	1.87E+01	4.67E+02	2.19E+01
0.406	519	27.4	8.70E+03	1.85E+01	4.71E+02	2.20E+01
0.407	524	27.4	8.72E+03	1.84E+01	4.74E+02	2.22E+01
0.408	529	27.3	8.74E+03	1.83E+01	4.78E+02	2.23E+01
0.409	536	27.3	8.81E+03	1.83E+01	4.82E+02	2.25E+01
0.410	543	27.3	8.83E+03	1.83E+01	4.82E+02	2.26E+01
0.411	552	27.2	8.85E+03	1.82E+01	4.86E+02	2.28E+01
0.412	527	27.2	8.69E+03	1.81E+01	4.80E+02	2.29E+01
0.413	512	27.1	8.33E+03	1.76E+01	4.75E+02	2.31E+01
0.414	520	27.2	8.32E+03	1.74E+01	4.78E+02	2.32E+01
0.415	519	27.1	8.56E+03	1.77E+01	4.84E+02	2.33E+01
0.416	526	27.2	8.42E+03	1.76E+01	4.78E+02	2.35E+01
0.417	483	27.2	8.13E+03	1.70E+01	4.78E+02	2.36E+01
0.418	496	27.3	7.89E+03	1.65E+01	4.78E+02	2.37E+01
0.419	496	27.4	7.82E+03	1.63E+01	4.80E+02	2.39E+01
0.420	506	27.4	7.84E+03	1.62E+01	4.84E+02	2.40E+01
0.421	504	27.4	7.92E+03	1.64E+01	4.84E+02	2.41E+01
0.422	506	27.5	8.02E+03	1.67E+01	4.80E+02	2.43E+01

0.423	509	27.5	8.06E+03	1.68E+01	4.80E+02	2.44E+01
0.424	525	27.6	8.16E+03	1.69E+01	4.84E+02	2.45E+01
0.425	548	27.6	8.62E+03	1.80E+01	4.78E+02	2.47E+01
0.426	586	27.6	9.10E+03	1.90E+01	4.78E+02	2.48E+01
0.427	629	27.6	9.89E+03	2.08E+01	4.75E+02	2.50E+01
0.428	673	27.6	1.07E+04	2.25E+01	4.75E+02	2.52E+01
0.429	636	27.6	1.01E+04	2.16E+01	4.67E+02	2.53E+01
0.430	579	27.7	9.06E+03	1.99E+01	4.56E+02	2.55E+01
0.431	556	27.8	8.44E+03	1.88E+01	4.50E+02	2.56E+01
0.432	532	27.8	8.11E+03	1.82E+01	4.46E+02	2.58E+01
0.433	521	27.9	7.98E+03	1.78E+01	4.50E+02	2.59E+01
0.434	520	27.8	8.01E+03	1.77E+01	4.54E+02	2.60E+01
0.435	496	27.8	7.94E+03	1.74E+01	4.57E+02	2.62E+01
0.436	493	27.7	7.73E+03	1.68E+01	4.61E+02	2.63E+01
0.437	474	27.7	7.43E+03	1.61E+01	4.61E+02	2.64E+01
0.438	468	27.7	7.28E+03	1.57E+01	4.65E+02	2.65E+01
0.439	469	27.6	7.27E+03	1.55E+01	4.69E+02	2.67E+01
0.440	469	27.7	7.30E+03	1.55E+01	4.72E+02	2.68E+01
0.441	466	27.6	7.23E+03	1.52E+01	4.76E+02	2.69E+01
0.442	461	27.7	7.05E+03	1.47E+01	4.80E+02	2.70E+01
0.443	454	27.8	6.98E+03	1.46E+01	4.80E+02	2.71E+01
0.444	450	27.7	6.92E+03	1.44E+01	4.82E+02	2.73E+01
0.445	452	27.7	6.91E+03	1.43E+01	4.82E+02	2.74E+01
0.446	449	27.7	7.10E+03	1.47E+01	4.84E+02	2.75E+01
0.447	461	27.6	7.20E+03	1.48E+01	4.88E+02	2.76E+01
0.448	455	27.5	7.33E+03	1.49E+01	4.91E+02	2.77E+01
0.449	445	27.4	7.23E+03	1.47E+01	4.91E+02	2.79E+01
0.450	431	27.4	7.05E+03	1.42E+01	4.95E+02	2.80E+01
0.451	407	27.4	6.79E+03	1.38E+01	4.93E+02	2.81E+01
0.452	431	27.4	6.75E+03	1.37E+01	4.93E+02	2.82E+01
0.453	425	27.6	6.85E+03	1.38E+01	4.97E+02	2.83E+01
0.454	437	27.5	7.07E+03	1.43E+01	4.93E+02	2.84E+01
0.455	447	27.6	7.11E+03	1.44E+01	4.93E+02	2.85E+01
0.456	430	27.6	6.94E+03	1.40E+01	4.97E+02	2.87E+01
0.457	435	27.6	6.94E+03	1.41E+01	4.92E+02	2.88E+01
0.458	434	27.6	6.87E+03	1.40E+01	4.92E+02	2.89E+01
0.459	446	27.7	7.01E+03	1.44E+01	4.88E+02	2.90E+01
0.460	464	27.7	7.29E+03	1.51E+01	4.84E+02	2.91E+01
0.461	489	27.8	7.50E+03	1.54E+01	4.86E+02	2.93E+01
0.462	507	27.9	7.90E+03	1.63E+01	4.84E+02	2.94E+01
0.463	521	28	8.12E+03	1.68E+01	4.84E+02	2.95E+01
0.464	505	28.1	7.94E+03	1.65E+01	4.82E+02	2.97E+01
0.465	516	28.1	7.99E+03	1.66E+01	4.82E+02	2.98E+01

0.466	521	28.1	8.06E+03	1.67E+01	4.82E+02	2.99E+01
0.467	536	28.1	8.21E+03	1.70E+01	4.82E+02	3.01E+01
0.468	539	28.1	8.18E+03	1.69E+01	4.84E+02	3.02E+01
0.469	515	28.1	7.99E+03	1.67E+01	4.78E+02	3.03E+01
0.470	474	28.1	7.40E+03	1.57E+01	4.71E+02	3.05E+01
0.471	443	28.1	6.88E+03	1.49E+01	4.63E+02	3.06E+01
0.472	407	28.2	6.45E+03	1.41E+01	4.57E+02	3.07E+01
0.473	387	28.2	6.00E+03	1.32E+01	4.53E+02	3.08E+01
0.474	371	28.2	5.62E+03	1.26E+01	4.48E+02	3.09E+01
0.475	349	28.3	5.41E+03	1.20E+01	4.51E+02	3.10E+01
0.476	326	28.2	5.08E+03	1.13E+01	4.51E+02	3.10E+01
0.477	294	28.2	4.68E+03	1.05E+01	4.47E+02	3.11E+01
0.478	295	28.1	4.55E+03	1.02E+01	4.47E+02	3.12E+01
0.479	295	28	4.59E+03	1.02E+01	4.51E+02	3.13E+01
0.480	303	27.9	4.76E+03	1.05E+01	4.55E+02	3.14E+01
0.481	326	27.8	5.08E+03	1.11E+01	4.59E+02	3.14E+01
0.482	351	27.8	5.54E+03	1.19E+01	4.65E+02	3.15E+01
0.483	372	27.7	5.95E+03	1.26E+01	4.70E+02	3.16E+01
0.484	378	27.6	6.26E+03	1.32E+01	4.74E+02	3.17E+01
0.485	395	27.6	6.41E+03	1.34E+01	4.78E+02	3.18E+01
0.486	408	27.6	6.54E+03	1.36E+01	4.82E+02	3.19E+01
0.487	418	27.6	6.65E+03	1.37E+01	4.86E+02	3.21E+01
0.488	430	27.7	6.70E+03	1.37E+01	4.90E+02	3.22E+01
0.489	441	27.7	6.91E+03	1.42E+01	4.86E+02	3.23E+01
0.490	460	27.7	7.15E+03	1.47E+01	4.86E+02	3.24E+01
0.491	480	27.8	7.50E+03	1.56E+01	4.82E+02	3.25E+01
0.492	491	27.8	7.63E+03	1.58E+01	4.84E+02	3.27E+01
0.493	498	27.8	7.74E+03	1.60E+01	4.84E+02	3.28E+01
0.494	510	27.8	7.79E+03	1.61E+01	4.84E+02	3.29E+01
0.495	531	27.9	8.01E+03	1.65E+01	4.86E+02	3.31E+01
0.496	567	27.9	8.48E+03	1.77E+01	4.78E+02	3.32E+01
0.497	571	28	8.76E+03	1.83E+01	4.78E+02	3.33E+01
0.498	620	28.1	9.11E+03	1.90E+01	4.78E+02	3.35E+01
0.499	714	28.1	9.94E+03	2.10E+01	4.72E+02	3.37E+01
0.500	752	28.1	1.05E+04	2.26E+01	4.63E+02	3.38E+01
0.501	867	28.3	1.28E+04	2.73E+01	4.69E+02	3.40E+01
0.502	606	28.5	1.12E+04	2.38E+01	4.71E+02	3.42E+01
0.503	461	28.6	6.99E+03	1.58E+01	4.42E+02	3.43E+01
0.504	382	28.8	5.70E+03	1.34E+01	4.27E+02	3.44E+01
0.505	336	28.9	4.90E+03	1.17E+01	4.17E+02	3.45E+01
0.506	308	28.9	4.42E+03	1.07E+01	4.12E+02	3.46E+01
0.507	289	28.9	4.14E+03	1.01E+01	4.11E+02	3.47E+01
0.508	286	28.9	4.12E+03	9.93E+00	4.15E+02	3.47E+01

0.509	301	28.9	4.37E+03	1.04E+01	4.19E+02	3.48E+01
0.510	359	29	5.12E+03	1.20E+01	4.27E+02	3.49E+01
0.511	449	29.1	6.40E+03	1.45E+01	4.42E+02	3.50E+01
0.512	531	28.9	7.96E+03	1.73E+01	4.59E+02	3.51E+01
0.513	460	28.8	7.21E+03	1.60E+01	4.51E+02	3.53E+01
0.514	512	28.7	7.58E+03	1.66E+01	4.57E+02	3.54E+01
0.515	545	28.8	7.83E+03	1.70E+01	4.61E+02	3.55E+01
0.516	669	28.8	8.40E+03	1.79E+01	4.71E+02	3.56E+01
0.517	498	28.9	7.62E+03	1.71E+01	4.46E+02	3.58E+01
0.518	499	28.8	7.35E+03	1.65E+01	4.46E+02	3.59E+01
0.519	436	28.7	7.47E+03	1.59E+01	4.68E+02	3.60E+01
0.520	457	28.7	6.72E+03	1.46E+01	4.61E+02	3.61E+01
0.521	494	28.7	7.67E+03	1.62E+01	4.74E+02	3.63E+01
0.522	488	28.7	7.39E+03	1.57E+01	4.70E+02	3.64E+01
0.523	519	28.7	7.93E+03	1.68E+01	4.72E+02	3.65E+01
0.524	509	28.8	7.90E+03	1.70E+01	4.65E+02	3.67E+01
0.525	541	28.7	7.96E+03	1.71E+01	4.65E+02	3.68E+01
0.526	550	28.7	8.51E+03	1.81E+01	4.71E+02	3.69E+01
0.527	586	28.6	8.13E+03	1.73E+01	4.69E+02	3.71E+01
0.528	504	28.5	7.78E+03	1.68E+01	4.63E+02	3.72E+01
0.529	501	28.5	7.66E+03	1.64E+01	4.67E+02	3.73E+01
0.530	459	28.5	7.32E+03	1.57E+01	4.65E+02	3.74E+01
0.531	427	28.6	6.68E+03	1.46E+01	4.57E+02	3.76E+01
0.532	426	28.7	6.56E+03	1.43E+01	4.57E+02	3.77E+01
0.533	454	28.8	6.89E+03	1.49E+01	4.61E+02	3.78E+01
0.534	473	28.8	7.22E+03	1.55E+01	4.67E+02	3.79E+01
0.535	486	28.8	7.56E+03	1.61E+01	4.70E+02	3.80E+01
0.536	442	28.9	6.97E+03	1.50E+01	4.65E+02	3.81E+01
0.537	455	28.8	7.13E+03	1.53E+01	4.67E+02	3.83E+01
0.538	473	28.8	7.53E+03	1.63E+01	4.63E+02	3.84E+01
0.539	767	28.7	8.69E+03	1.83E+01	4.74E+02	3.85E+01
0.540	430	28.7	8.60E+03	1.80E+01	4.78E+02	3.87E+01
0.541	344	28.8	5.34E+03	1.17E+01	4.57E+02	3.88E+01
0.542	332	28.9	5.15E+03	1.12E+01	4.61E+02	3.88E+01
0.543	312	29	4.87E+03	1.06E+01	4.61E+02	3.89E+01
0.544	307	29	4.70E+03	1.01E+01	4.65E+02	3.90E+01
0.545	303	28.9	4.68E+03	1.00E+01	4.68E+02	3.91E+01
0.546	327	28.9	4.97E+03	1.05E+01	4.72E+02	3.92E+01
0.547	347	28.8	5.31E+03	1.11E+01	4.76E+02	3.93E+01
0.548	358	28.8	5.36E+03	1.12E+01	4.80E+02	3.93E+01
0.549	407	28.9	5.63E+03	1.15E+01	4.89E+02	3.94E+01
0.550	332	29	5.32E+03	1.15E+01	4.63E+02	3.95E+01
0.551	349	29.3	5.34E+03	1.15E+01	4.63E+02	3.96E+01

0.552	703	29.3	6.21E+03	1.30E+01	4.76E+02	3.97E+01
0.553	620	29.4	1.25E+04	2.54E+01	4.94E+02	3.99E+01
0.554	418	29.5	6.28E+03	1.38E+01	4.55E+02	4.00E+01
0.555	573	29.5	7.61E+03	1.58E+01	4.82E+02	4.02E+01
0.556	701	29.5	1.16E+04	2.39E+01	4.86E+02	4.04E+01
0.557	357	29.5	6.09E+03	1.34E+01	4.53E+02	4.05E+01
0.558	356	29.5	5.40E+03	1.21E+01	4.48E+02	4.05E+01
0.559	403	29.6	6.11E+03	1.34E+01	4.57E+02	4.06E+01
0.560	953	29.6	1.42E+04	3.01E+01	4.71E+02	4.09E+01
0.561	769	29.7	1.50E+04	3.26E+01	4.61E+02	4.11E+01
0.562	444	29.9	9.07E+03	1.90E+01	4.78E+02	4.13E+01
0.563	373	30.3	5.71E+03	1.24E+01	4.61E+02	4.14E+01
0.564	376	30.1	5.65E+03	1.22E+01	4.65E+02	4.15E+01
0.565	367	30.1	5.60E+03	1.20E+01	4.68E+02	4.16E+01
0.566	366	30.1	5.37E+03	1.14E+01	4.72E+02	4.17E+01
0.567	295	30.1	4.54E+03	9.84E+00	4.61E+02	4.17E+01
0.568	272	30.1	4.23E+03	9.30E+00	4.55E+02	4.18E+01
0.569	279	30.1	4.27E+03	9.31E+00	4.59E+02	4.19E+01
0.570	294	30.2	4.51E+03	9.75E+00	4.63E+02	4.19E+01
0.571	296	30	4.67E+03	1.00E+01	4.66E+02	4.20E+01
0.572	312	29.8	4.80E+03	1.02E+01	4.70E+02	4.21E+01
0.573	885	29.7	7.12E+03	1.41E+01	5.05E+02	4.22E+01
0.574	947	29.7	1.44E+04	3.08E+01	4.67E+02	4.25E+01
0.575	515	29.7	1.12E+04	2.36E+01	4.76E+02	4.27E+01
0.576	408	29.7	6.50E+03	1.43E+01	4.53E+02	4.28E+01
0.577	410	29.7	5.99E+03	1.33E+01	4.50E+02	4.29E+01
0.578	556	29.7	6.73E+03	1.47E+01	4.57E+02	4.30E+01
0.579	415	29.8	6.07E+03	1.33E+01	4.55E+02	4.31E+01
0.580	536	29.9	6.25E+03	1.37E+01	4.57E+02	4.32E+01
0.581	586	29.8	9.61E+03	1.99E+01	4.83E+02	4.33E+01
0.582	456	29.7	6.91E+03	1.47E+01	4.69E+02	4.35E+01
0.583	617	29.7	5.73E+03	1.25E+01	4.57E+02	4.35E+01
0.584	791	29.8	1.29E+04	2.72E+01	4.75E+02	4.38E+01
0.585	293	29.9	4.81E+03	1.06E+01	4.54E+02	4.38E+01
0.586	258	29.8	3.91E+03	8.81E+00	4.44E+02	4.39E+01
0.587	237	29.7	3.60E+03	8.18E+00	4.40E+02	4.40E+01
0.588	224	29.6	3.44E+03	7.76E+00	4.44E+02	4.40E+01
0.589	223	29.6	3.39E+03	7.58E+00	4.47E+02	4.41E+01
0.590	223	29.5	3.40E+03	7.54E+00	4.51E+02	4.41E+01
0.591	230	29.4	3.54E+03	7.78E+00	4.55E+02	4.42E+01
0.592	236	29.4	3.61E+03	7.88E+00	4.59E+02	4.43E+01
0.593	249	29.4	3.79E+03	8.20E+00	4.62E+02	4.43E+01
0.594	404	29.4	4.87E+03	1.02E+01	4.76E+02	4.44E+01

0.595	361	29.3	8.21E+03	1.63E+01	5.05E+02	4.45E+01
0.596	264	29.4	5.34E+03	1.13E+01	4.74E+02	4.46E+01
0.597	256	29.4	4.11E+03	8.82E+00	4.66E+02	4.47E+01
0.598	253	29.5	3.94E+03	8.39E+00	4.70E+02	4.48E+01
0.599	273	29.5	4.14E+03	8.75E+00	4.74E+02	4.48E+01
0.600	297	29.4	4.53E+03	9.45E+00	4.80E+02	4.49E+01
0.601	283	29.5	4.46E+03	9.22E+00	4.83E+02	4.50E+01
0.602	239	29.5	3.85E+03	8.10E+00	4.76E+02	4.50E+01
0.603	210	29.4	3.38E+03	7.22E+00	4.68E+02	4.51E+01
0.604	195	29.3	3.08E+03	6.62E+00	4.64E+02	4.52E+01
0.605	185	29.2	2.96E+03	6.31E+00	4.68E+02	4.52E+01
0.606	196	29.1	3.00E+03	6.35E+00	4.72E+02	4.53E+01
0.607	188	29.1	3.07E+03	6.46E+00	4.76E+02	4.53E+01
0.608	192	29	3.07E+03	6.40E+00	4.79E+02	4.54E+01
0.609	178	28.9	2.85E+03	5.89E+00	4.83E+02	4.54E+01
0.610	164	28.9	2.54E+03	5.21E+00	4.87E+02	4.54E+01
0.611	160	28.9	2.38E+03	4.85E+00	4.91E+02	4.55E+01
0.612	154	28.8	2.33E+03	4.76E+00	4.89E+02	4.55E+01
0.613	150	28.8	2.22E+03	4.50E+00	4.93E+02	4.56E+01
0.614	147	28.7	2.18E+03	4.42E+00	4.93E+02	4.56E+01
0.615	139	28.7	2.04E+03	4.13E+00	4.95E+02	4.56E+01
0.616	128	28.7	1.80E+03	3.62E+00	4.98E+02	4.57E+01
0.617	130	28.7	1.83E+03	3.69E+00	4.97E+02	4.57E+01
0.618	134	28.6	1.95E+03	3.93E+00	4.97E+02	4.57E+01
0.619	145	28.6	2.02E+03	4.03E+00	5.00E+02	4.58E+01
0.620	163	28.5	2.24E+03	4.47E+00	5.01E+02	4.58E+01
0.621	166	28.4	2.44E+03	4.92E+00	4.97E+02	4.58E+01
0.622	150	28.4	2.23E+03	4.47E+00	4.99E+02	4.59E+01
0.623	151	28.5	2.20E+03	4.43E+00	4.97E+02	4.59E+01
0.624	162	28.4	2.35E+03	4.72E+00	4.97E+02	4.59E+01
0.625	175	28.4	2.52E+03	5.06E+00	4.99E+02	4.60E+01
0.626	183	28.4	2.70E+03	5.42E+00	4.99E+02	4.60E+01
0.627	189	28.4	2.79E+03	5.62E+00	4.97E+02	4.61E+01
0.628	193	28.4	2.84E+03	5.71E+00	4.99E+02	4.61E+01
0.629	195	28.4	2.89E+03	5.79E+00	4.99E+02	4.62E+01
0.630	205	28.5	2.98E+03	5.98E+00	4.99E+02	4.62E+01
0.631	206	28.8	3.09E+03	6.25E+00	4.95E+02	4.63E+01
0.632	192	28.7	2.83E+03	5.70E+00	4.97E+02	4.63E+01
0.633	165	28.7	2.47E+03	5.01E+00	4.93E+02	4.64E+01
0.634	165	28.8	2.23E+03	4.52E+00	4.93E+02	4.64E+01
0.635	141	28.7	2.03E+03	4.10E+00	4.95E+02	4.64E+01
0.636	124	28.7	1.81E+03	3.67E+00	4.93E+02	4.65E+01
0.637	112	28.7	1.55E+03	3.12E+00	4.97E+02	4.65E+01

0.638	105	28.7	1.40E+03	2.83E+00	4.97E+02	4.65E+01
0.639	102	28.8	1.30E+03	2.60E+00	5.00E+02	4.65E+01
0.640	101	28.8	1.33E+03	2.66E+00	4.98E+02	4.66E+01
0.641	97	28.8	1.35E+03	2.72E+00	4.98E+02	4.66E+01
0.642	105	28.8	1.42E+03	2.85E+00	4.99E+02	4.66E+01
0.643	104	28.8	1.41E+03	2.84E+00	4.98E+02	4.66E+01
0.644	105	28.8	1.37E+03	2.74E+00	5.00E+02	4.67E+01
0.645	111	28.7	1.54E+03	3.10E+00	4.97E+02	4.67E+01
0.646	117	28.7	1.61E+03	3.21E+00	5.00E+02	4.67E+01
0.647	115	28.7	1.60E+03	3.19E+00	5.00E+02	4.67E+01
0.648	116	28.6	1.57E+03	3.13E+00	5.00E+02	4.68E+01
0.649	116	28.6	1.68E+03	3.37E+00	4.97E+02	4.68E+01
0.650	121	28.6	1.66E+03	3.32E+00	5.00E+02	4.68E+01
0.651	141	28.5	1.77E+03	3.52E+00	5.02E+02	4.68E+01
0.652	125	28.5	1.78E+03	3.56E+00	5.00E+02	4.69E+01
0.653	127	28.4	1.79E+03	3.59E+00	4.99E+02	4.69E+01
0.654	138	28.4	1.95E+03	3.91E+00	4.99E+02	4.69E+01
0.655	146	28.4	2.13E+03	4.29E+00	4.97E+02	4.70E+01
0.656	153	28.4	2.16E+03	4.31E+00	5.00E+02	4.70E+01
0.657	158	28.4	2.19E+03	4.39E+00	4.99E+02	4.70E+01
0.658	152	28.4	2.11E+03	4.22E+00	5.00E+02	4.71E+01
0.659	132	28.4	1.94E+03	3.90E+00	4.98E+02	4.71E+01
0.660	126	28.5	1.74E+03	3.49E+00	4.98E+02	4.71E+01
0.661	113	28.6	1.56E+03	3.12E+00	4.98E+02	4.72E+01
0.662	104	28.6	1.38E+03	2.77E+00	4.98E+02	4.72E+01
0.663	96	28.7	1.26E+03	2.53E+00	4.98E+02	4.72E+01
0.664	92	28.7	1.18E+03	2.37E+00	4.98E+02	4.72E+01
0.665	90	28.7	1.17E+03	2.35E+00	4.96E+02	4.72E+01
0.666	93	28.8	1.10E+03	2.20E+00	5.00E+02	4.73E+01
0.667	94	28.9	1.13E+03	2.26E+00	5.00E+02	4.73E+01
0.668	88	28.7	1.19E+03	2.40E+00	4.96E+02	4.73E+01
0.669	83	28.7	1.02E+03	2.04E+00	5.00E+02	4.73E+01
0.670	75	28.6	8.96E-01	1.79E+00	5.00E+02	4.73E+01
0.671	64	28.6	7.44E-01	1.48E+00	5.03E+02	4.73E+01
0.672	65	28.5	6.59E-01	1.31E+00	5.04E+02	4.73E+01
0.673	75	28.5	6.30E-01	1.25E+00	5.06E+02	4.73E+01
0.674	73	28.4	6.19E-01	1.21E+00	5.10E+02	4.73E+01
0.675	78	28.4	6.03E-01	1.18E+00	5.14E+02	4.73E+01
0.676	77	28.5	6.02E-01	1.17E+00	5.17E+02	4.73E+01
0.677	89	28.4	5.98E-01	1.15E+00	5.20E+02	4.73E+01
0.678	98	28.5	5.92E-01	1.13E+00	5.24E+02	4.73E+01
0.679	101	28.4	5.94E-01	1.13E+00	5.25E+02	4.73E+01
0.680	97	28.5	5.93E-01	1.13E+00	5.25E+02	4.73E+01

0.681	98	28.4	5.97E-01	1.14E+00	5.24E+02	4.73E+01
0.682	100	28.4	5.97E-01	1.14E+00	5.24E+02	4.73E+01
0.683	98	28.4	5.97E-01	1.14E+00	5.24E+02	4.73E+01
0.684	95	28.4	5.97E-01	1.14E+00	5.23E+02	4.73E+01
0.685	95	28.4	5.97E-01	1.15E+00	5.20E+02	4.73E+01
0.686	86	28.4	1.31E+03	3.14E+00	4.18E+02	4.73E+01
0.687	83	28.5	1.29E+03	3.07E+00	4.21E+02	4.74E+01
0.688	81	28.4	1.28E+03	3.01E+00	4.25E+02	4.74E+01
0.689	78	28.4	1.21E+03	2.83E+00	4.28E+02	4.74E+01
0.690	77	28.4	1.19E+03	2.75E+00	4.32E+02	4.74E+01
0.691	78	28.4	1.22E+03	2.80E+00	4.36E+02	4.74E+01
0.692	78	28.4	1.24E+03	2.81E+00	4.40E+02	4.75E+01
0.693	79	28.3	1.21E+03	2.73E+00	4.43E+02	4.75E+01
0.694	81	28.4	1.27E+03	2.83E+00	4.47E+02	4.75E+01
0.695	84	28.3	1.33E+03	2.96E+00	4.51E+02	4.75E+01
0.696	85	28.4	1.33E+03	2.93E+00	4.55E+02	4.76E+01
0.697	82	28.4	1.35E+03	2.95E+00	4.59E+02	4.76E+01
0.698	90	28.4	1.40E+03	3.02E+00	4.62E+02	4.76E+01
0.699	87	28.4	1.37E+03	2.94E+00	4.66E+02	4.76E+01
0.700	80	28.4	1.26E+03	2.67E+00	4.70E+02	4.76E+01
0.701	74	28.4	1.12E+03	2.37E+00	4.74E+02	4.77E+01
0.702	68	28.5	1.02E+03	2.14E+00	4.77E+02	4.77E+01
0.703	66	28.4	9.20E-01	1.91E+00	4.81E+02	4.77E+01
0.704	63	28.4	8.52E-01	1.76E+00	4.85E+02	4.77E+01
0.705	62	28.4	8.02E-01	1.65E+00	4.88E+02	4.77E+01
0.706	60	28.4	7.40E-01	1.51E+00	4.92E+02	4.77E+01
0.707	57	28.4	6.02E-01	1.22E+00	4.93E+02	4.77E+01
0.708	45	28.3	5.85E-01	1.21E+00	4.83E+02	4.77E+01
0.709	40	28.3	2.10E-02	0.00E+00	5.13E+02	4.77E+01
0.710	39	28.3	7.00E-03	0.00E+00	5.12E+02	4.77E+01
0.711	39	28.3	7.00E-03	0.00E+00	5.12E+02	4.77E+01
0.712	38	28.2	6.00E-03	0.00E+00	5.11E+02	4.77E+01
0.713	35	28.2	6.00E-03	0.00E+00	5.10E+02	4.77E+01
0.714	33	28.2	6.00E-03	0.00E+00	5.08E+02	4.77E+01
0.715	32	28.2	6.00E-03	0.00E+00	5.07E+02	4.77E+01
0.716	32	28.2	7.00E-03	0.00E+00	5.07E+02	4.77E+01
0.717	32	28.2	6.00E-03	0.00E+00	5.06E+02	4.77E+01
0.718	28	28.2	6.00E-03	0.00E+00	5.04E+02	4.77E+01
0.719	22	28.2	5.00E-03	0.00E+00	4.98E+02	4.77E+01
0.720	19	28.2	6.00E-03	0.00E+00	4.93E+02	4.77E+01

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

PASO N° 3.

Se realiza el modelamiento del sistema fotovoltaico en Matlab-simulink, como se indica en lo siguiente:

2.3.1. Desarrollo Del Sistema De Control Automático Por Software Para La optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar para el Suministro Eléctrico en la IIEE NEVATI

Como se mencionó anteriormente existe dos tipos de seguidores solares según el algoritmo de seguimiento; de punto luminoso el cual posee un sensor que les indica cual es el punto del cielo más luminoso y al que deben apuntar y ***los seguidores con programación astronómica, es decir, se trata de seguidores que mediante un programa y de acuerdo con las ecuaciones solares conocen en qué punto debería estar el sol a cada hora y apuntan a dicha posición, la última será el tipo de seguidor a implementarse .***

Como el seguidor solar a implementar es astronómico a base de ecuaciones matemáticas a continuación se presentan y se desarrolla el algoritmo matemático y lógica de programación del sistema de control automático para luego seleccionar el hardware a utilizar en el sistema de control.

2.3.2. Desarrollo De Algoritmo Matemático Y Lógica De Programación Del Sistema De Control Automático.

Declinación solar

El ángulo de declinación es el ángulo formado por los rayos de sol con el plano ecuatorial de la Tierra, es también la latitud a la cual los rayos de sol inciden perpendicularmente a la superficie terrestre a mediodía. El ángulo es positivo cuando el Sol está por encima del ecuador y negativo cuando el Sol está por debajo del ecuador.

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006918 - 0.399912 * \cos(x) + 0.070257 * \sin(x) - 0.006758 \\ & * \cos(2 * x) + 0.000907 * \sin(2 * x) - 0.002697 \\ & * \cos(3 * x) + 0.001480 * \sin(3 * x) \end{aligned}$$

General Solar Position Calculations (NOAA)

Nos da la ecuación del tiempo en minutos.

Donde x se define en función del número de días N y la hora h .

$$x = \frac{2\pi}{365} * (N - 1 + \frac{h - 12}{24})$$

Donde:

N = # de días del año

h = Horas del día.

Donde:

Tabla 11. Conversión de día del mes d a números de día N en el año

Mes	Número de Días,N
Enero	d
Febrero	$d+31$
Marzo	$d+59$
Abril	$d+90$
Mayo	$d+120$
Junio	$d+151$
Julio	$d+181$
Agosto	$d+212$
Septiembre	$d+243$
Octubre	$d+273$
Noviembre	$d+304$
Diciembre	$d+334$

Fuente: Elaboración Propia del Autor

Mediante el siguiente script representamos la declinación δ en grados en función de N (1:365) el día del año. hora $h=12$.

```

disp('=====');
disp('');
disp('                TESIS DE MAESTRÍA');
disp('SPG - FIEE - UNAC');
disp('NOMBRES Y APELLIDOS: Yuniór Angel Bautista Mallqui');
disp('Archivo: .m');
disp(' Tema: Optimización del SFV, con seguidor solar');
disp('=====');
disp('                DECLINACIÓN DEL SOL DURANTE TODO EL AÑO');

h=12;
N=1:365;
x=2*pi*(N-1-(h-12)/24)/365;
delta=(0.006918-0.399912*cos(x)+0.070257*sin(x)-
0.006758*cos(2*x)+0.000907*sin(2*x)-
0.002697*cos(3*x)+0.001480*sin(3*x))*180/pi

plot(N,delta,'r')
line([0 365],[23.45 23.45])
line([0 365],[-23.45 -23.45])
xlim([0 365])
set(gca,'XTick',[15 46 74 105 135 166 196 227 258 288 319 349])
mes = ['Ene';'Feb';'Mar';'Abr';'May';'Jun';'Jul';'Ago';'Sep';'Oct';
'Nov';'Dec'];
set(gca,'XTickLabel',mes)
grid on
ylabel('\delta grados')
title('Declinación a lo largo del año')

```



Figura N° 35. Declinación a lo largo del año
Fuente: Elaboración Propia del Autor

Ecuación del Tiempo.

El movimiento aparente del Sol no es uniforme y la duración del día solar no es constante a lo largo del año. La diferencia entre el movimiento aparente del Sol y el movimiento medio se denomina ecuación del tiempo (*ET*) (Ecuaciones del Tiempo, 1619).

$$ET = 229.18 * (0.000075 + 0.001868 * \cos(x) - 0.032077 * \sin(x) - 0.014615 * \cos(2 * x) - 0.040849 * \sin(2 * x))$$

Donde x se define en función del número de día N y la hora h .

$$x = \frac{2\pi}{365} * (N - 1 + \frac{h - 12}{24})$$

Donde:

N = # de días del año

h = Horas del día.

```
disp('=====');
disp('');
disp('          TESIS DE MAESTRÍA');
disp('SPG - FIEE - UNAC');
disp('NOMBRES Y APELLIDOS: Yunior Angel Bautista Mallqui');
disp('Archivo: .m');
disp(' Tema: Optimización del SFV con seguidor solar');
disp('=====');
disp('          ECUACIÓN DEL TIEMPO');

h=12;
N=1:365;
x=2*pi*(N-1-(h-12)/24)/365;
y=229.18*(0.000075+0.001868*cos(x)-0.032077*sin(x)-0.014615*cos(2*x)-
0.040849*sin(2*x));
plot(N,y,'r')
xlim([0 365])
set(gca,'XTick',[15 46 74 105 135 166 196 227 258 288 319 349])
mes = ['Ene';'Feb';'Mar';'Abr';'May';'Jun';'Jul';'Ago';'Sep';'Oct';
'Nov';'Dec'];
set(gca,'XTickLabel',mes)
grid on
ylabel('minutos')
title('Ecuación del tiempo')
```

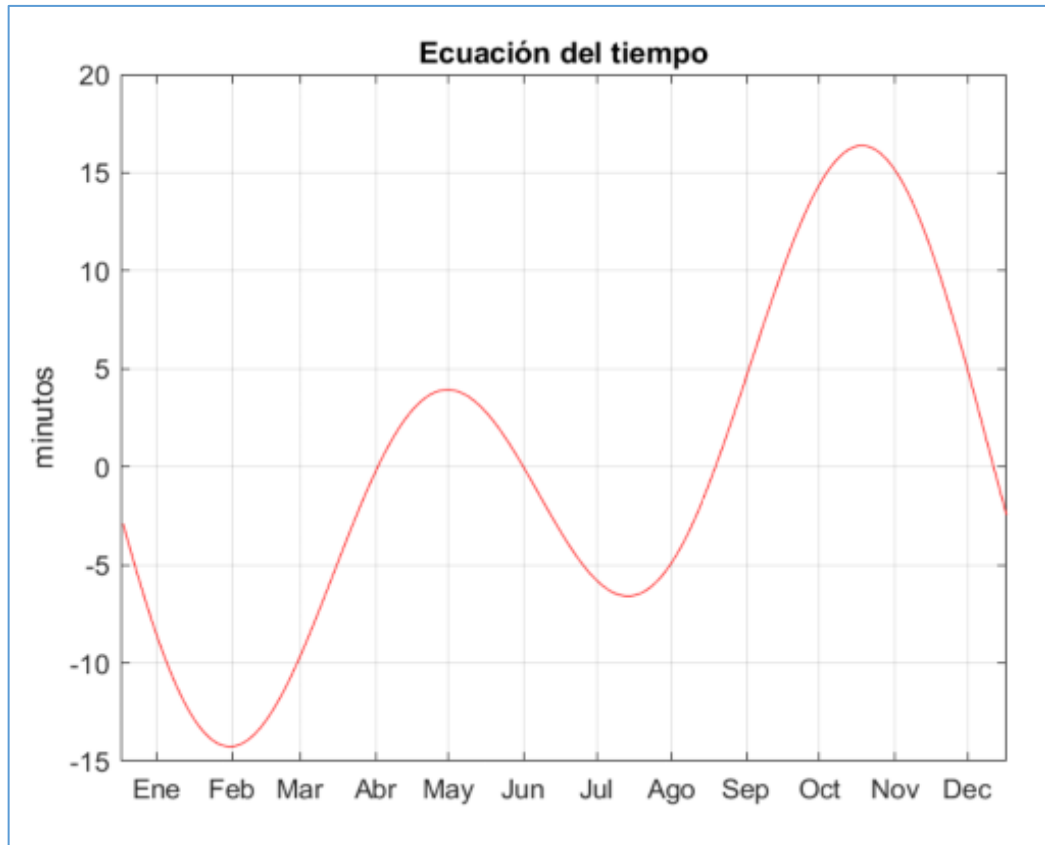


Figura N° 36.Ecuación del Tiempo
Fuente: Elaboración Propia del Autor

Hora solar verdadera

La hora solar verdadera se fundamenta en que la Tierra da una vuelta completa en 24 horas y que a las 12:00 h el Sol se encuentra exactamente sobre el observador. La hora solar verdadera se calcula mediante las dos ecuaciones siguientes:

$$Timeoffset = ET * longitud + 60 * timezone$$

Donde:

ET : Tiempo en minutos

Longitud: Longitud del lugar en grados (un grado de longitud equivale a 4 minutos, ó 15 grados a una hora).

Timezone: tiempo en horas desde UTC (tiempo universal coordinado)

La hora solar verdadera (hsv), en minutos se obtiene de la siguiente ecuación.

$$hsv = hr * 60 + min + \frac{seg}{60} + timeoffset$$

Donde:

hr es la hora (0-23)

min es el minuto (0-60)

seg es el segundo (0-60)

Ángulo de hora solar

El ángulo horario es cero al mediodía (cuando el Sol alcanza la máxima altura en el cielo) y negativo para la mañana, positivos en la tarde, el ángulo horario se incrementa 15 grados por cada hora y se calcula el ángulo de hora solar ω , en grados.

$$\omega = \left(\frac{hsv}{4} \right) - 180^\circ$$

El ángulo cenital solar (\emptyset), se pueden encontrar a partir del ángulo de hora solar ω , la latitud (*lat*) y la posición solar (*decl*), usando la siguiente ecuación.

$$\cos(\emptyset) = \sin(lat) * \sin(decl) + \cos(lat) * \cos(decl) * \cos(\omega)$$

Flujograma para desarrollo de software

Con las ecuaciones definidas a utilizar en el algoritmo aritmético para el seguimiento solar, el siguiente pasó en el desarrollo del sistema de control automático por software (Matlab-Simulink), para el sistema de seguimiento solar.

Se construye el flujograma que muestra el funcionamiento lógico del software, a continuación, se ilustra el funcionamiento de este:

Como primer paso se inicializan los periféricos que conforman el sistema de control, y se verifica e inicia el funcionamiento del GPS (Sistema de Posicionamiento Global), del cual se adquiere la lectura de la hora y fecha, esta lectura se procesa para calcular la variable (*x*) y la ecuación del tiempo.

Desarrollada la ecuación del tiempo, se lee la posición geográfica y se obtienen las coordenadas (Latitud y Longitud) del lugar por medio del GPS, y poder calcular el *TimeOffset* o cálculo de desfase de tiempo entre la hora local y hora solar.

Una vez se obtiene el *TimeOffset* se procede con el cálculo de la hora solar verdadera hsv en minutos, que es necesaria para calcular finalmente ω , el ángulo de hora solar, que permite determinar la posición del sol referente a la ubicación geográfica, con el valor de ángulo solar que varía con respecto al tiempo.

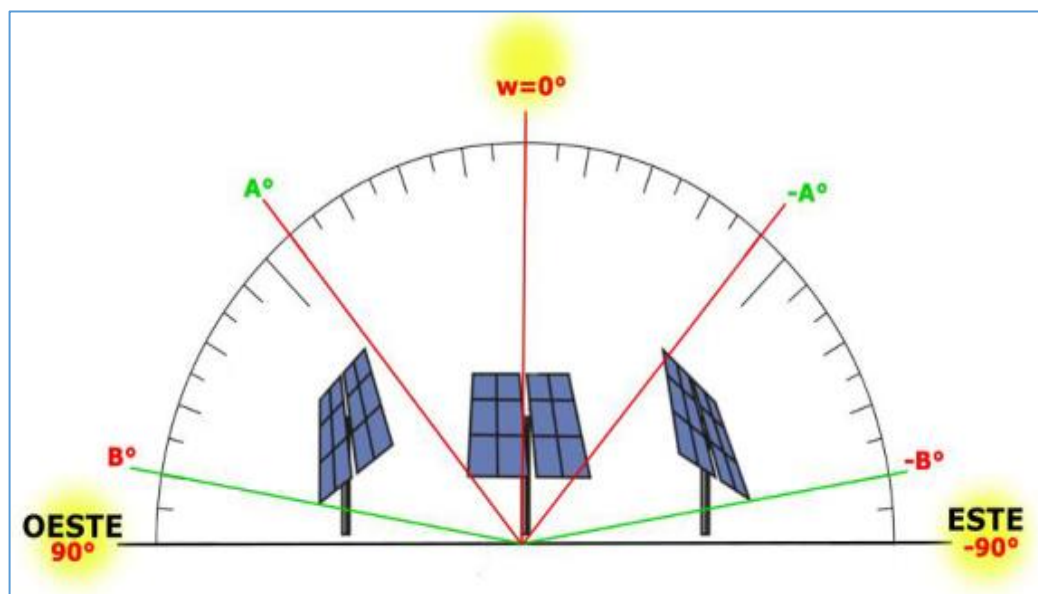


Figura N° 37. Operación real del seguimiento solar
Fuente: Elaboración Propia del Autor

Ahora que se sabe la posición del sol a lo largo del día, se debe comparar si el (ω) se encuentra dentro del rango de movimiento deseado, se ha establecido dos rangos de movimiento real el primero se denominara Grados Movimiento, que serán los que el seguidor solar tendrá, este rango se encuentra entre $-A^\circ$ y A° , y el rango de movimiento ideal se conocerá como **Grados Trabajo** entre $-B^\circ$ y B° , se eligen dos rangos de movimiento ya que al momento de construir el seguidor solar surgirán dificultades que evitaban cumplir con el rango para el cual fue diseñado.

Por lo tanto, el seguimiento solar solo se realiza dentro del rango real de movimiento, entonces; ¿Por qué establecer dos rangos de movimientos, real (Grados Movimiento) e ideal (Grados Trabajo)?

Es bastante simple ya que dentro del rango de movimiento ideal se ha considera que los rayos solares son más aprovechables, y como se desea maximizar la generación a lo largo del día, entonces las sentencias que deberá ejecutar el software con respecto a ω serán:

- Cuando ω sea menor que $-B^\circ$ y mayor que B° , el seguidor solar debe posicionarse perpendicular a $\omega=0^\circ$, es decir, el seguidor solar deberá estar en posición horizontal y solamente eso se da cuando el sol está el Cenit.
- Si ω se encuentra entre $-B^\circ$ y $-A^\circ$, el seguidor solar deberá posicionarse en $-A^\circ$ hasta que ω sea mayor o igual que $-A^\circ$.
- Si ω se encuentra entre A° y B° , el seguidor solar deberá tener la posición de A° hasta que ω sea mayor que B° .
- Si ω se encuentra entre $-A^\circ$ y A° , se realiza el seguimiento solar

Una vez ω cumpla una de las sentencias se debe hacer el seguimiento solar, posicionando el sistema por medio de un actuador lineal de manera que los rayos del sol estén perpendiculares a la superficie de los paneles fotovoltaicos la mayor parte del día, para terminar el sistema de control y que el seguidor solar sea totalmente autónomo se controlara el movimiento del sistema a través de un inclinómetro que leerá la posición en la que se encuentra el sistema, e igualara la posición con respecto a ω , el ángulo de hora solar, el sistema se detendrá hasta que el ángulo de hora solar sea igual al ángulo de inclinación del seguidor solar durante todo el día, el sistema repetirá el cálculo constantemente para determinar la posición del sol en el transcurso del día.

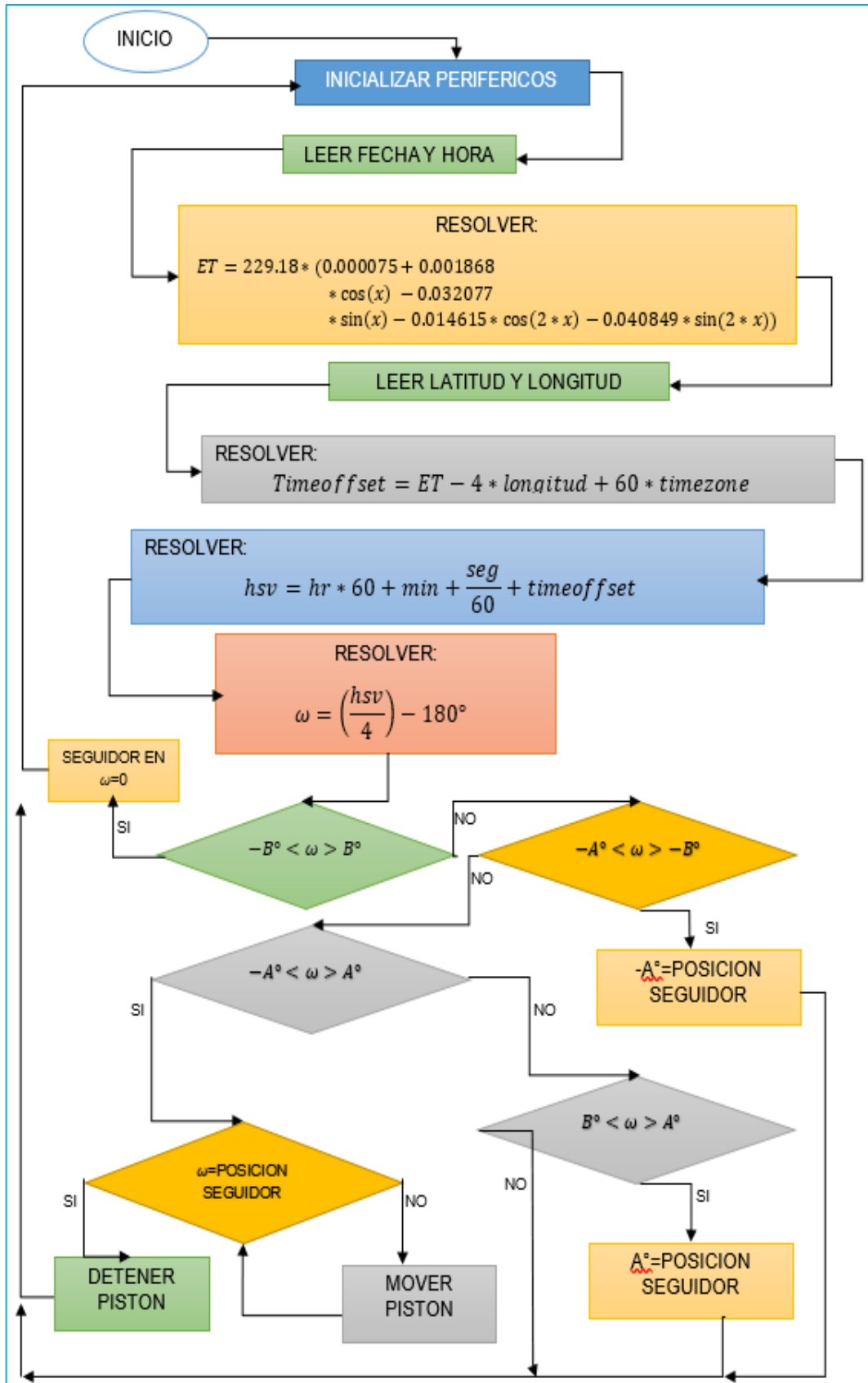


Figura N° 38. Flujograma para desarrollo del software
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

2.3.3. Implementación del sistema completo en Simulink

Simulink

Simulink es un entorno de diagrama de bloques para simulación multidominio y diseño basado en modelos. Admite diseño a nivel de sistema, simulación, generación automática de código y prueba y verificación continuas de sistemas integrados. Simulink proporciona un editor gráfico, bibliotecas de bloques personalizables y solucionadores para modelar y simular sistemas dinámicos. Está integrado con MATLAB, lo que le permite incorporar algoritmos de MATLAB en modelos y exportar los resultados de la simulación a MATLAB para su posterior análisis.

2.3.4. Modelado y simulación del seguidor solar en simulink

En esta etapa se han considerado los principales aspectos, una base de datos de recursos meteorológicos con radiación y temperatura no uniforme, sistema eléctrico, algoritmos de seguimiento con programación astronómica y finalmente el modelado 3D del componente de seguimiento. A partir de los datos provenientes de la estación meteorológica se diseñó el modelado y simulación de los tres sistemas de generación fotovoltaica (fijo monocristalino, fijo policristalino y seguimiento de un eje), utilizando las herramientas MATLAB Simulink. En esta aplicación se utilizó un denominado "PV Array" de una serie de módulos fotovoltaicos, donde se selecciona de una amplia lista de modelos y fabricantes.

El modelo correspondiente al sistema fotovoltaico objeto de estudio, se representa en la Figura N°. 40, donde se puede observar el modelo realizado en Simulink de MATLAB, el cual incluye una base de datos de radiación y temperatura de la estación meteorológica en formato "xlsx", el bloque PV Array con las especificaciones de los modelos JA SOLAR-P300W, en la respectiva configuración serie paralela y la

implementación del MPPT con el algoritmo de programación astronómica de MATLAB.

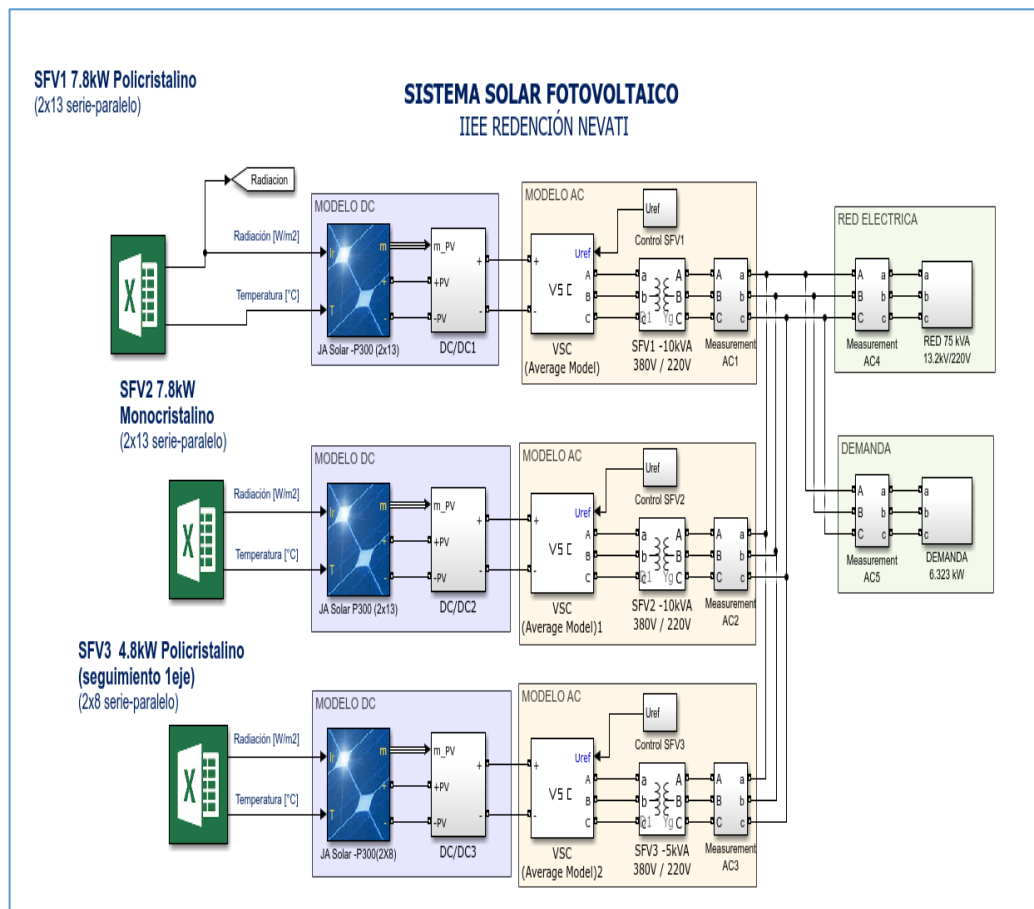


Figura N° 39. Modelado del sistema Fotovoltaico para optimizar
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

Para el modelado de los paneles solares fotovoltaicos se utiliza el comportamiento de las curvas V-I, V-P, de las librerías obtenidas de MATLAB, se estudian los sistemas fotovoltaicos a una temperatura de 25°C. las figuras N° 41 (policristalino) y N°42 (monocristalino), muestran una similitud en los rangos de operación de corriente (105.69A – 106.34A) y tensión (73.8V – 73.48V), entre los modelos policristalino y monocristalino, bajo las diferentes condiciones de radiación solar.

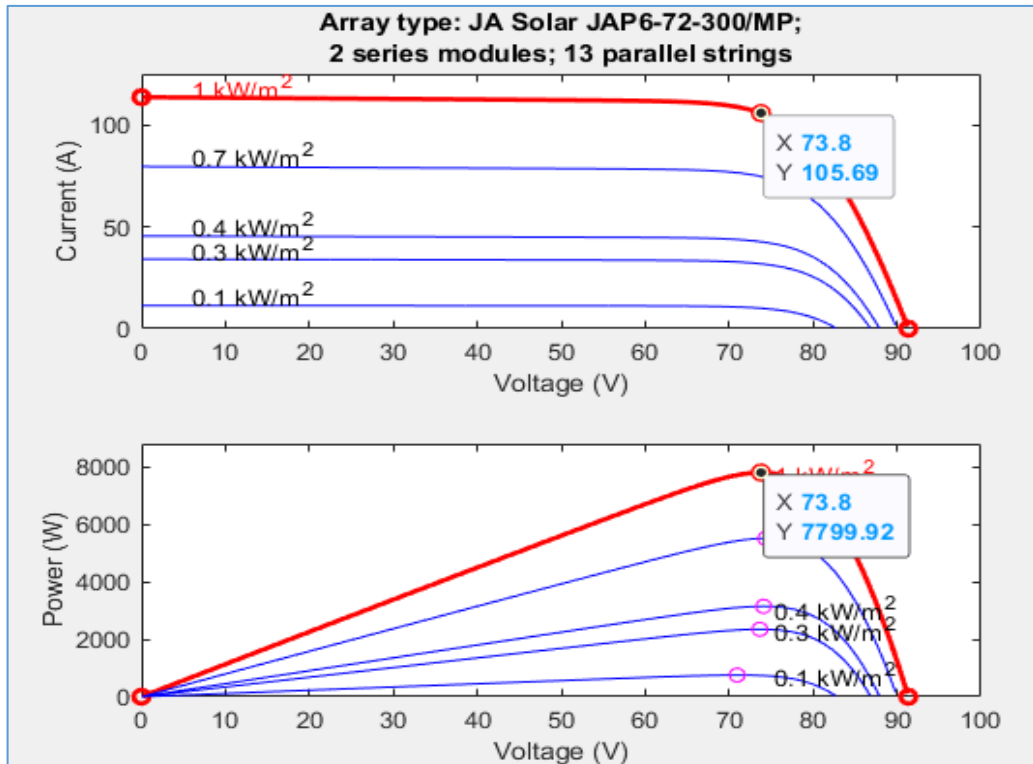


Figura N° 40. Curva V-I, Panel tipo Policristalino
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

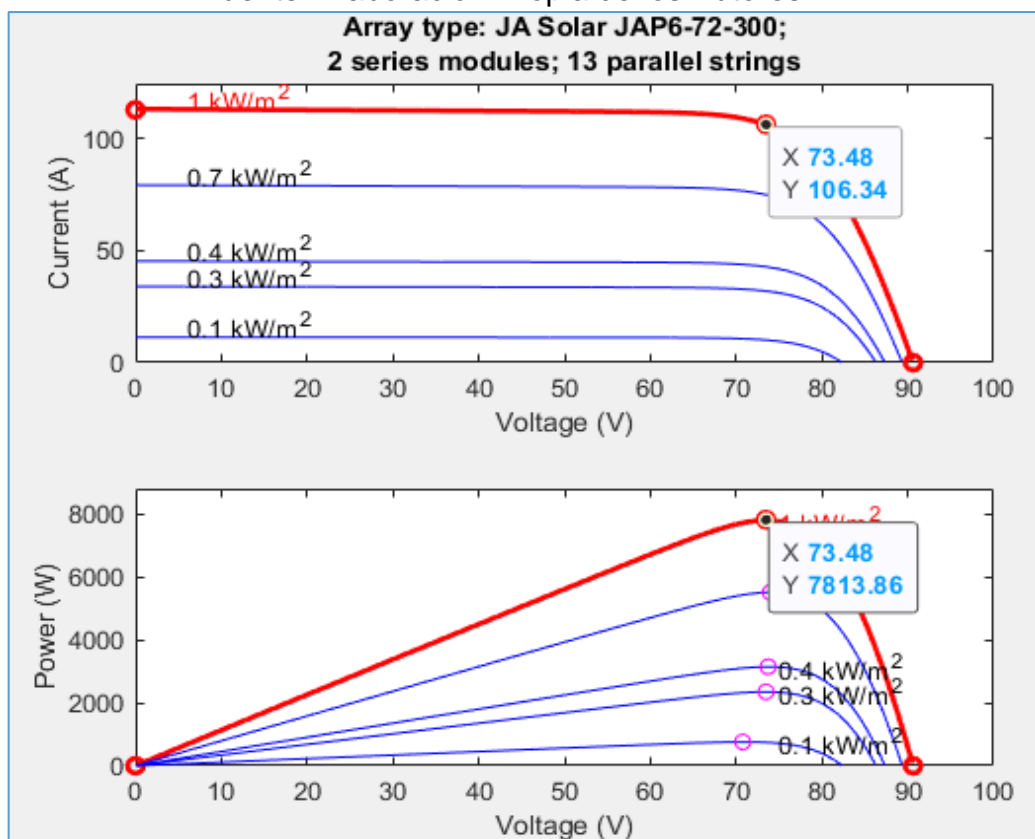


Figura N° 41. Curva V-I, Panel tipo Monocristalino
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

En las características V-I y V-P de los paneles monocristalinos de $4.8kW$ con seguimiento solar en un eje de la figura 42, se puede observar que el rango de corriente de operación ($65.36A$), es reducido al considerar 16 paneles solares con respecto a los sistemas anteriores y su voltaje presenta una similitud con respecto a los anteriores. De la figura se observa que, para operar en un punto de máxima potencia, en el caso de policristalino y monocristalino es necesario operar cerca de ($105.69A$ y $106.34A$), y caso del monocristalino con seguidor solar debe de operar en un punto de máxima potencia cercano a 65.36^a , todo ello para una irradiancia de $1000 \frac{W}{m^2}$.

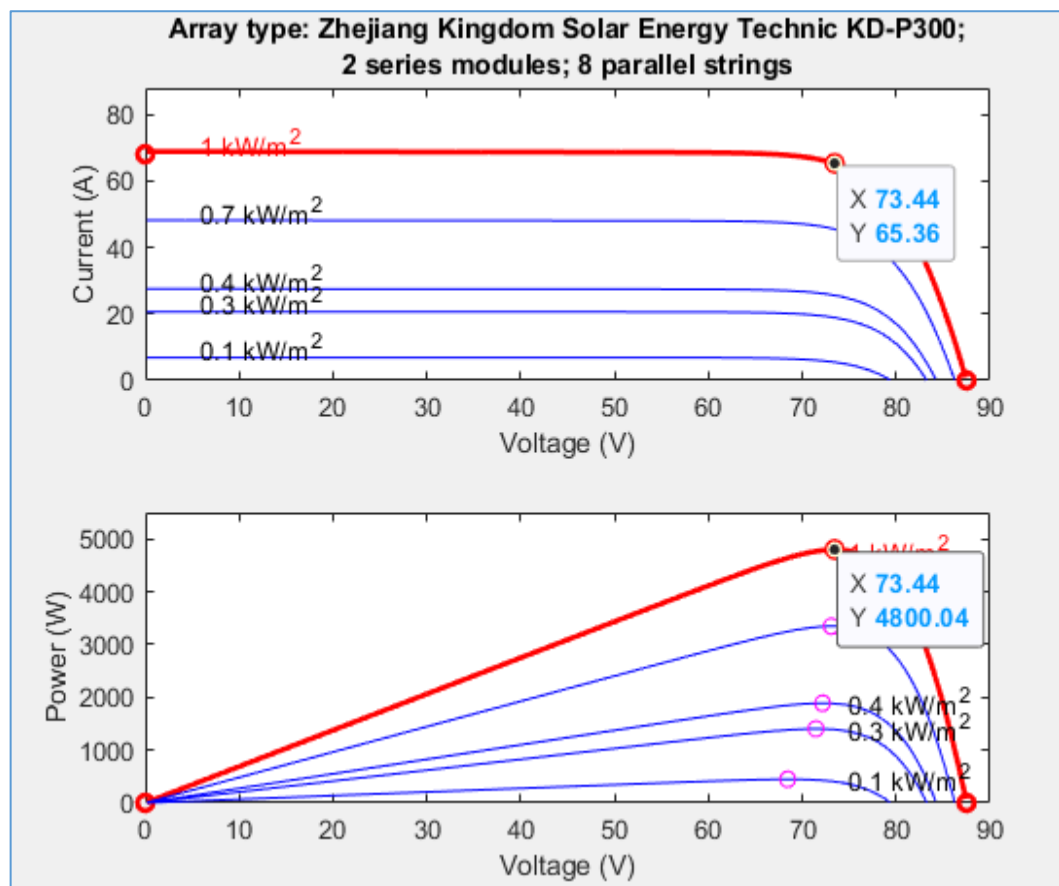


Figura N° 42. Curva V-I, del Panel Solar Policristalino con Seguidor
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

Para observar gráficamente el comportamiento de seguidor solar sobre un eje se utilizó la herramienta de MATLAB y Realm Builder,

que permite un modelo 3D que responde ante diferentes ubicaciones de la fuente de energía. El algoritmo se presenta en la figura N° 44, donde las variables “C” indica la dirección de rotación del motor y el vector de movimiento constante en el eje MOV= [100] (x, y, z).

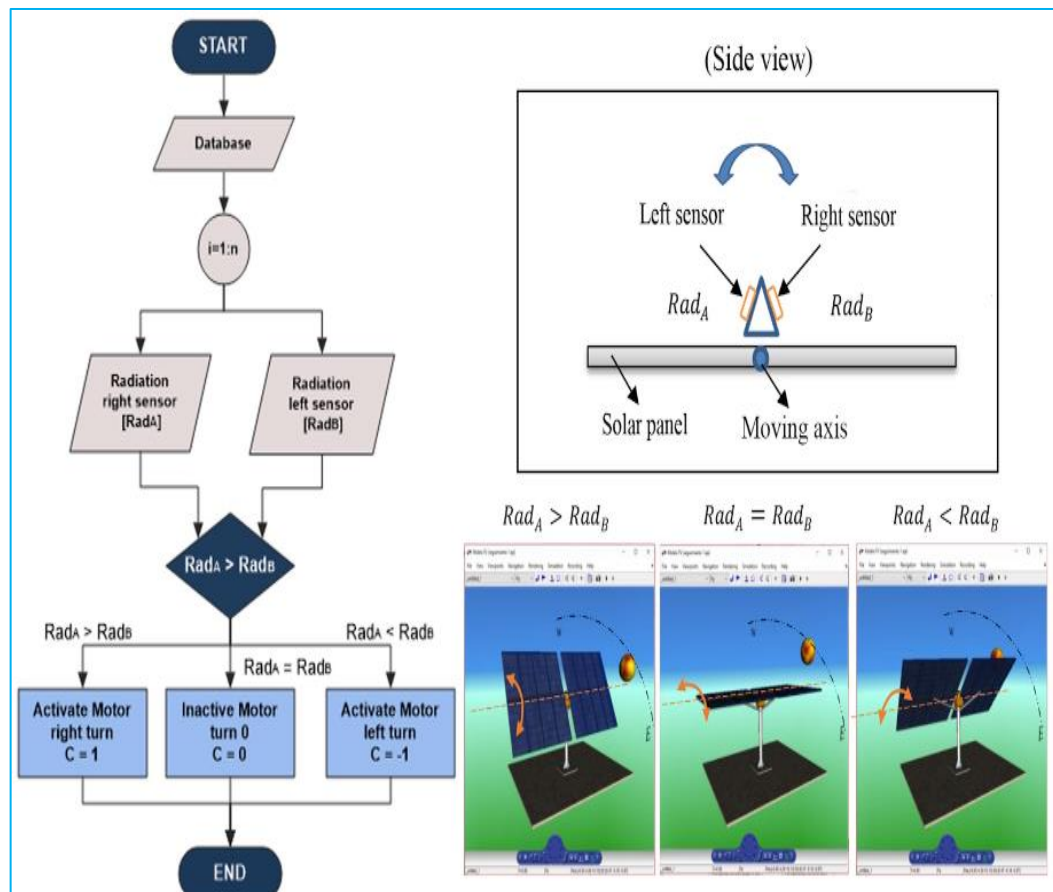


Figura N° 43. Algoritmo de seguimiento de diagrama de flujo en un eje
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

2.3.5. Modelamiento del circuito del seguidor solar de un eje

Para el modelamiento del seguidor solar de un eje en el simulink se realizó con el siguiente circuito: from spreadsheet, from, Open Block, inport, constant, switch, ramp, gain, output y video to workspace.

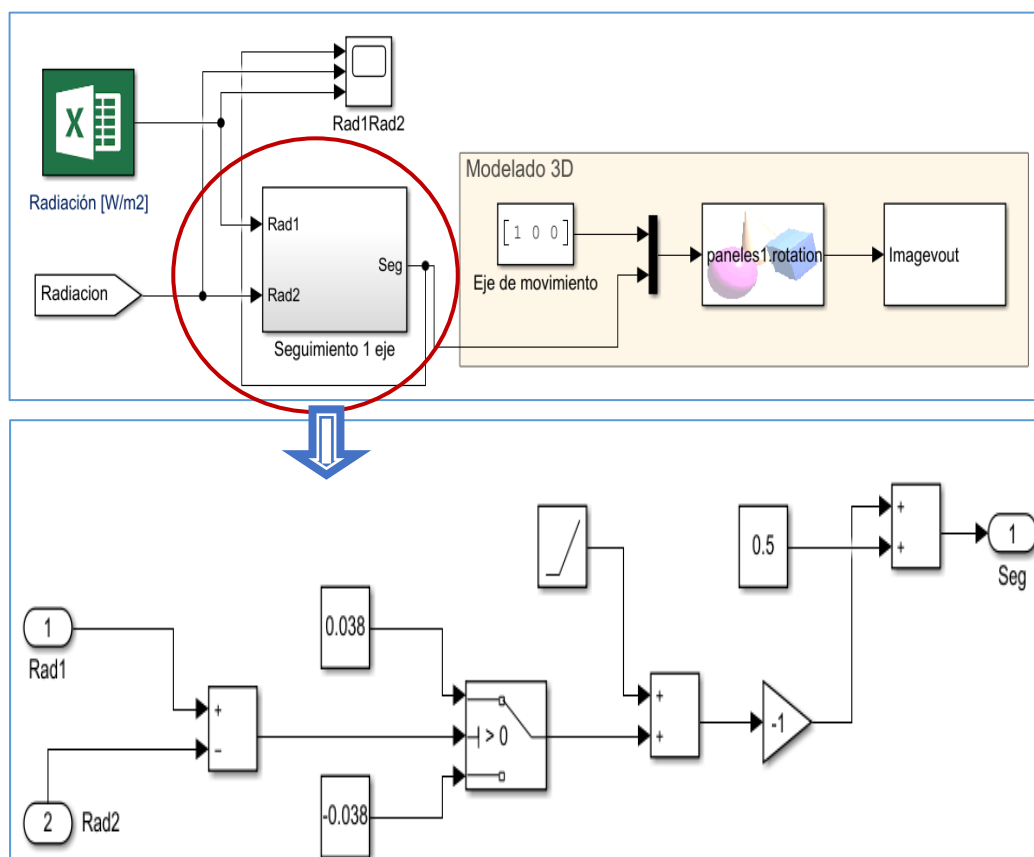


Figura N° 44. Circuito del seguidor solar
Fuente: Elaboración Propia del Autor

2.3.6. Circuito del punto de Máxima Potencia

Este circuito nos permite encontrar el punto de máxima de potencia para que de esta manera se consigue alcanzar un balance entre el voltaje y la corriente en los paneles fotovoltaicos que trabajan en su máxima potencia y con ello los inversores.

Los algoritmos MPPT se suelen emplear en los diseños de controladores para sistemas FV. Estos algoritmos tienen en cuenta factores como la irradiancia variable (luz solar) y la temperatura, con objeto de garantizar que el sistema FV genere la potencia máxima en todo momento.

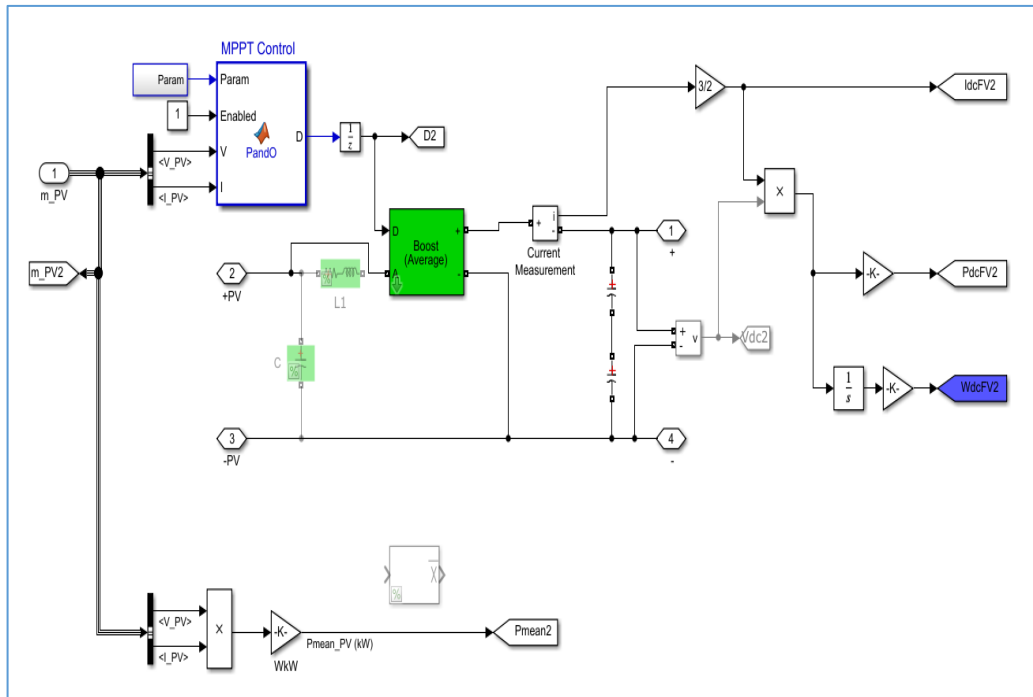


Figura N° 45. Circuito de MPPT
Fuente: Elaboración Propia del Autor

El algoritmo MPPT utilizado para este proyecto es el:

2.3.7. Perturbación y observación (P&O).

Este algoritmo perturba la tensión de funcionamiento para garantizar la potencia máxima. Aunque existen diversas variantes avanzadas y más optimizadas de este algoritmo, a continuación, se muestra los parámetros del algoritmo MPPT de P&O.

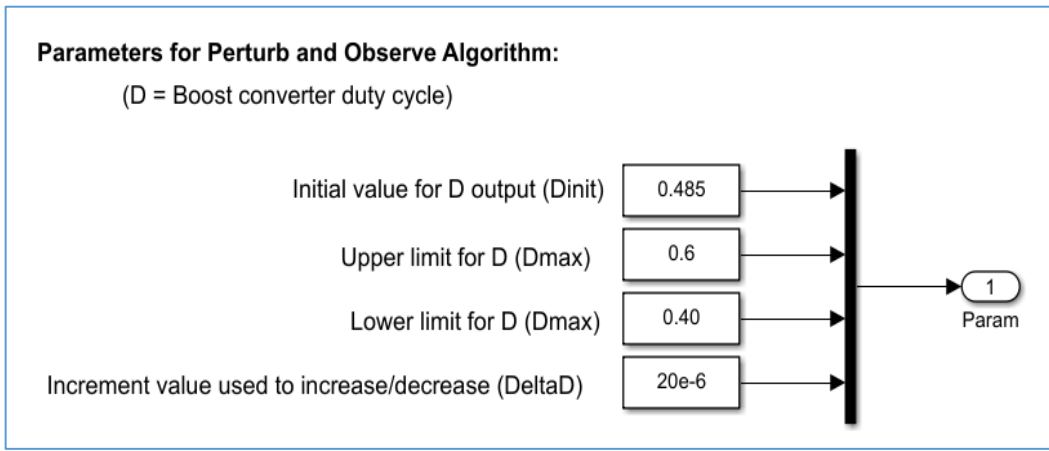


Figura N° 46: Parámetros de P&O
Fuente: Elaboración Propia del Autor

La programación del MPPT control es lo siguiente:

```
function D = PandO(Param, Enabled, V, I)

% MPPT controller based on the Perturb & Observe algorithm.

% D output = Duty cycle of the boost converter (value between
0 and 1)
% Enabled input = 1 to enable the MPPT controller
% V input = PV array terminal voltage (V)
% I input = PV array current (A)
% Param input:
Dinit = Param(1); %Initial value for D output
Dmax = Param(2); %Maximum value for D
Dmin = Param(3); %Minimum value for D
deltaD = Param(4); %Increment value used to increase/decrease
the duty cycle D
% ( increasing D = decreasing Vref )

persistent Vold Pold Dold;

dataType = 'double';

if isempty(Vold)
    Vold=0;
    Pold=0;
    Dold=Dinit;
end
P= V*I;
dV= V - Vold;
dP= P - Pold;

if dP ~= 0 & Enabled ~=0
    if dP < 0
        if dV < 0
            D = Dold - deltaD;
        else
            D = Dold + deltaD;
        end
    else
        if dV < 0
            D = Dold + deltaD;
        else
            D = Dold - deltaD;
        end
    end
else D=Dold;
end

if D >= Dmax | D<= Dmin
    D=Dold;
end

Dold=D;
Vold=V;
Pold=P;
```

2.3.8. Circuito de Medición

En este circuito existen bloques From, la cual tienden acepta una señal de un bloque Goto correspondiente y luego lo pasa como salida. El tipo de datos de la salida es el mismo que el de la entrada del bloque Goto. Los bloques From y Goto le permiten pasar una señal de un bloque a otro sin conectarlos realmente.

Es así que Un bloque From puede recibir su señal de un solo bloque Goto, aunque un bloque Goto puede pasar su señal a más de un bloque From.

Para asociar un bloque Goto con un bloque From, se debe ingresar la etiqueta del bloque Goto, en el parámetro del bloque Goto, como puede observarse en la siguiente figura N°48 y 49.

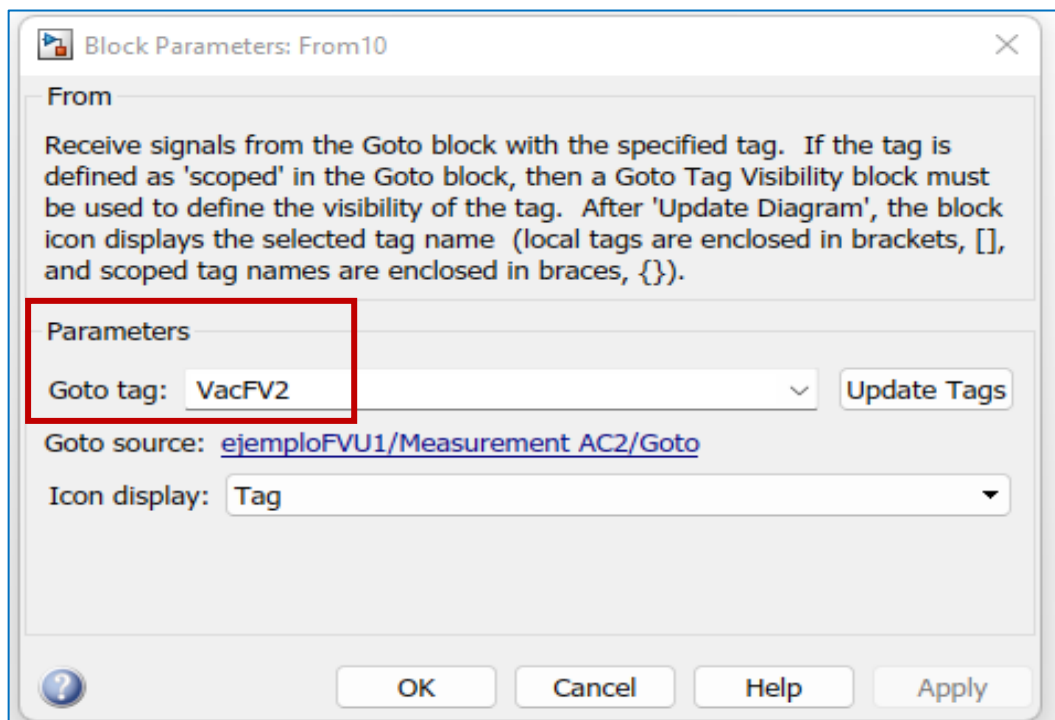


Figura N° 47. Parámetros de bloque

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

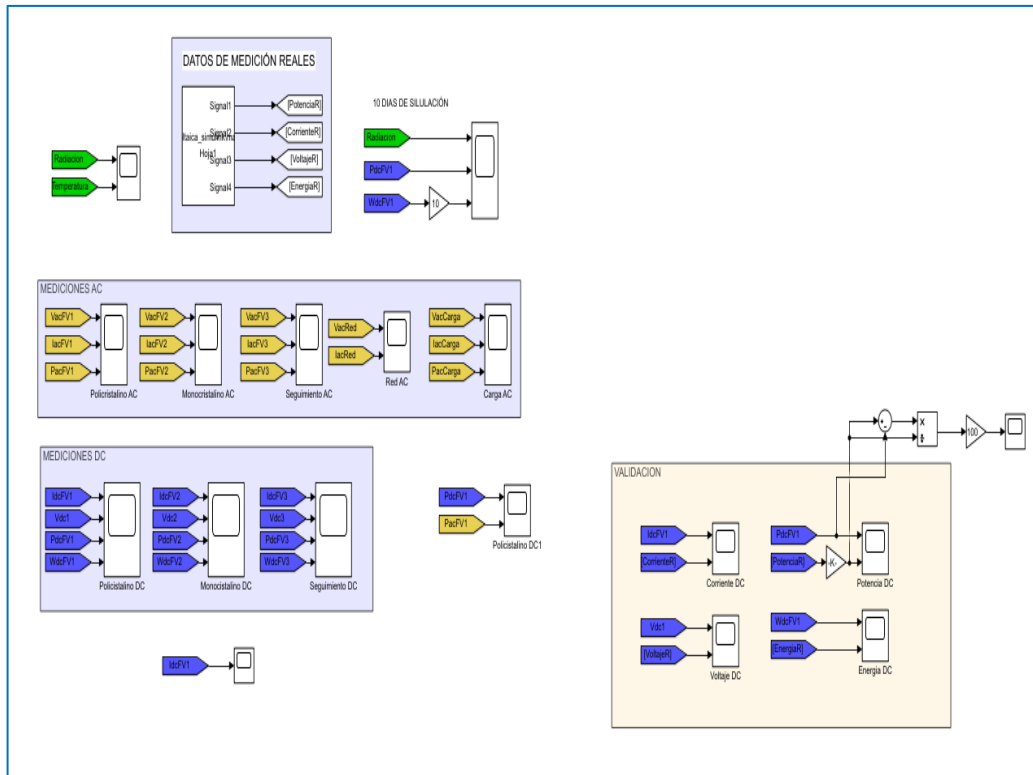


Figura N° 48. Circuitos de señales de entradas y salidas (From and Goto)
Fuente: Elaboración Propia de los Autores

2.3.9. V-Realm Builder

Es un poderoso paquete de edición de tres dimensiones para la creación de objetos en 3D.

Elaboración del seguidor solar de un eje en el V-Realm Builder

Diseño en Vrlm

Para el modelado 3D del seguidor solar es recomendable crear un boceto en 2D, el modelado de este seguidor solar está creado siguiendo una estructura jerárquica compuesta por padres eh hijos:

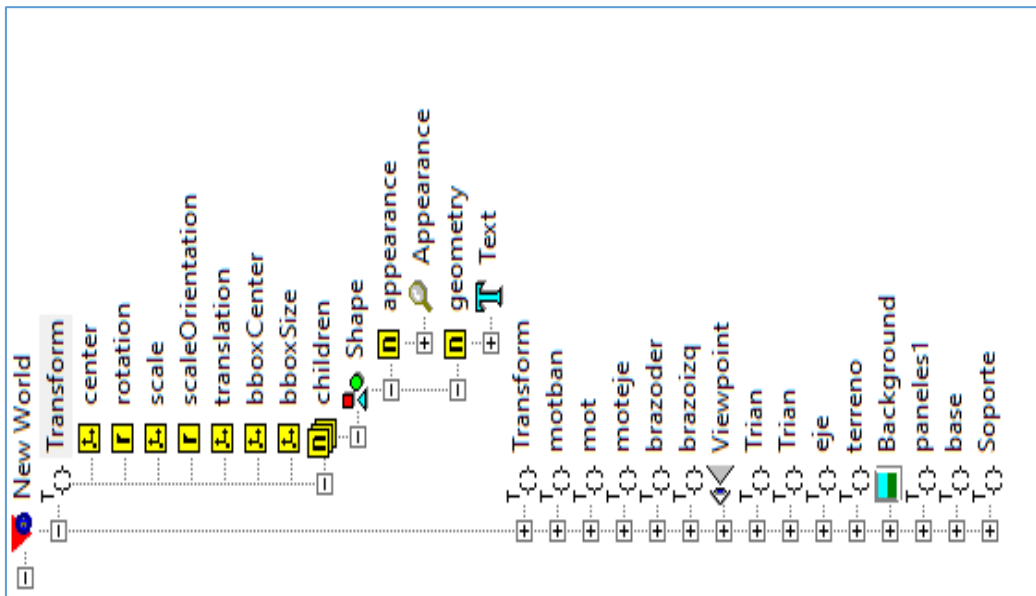


Figura N° 49.Modelado de seguidor solar en el V-Realm Builder

Fuente: Elaboración Propia de los Autor

Donde el padre son transform, motban, mot, moteje, brazoder, brazoizq, trian, eje, terreno, panel 1, base, soporte. Todas estas contienen a sus hijos, tal como se puede ver en la figura N° 51, el paneles1, contiene a pruebas, transform, paneles2, prueba2, etc.

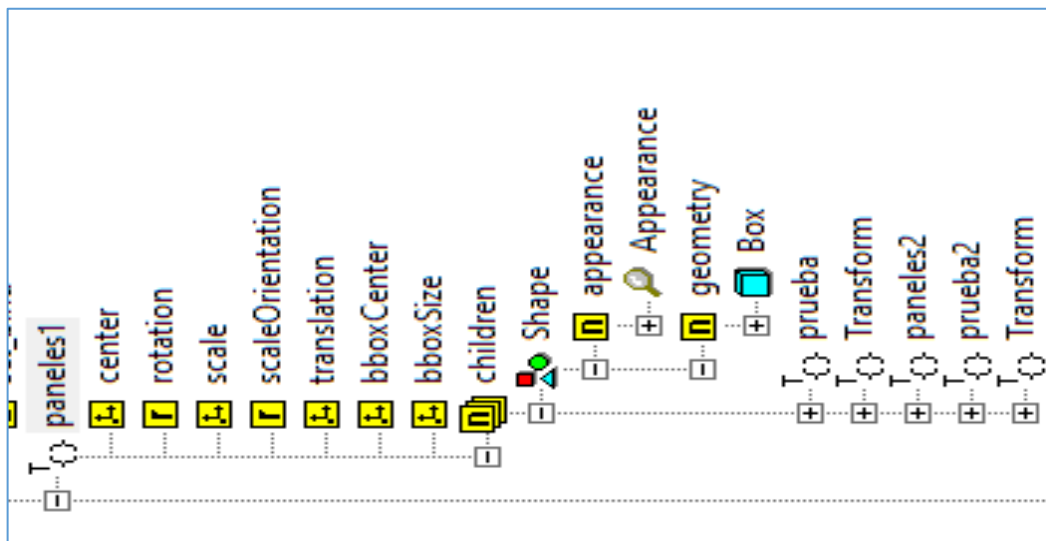


Figura N° 50.Jerarquía en el modelado del seguidor solar

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

Los parámetros de entrada del modelo vrml son los siguientes:

Tabla 12. Parámetros de entrada al VRML

Función en Vrml	Parámetro		Escala
	Rotación	Traslación	
Transform (texto)-E	[0,0,1-R-0]	[2,2,5-T]	[0.8,0.8,1]
Transform (texto)-W	[0,0,1-R-0]	[2,6,-5-T]	[0.8,0.8,1]
Motban	[0,0,0-R-0]	[0,3,0-T]	[0.1,0.2,0.1]
Mot	[0,0,1,R-90]	[0,2.8,0-T]	[0.2,0.25,0.25]
Moteje	[0,0,1,R-90]	[0,3.2,0-T]	[0.1,0.05,0.1]
Brazoder	[0,0,1,R-72]	[-1,2.8,0-T]	[0.05,1,0.15]
Brazoizq	[0,0,-1,R-72]	[1,2.8,0-T]	[0.05,1,0.15]
Trian	[0,0,1-R-0]	[0,0.3,0-T]	[0.3,0.3,0.03]
Eje	[0,0,1-R-90]	[0,3.2,0-T]	[0.05,4,0.05]
Terreno	[0,0,1-R-0]	[0.-0.05,0-T]	[3.8,0.05,3]
Paneles1	[1,0,0-R-60]	[-2.2,3.2,0-T]	[2,0.05,2]
Base	[0,0,1-R-0]	[0,0,0-T]	[0.6,0.05,0.6]
Paneles2	[0,0,1-R-0]	[2.2,0,0-T]	[1,1,1]
Soporte	[0,0,1-R-0]	0,1.4,0-T]	[0.12,1.3,0.12]

Fuente: Elaboración Propia del Autor

VR TO VIDEO

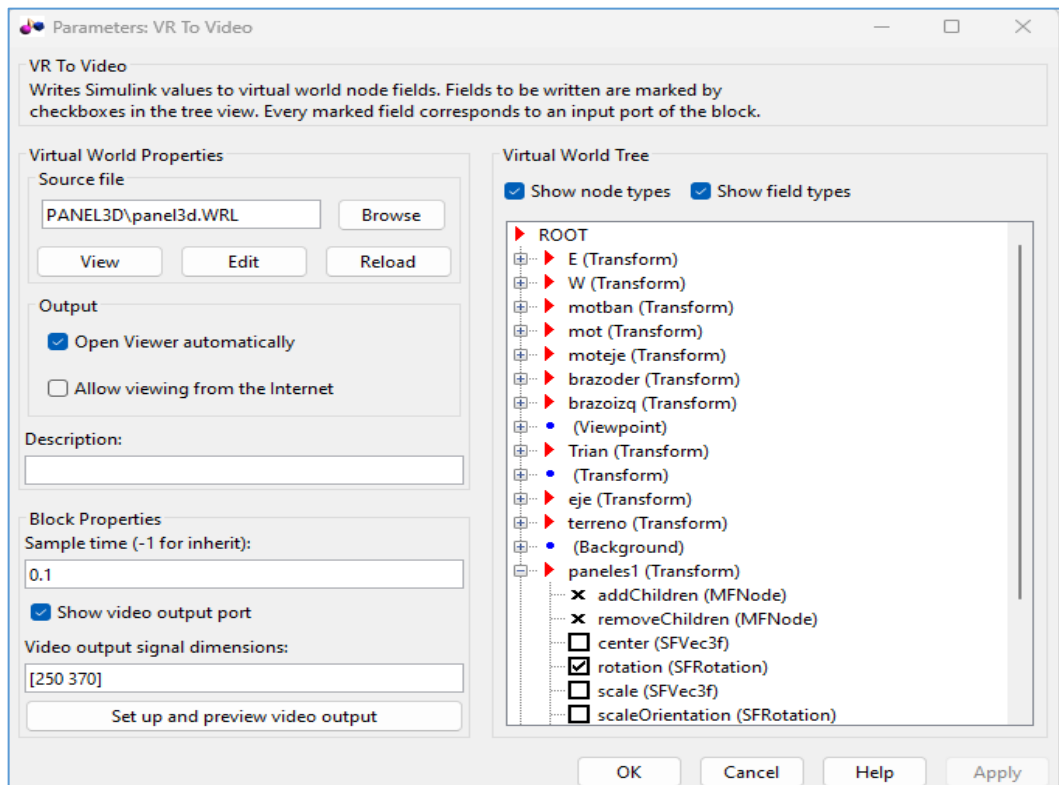


Figura N° 51: Parámetros de VR to Video

Fuente: Elaboración Propia del Autor

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El seguidor solar de la generación fotovoltaica influye significativamente en el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020.

3.1.2. Hipótesis específicas

- La generación fotovoltaica a través de un seguidor garantiza el suministro de energía eléctrica en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020
- Optimizar el generador fotovoltaico mediante un seguidor solar, mejora la potencia generada.
- Optimizar los generadores fotovoltaicos a través de un seguidor solar, es aprovechar la mayor cantidad de radiación solar, para cubrir la demanda Necesaria que se requiera en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020.

3.2. Definición conceptual de variables

3.1.1. Variable independiente: Generación fotovoltaica

Para el Osinergmin (2019), Consiste en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica a partir de materiales semiconductores, como las células fotovoltaicas, que están fabricadas a partir del silicio, uno de los metaloides más abundantes en el mundo. Para el Ministerio de Energía de Chile (2018), Las partículas de la luz del Sol, llamadas fotones, impactan en una de las caras de la célula fotovoltaica produciendo una corriente eléctrica que se usa como fuente energética. Los generadores fotovoltaicos están formados por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores

concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V...), que definirán la tensión a la que va trabajar el sistema fotovoltaico.

3.1.2. Variable dependiente: Suministro eléctrico

Según la Norma Técnica EM.010 (2019), son servicio eléctrico prestado por la EDE, de acuerdo a características técnicas y comerciales establecidas en el respectivo contrato de suministro. Conjunto de instalaciones que permiten la alimentación de la energía eléctrica en forma segura. Para el Osinergmin (2012), el suministro Eléctrico es el proceso que va desde la generación de electricidad en la central eléctrica al uso por el consumidor. Conjunto de Instalaciones destinado a llevar energía eléctrica suministrada a cada usuario desde el punto de entrega hasta los diversos artefactos eléctricos en los que se produzca su transformación en otras formas de energía.

3.3. Operacionalización de variable

Con el fin de identificar de manera precisa las dimensiones y sus respectivos indicadores de la variable independiente y dependiente, el significado de las variables que contiene la hipótesis, en la tabla 13, se muestran las definiciones conceptuales y operacionales de las variables que se han utilizado en el proyecto de tesis

Tabla 13. Operacionalización de variable

Fuente: Elaboración propia del autor

Variable	Definición Conceptual	Dimensión	Indicador
VI: Generación Fotovoltaica	Para el Osinergmin (2019) Consiste en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica a partir de materiales semiconductores, como las células fotovoltaicas, que están fabricadas a partir del silicio, uno de los metaloides más abundantes en el mundo.	Posición Azimutal del Generador Fotovoltaico	Ángulo de Azimut en grados Sexagesimales °C
		Posición de Elevación del Generador Fotovoltaico	Ángulo de elevación en grados Sexagesimales °C
		Condiciones Físicas de la Irradiancia	Medir la irradiancia en w/m^2
		Condiciones Físicas de la Temperatura	Medir la Temperatura en °C
VD: Suministro Eléctricos	Según la Norma Técnica EM.010 (2019) son servicio eléctrico prestado por la EDE de acuerdo a las características técnicas y comerciales establecidas en el respectivo contrato de suministro. Conjunto de instalaciones que permiten la alimentación de la energía eléctrica en forma segura.	Intensidad de Corriente Eléctrica	Medir la intensidad de corriente en (A)
		Tensión Generada	Medir el voltaje de generación en (V)
		Potencia Generada	Watts o Vatios (W)

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es explicativo y demostrativo porque establecen la dinámica de los cambios dada por una explicación de la interrelación de las partes de la optimización en la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020, se utiliza conocimientos ya existentes con la finalidad de analizar el problema y dar Solución.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) Se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que se dan sin la intervención directa del investigador, es decir; sin que el investigador altere el objeto de investigación. En la investigación no experimental, se observan los fenómenos o acontecimientos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. En la investigación explicativa y demostrativa, se recolecta datos de captación de radiación solar con el fin de suministrar información sobre el problema y dar solución. La investigación No experimental En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes. Para Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación aplicada tiene como propósito aplicar los resultados de la investigación No experimental para optimizar las tecnologías y aplicarlas de manera inmediata en la Solución de los problemas de la sociedad.

4.2. Diseño de investigación

El diseño de Investigación que se ha determinado para la presente tesis es No experimental, ya que, según Hernández, Fernández y Baptista (2014), en su libro Metodología de la Investigación afirma que: Se refiere a la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que No hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es

observar fenómenos tal como es se dan en su contexto natural, para analizarlo. En un estudio No experimental no se general ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la Investigación No experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir en ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

4.3. Método de investigación

La investigación No experimental es sistemática y empírica en las que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido. Las Inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa, y dichas relaciones se observan tal como se han dado en su contexto natural.

4.4. Población y muestra

Población

La población para el presente proyecto de tesis está conformada por 6 centros educativos de la zona centro del Perú-2020, las cuales cuentan con Generadores Fotovoltaicas de posición fijas, instalados en los Departamentos de Huánuco, Junín y Pasco.

Muestra

En el presente trabajo de investigación por ser un tema de optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020, se tomó como Muestra la Institución Educativa NEVATI, ubicada en el departamento de Pasco, Comunidad Nativa NEVATI con coordenadas Latitud -10.584866 Longitud - 75.404350.

Lugar de estudio y periodo desarrollado

El lugar en el que se llevará a cabo el proyecto será en la zona centro del Perú específicamente en el departamento de Pasco.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Antes de realizar el proyecto de investigación sobre la optimización de la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020, es necesario definir los objetos a quienes se les aplicará los instrumentos. En este caso, el objeto a ser observado y medido fue la "Generación Fotovoltaica". Empleando técnicas como muestras meteorológicas de la ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE PUERTO INCA, utilizando instrumentos como Heliógrafo encargado de registrar la duración e intensidad de los rayos solares o insolación, Termómetro mide la temperatura.

V. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

A continuación, se presentan los resultados del análisis dado en la simulación en simulink-Matlab, Para validar los modelos propuestos se utilizaron los datos obtenidos de la estación meteorológica PUERTO INCA, ubicado en la provincia de Puerto Inca, dicho estudio corresponde a un día, los valores obtenidos de radiación solar se representan en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$, y temperatura en ($^{\circ}C$). En la figura N° 52, se muestran los datos obtenidos en el día (09/02/2023) entre las 6:00am a 6:00pm, como se puede observar en la figura, existe una variación importante cerca de las 12:00 como resultado de la nubosidad y época de lluvias frecuentes de la zona con una radiación máxima de $973 \frac{W}{m^2}$, para una temperatura ambiente de $27.3^{\circ}C$ y un promedio de $27.6^{\circ}C$ durante ese día, temperatura que dentro del modelo utilizado no representa una disminución significativa en la generación de energía, dado que los paneles utilizados tienen un coeficiente de potencia de la temperatura de $\frac{-0,43\%}{^{\circ}C}$.

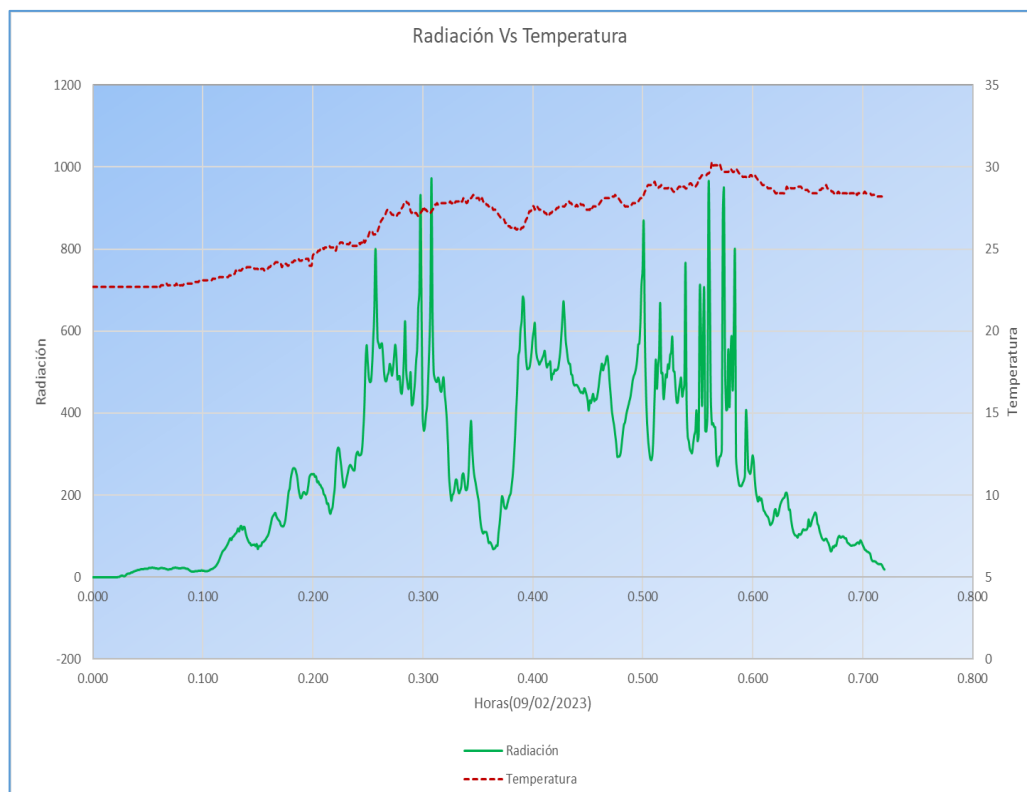


Figura N° 52. Modelo de datos Obtenidos en la estación de Puerto Inca
Fuente: Elaboración propia de los autores

A partir de los datos meteorológicos utilizados, los comportamientos de los modelos fotovoltaicos diseñados se presentan en las Figuras 53 y 54, donde se muestran los resultados de la potencia instantánea y la energía acumulada. En ellos se puede ver una relación lineal entre la radiación y la potencia generada. En la Figura 55, el sistema de seguimiento solar en un eje difiere de los otros sistemas, porque los datos de entrada al modelo de radiación son el resultado del algoritmo de seguimiento (ver Figura 44), en este caso recibe más radiación solar para su seguimiento por lo tanto se obtiene valores tanto de potencia, corriente y energía similar a los sistemas fijos de 26 paneles fotovoltaicos. En otro aspecto, la Figura 57, se observan los resultados de la energía en la salida del conjunto de convertidores de potencia en AC, en ella se observa una relación lineal entre la potencia de entrada y la corriente de salida en AC. También se puede ver que el FV3 tiene una producción de energía más alta comparativamente alrededor del 38.9% presentando la misma cantidad de paneles solares, lo que también se refleja en la salida de CA del inversor.

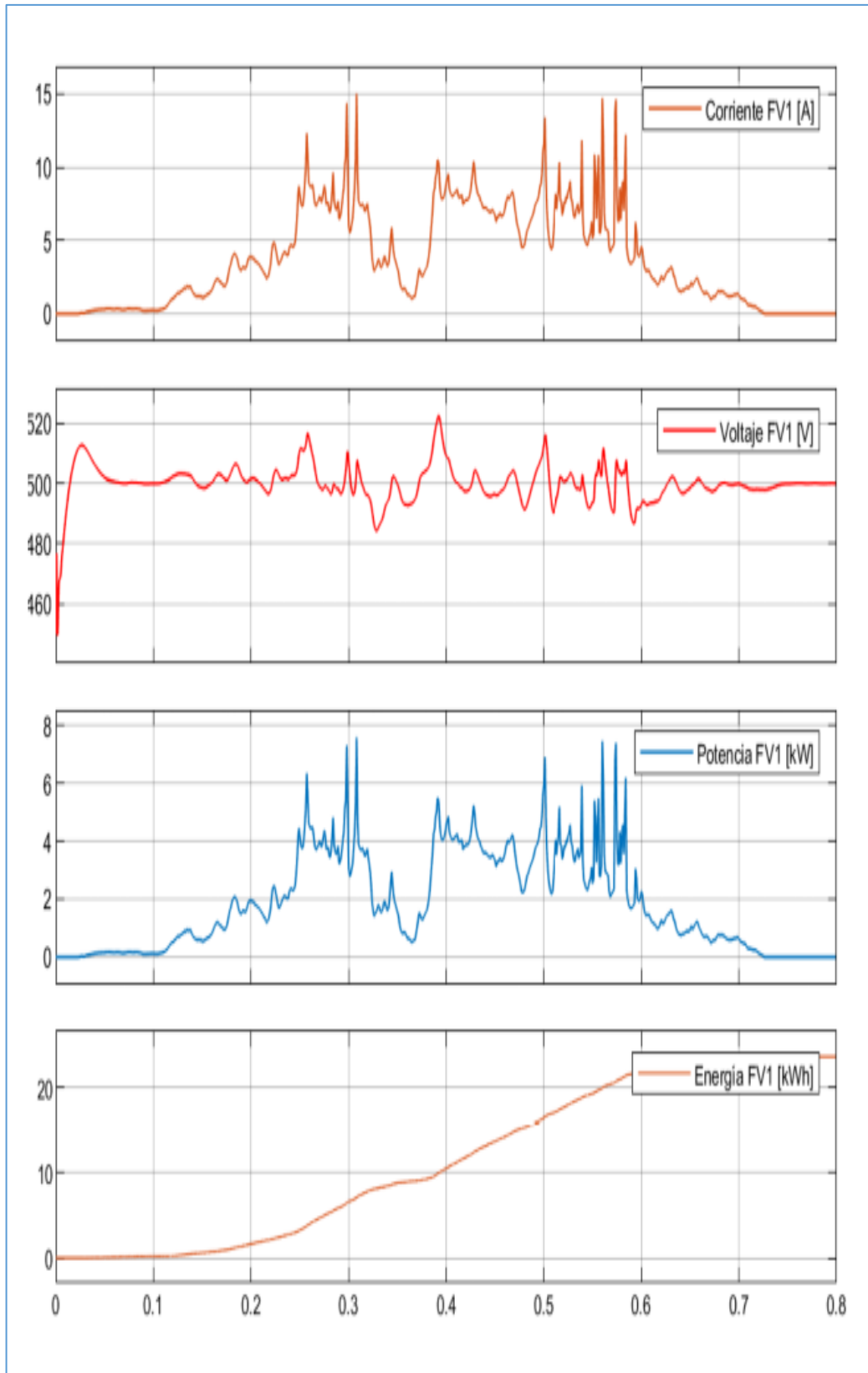


Figura N° 53. Comportamiento Energético de PVS1 con paneles Monocristalino

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

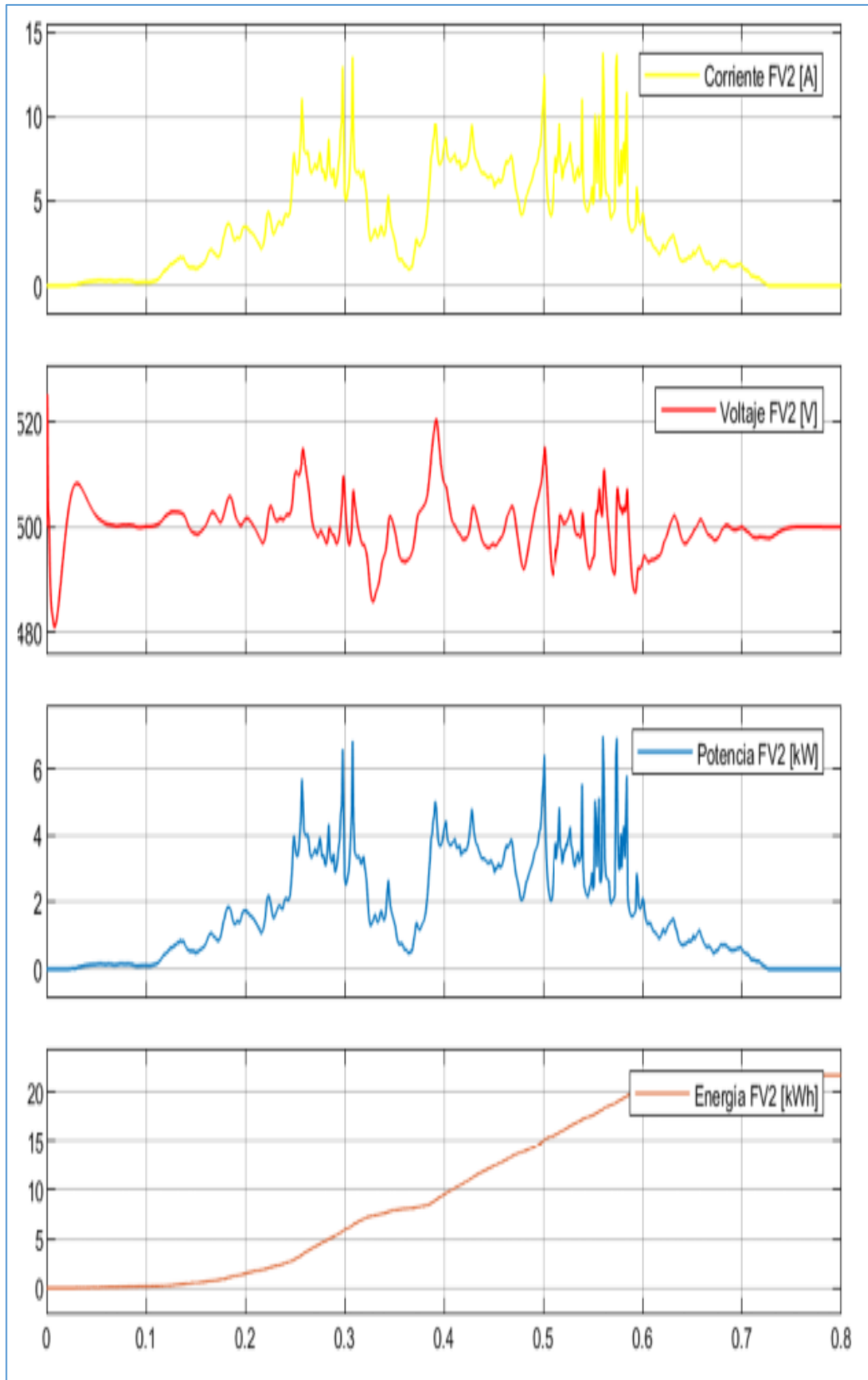


Figura N° 54. Comportamiento Energético de PVS2 con paneles Policristalino

Fuente: Elaboración Propia de los Autores

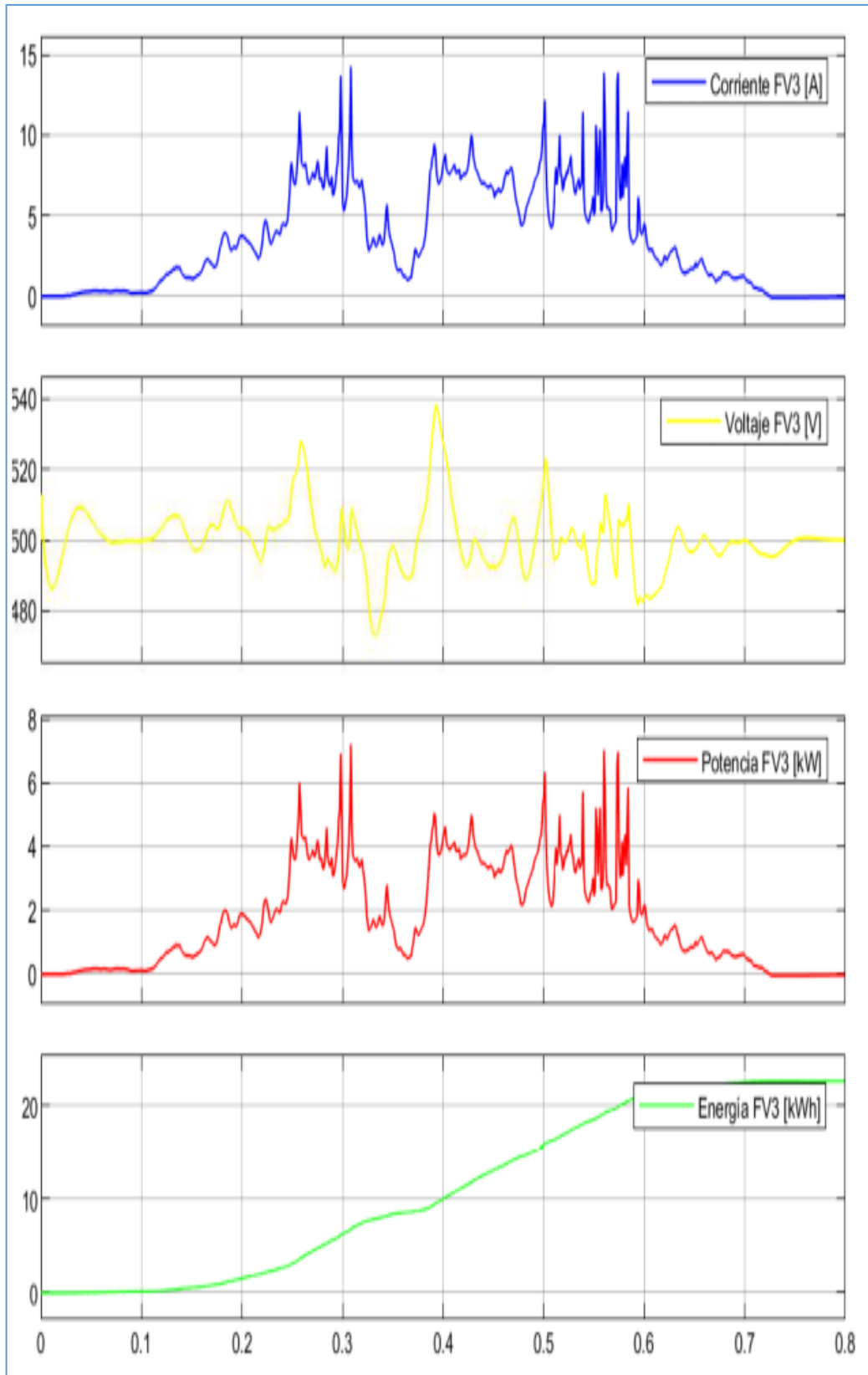


Figura N° 55. Comportamiento Energético de FV3 con Seguidor Solar
Fuente: Elaboración Propia del Autor

Los gráficos anteriores son reflejados, producto a que la captación de la radiación solar por el sistema fotovoltaico con seguidor solar con tan solo 16 paneles solares en comparación con el sistema fotovoltaico fijo de 26 paneles solares no difiere casi nada, es por ello que la diferencia que existe entre las diferentes tecnologías, resulta mayor generación de corriente por el sistema fotovoltaico con seguidor solar y con ellos mayor suministro de energía y potencia hacia las cargas.

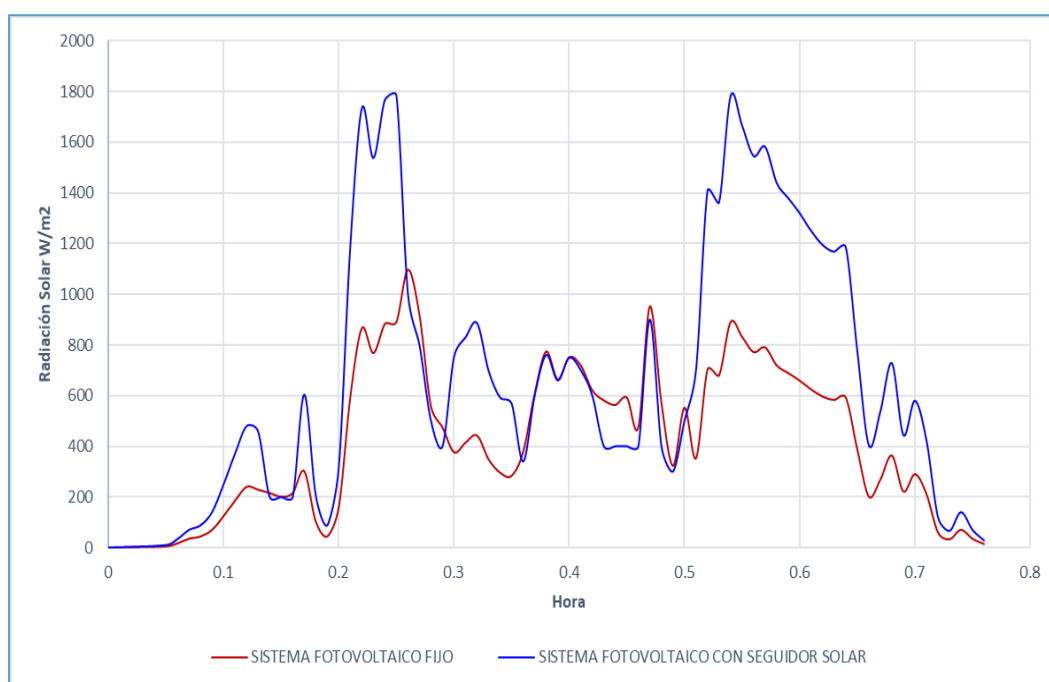


Figura N° 56. Captación de la radiación solar por los SFV Fijo Vs SFV con Seguidor Solar.

Fuente: Elaboración propia de los autores

En la Figura 57, 59 y 59, se observa las potencias suministradas a una carga de $6,323W_p$, en la cual la tecnología con seguidor solar, compuesto por 16 módulos fotovoltaicos de potencia $300W_p$ c/u, está generando una potencia de $4536.28W_p$, en comparación a las tecnologías Policristalino y Monocristalino compuestos por 26 módulos fotovoltaicos c/u $300W_p$, que generan una potencia de $4219.09W_p$ y $4430.73W_p$ respectivamente. Una vez más se comprueba q contando con tecnología con seguidor solar se puede generar más energía y potencia con una cantidad menor de paneles solares, con ellos se reduce el csto de instalación en los centros educativos, suministrados por esta tecnología.

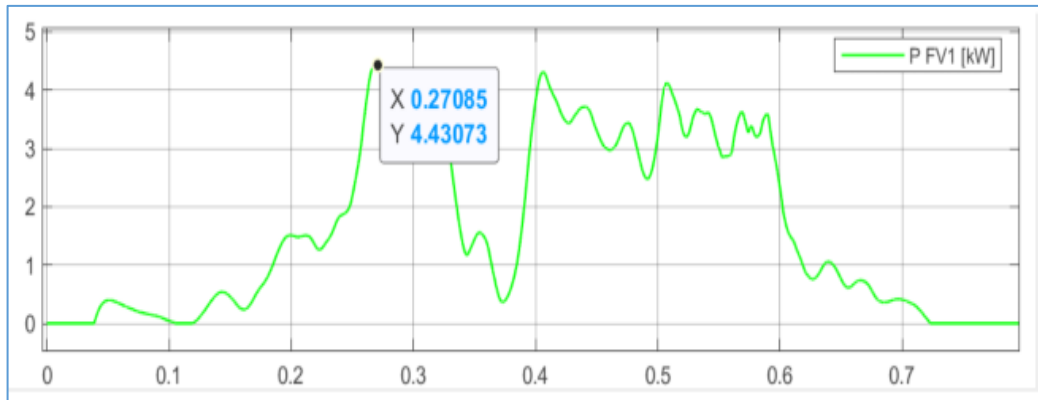


Figura N° 57. Potencia de salida en CA, sistema Fotovoltaico Con Tecnología Monocristalino
 Fuente: Elaboración propia de los autores

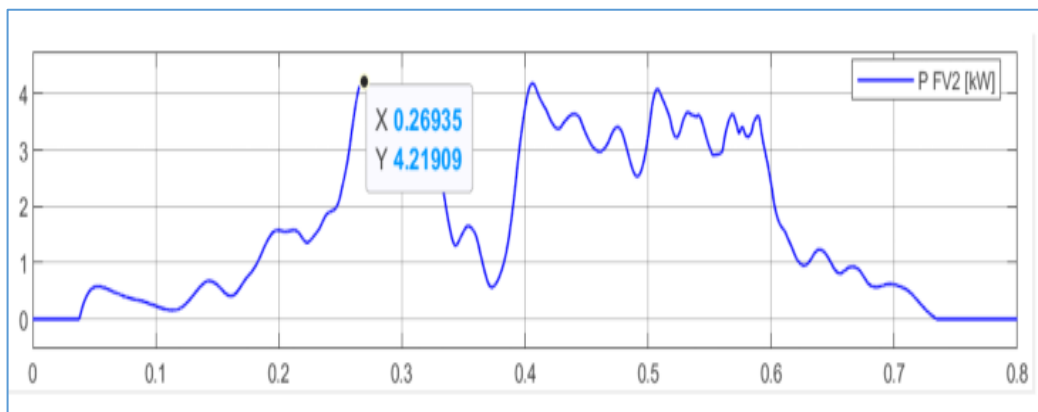


Figura N° 58. Potencia de salida en CA, sistema Fotovoltaico Con Tecnología Policristalino
 Fuente: Elaboración propia de los autores

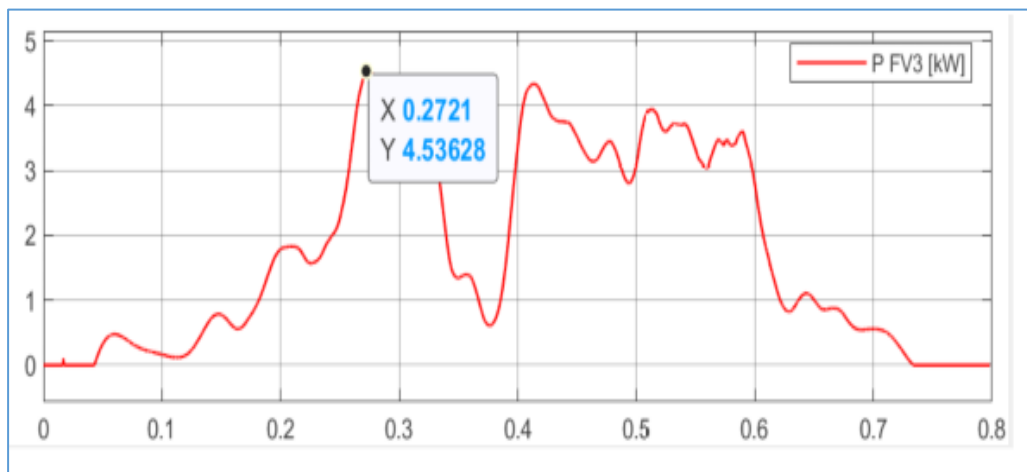


Figura N° 59. Potencia de salida en CA, sistema Fotovoltaico Con Tecnología Policristalino con Seguidor Solar
 Fuente: Elaboración propia de los autores

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Hipótesis General

Para contrastar la hipótesis general la cual es “Si se optimiza la generación fotovoltaica a través de un seguidor solar entonces se mejorará el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020” esta se comprueba mediante los datos obtenidos en los resultados los cuales nos permiten ver que las potencias suministradas a una carga de $6,323W_p$, en la cual la tecnología con seguidor solar, compuesto por 16 módulos fotovoltaicos de potencia $300W_p$ c/u, está generando una potencia de $4,536.28 W_p$, en comparación a las tecnologías monocristalino y policristalino compuestos por 26 módulos fotovoltaicos c/u $300W_p$, que generan una potencia de $4219.09W_p$ y $4430.73W_p$ respectivamente.

Hipótesis específicas 1

Para contrastar la hipótesis específica 1 la cual es “La generación fotovoltaica a través de un seguidor garantiza el suministro de energía eléctrica en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020” esta se comprueba mediante los datos obtenidos en los resultados dado que la captación de la radiación solar por el sistema fotovoltaico con seguidor solar en comparación con el sistema fotovoltaico fijo difiere de casi el doble de energía contando con la misma cantidad de paneles solares, es por ello de que esa diferencia que existe, resulta mayor generación de corriente por el sistema fotovoltaico con seguidor solar y con ellos mayor suministro de energía y potencia hacia las cargas.

Hipótesis específica 2

Para contrastar la hipótesis específica 2 la cual es “Optimizar el generador fotovoltaico mediante un seguidor solar, mejora la potencia generada” esta se comprueba mediante los datos obtenidos los cuales nos permiten ver que los seguidores solares pueden aumentar la producción de energía

en un 20-30% en comparación con los paneles solares fijos, dependiendo de la ubicación y las condiciones climáticas. Sin embargo, los seguidores solares también tienen un costo adicional y requieren más espacio para su instalación, por lo que la decisión de utilizar un seguidor solar debe evaluarse cuidadosamente en función de la rentabilidad y las necesidades energéticas del proyecto.

Hipótesis específica 3

Para contrastar la hipótesis específica 3 la cual es “Optimizar los generadores fotovoltaicos a través de un seguidor solar, es aprovechar la mayor cantidad de radiación solar, para cubrir la demanda Necesaria que se requiera en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020” esta se comprueba mediante los datos obtenidos los cuales nos permiten ver que para lograr el óptimo aprovechamiento de la energía solar y el mejor rendimiento de los generadores fotovoltaicos, es necesario considerar varios factores, como la ubicación geográfica, la orientación de los paneles solares, la inclinación y el tamaño de los paneles, así como el uso de tecnologías avanzadas, como los inversores de alta eficiencia y los sistemas de almacenamiento de energía.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

En la tesis presentada por García Reyes y Peñate Santos (2016) la cual planteó como objetivo construir un sistema de seguimiento solar de eje horizontal y evaluar su aporte en la generación fotovoltaica. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que la implementación del seguidor solar se logra un incremento significativo en la generación de energía eléctrica, obteniendo un aumento del 38% en un día soleado con respecto a los sistemas fijos, sin embargo, en un día nublado se registró un incremento del 18% esto se debe a que la radiación difusa es mayor que la radiación directa en días nublados, que es la que se busca aprovechar con el seguimiento solar y El software empleado en el sistema de control, resulto ser muy versátil, este permite configurar los rangos de movimiento del seguidor solar, y es utilizable en sistemas de seguimiento

tanto de eje horizontal como en seguidores solares de eje inclinado con los mismos resultados, los cálculos a realizar en el algoritmo se desarrollan a partir de datos adquiridos de un GPS, (hora, fecha, latitud), esto hace que el seguimiento sea preciso, porque el sistema de control realiza el cálculo de ω (ángulo hora solar), constantemente a lo largo del día. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación en la cual la principal ventaja de los seguidores solares es que pueden seguir la posición del sol durante todo el día, lo que significa que los paneles solares están constantemente recibiendo la cantidad máxima de luz solar disponible. Esto puede aumentar significativamente la cantidad de energía que se puede recolectar y mejorar la eficiencia del sistema.

En la investigación realizada por Escobar Mejía, Holguín Londoño y Osorio R. (2010) la cual tuvo como objetivo presentar el desarrollo e implementación de un prototipo que permite realizar el seguimiento de la trayectoria solar. Las conclusiones a las que se llegaron fueron que el prototipo construido cumple con las características requeridas de seguimiento en un solo eje, realizando el seguimiento azimutal del sol, el sistema presenta una alta resolución de entrada que le permite muestrear de forma satisfactoria la señal de voltaje proveniente de los sensores y de esta manera reaccionar adecuadamente ante mínimos cambios de luminosidad y el tiempo de respuesta del dispositivo (movimiento del motor) puede ser modificado desde el algoritmo de seguimiento, de esta manera aumentar o disminuir el torque del motor. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación ya que puede convertir la mayor cantidad posible de la energía solar en electricidad, minimizando las pérdidas de energía en el proceso, para lograr un sistema fotovoltaico eficiente, se deben considerar factores como la selección de los paneles solares adecuados, la ubicación y orientación, el mantenimiento regular, el uso de tecnologías avanzadas y el monitoreo del rendimiento.

En la investigación realiza por Miranda Escobar (2016) la cual tuvo como objetivo desarrollar y aplicar metodologías confiables para proyectos de centrales fotovoltaicas de baja potencia y aplicarlos a viviendas típicas

ubicadas en diversas ciudades del país. Los resultados obtenidos fueron que es más conveniente utilizar paneles policristalinos para generar energía por sobre los monocristalinos, debido a que sus costos son menores, y la eficiencia de ambos tipos es parecida (15,4% monocristalinos y 14,14% policristalinos). Sin embargo, se debe considerar que el costo de los paneles es una variable muy volátil, que depende de las eventuales ofertas que existan en el mercado y se podría dar que exista una oferta temporal en que los paneles monocristalinos resulten más económicos que los policristalinos y entonces, el proyecto con paneles monocristalinos sea más rentable. Esto se ve reflejado de manera similar en nuestra investigación en la cual el sistema de seguimiento en un eje difiere de los otros sistemas, porque los datos de entrada al modelo de radiación son el resultado del algoritmo de seguimiento, en este caso recibe más radiación solar para su seguimiento. En otro aspecto, se observan los resultados de la energía en la salida del conjunto de convertidores de potencia en AC, en ella se observa una relación lineal entre la potencia de entrada y la corriente de salida en AC. También se puede ver que el PVS3 tiene una producción de energía más alta comparativamente alrededor del 12% presentando la misma cantidad de paneles solares, lo que también se refleja en la salida de CA del inversor.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

En este estudio se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones éticas: Analizar sus propios argumentos y aspectos que prefieren.

Se mantiene la confidencialidad ya que se mantienen las identidades individuales y los controles de privacidad para cada persona que participa y se ofrece como voluntario en la encuesta.

Autenticidad, todos los planteamientos, procedimientos y resultados de este trabajo derivan del sistema eléctrico de Cañete, por lo que bajo ninguna circunstancia copio o plagio las ideas de otros autores
Responsabilidad: Asumir toda la responsabilidad por la investigación.

VII. CONCLUSIONES

Si queremos generar más energía mayor energía con nuestros módulos fotovoltaicos y, por tanto, ser más eficiente permitir que nuestros paneles dispongan de seguidores solares es una buena idea. Y puesto a introducir capacidad de seguimiento lo ideal es dotar a nuestros paneles de un eje de libertad para así extraer la máxima potencia a lo largo del día.

Mediante herramientas de modelado y simulación hemos podido observar el comportamiento de los diferentes elementos de la generación fotovoltaica que participan en sistemas OFFGRID, o sistemas aislados, con resultados similares a su comportamiento original. El error de medida con respecto al modelado es inferior al 4%, lo que garantiza una excelente referencia para el sistema modelado. Algunas especificaciones del equipamiento básico se han relacionado directamente con el modelo, aunque también hay que tener en cuenta otros factores que alteran su normal comportamiento. El uso de valores y datos reales pueden aproximarse en gran medida a un modelo real, observar sus parámetros y valores más influyentes implica un mejor conocimiento en el área de estudio.

Para validar los modelos propuestos se utilizaron los datos obtenidos de la estación meteorológica PUERTO INCA, ubicado en la provincia de Puerto Inca, dicho estudio corresponde a un día, los valores obtenidos de radiación solar se representan en $\left(\frac{W}{m^2}\right)$, y temperatura en $(^{\circ}C)$.

Tener un sistema con seguimiento solar es aprovechar al máximo las variaciones de la radiación solar directa existentes, con ello conseguir mayores valores de generación de corriente eléctrica, así mismo mayores valores de máximas potencias generadas.

Por tanto, contar con la tecnología de seguidor solar nos permitiría generar una potencia máxima hasta $4.54kw$, en comparación con el sistema fotovoltaico fijo de tecnología monocristalino y policristalino que generan una potencia máxima de generación de $4.43kw$ y $4.22kw$ respectivamente.

VIII. RECOMENDACIONES

Para mejorar el rendimiento de los generadores fotovoltaico instalados en un sistema fijo, se recomienda usar seguidores solares en un eje debido a que ofrecen un impulso en la producción de electricidad, generalmente un aumento del rendimiento de entre 25 y 35%.

Para corregir los problemas que se presentan durante los días nublados se recomienda ensayar un sistema híbrido de control, con posicionamiento inicial mediante cálculo de posición solar a través de un modelo matemático ajustado utilizando la programación astronómica con GPS.

Al momento de usar el V-Realm Builder, se recomienda primero crear un fondo en la cual se podrá definir muchos modelos siguiendo una estructura jerárquica compuesta por padres e hijos.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUDELO Arias, Héctor David; DELGADO Arroyo, Lubin y ARISTIZÁBAL Cardona, Andrés Julián. Evaluación del potencial de generación fotovoltaica en la ciudad de Quibdó, Chocó. Revista Elementos [en línea]. 2016, vol. 6, n. 6 [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2020], pp.109-123. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15765/e.v6i6.839>.
- CAMACHO Narváez, Elder Armando. Sistema de generación fotovoltaica para suministrar energía eléctrica al Caserío el Higuierón, distrito de Pampas de Hospital, Tumbes. Tesis (para obtener el título profesional de ingeniero Mecánico Electricista). Chiclayo: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2019. 103 pp.
- CHAPOÑAN Cuzo, Alex Joel. Dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico aislado para suministrar energía eléctrica a la localidad de cruz de Pañala-Morrope-Lambayeque. Tesis (para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista). Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, 2018. 249 pp.
- Decreto Legislativo N° 1002, Promoción de la Inversión Privada para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables, 2 de mayo de 2008.
- Decreto Supremo N° 012-2011-EM, Generación de Electricidad con Energías Renovables, 23 de marzo en 2011.
- Decreto Supremo N° 020-2013-EM, Promoción de la Inversión Eléctrica en Áreas no conectadas a Red, 2 de mayo de 2008.
- Decreto Supremo N° 064-2010-EM, Política energética nacional del Perú 2010-2040, 24 de noviembre de 2010.
- ESCOBAR Mejía, Andrés; Holguín Londoño, Mauricio y OSORIO R., Carlos. Diseño e implementación de un seguidor solar para la optimización de un sistema fotovoltaico. Scientia et Technica [en línea]. 2010, vol. 1, n. 44 [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2020], pp. 245-250. Disponible en: <https://doi.org/10.22517/23447214.1841>. ISSN 0122-1701
- GARCÍA Reyes, Pedro David y PEÑATE Santos, Rafael Antonio. Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución. Trabajo de graduación (para optar el título de ingeniero electricista). San Salvador: Universidad del Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2016. 181 pp.
- HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto; FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, María del Pilar. Definición conceptual o constitutiva.

2014. En su: Metodología de la Investigación. 6a ed. México:McGraw-Hill, 119-125. ISBN: 978-607-15-0291-9.

- Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas. Lima, Perú, 19 de setiembre de 1992.
- Ley N° 28546, Ley de Promoción y Utilización de Recursos Energéticos Renovables no Convencionales en Zonas Rurales Aisladas y de Frontera del País, 16 de junio de 2005.
- Ley N° 28749, ley general de electrificación rural, 23 de septiembre de 2015.
- Ley N° 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la generación eléctrica, 23 de julio de 2006.
- MAYTA Roque, Carlos Alberto. Protección del sistema eléctrico de distribución y su efecto en la calidad de producto del servicio de energía en el alimentador A4502 de la unidad del valle del Mantaro. Tesis (para optar el título Profesional de Ingeniero Electricista). Huancayo: Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, 2019. 129 pp.
- MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE. Guía de operación y mantenimiento de Sistemas fotovoltaicos. Santiago de Chile, 2018. 115 pp.
- MIRANDA Escobar, Millaray Alejandra. Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la ley N° 20.571. Tesis (para optar el título de ingeniería civil eléctrica). Santiago de Chile: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2016. 76 pp.
- Norma Técnica EM.010. Instalaciones eléctricas interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima. 12 de marzo del 2019
- Norma Técnica Peruana 399.400.2001, Colectores Solares. Método de ensayo para determinar la eficiencia de los colectores solares, 31 de octubre de 2001.
- Norma Técnica Peruana 399.403.2006, Sistemas Fovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y método para calificación energética, 4 de febrero de 2006.
- OSINERGMIN. Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011), 2012. 15 de marzo de 2012.
- OSINERGMIN. Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética. Lima, 2019. 143 pp. ISBN 978-612-47350-6-6.
- SAGUA Mamani, Wilmer. Análisis y modelamiento para un módulo fotovoltaico, basado en un sistema de generación de energía renovable Microgrid en la ciudad de Puno. Tesis (para optar el título profesional de

Ingeniero Electrónico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, 2017. 124 pp.

- VARGAS Gálvez, Santiago Alejandro. Optimo dimensionamiento y ubicación de generación fotovoltaica en una Microred georreferenciada utilizando generación de columnas. Trabajo de titulación (para obtener el título de Ingeniero Eléctrico). Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2020. 47 pp.
- VELÁSQUEZ Cruz, Arturo Gerardo. Diseño y análisis mediante software ETAP de una instalación fotovoltaica de generación distribuida en la red de distribución para autoconsumo de la UCSM en Arequipa. Tesis (para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, 2020. 426 pp.
- ISO 14224. Industrias del petróleo, petroquímica y del gas natural: recopilación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos, 2016.
- PERPIÑAN Lamigueiro, Oscar. Energía Solar Fotovoltaica. España: Creative Commons, 2018. 186 pp.
- ABELLA, Miguel Alonso. Sistemas Fotovoltaicos. Madrid: CIEMAT, 2005. 59 pp.
- GARCÍA Serrano, Juan Carlos. Proyecto de SFCR 20kWac sobre cubierta de una nave industrial. Universidad Internacional de Andalucía, Madrid: Creative Commons, 2016. 123 pp. ISBN 978-84-7993-733-1
- MARSAL, Ana de Erausquin. Calidad del suministro eléctrico. Tesis (Título profesional en Ingeniería en Tecnologías Industriales). Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, 2020. 43 pp.
- MILLAN Hernández, John Jairo. Método de optimización aplicados, 2017.
- PINOCHET Pino, Gabriel Esteban y MONTECINO Zambrano, Ciro Bernardo. Movimiento Automático de un sistema fotovoltaico mediante PLC, 2018.
- REYES Ángeles, Elizabeth Cristina. Propuesta de uso de energía solar para el suministro de energía eléctrica y mejora de la eficiencia en la universidad ESAN, 2019.

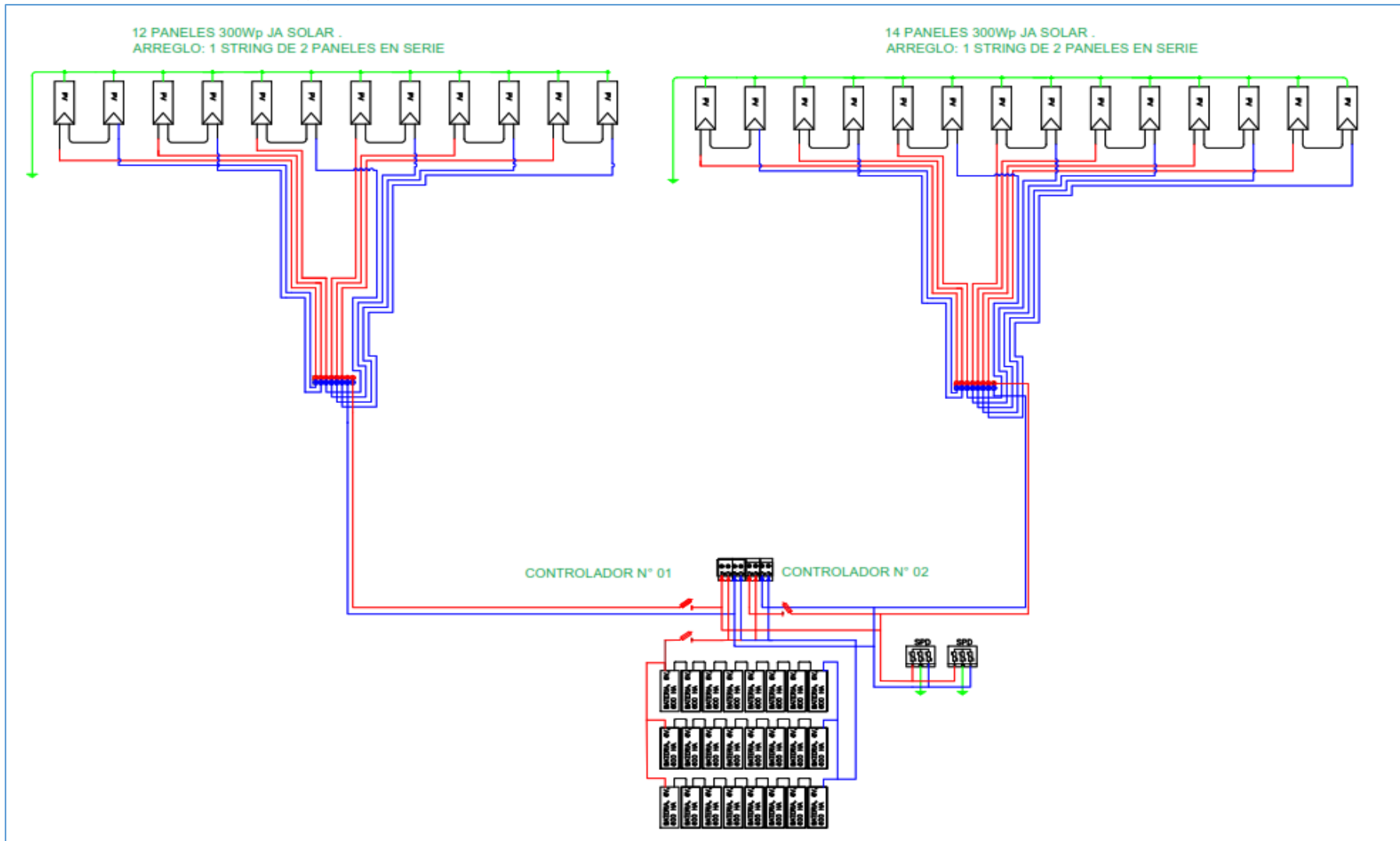
ANEXOS

Anexo N° 01: Matriz De Consistencia

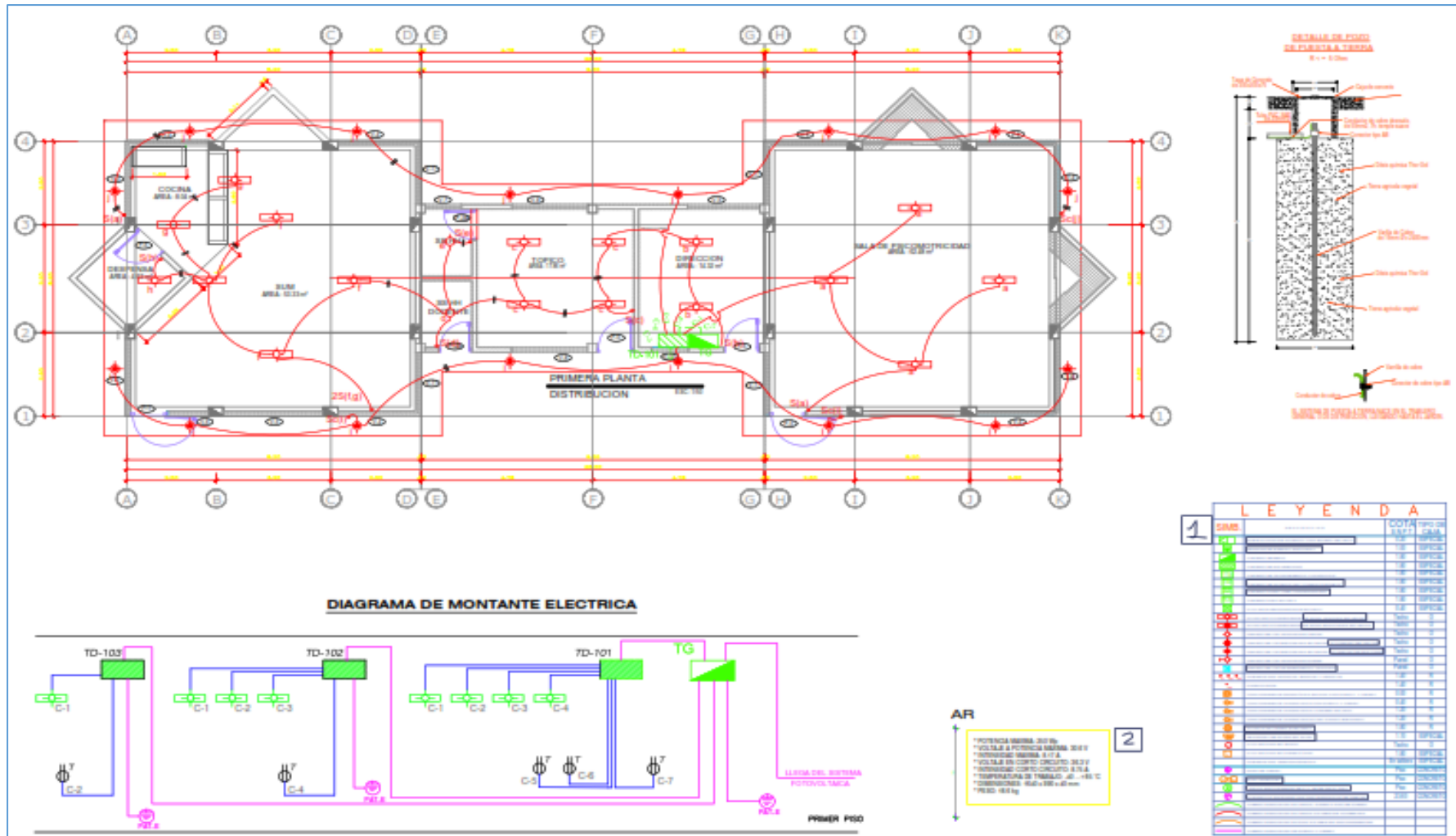
TEMA: OPTIMIZACIÓN DE LA GENERACIÓN FOTOVOLTAICA A TRAVÉS DE UN SEGUIDOR SOLAR PARA EL SUMINISTRO ELÉCTRICO EN LOS CENTROS EDUCATIVOS DE LA ZONA CENTRO DEL PERÚ-2020

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
General:	General:	General:				
¿De qué manera influye el seguidor solar de la generación fotovoltaica en el suministro eléctrico de los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?	Determinar la influencia del seguidor solar de la generación fotovoltaica en el suministro eléctrico de los centros educativos de la zona centro del Perú-2020	El seguidor solar de la generación fotovoltaica influye significativamente en el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020.	Variable Independiente Generación fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Posición Azimutal del generador fotovoltaica ✓ Posición de elevación del generador fotovoltaica ✓ Condiciones físicas de la Irradiancia ✓ Condiciones físicas de la Temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Angulo de azimut en grados sexagesimales °C. ✓ Angulo de elevación en grados sexagesimales °C. ✓ Medir la irradiancia en w/m^2 ✓ Medir la temperatura en °C. 	<p style="text-align: center;">TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <p style="text-align: center;">:</p> <p style="text-align: center;">Explicativo - Demostrativo</p> <p style="text-align: center;">DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</p> <p style="text-align: center;">No Experimental</p> <p style="text-align: center;">POBLACIÓN</p> <p style="text-align: center;">Está conformada por 6 centros educativos de la zona centro del Perú-2020</p> <p style="text-align: center;">MUESTRA</p> <p style="text-align: center;">Se tomó como Muestra la Institución Educativa NEVATI</p>
Específicos:	Específicos:	Específicos:				
¿Qué parámetros son requeridos para el dimensionamiento de un seguidor solar en la optimización de la generación fotovoltaica para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?	Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico de auto posicionamiento para optimizar el suministro eléctrico en la Institución Educativa NEVATI.	La generación fotovoltaica a través de un seguidor garantiza el suministro de energía eléctrica en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020	Variable Dependiente Suministro eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Intensidad de Corriente eléctrica generada ✓ Tensión Generada ✓ Potencia Generada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Medir la intensidad de corriente generada en Ampere. ✓ Medir el voltaje generada en Voltio. ✓ Medir la potencia en Vatio 	
¿Qué tecnología será la más adecuada para la optimización de la generación fotovoltaica para el suministro eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?	Diseñar el circuito de control, que permita generar las señales de control que requieren los actuadores para orientar los generadores fotovoltaicos.	Optimizar el generador fotovoltaico mediante un seguidor solar, mejora la potencia generada.				
¿De qué manera el proyecto tendrá una aplicación para el óptimo aprovechamiento de la energía solar para el mejor rendimiento eléctrico en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020?	Determinar el análisis económico de la instalación de un sistema fotovoltaico a través de un seguidor solar en la Institución Educativa NEVATI.	Optimizar los generadores fotovoltaicos a través de un seguidor solar, es aprovechar la mayor cantidad de radiación solar, para cubrir la demanda Necesaria que se requiera en los centros educativos de la zona centro del Perú-2020.				

Anexo N° 02. Diagrama Unifilar De La Instalación Fotovoltaica En La Institución Educativa Nevati.



Anexo N° 03. Espacio Disponible Para La Instalación Fotovoltaica En La Institución Nevati



Anexo N° 04. Cuadro De Cargas De La Institución Educativa Nevati

CUADRO DE CARGAS ELECTRICAS - DIMENSIONAMIENTOS DE CONDUCTORES POR CIRCUITOS

BLOQUE	PISOS	CKTO	DESCRIPCION	CANT.	C/U en W	POT. INST. kW.	F.D.	DEM. MAX. kW.	$I = MD / (K * V * \cos \phi)$	K	I diseño (Amp)	K"	LONG	SECCION ELEGIDA	$\Delta V = K'' * I * \phi * L / S < 2.00\%$	LLAVE TERMOM.	CONDUCTOR ALIMENTADOR - CABLE	TG	
ADMINISTRACION	TABLERO TD-01	C-1	ALUMBRADO	4.00	40.00	0.16	100%	0.16	0.81	1.00	1.01	2.00	26.35	2.50	0.37	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	TABLERO GENERAL
		C-2	ALUMBRADO	15.00	40.00	0.60	100%	0.60	3.03	1.00	3.79	2.00	21.80	2.50	1.16	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	
		C-3	ALUMBRADO	8.00	20.00	0.16	100%	0.16	0.81	1.00	1.01	2.00	30.20	2.50	0.43	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	
		C-4	ALUMBRADO	8.00	20.00	0.16	100%	0.16	0.81	1.00	1.01	2.00	30.20	2.50	0.43	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 15 mm Ø PVC-SAP	
		C-5	TOMACORRIENTES COMERCIALES	11.00	50.00	0.55	100%	0.55	2.78	1.00	3.48	2.00	25.80	4.00	0.78	<2.0% -- OK	2X20 AMP.	(2-1 x 4.0 + 1 x 4.0-T) mm2 LSOH- 20 mm Ø PVC-SAP	
		C-6	TOMACORRIENTES COMERCIALES	3.00	50.00	0.15	100%	0.15	0.76	1.00	0.95	2.00	30.20	4.00	0.25	<2.0% -- OK	2X20 AMP.	(2-1 x 4.0 + 1 x 4.0-T) mm2 LSOH- 20 mm Ø PVC-SAP	
		C-7	TOMACORRIENTES COMERCIALES	5.00	50.00	0.25	100%	0.25	1.26	1.00	1.58	2.00	19.50	4.00	0.27	<2.0% -- OK	2X20 AMP.	(2-1 x 4.0 + 1 x 4.0-T) mm2 LSOH- 20 mm Ø PVC-SAP	
AULAS	TABLERO TD-02	C-1	ALUMBRADO	12.00	40.00	0.48	100%	0.48	2.42	1.00	3.03	2.00	21.30	2.50	0.90	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	TABLERO GENERAL
		C-2	ALUMBRADO	8.00	40.00	0.32	100%	0.32	1.62	1.00	2.03	2.00	30.50	2.50	0.86	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	
		C-3	ALUMBRADO	8.00	20.00	0.16	100%	0.16	0.81	1.00	1.01	2.00	21.70	2.50	0.31	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	
		C-4	TOMACORRIENTES COMERCIALES	10.00	50.00	0.50	100%	0.50	2.53	1.00	3.16	2.00	20.80	4.00	0.58	<2.0% -- OK	2X20 AMP.	(2-1 x 4.0 + 1 x 4.0-T) mm2 LSOH- 20 mm Ø PVC-SAP	
VIVIE NDA	TABLERO TD-03	C-1	ALUMBRADO	10.00	40.00	0.40	100%	0.40	2.02	1.00	2.53	2.00	27.40	2.50	0.97	<2.0% -- OK	2x15 AMP.	(2-1 x 2.5 + 1x2.5-T)mm2 LSOH - 20 mm Ø PVC-SAP	TABLERO GENERAL
		C-2	TOMACORRIENTES COMERCIALES	7.00	50.00	0.35	100%	0.35	1.77	1.00	2.21	2.00	19.80	4.00	0.38	<2.0% -- OK	2X20 AMP.	(2-1 x 4.0 + 1 x 4.0-T) mm2 LSOH- 20 mm Ø PVC-SAP	

Anexo N° 05. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico
utilizando el software PV syst 7.2

PVsyst - Informe de simulación

Sistema independiente

Proyecto: CCNN NEVATI-TESIS

Variante: Nueva variante de simulación

Sistema independiente con baterías

Potencia del sistema: 7.80 kWp

Nevati - Perú

Autor(a)

CAL.FCO BOLOGNESI 295 MZA. A2 LOTE
24 SAN MARTIN DE PORRES-LIMA-LIMA

31

Perú



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Resumen del proyecto

Sitio geográfico	Situación	Configuración del proyecto
Nevati	Latitud -10.36 °S	Albedo 0.20
Perú	Longitud -74.84 °W	
	Altitud 269 m	
	Zona horaria UTC-5	
Datos meteo		
Nevati		
Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético		

Resumen del sistema

Sistema independiente	Sistema independiente con baterías	
Orientación campo FV	Sombreados cercanos	Necesidades del usuario
Plano fijo	Según las cadenas	Consumidores domésticos diarios
Inclinación/Azimut 20 / 10 °	Efecto eléctrico 100 %	Especificaciones mensuales
		Promedio 21.9 kWh/Día
Información del sistema		
Generador FV	Paquete de baterías	
Núm. de módulos 26 unidades	Tecnología Plomo-ácido, sellado, placas	
Pnom total 7.80 kWp	Núm. de unidades 24 unidades	
	Voltaje 48 V	
	Capacidad 1701 Ah	

Resumen de resultados

Energía solar utilizable 7992.41 kWh/año	Producción específica 1025 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR 49.91 %
Energía faltante 0.00 kWh/año	Energía solar disponible 12341.52 kWh/año	Fracción solar (SF) 100.00 %
Exceso (sin usar) 2911.44 kWh/año		

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema.	3
Definición del horizonte	5
Definición del sombreado cercano - Diagrama de iso-sombreados	6
Necesidades detalladas del usuario	7
Resultados principales	11
Diagrama de pérdida	12
Gráficos predefinidos	13
Costo del sistema	14
Análisis financiero	15



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Parámetros generales

Sistema independiente		Sistema independiente con baterías	
Orientación campo FV		Configuración de cobertizos	Modelos usados
Orientación			Transposición Perez
Plano fijo			Difuso Perez, Meteonorm
Inclinación/Azimut	20 / 10 °		Circunsolar separado
Horizonte		Sombreados cercanos	Necesidades del usuario
Altura promedio		Según las cadenas	Consumidores domésticos diarios
	6.0 °	Efecto eléctrico	Especificaciones mensuales
			Promedio
			21.9 kWh/Día

Características del generador FV

Módulo FV		Batería	
Fabricante	JA Solar	Fabricante	Rolls
Modelo	JAM6-72-300/SI	Modelo	6-CS-21PS
(Base de datos PVsyst original)		Tecnología	Plomo-ácido, sellado, placas
Unidad Nom. Potencia	300 Wp	Núm. de unidades	3 en paralelo x 8 en series
Número de módulos FV	26 unidades	Descarga mín. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	7.80 kWp	Energía almacenada	73.5 kWh
Módulos	13 Cadenas x 2 En series	Características del paquete de baterías	
En cond. de funcionam. (50°C)		Voltaje	48 V
Pmpp	7.00 kWp	Capacidad nominal	1701 Ah (C10)
U mpp	65 V	Temperatura	Fijo 20 °C
I mpp	107 A	Control de gestión de la batería	
Controlador		Comandos de umbral como	Voltaje de batería
Fabricante	Victron	Cargando	59.8 / 50.4 V
Modelo	SmartSolar MPPT 250/70 48V	SOC corresp.	0.96 / 0.80
Núm. de unidades	2 unidades	Descarga	44.4 / 48.4 V
Tecnología	Convertidor MPPT	SOC corresp.	0.08 / 0.35
Coef. temp.	-2.7 mV/°C/Elem.	Convertidor	
Potencia FV total		Eficiencias máxi y EURO	99.0 / 97.0 %
Nominal (STC)	8 kWp		
Total	26 módulos		
Área del módulo	50.4 m²		
Área celular	44.7 m²		

Pérdidas del conjunto

Pérdidas de suciedad del conjunto		Factor de pérdida térmica		Pérdidas de cableado CC	
Frac. de pérdida	1.4 %	Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	10 mΩ
		Uc (const)	29.0 W/m²K	Frac. de pérdida	1.5 % en STC
		Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s		
Pérdida diodos serie		Pérdida de calidad módulo		Pérdidas de desajuste de módulo	
Caída de tensión	0.7 V	Frac. de pérdida	-0.8 %	Frac. de pérdida	0.5 % en MPP
Frac. de pérdida	1.0 % en STC				
Pérdidas de desajuste de cadenas		Factor de pérdida IAM			
Frac. de pérdida	0.2 %	Parametriz. ASHRAE: IAM = 1 - bo (1/cosi -1)			
		Parám. bo	0.05		



PVsyst V7.4.0

VC0, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Pérdidas del conjunto

Corrección espectral

Modelo FirstSolar

Agua precipitable estimada a partir de la humedad relativa

Conjunto de coeficientes	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Monocrystalline Si	0.85914	-0.02088	-0.0058853	0.12029	0.026814	-0.001781



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Definición del horizonte

Línea de horizonte en Nevati

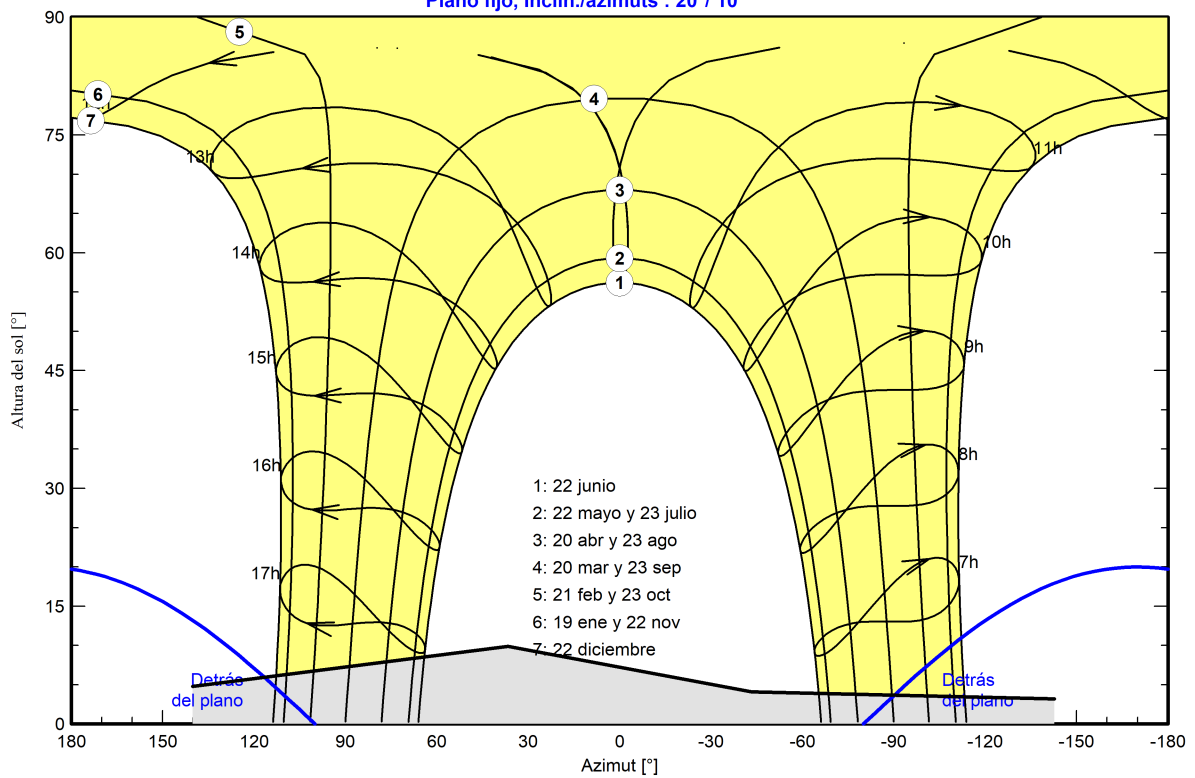
Altura promedio	6.0 °	Factor Albedo	0.62
Factor difuso	0.96	Fracción de albedo	100 %

Perfil del horizonte

Azimut [°]	-143	-43	37	140
Altura [°]	3.2	4.1	9.9	4.8

Recorridos solares (diagrama de altura / azimut)

Plano fijo, Inclín./azimuts : 20°/ 10°





PVsyst V7.4.0

VC0, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Parámetro de sombreados cercanos

Perspectiva del campo FV y la escena de sombreado circundante

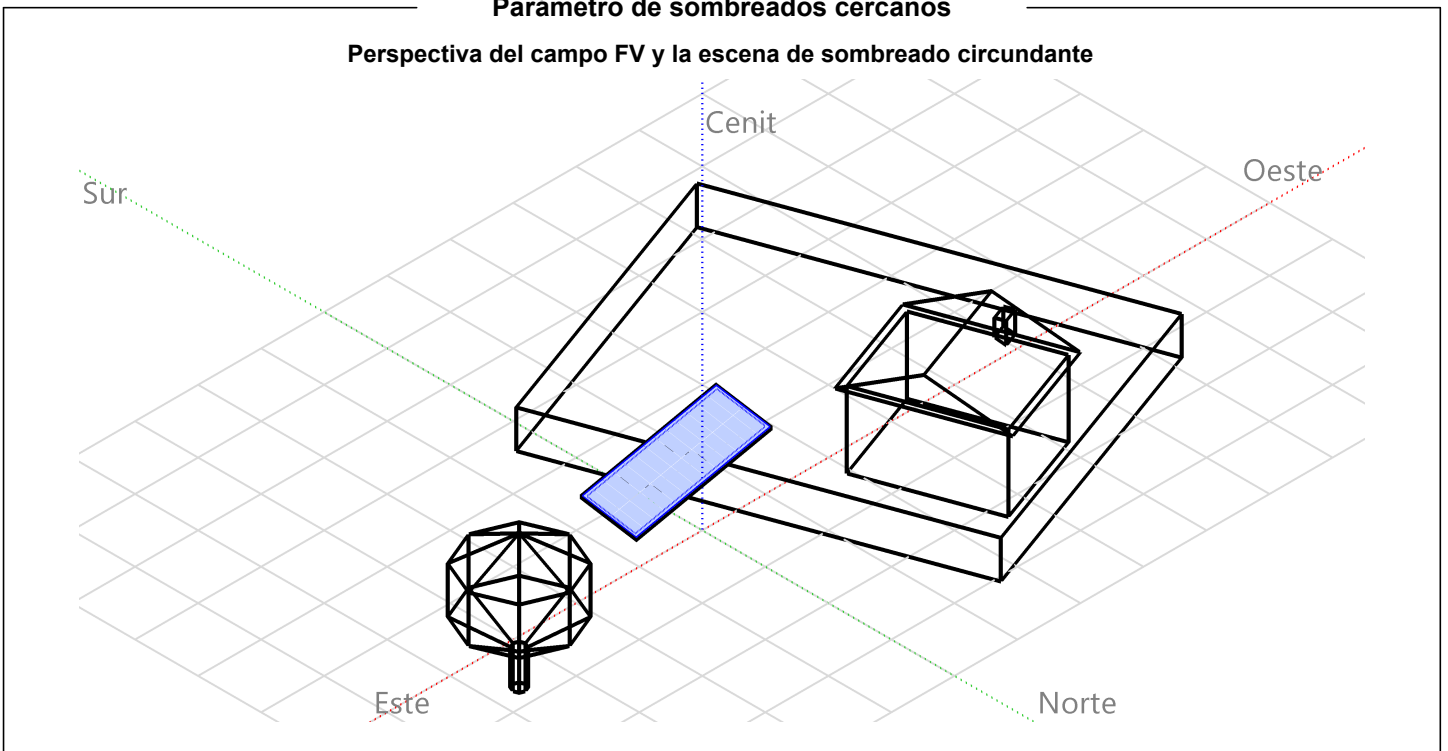
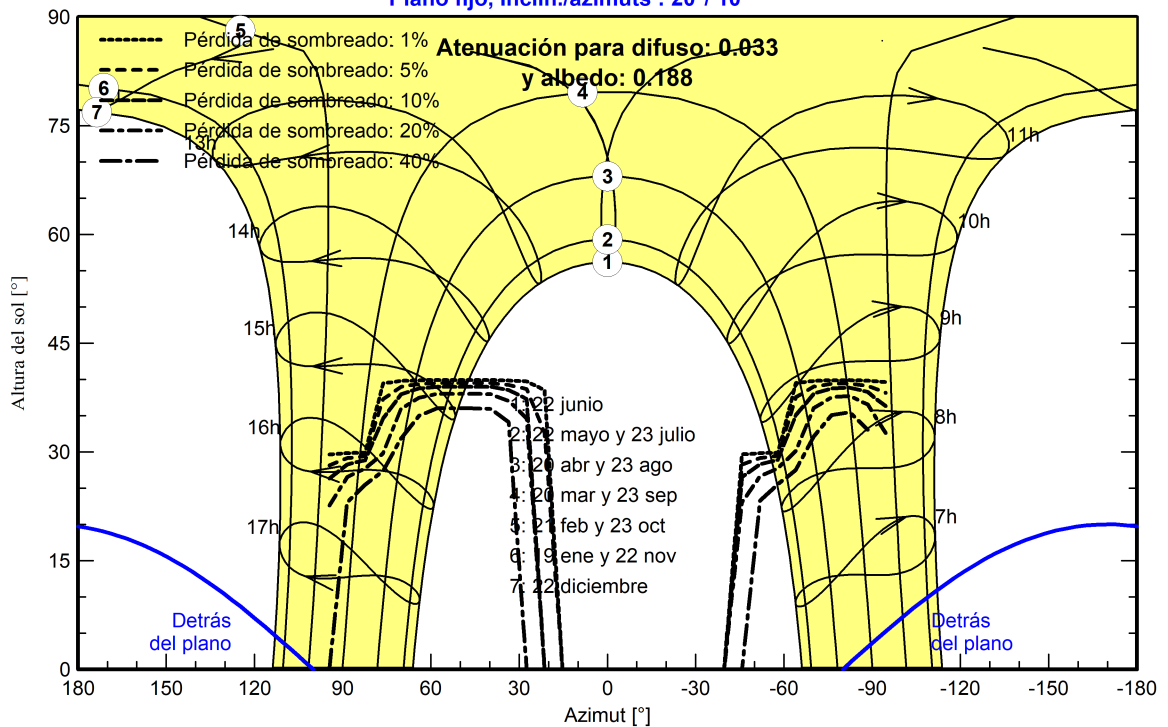


Diagrama de iso-sombreados

Orientación #1

Plano fijo, Incl./azimuts : 20°/ 10°





PVsyst V7.4.0

VC0, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Necesidades detalladas del usuario

Consumidores domésticos diarios, Especificaciones mensuales, promedio = 21.9 kWh/día

Enero y Febrero

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0, 7días/7	24			24.0, 7días/7	24
Energía diaria total				21897				21897

Marzo y Abril

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0, 7días/7	24			24.0, 7días/7	24
Energía diaria total				21897				21897

Mayo y Junio

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0, 7días/7	24			24.0, 7días/7	24
Energía diaria total				21897				21897



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Necesidades detalladas del usuario

Julio y Agosto

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0, 7días/7	24			24.0, 7días/7	24
Energía diaria total				21897				21897

Septiembre y Octubre

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0, 7días/7	24			24.0, 7días/7	24
Energía diaria total				21897				21897

Noviembre y Diciembre

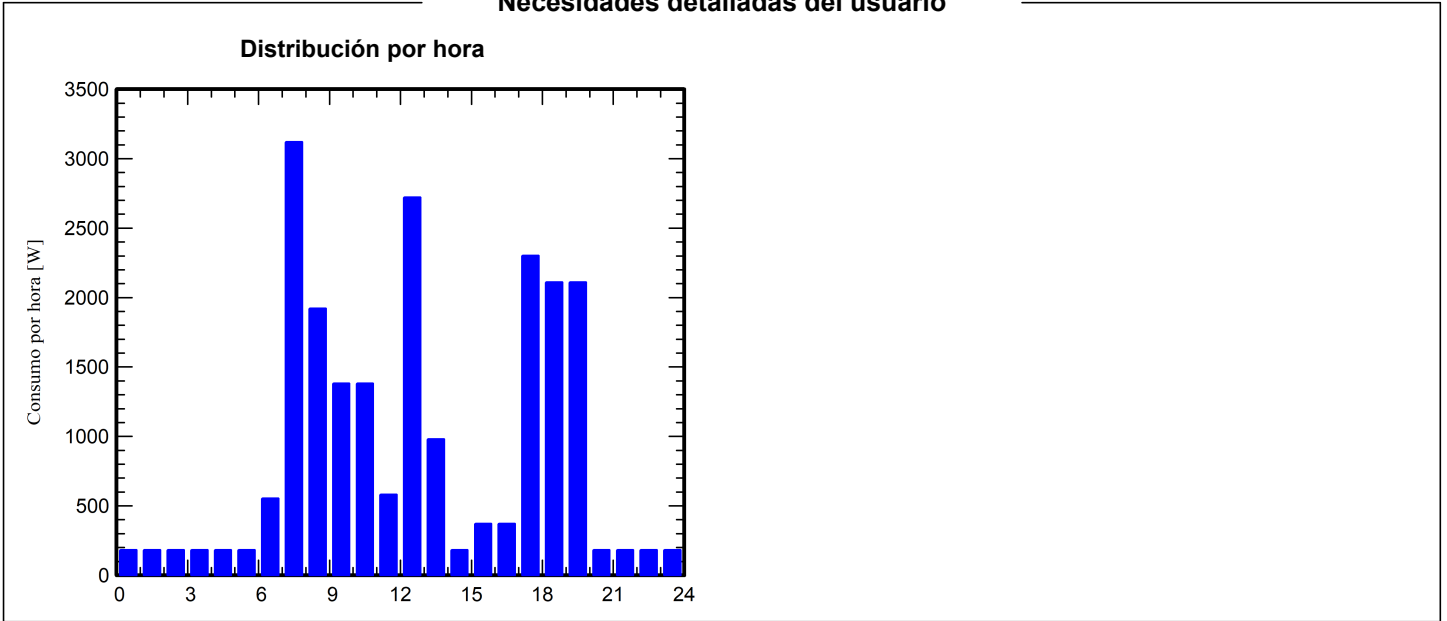
	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0, 7días/7	24			24.0, 7días/7	24
Energía diaria total				21897				21897



PVsyst V7.4.0

VC0, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Necesidades detalladas del usuario





PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Resultados principales

Producción del sistema

Energía solar utilizable 7992.41 kWh/año
Energía solar disponible 12341.52 kWh/año
Exceso (sin usar) 2911.44 kWh/año

Proporción rend. PR 49.91 %
Fracción solar (SF) 100.00 %

Pérdida de carga

Fracción de tiempo 0.0 %
Energía faltante 0.00 kWh/año

Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)

Ciclos SOW 93.9 %
SOW estático 93.3 %
Duración de vida de batería 15.0 años

Evaluación económica

Inversión

Global 23872.74 USD
Específico 3.06 USD/Wp

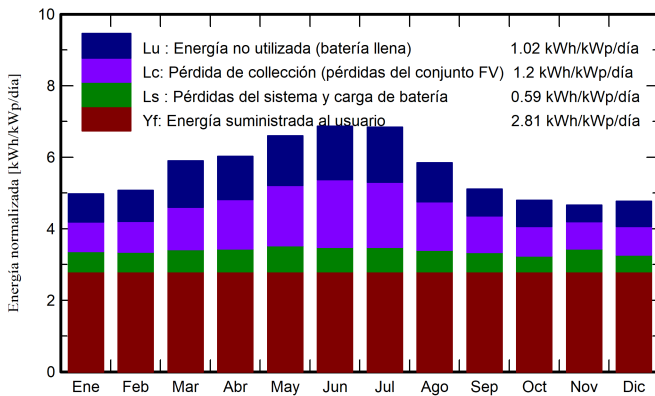
Costo anual

Anualidades 0.00 USD/año
Costos de func. 2000.00 USD/año
Período de recuperación 7.0 años

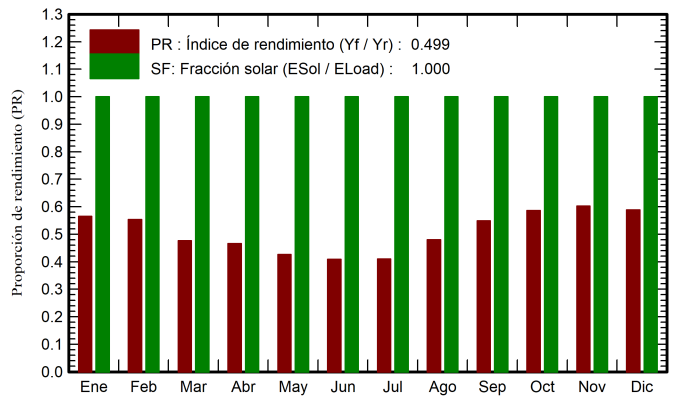
LCOE

Costo energético 0.25 USD/kWh

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	proporción
Enero	175.6	143.9	979	188.3	0.000	678.8	678.8	1.000
Febrero	150.9	133.1	900	187.5	0.000	613.1	613.1	1.000
Marzo	183.4	171.3	1118	312.0	0.000	678.8	678.8	1.000
Abril	168.5	170.2	1065	280.9	0.000	656.9	656.9	1.000
Mayo	176.7	191.6	1168	334.1	0.000	678.8	678.8	1.000
Junio	170.0	191.4	1147	349.4	0.000	656.9	656.9	1.000
Julio	178.9	198.8	1198	372.2	0.000	678.8	678.8	1.000
Agosto	164.4	170.8	1067	263.0	0.000	678.8	678.8	1.000
Septiembre	150.2	144.0	935	174.6	0.000	656.9	656.9	1.000
Octubre	156.8	139.0	936	173.9	0.000	678.8	678.8	1.000
Noviembre	154.8	129.5	889	105.6	0.000	656.9	656.9	1.000
Diciembre	170.6	137.1	939	169.9	0.000	678.8	678.8	1.000
Año	2001.0	1920.8	12342	2911.4	0.000	7992.4	7992.4	1.000

Leyendas

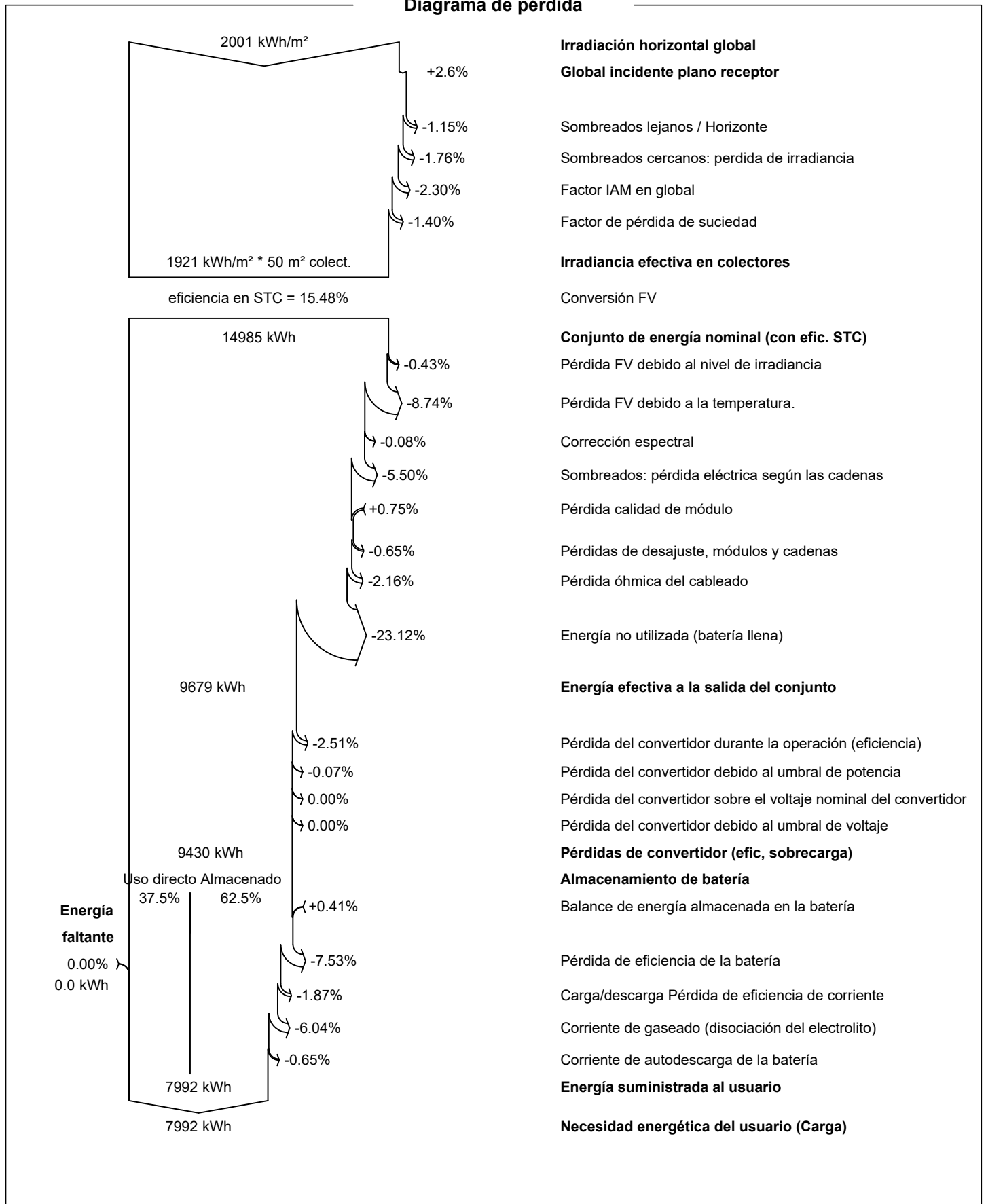
GlobHor Irradiación horizontal global
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 E_Avail Energía solar disponible
 EUnused Energía no utilizada (batería llena)
 E_Miss Energía faltante
 E_User Energía suministrada al usuario
 E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)
 SolFrac Fracción solar (EUtilizada / ECarga)



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Diagrama de pérdida





PVsyst V7.4.0

VC0, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Gráficos predefinidos

Distribución de irradiación incidente

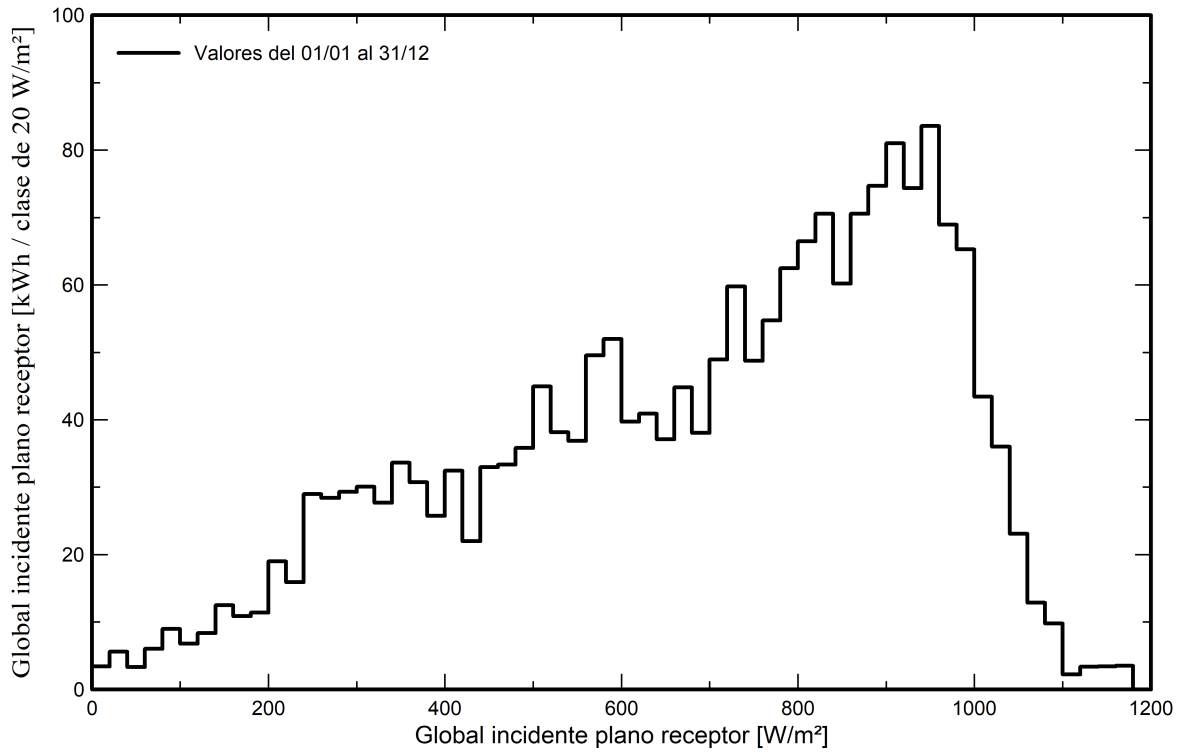
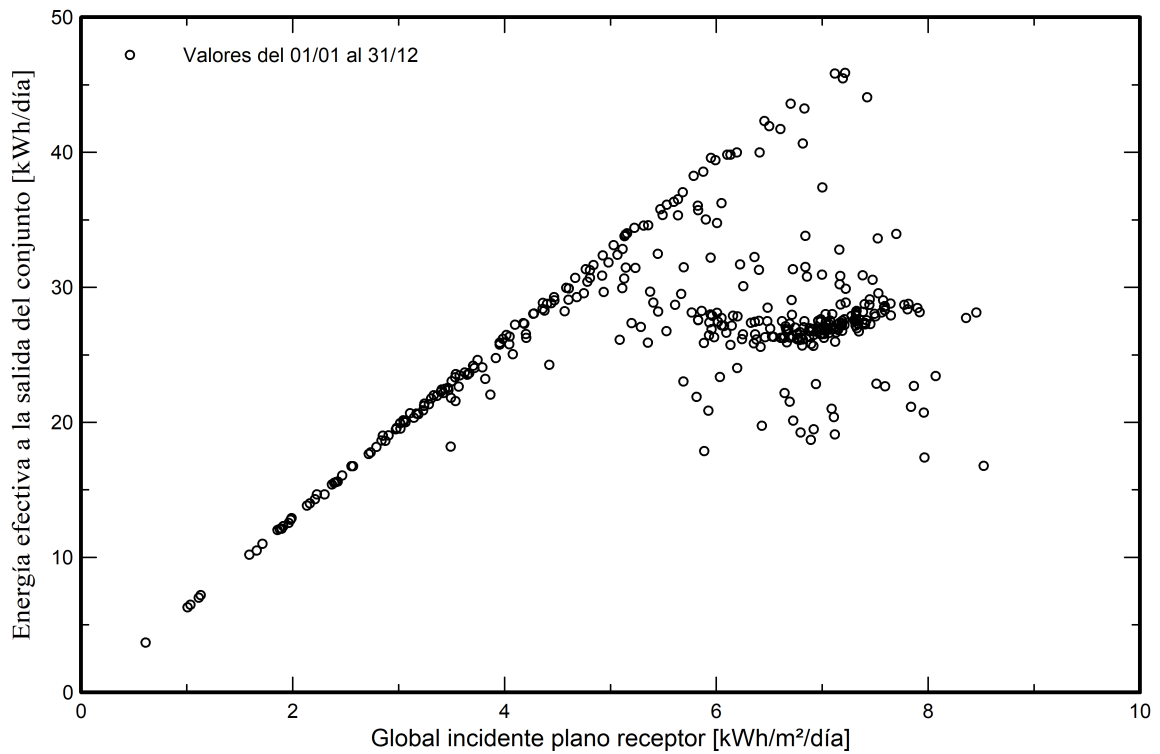


Diagrama entrada/salida diaria





PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Costo del sistema

Costes de instalación

Artículo	Cantidad unidades	Costo USD	Total USD
Módulos FV			
JAM6-72-300/SI	26	126.52	3289.52
Soportes para módulos	26	139.80	3634.80
Baterías	24	428.90	10293.60
Controladores	2	351.19	702.38
Otros componentes			
Accesorios, sujetadores	1	2582.13	2582.13
Cableado	1	265.31	265.31
Caja de conexiones	1	26.53	26.53
Pararrayos	1	351.19	351.19
Instalación			
Costo de instalación global por módulo	26	26.53	689.78
Costo de instalación global por inversor	2	26.53	53.06
Costo de instalación global por batería	24	5.31	127.44
Transporte	1	1857.00	1857.00
		Total	23872.74
		Activo amortizable	20502.43

Costos de operación

Artículo	Total USD/año
Mantenimiento	
Limpieza	2000.00
Total (OPEX)	2000.00

Resumen del sistema

Costo total de instalación	23872.74 USD
Costos de operación	2000.00 USD/año
Exceso de energía (batería llena)	2911 kWh/año
Energía solar usada	7992 kWh/año
Costo energético usado	0.370 USD/kWh



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Análisis financiero

Período de simulación

Vida del proyecto 25 años Año de inicio 2020

Variación del ingreso a lo largo del tiempo

Inflación 0.00 %/año
Variación de producción (envejecimiento) 0.00 %/año
Tasa de descuento 0.00 %/año

Activos amortizables

Activo	Método de amortización	Período de amortización (años)	Valor de rescate (USD)	Amortizable (USD)
Módulos FV				
JAM6-72-300/SI	Línea recta	25	0.00	3289.52
Soportes para módulos	Línea recta	25	0.00	3634.80
Baterías	Línea recta	25	0.00	10293.60
Controladores	Línea recta	25	0.00	702.38
Accesorios, sujetadores	Línea recta	20	0.00	2582.13
		Total	0.00	20502.43

Financiamiento

Fondos propios 23872.74 USD

Venta de electricidad

Tarifa de alimentación 0.6753 USD/kWh

Retorno de la inversión

Período de recuperación 7.0 años
Valor presente neto (VPN) 61065.44 USD
Tasa de rendimiento interno (TRI) 13.66 %
Retorno de la inversión (ROI) 255.8 %



PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Análisis financiero

Resultados económicos detallados (USD)

Año	Venta de electricidad	Fondos propios	Costos de func.	Subsidio de amortización	Ingreso imponible	Impuestos	Beneficio después de impuestos	Cumul impuestos	% amorti.
0	0	23873	0	0	0	0	0	-23873	0.0%
1	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-20475	14.2%
2	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-17078	28.5%
3	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-13680	42.7%
4	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-10283	56.9%
5	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-6885	71.2%
6	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-3488	85.4%
7	5398	0	2000	846	2552	0	3398	-90	99.6%
8	5398	0	2000	846	2552	0	3398	3307	113.9%
9	5398	0	2000	846	2552	0	3398	6705	128.1%
10	5398	0	2000	846	2552	0	3398	10103	142.3%
11	5398	0	2000	846	2552	0	3398	13500	156.6%
12	5398	0	2000	846	2552	0	3398	16898	170.8%
13	5398	0	2000	846	2552	0	3398	20295	185.0%
14	5398	0	2000	846	2552	0	3398	23693	199.2%
15	5398	0	2000	846	2552	0	3398	27090	213.5%
16	5398	0	2000	846	2552	0	3398	30488	227.7%
17	5398	0	2000	846	2552	0	3398	33885	241.9%
18	5398	0	2000	846	2552	0	3398	37283	256.2%
19	5398	0	2000	846	2552	0	3398	40680	270.4%
20	5398	0	2000	846	2552	0	3398	44078	284.6%
21	5398	0	2000	717	2681	0	3398	47475	298.9%
22	5398	0	2000	717	2681	0	3398	50873	313.1%
23	5398	0	2000	717	2681	0	3398	54270	327.3%
24	5398	0	2000	717	2681	0	3398	57668	341.6%
25	5398	0	2000	717	2681	0	3398	61065	355.8%
Total	134938	23873	50000	20502	64436	0	84938	61065	355.8%

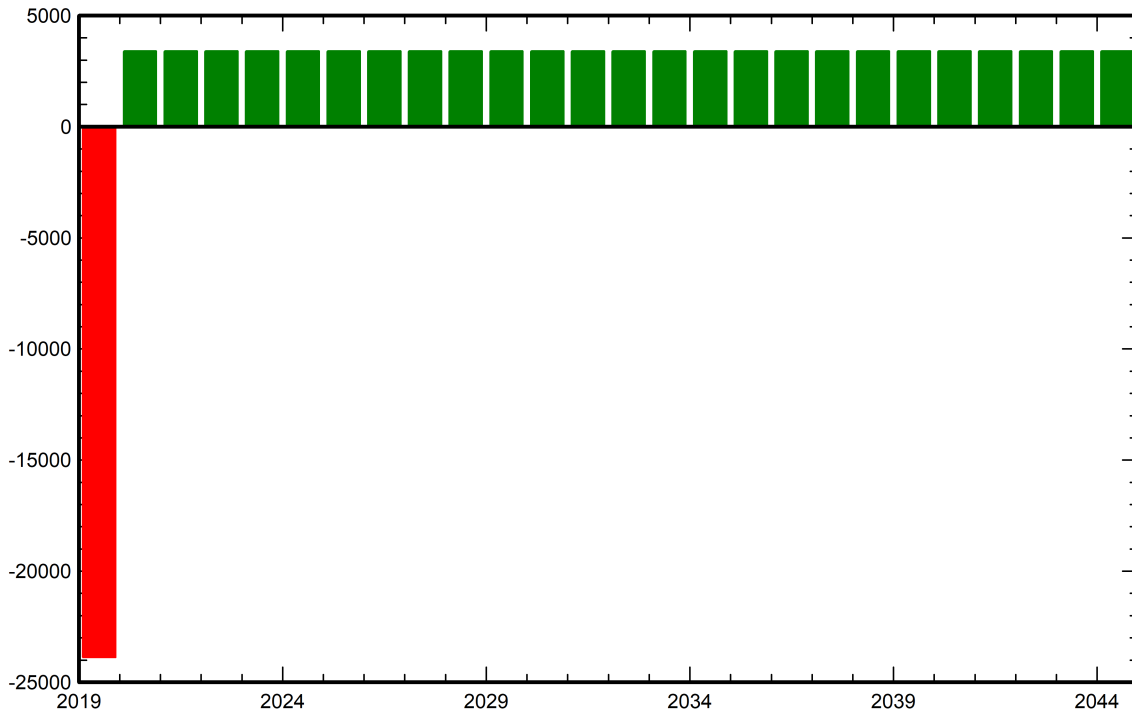


PVsyst V7.4.0

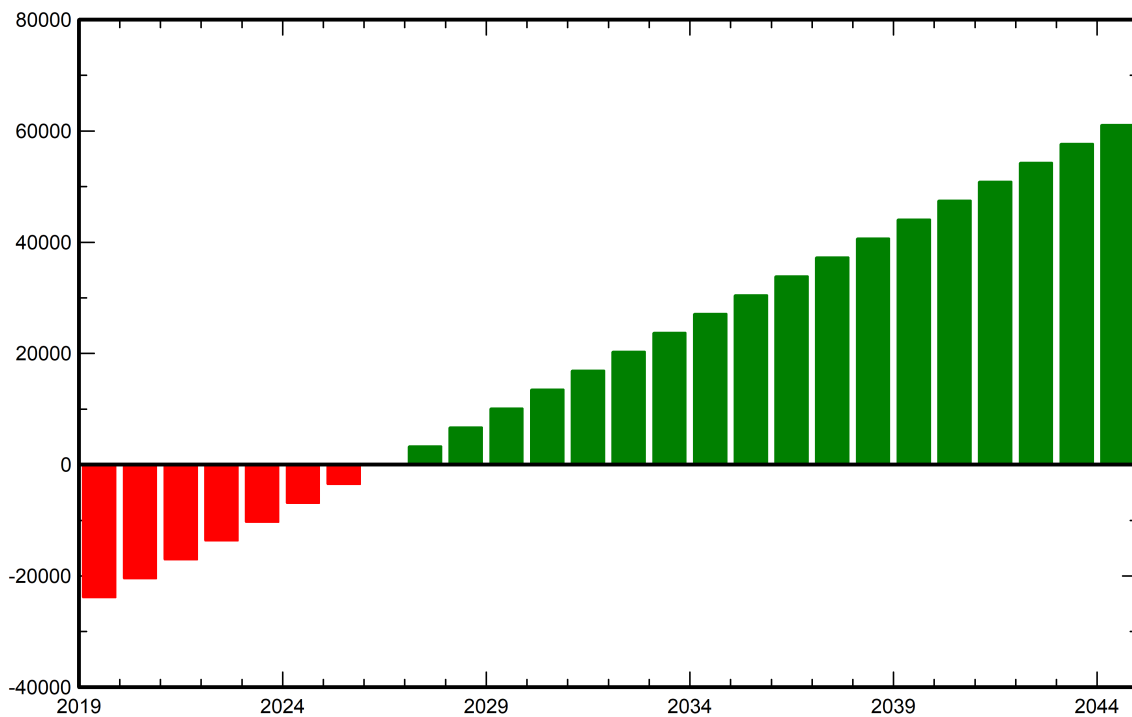
VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Análisis financiero

Beneficio neto anual (USD)



Flujo de caja acumulativo (USD)





Proyecto: Proyecto Tesis Seguimiento Solar

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Definición del horizonte

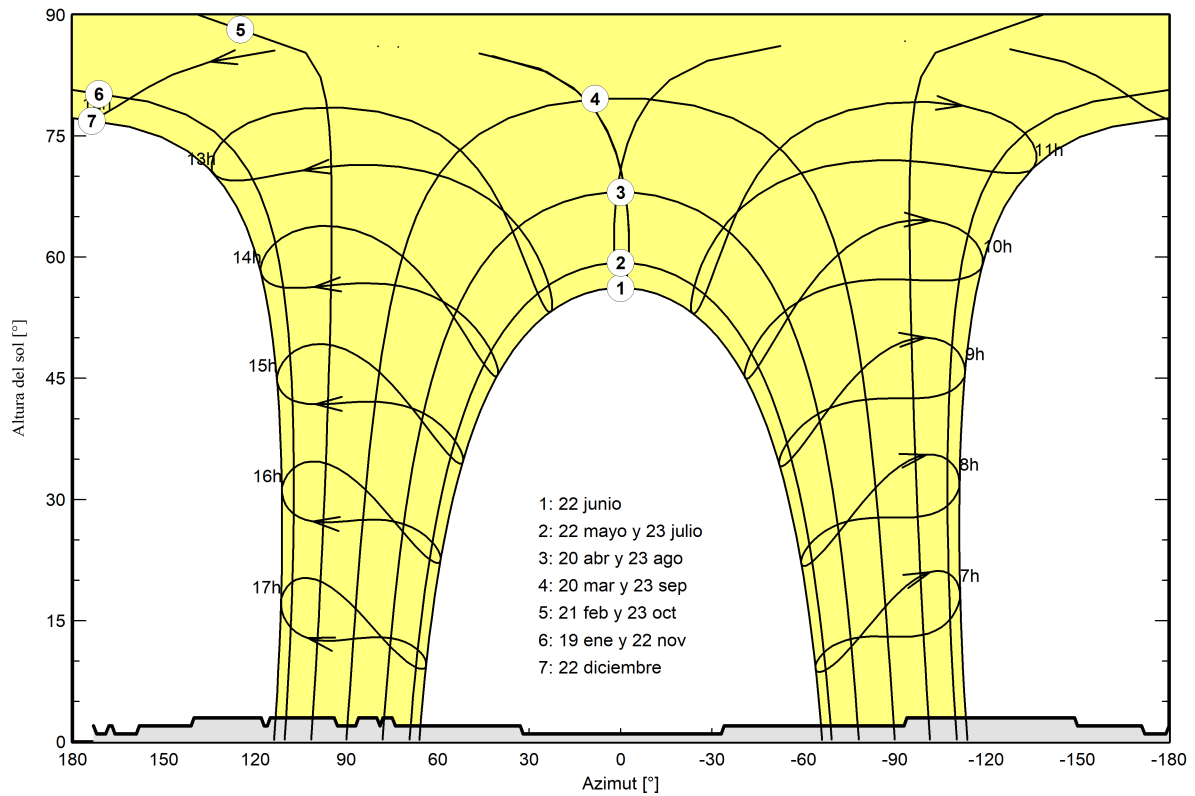
Horizonte del servicio web de Meteonorm, lat=-10.3636, lon=-74.8394

Altura promedio	2.1 °	Factor Albedo	0.00
Factor difuso	1.00	Fracción de albedo	100 %

Perfil del horizonte

Azimut [°]	-180	-179	-172	-171	-150	-149	-94	-93	-34	-33	0	1	32
Altura [°]	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Azimut [°]	33	74	75	78	79	80	86	87	93	94	115	116	117
Altura [°]	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0	3.0	3.0	2.0	2.0
Azimut [°]	118	140	141	158	159	166	167	168	169	172	173		
Altura [°]	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0		

Recorridos solares (diagrama de altura / azimut)





Proyecto: Proyecto Tesis Seguimiento Solar

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Necesidades detalladas del usuario

Consumidores domésticos diarios, Especificaciones mensuales, promedio = 21.9 kWh/día

Enero y Febrero

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0	24			24.0	24
Energía diaria total				21897				21897

Marzo y Abril

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0	24			24.0	24
Energía diaria total				21897				21897

Mayo y Junio

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0	24			24.0	24
Energía diaria total				21897				21897



Proyecto: Proyecto Tesis Seguimiento Solar

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Necesidades detalladas del usuario

Julio y Agosto

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0	24			24.0	24
Energía diaria total				21897				21897

Septiembre y Octubre

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0	24			24.0	24
Energía diaria total				21897				21897

Noviembre y Diciembre

	Núm.	Potencia	Uso	Energía	Núm.	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día		W	Hora/día	Wh/día
Lámparas (LED o fluo)	20	87/lámpara	6.0	10440	20	87/lámpara	6.0	10440
PC	8	150/apar.	3.0	3600	8	150/apar.	3.0	3600
Electrobomba 0.5HP	1	373/apar.	1.0	373	1	373/apar.	1.0	373
Refrigeradora Mediana	2		24	4320	2		24	4320
TV 40	2		3	1140	2		3	1140
Equipo de Sonido	1	400 tot	3.0	1200	1	400 tot	3.0	1200
Impresora Multifuncional	2	400 tot	1.0	800	2	400 tot	1.0	800
Consumidores en espera			24.0	24			24.0	24
Energía diaria total				21897				21897



Proyecto: Proyecto Tesis Seguimiento Solar

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Costo del sistema

Costes de instalación

Artículo	Cantidad unidades	Costo USD	Total USD
Módulos FV			
JAP6-72-300/MP	16	126.52	2024.32
Rastreadores	16	32.00	512.00
Baterías	24	428.00	10272.00
Controladores			351.00
Otros componentes			
Accesorios, sujetadores	1	1200.00	1200.00
Cableado	1	265.31	265.31
Caja de conexiones	1	26.53	26.53
Sistema de monitoreo, pantalla de visualización	1	350.00	350.00
Pararrayos	1	351.19	351.19
Instalación			
Costo de instalación global por módulo	16	26.53	424.48
Costo de instalación global por inversor	1	26.53	26.53
Costo de instalación global por batería	24	5.31	127.44
Transporte	1	1857.00	1857.00
		Total	17787.80
		Activo amortizable	14359.32

Costos de operación

Artículo	Total USD/año
Mantenimiento	
Limpieza	300.00
Total (OPEX)	300.00

Resumen del sistema

Costo total de instalación	17787.80 USD
Costos de operación	300.00 USD/año
Exceso de energía (batería llena)	0.4 kWh/año
Energía solar usada	6028 kWh/año
Costo energético usado	0.168 USD/kWh



Proyecto: Proyecto Tesis Seguimiento Solar

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Análisis financiero

Período de simulación

Vida del proyecto 25 años Año de inicio 2020

Variación del ingreso a lo largo del tiempo

Inflación 0.00 %/año
Variación de producción (envejecimiento) 0.00 %/año
Tasa de descuento 0.00 %/año

Activos amortizables

Activo	Método de amortización	Período de amortización (años)	Valor de rescate (USD)	Amortizable (USD)
Módulos FV				
JAP6-72-300/MP	Línea recta	25	0.00	2024.32
Rastreadores	Línea recta	25	0.00	512.00
Baterías	Línea recta	25	0.00	10272.00
Controladores	Línea recta	25	0.00	351.00
Accesorios, sujetadores	Línea recta	20	0.00	1200.00
		Total	0.00	14359.32

Financiamiento

Fondos propios 17787.80 USD

Venta de electricidad

Tarifa de alimentación 0.6753 USD/kWh

Retorno de la inversión

Período de recuperación 4.7 años
Valor presente neto (VPN) 76493.27 USD
Tasa de rendimiento interno (TRI) 21.03 %
Retorno de la inversión (ROI) 430.0 %



Proyecto: Proyecto Tesis Seguimiento Solar

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.0

VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

Análisis financiero

Resultados económicos detallados (USD)

Año	Venta de electricidad	Fondos propios	Costos de func.	Subsidio de amortización	Ingreso imponible	Impuestos	Beneficio después de impuestos	Cumul impuestos	% amorti.
0	0	17788	0	0	0	0	0	-17788	0.0%
1	4071	0	300	586	3185	0	3771	-14017	21.2%
2	4071	0	300	586	3185	0	3771	-10245	42.4%
3	4071	0	300	586	3185	0	3771	-6474	63.6%
4	4071	0	300	586	3185	0	3771	-2703	84.8%
5	4071	0	300	586	3185	0	3771	1068	106.0%
6	4071	0	300	586	3185	0	3771	4840	127.2%
7	4071	0	300	586	3185	0	3771	8611	148.4%
8	4071	0	300	586	3185	0	3771	12382	169.6%
9	4071	0	300	586	3185	0	3771	16153	190.8%
10	4071	0	300	586	3185	0	3771	19925	212.0%
11	4071	0	300	586	3185	0	3771	23696	233.2%
12	4071	0	300	586	3185	0	3771	27467	254.4%
13	4071	0	300	586	3185	0	3771	31238	275.6%
14	4071	0	300	586	3185	0	3771	35010	296.8%
15	4071	0	300	586	3185	0	3771	38781	318.0%
16	4071	0	300	586	3185	0	3771	42552	339.2%
17	4071	0	300	586	3185	0	3771	46323	360.4%
18	4071	0	300	586	3185	0	3771	50095	381.6%
19	4071	0	300	586	3185	0	3771	53866	402.8%
20	4071	0	300	586	3185	0	3771	57637	424.0%
21	4071	0	300	526	3245	0	3771	61408	445.2%
22	4071	0	300	526	3245	0	3771	65180	466.4%
23	4071	0	300	526	3245	0	3771	68951	487.6%
24	4071	0	300	526	3245	0	3771	72722	508.8%
25	4071	0	300	526	3245	0	3771	76493	530.0%
Total	101781	17788	7500	14359	79922	0	94281	76493	530.0%

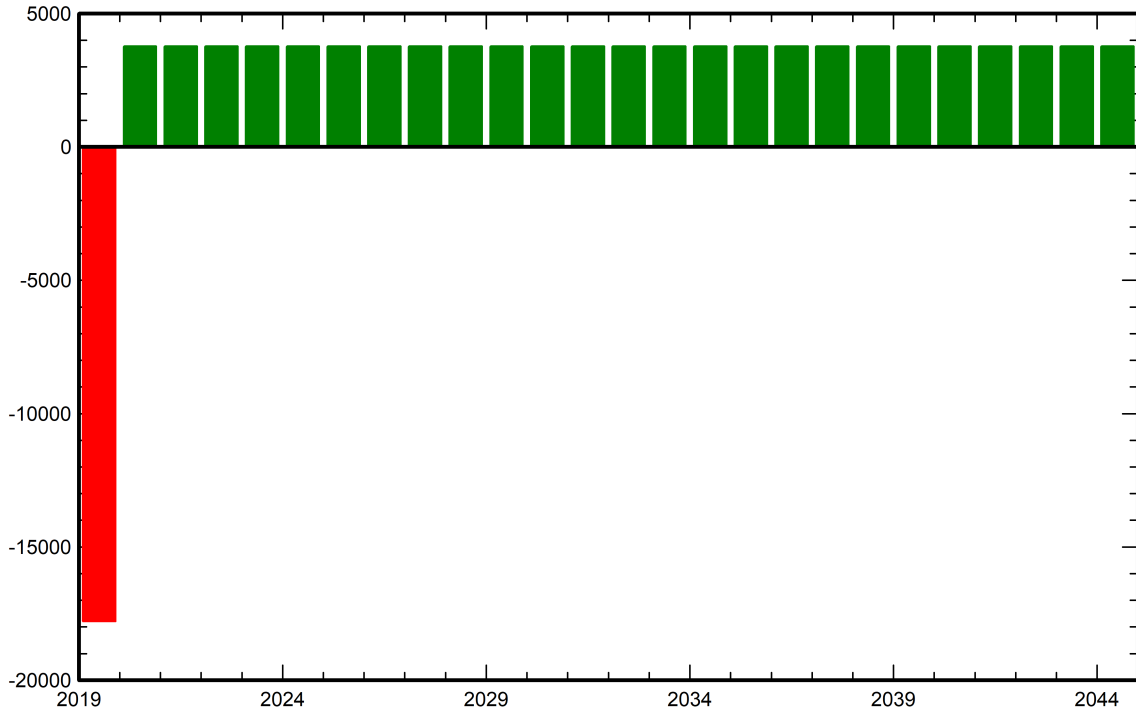


PVsyst V7.4.0

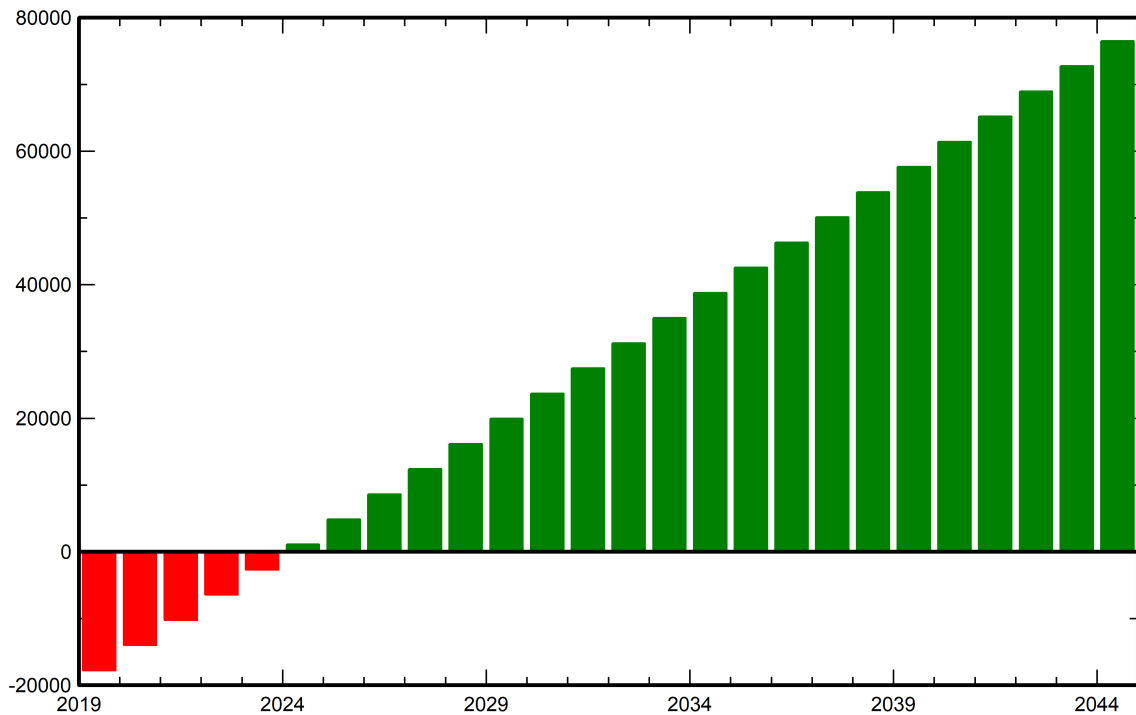
VCO, Fecha de simulación:
29/06/24 08:09
con v7.4.0

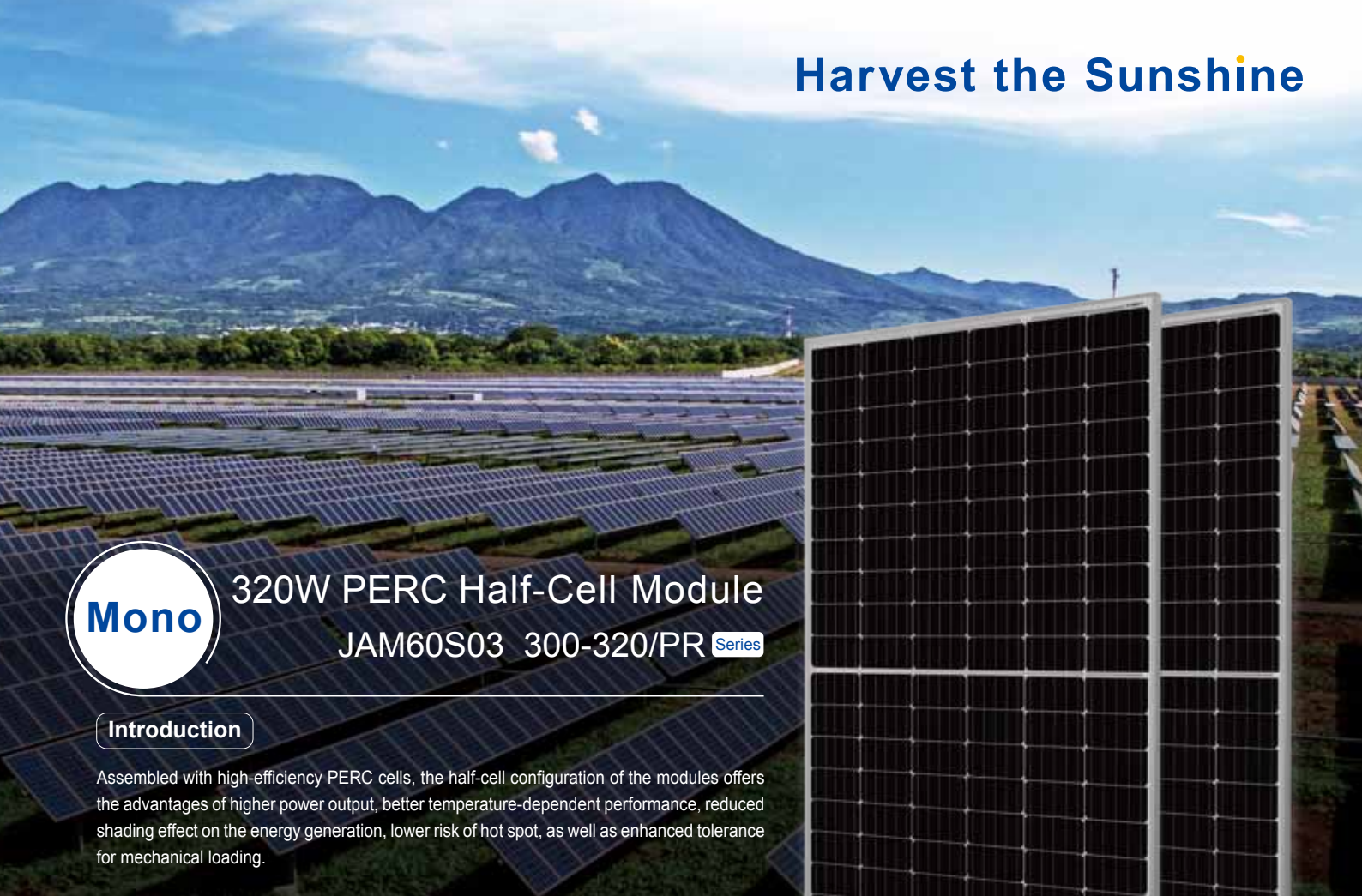
Análisis financiero

Beneficio neto anual (USD)



Flujo de caja acumulado (USD)





Mono

320W PERC Half-Cell Module JAM60S03 300-320/PR Series

Introduction

Assembled with high-efficiency PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower temperature coefficient



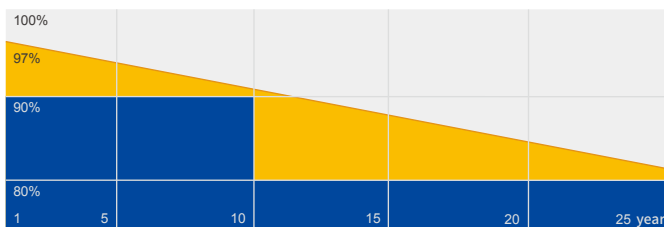
Less shading effect



Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty



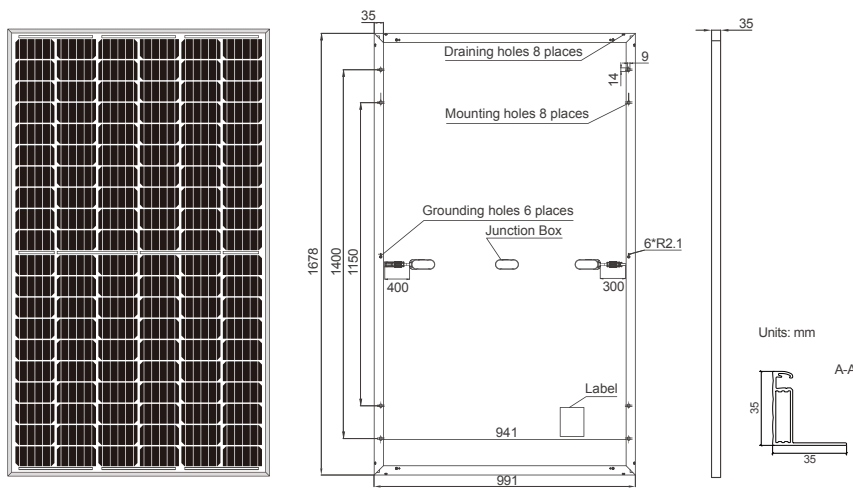
■ JA Linear Power Warranty ■ Industry Warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, IEC TS 62804, IEC 61701, IEC 62716, IEC 60068-2-68
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- OHSAS 18001: 2007 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	18.5kg±3%
Dimensions	1678mm×991mm×35mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	120(12x10)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	MC4 Compatible(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Packaging Configuration	30 Per Pallet

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM60S03 -300/PR	JAM60S03 -305/PR	JAM60S03 -310/PR	JAM60S03 -315/PR	JAM60S03 -320/PR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	300	305	310	315	320
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	39.05	39.32	39.61	39.93	40.22
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	32.23	32.50	32.78	33.07	33.34
Short Circuit Current(Isc) [A]	9.90	9.97	10.03	10.10	10.16
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.31	9.39	9.46	9.53	9.60
Module Efficiency [%]	18.0	18.3	18.6	18.9	19.2
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.051%/°C				
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.289%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.360%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

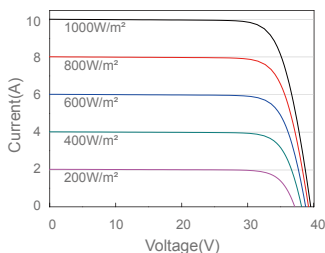
TYPE	JAM60S03 -300/PR	JAM60S03 -305/PR	JAM60S03 -310/PR	JAM60S03 -315/PR	JAM60S03 -320/PR
Rated Max Power(Pmax) [W]	222	226	229	233	237
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	36.05	36.32	36.61	36.93	37.15
Max Power Voltage(Vmp) [V]	32.22	32.47	32.77	33.06	33.31
Short Circuit Current(Isc) [A]	7.92	7.98	8.02	8.08	8.14
Max Power Current(Imp) [A]	6.89	6.95	7.00	7.05	7.11
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G				

OPERATING CONDITIONS

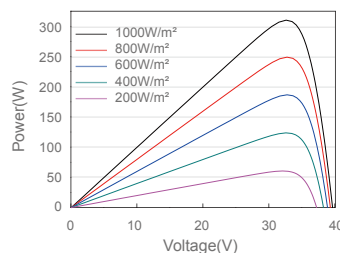
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC(IEC)
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse	30A
Maximum Static Load,Front	5400Pa
Maximum Static Load,Back	2400Pa
NOCT	45±2°C
Application Class	Class A

CHARACTERISTICS

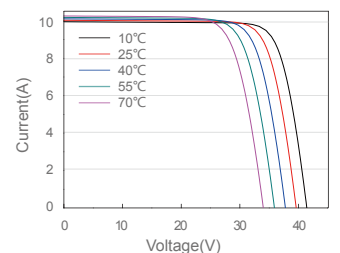
Current-Voltage Curve JAM60S03-310/PR



Power-Voltage Curve JAM60S03-310/PR



Current-Voltage Curve JAM60S03-310/PR





PC1800A SERIES (60A / 80A)

MPPT Solar Charge Controller

Shenzhen Must Energy Technology Co.,Ltd.

Tel: +86 755-29022692, 29101136

Email: sales@must-solar.com

Web: www.must-solar.com

MUST[®]

MUST®

PC1800A Series (60A/80A) MPPT Solar Charge Controller



INTRODUCTION

MPPT (Maximum Power Point Tracking) Solar Charge Controller offer an efficient, safe, multi-stage recharging process that prolongs battery life and assures peak performance from a solar array. Each Charge Controller allows customized battery recharging.

FEATURES

- LCD display , easy to operate on LCD screen
- Multi stage charging (3-stage charging , parallel charging and equalized charging function)
- BTS - Battery remote temperature sensor terminal
- Enable to charge Li-thium, Gel , lead-acid battery
- With RS485 & USB communication port
- Protection: PV array short circuit, PV reverse polarity, Battery reverse polarity, Over charging, Output short circuit



Max charging current
60A to 80A



Air cooling



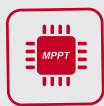
Multi protection



Battery smart
charge design



Battery DC voltage
12V/24V/48V (Auto detection)
36V (Setting)



Advanced maximum
power point tracking (MPPT)
technology

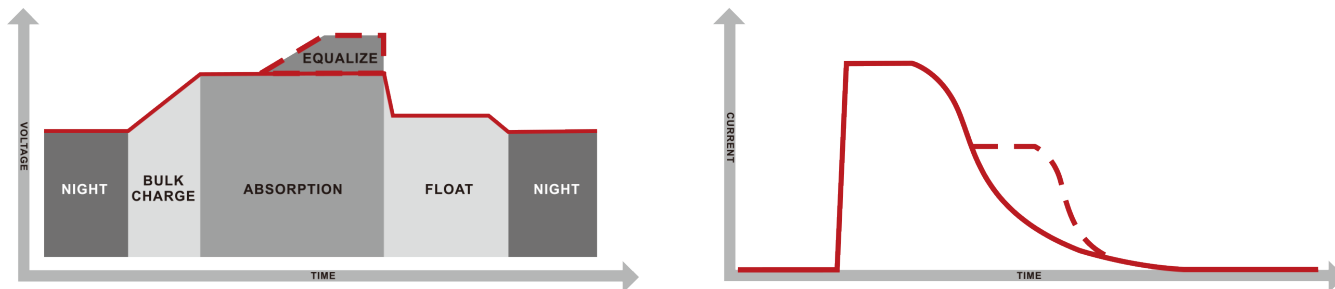


High tracking efficiency
>99.5%

PC1800A Series (60A/80A) MPPT Solar Charge Controller

EQUALIZE STAGE CHARGING FUNCTION

Equalization function reverses the buildup of negative chemical effects like stratification, a condition where acid concentration is greater at the bottom of the battery than at the top. Equalization also helps to remove sulfate crystals that might have built up on the plates.



BATTERY REVERSE PROTECTION

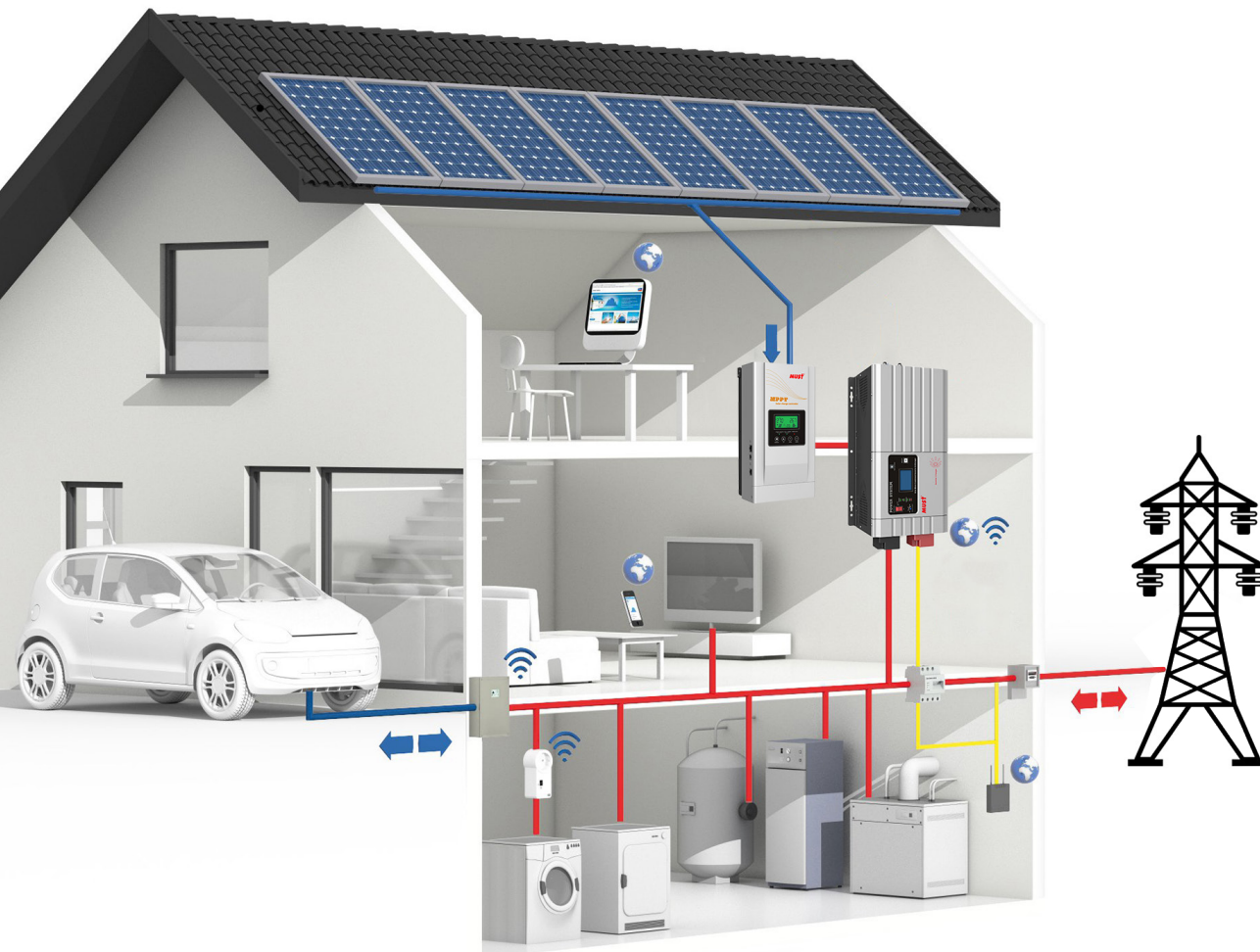
There's a battery reverse protection function in the board, then the controller will be perfectly protected even installer or user connect the battery in reverse pole accidentally

APPLICABLE PLACE

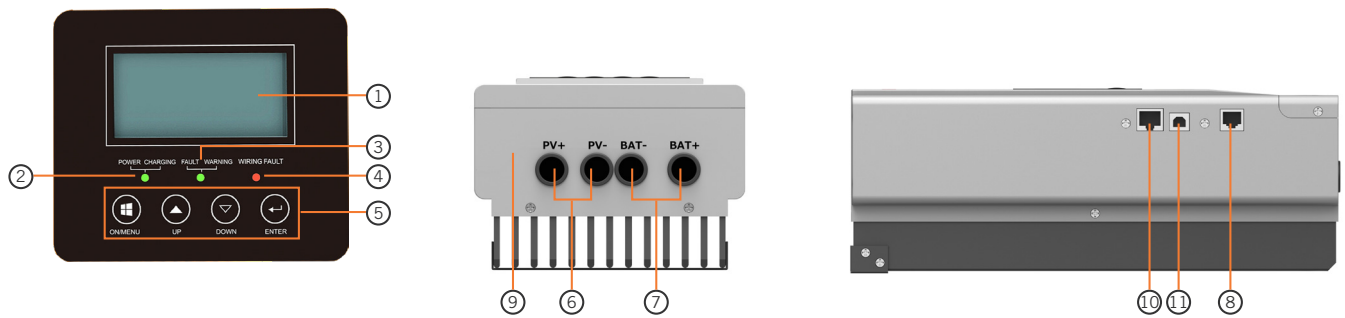
The solar charge controller is an automatic control device, it can be used in all solar power systems to control solar panel array to charge batteries.

Solar Inverter System Connection:

Power Inverter + Solar Charge Controller + Battery + Solar Panels + Grid + Application Loads



PC1800A Series (60A/80A) MPPT Solar Charge Controller



- | | | |
|--------------------------------|--|------------------------------|
| 1. LCD display | 5. Operation button | 9. Wiring box cover |
| 2. Power ON/Charging indicator | 6. PV connextors | 10. RS485 communication port |
| 3. Fault and warning indicator | 7. Battery connectors | 11. USB |
| 4. Wiring fault indicator | 8. Battery temperature sensor terminal | |

MODEL		PC18-6015A		PC18-8015A	
Nominal Battery System Voltage		12V/24V/48VDC (Auto detection); 36V (Setting)			
ELECTRICAL SPECIFICATIONS	Battery Voltage	12V	24V	36V	48V
	Maximum Battery Current	60Amps		80Amps	
	Battery Voltage				
	PV Array MPPT Voltage Range	15~95V	30~130V	45~130V	60~130V
	Maximum Input Power	12 Volt-940W 24 Volt-1880W 36 Volt-2820W 48 Volt-3760W		12 Volt-1250W 24 Volt-2500W 36 Volt-3750W 48 Volt-5000W	
	Protections	Solar high voltage disconnect Solar high voltage reconnect Battery high voltage disconnect Battery high voltage reconnect High temperature disconnect High temperature reconnect			
BATTERY CHARGING	Charging Algorithm	3-Step or 4-Step (Li)			
	Charging Stages	Bulk,Absorption,Float			
	Temperature Compenssation Coefficient	-5mV / °C / cell (25°C ref.)			
	Temperature Compenssation Range	0°C to+50°C			
	Temperature Compenssation Set Points	Absorption, Float			
	Charging Set Points	Absorption Stage		Float Stage	
	Flooded Battery	14.2V/28.4V/42.6V/56.8V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	AGM / GEL / LEAD Battery (Default)	14.4V/28.8V/43.2V/57.6V		13.7V/27.4V/41.1V/54.8V	
	Over-charging Voltage	15.5V/30.0V/45.0V/60.0V			
	Over-charging Comeback Voltage	14.5V/29.5V/44.5V/59.0V			
	Battery Defect Voltage	10.0V/17.0V/25.5V/34.0V			
MECHANICAL AND ENVIRONMENT	Product Size (W*H*D)(mm)	315*160*135			
	Product Weight (kg)	4.7kg			
	Ambient Temperature Range	-10°C to 75°C			
	Storage Temperature	-40°C to75°C			
	Humidity	0%~90% RH (No condensing)			
	Enclosure	IP20			

Controladores de carga SmartSolar con conexión de rosca o FV MC4 MPPT 150/45 hasta MPPT 150/100



**Controlador de carga SmartSolar
MPPT 150/100-Tr
Con pantalla conectable opcional.**



**Controlador de carga SmartSolar
MPPT 150/100-MCA
Sin pantalla**

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En caso de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales suelen seleccionar un MPP local, que no necesariamente es el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de SmartSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible

Un algoritmo de carga totalmente programable (consulte la página de *software* de nuestra página web) y ocho algoritmos de carga preprogramados, que se pueden elegir con un selector giratorio (consulte más información en el manual).

Amplia protección electrónica

Protección de sobretemperatura y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación en función de la temperatura.

Bluetooth Smart integrado: no necesita mochila

La solución inalámbrica para configurar, supervisar y actualizar el controlador con un teléfono inteligente, una tableta u otro dispositivo Apple o Android.

VE.Direct

Para una conexión de datos con cable a un Color Control GX, otros productos GX, PC u otros dispositivos.

On/Off remoto

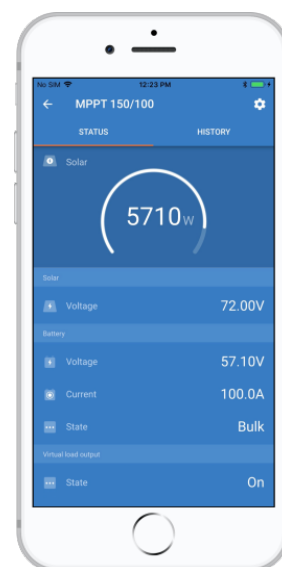
Para conectarse a un VE.BUS BMS, por ejemplo.

Relé programable

Se puede programar (entre otros, con un teléfono inteligente) para activar una alarma u otros eventos.

Opcional: pantalla LCD conectable

Simplemente retire el protector de goma del enchufe de la parte frontal del controlador y conecte la pantalla.



Controlador de carga SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50A (máx. 30A por conector MC4)			70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	Menos de 35 mA a 12 V / 20 mA a 48 V				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "ecualización"	Valores predeterminados: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (regulable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas (ocho algoritmos preprogramados) o algoritmo definido por el usuario				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario) Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobrettemperatura				
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40 °C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Altura máxima de trabajo	5.000 m (fpotencia nominal completa hasta los 2.000 m)				
Condiciones ambientales	Para interiores, no acondicionados				
Grado de contaminación	PD3				
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth				
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)				
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A		Capacidad nominal CC 4A hasta 35VCC, 1A hasta 60VCC		
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				
CARCASA					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales FV 3)	35 mm ² / AWG2 (modelos Tr) Dos pares de conectores MC4 (modelos MC4)			35 mm ² / AWG2 (modelos Tr) Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4)	
Bornes de la batería	35mm ² / AWG2				
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	3 kg			4,5kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 185 x 250 x 95 mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95 mm			Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	
NORMAS					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				

1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la entrada de potencia.

1b) La tensión FV debe exceder Vbat + 5V para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.

2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.

3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios pares de separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares

Inversor/cargador Quattro

3kVA - 15kVA

compatible con baterías de Litio-Ion

www.victronenergy.com



Quattro
48/5000/70-100/100



Quattro
48/15000/200-100/100

Dos entradas CA con conmutador de transferencia integrado

El Quattro puede conectarse a dos fuentes de alimentación CA independientes, por ejemplo a la toma de puerto o a un generador, o a dos generadores. Se conectará automáticamente a la fuente de alimentación activa.

Dos salidas CA

La salida principal dispone de la funcionalidad “no-break” (sin interrupción). El Quattro se encarga del suministro a las cargas conectadas en caso de apagón o de desconexión de la toma de puerto/generador. Esto ocurre tan rápidamente (menos de 20 milisegundos) que los ordenadores y demás equipos electrónicos continúan funcionando sin interrupción.

La segunda salida sólo está activa cuando una de las entradas del Quattro tiene alimentación CA. A esta salida se pueden conectar aparatos que no deberían descargar la batería, como un calentador de agua, por ejemplo.

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo

Hasta 6 unidades Quattro pueden funcionar en paralelo. Seis unidades 48/10000/140, por ejemplo, darán una potencia de salida de 48kW / 60kVA y una capacidad de carga de 840 amperios.

Capacidad de funcionamiento trifásico

Se pueden configurar tres unidades para salida trifásica. Pero eso no es todo: hasta 6 grupos de tres unidades pueden conectarse en paralelo para lograr una potencia del inversor de 144 kW/180 kVA y más de 2500 A de capacidad de carga.

PowerControl - En caso de potencia limitada del generador, de la toma de puerto o de la red

El Quattro es un cargador de baterías muy potente. Por lo tanto, usará mucha corriente del generador o de la toma de puerto (hasta 16 A por cada Quattro de 5 kVA a 230 VCA). Se puede establecer un límite de corriente para cada una de las entradas CA. Entonces, el Quattro tendrá en cuenta las demás cargas CA y utilizará la corriente sobrante para la carga de baterías, evitando así sobrecargar el generador o la red eléctrica.

PowerAssist – Refuerzo de la potencia del generador o de la toma de puerto

Esta función lleva el principio de PowerControl a otra dimensión, permitiendo que Quattro complemente la capacidad de la fuente alternativa. Cuando se requiera un pico de potencia durante un corto espacio de tiempo, como pasa a menudo, el Quattro compensará inmediatamente la posible falta de potencia de la corriente de la red o del generador con potencia de la batería. Cuando se reduce la carga, la potencia sobrante se utiliza para recargar la batería.

Energía solar: Potencia CA disponible incluso durante un apagón

El Quattro puede utilizarse en sistemas FV, conectados a la red eléctrica o no, y en otros sistemas eléctricos alternativos.

Hay disponible software de detección de falta de suministro.

Configuración del sistema

- En el caso de una aplicación autónoma, si ha de cambiarse la configuración, se puede hacer en cuestión de minutos mediante un procedimiento de configuración de los conmutadores DIP.
- Las aplicaciones en paralelo o trifásicas pueden configurarse con el software VE.Bus Quick Configure y VE.Bus System Configurator.
- Las aplicaciones no conectadas a la red, que interactúan con la red y de autoconsumo que impliquen inversores conectados a la red y/o cargadores solares MPPT pueden configurarse con Asistentes (software específico para aplicaciones concretas).

Seguimiento y control in situ

Hay varias opciones disponibles: Monitor de baterías, panel Multi Control, Color Control GX y otros dispositivos, smartphone o tableta (Bluetooth Smart), portátil u ordenador (USB o RS232).

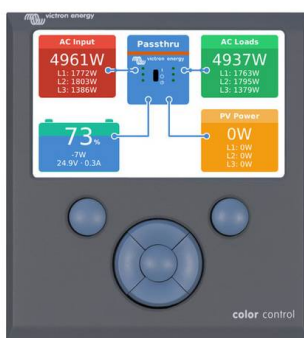
Seguimiento y control a distancia

Color Control GX y otros dispositivos.

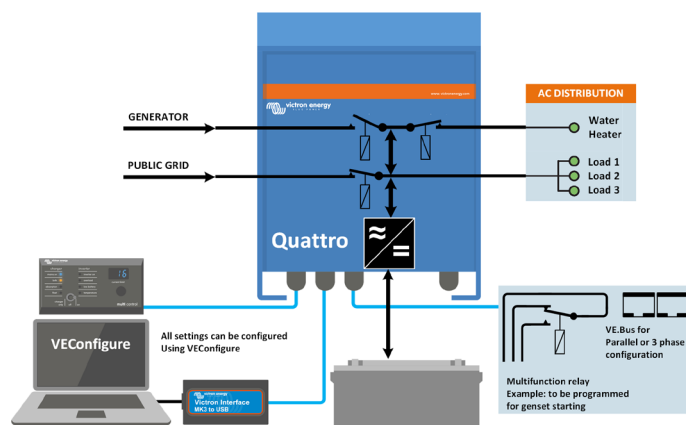
Los datos se pueden almacenar y mostrar gratuitamente en la web VRM (Victron Remote Management).

Configuración a distancia

Se puede acceder a los datos y cambiar los ajustes de los sistemas con Color Control GX y otros dispositivos si está conectado a Ethernet.



Color Control GX con una aplicación FV



Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Sí				
Conmutador de transferencia integrado	Sí				
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1				
Corriente máxima de alimentación (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida (1)	Tensión de salida: 230 VCA ± 2% Frecuencia: 50 Hz ± 0,1%				
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000	15000
Potencia cont. de salida a 25°C (W)	2400	4000	6500	8000	12000
Potencia cont. de salida a 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Potencia cont. de salida a 65° C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Pico de potencia (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Eficacia máxima (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Consumo en vacío (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20
CARGADOR					
Tensión de carga de 'absorción' (VCC)	14,4 / 28,8	14,4 / 28,8 / 57,6	28,8 / 57,6	57,6	57,6
Tensión de carga de "flotación" (VCC)	13,8 / 27,6	13,8 / 27,6 / 55,2	27,6 / 55,2	55,2	55,2
Modo de almacenamiento (VCC)	13,2 / 26,4	13,2 / 26,4 / 52,8	26,4 / 52,8	52,8	52,8
Corriente de carga de la batería auxiliar (A) (4)	120 / 70	220 / 120 / 70	200 / 110	140	200
Corriente de carga batería arranque (A)	4 (solo modelos de 12 y 24V)				
Sensor de temperatura de la batería	Sí				
GENERAL					
Salida auxiliar (A) (5)	25	50	50	50	50
Relé programable (6)	3x	3x	3x	3x	3x
Protección (2)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
Puerto de comunicaciones de uso general	2x	2x	2x	2x	2x
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temp. de trabajo: -40 a +65 °C Humedad (sin condensación): máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Grado de protección IP 21				
Conexión a la batería	Cuatro pernos M8 (2 conexiones positivas y 2 negativas)				
Conexión 230 V CA	Bornes de tornillo de 13 mm.² (6 AWG)	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6	Pernos M6
Peso (kg)	19	34 / 30 / 30	45 / 41	51	72
Dimensiones (al x an x p en mm.)	362 x 258 x 218	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	470 x 350 x 280	572 x 488 x 344
		444 x 328 x 240			
NORMATIVAS					
Seguridad	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1				
Emisiones, Inmunidad	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3				
Vehículos de carretera	Modelos de 12 y 24V: ECE R10-4				
Antiisla	Visite nuestra página web				
1) Puede ajustarse a 60 Hz; 120 V 60 Hz si se solicita	3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 4) A 25 ° C de temperatura ambiente 5) Se desconecta sin hay fuente CA externa disponible 6) Relé programable que puede configurarse, entre otros, como función de alarma general, subtensión CC o arranque del generador Capacidad nominal CA 230 V/4 A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35 VCC, 1 A hasta 60 VCC				
2) Claves de protección:					
a) cortocircuito de salida					
b) sobrecarga					
c) tensión de la batería demasiado alta					
d) tensión de la batería demasiado baja					
e) temperatura demasiado alta					
f) 230 VCA en la salida del inversor					
g) ondulación de la tensión de entrada demasiado alta					

Funcionamiento y supervisión controlados por ordenador

Hay varias interfaces disponibles:



Panel Digital Multi Control

Una solución práctica y de bajo coste para el seguimiento remoto, con un selector giratorio con el que se pueden configurar los niveles de PowerControl y PowerAssist.



Color Control GX y otros dispositivos

Monitorear y controlar, de forma local e remota, no [Portal VRM](#).

Interfaz MK3-USB VE.Bus a USB

Se conecta a un puerto USB (ver [Guía para el VEConfigure™](#))

Interfaz VE.Bus a NMEA 2000

Liga el dispositivo a una red electrónica marina NMEA2000. Consulte el [guía de integración NMEA2000 e MFD](#)



Monitor de baterías BMV-712 Smart

Utilice un *smartphone* u otro dispositivo con Bluetooth para:

- personalizar los ajustes,
- consultar todos los datos importantes en una sola pantalla,
- ver los datos del historial y actualizar el *software* conforme se vayan añadiendo nuevas funciones.



Mochila VE.Bus Smart
Mide la tensión y la temperatura de la batería y permite monitorizar y controlar Multis y Quattros con un *smartphone* u otro dispositivo con Bluetooth.

