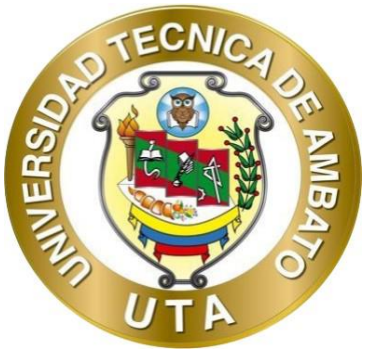


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PARROQUIA VICHE, PROVINCIA ESMERALDAS”

AUTOR: Steven Manuel Loor Naranjo

TUTOR: Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Agosto - 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad del Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PARROQUIA VICHE, PROVINCIA ESMERALDAS",** elaborado por el Sr. Steven Manuel Loor Naranjo, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0850555905, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, agosto 2024

Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Steven Manuel Loor Naranjo, con C.I. 0850555905 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **"DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PARROQUIA VICHE, PROVINCIA ESMERALDAS"**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2024



Steven Manuel Loor Naranjo

C.I. 0850555905

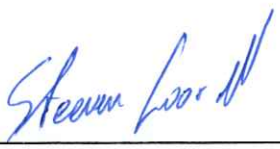
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, agosto 2024



Steven Manuel Loor Naranjo

C.I. 0850555905

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe de Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Steven Manuel Loor Naranjo de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PARROQUIA VICHE, PROVINCIA ESMERALDAS"**.

Ambato, agosto 2024

Para constancia firman:

Ing. Luis Eduardo Escobar Luna, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis amados padres, quienes con su amor, dedicación me han guiado y apoyado en cada paso de este camino. Gracias por cada sacrificio, por creer en mí incluso en los momentos de duda, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia. Este trabajo es un reflejo de todo lo que me han brindado y una humilde muestra de mi eterna gratitud.

Steven Loor

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, cuya dedicación, amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en cada etapa de mi vida académica. A mis amigos, por su constante ánimo y compañía en los momentos más difíciles, su apoyo emocional y compañerismo hicieron que este camino fuera mucho más llevadero y significativo. A mi novia, por su amor y comprensión durante todo este proceso.

A mi asesor de tesis, el Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo, por su guía experta, paciencia y dedicación. Sus valiosos consejos fueron esenciales para la culminación de este trabajo. A la Universidad Técnica de Ambato, y en particular a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por brindarme las herramientas y el entorno necesarios para desarrollar este trabajo. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

Steven Loor

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii

ÍNDICE DE FIGURAS xv

ÍNDICE DE TABLAS xviii

RESUMEN EJECUTIVO xix

ABSTRACT xx

CAPÍTULO I 1

1 MARCO TEÓRICO 1

1.1 Justificación 1

1.1.1 Antecedentes investigativos 1

1.1.2 Descripción del lugar 2

1.2 Objetivos 2

1.2.1 Objetivo general 2

1.2.2 Objetivos específicos 3

1.2 Fundamentación teórica 3

1.3.1 Energía solar 3

1.3.2 Geometría solar 3

1.3.3 Azimut solar 4

1.3.4 Radiación solar 4

1.3.4.1 Insolación 5

1.3.4.2 Irradiancia 5

1.3.4.3 Irradiación 6

1.3.4.4 Día solar promedio 6

1.3.5 Instalaciones fotovoltaicas aisladas 6

1.3.5.1 Sistemas fotovoltaicos aislado 6

1.3.6 Módulos fotovoltaicos 7

1.3.6.1 Radiación incidente sobre un módulo fotovoltaico 7

1.3.6.2 Masa de aire 8

1.3.6.3 Sombras en el módulo fotovoltaico 9

1.3.6.4 Tipos de módulos fotovoltaicos 9

1.3.6.5 Conexión de los módulos fotovoltaicos 10

1.3.6.6 Ángulo de inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos 12

1.3.7 Regulador de carga solar 13

1.3.7.1 Tipos de reguladores de carga solar 14

1.3.8 Baterías o acumuladores de energía 14

1.3.8.1 Energía química a eléctrica 15

1.3.8.2 Capacidad de almacenamiento 15

1.3.8.3 Estados de carga 15

1.3.8.4 Ciclo y ciclo de vida 16

1.3.8.5 Autodescarga 16

1.3.8.6 Tipos de baterías 17

1.3.8.7 Conexión de las baterías 20

1.3.9 Inversor 22

1.3.10 Cables conductores 23

CAPÍTULO II 25

2 METODOLOGÍA 25

2.1 Materiales 25

2.2Métodos 27

2.2.1 Método cuantitativo 27

2.2.2 Método de comparación 27

2.2.3 Técnica de observación 27

2.3 Análisis de alternativas 27

2.4 Recolección de datos……..……...28

2.4.1 Consumo energético 28

2.4.1.1 Cálculo del consumo sin pérdidas 29

2.4.1.2 Cálculo de consumo real 30

2.4.2 Datos climatológicos de irradiación 31

2.5 Módulos fotovoltaicos…….34

2.5.1 Selección de los módulos fotovoltaicos 35

2.5.2 Selección del tipo de conexión 36

2.6 Banco de baterías…….37

2.6.1 Selección del tipo de baterías 38

2.6.2 Selección del tipo de conexión 39

2.7 Regulador de carga……..39

2.8 Inversor de voltaje……...40

2.9 Cables conductores……..40

CAPÍTULO III 42

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 42

3.1 Análisis y discusión de los resultados……..42

3.1.1 Diseño del sistema..... 42

3.1.1.1 Cálculo del consumo sin pérdidas 42

3.1.1.2 Cálculo del consumo real 42

3.1.1.3 Cálculo de hora solar pico 43

3.1.1.4 Cálculo del número de módulos 44

3.1.1.5 Cálculo del número de baterías 44

3.1.1.6 Cálculo del regulador de carga 45

3.1.1.7 Cálculo del inversor de voltaje 45

3.1.1.8 Cálculo de los cables eléctricos 46

3.1.2 Análisis de cargas en la estructura de soporte para los módulos fotovoltaicos 48

3.1.2.1 Cargas en la estructura del módulo fotovoltaico 48

3.1.2.2 Análisis estático en la estructura del módulo fotovoltaico 50

3.1.2.3 Mallado y aplicación de cargas en la estructura del módulo fotovoltaico 52

3.1.2.4 Resultados del análisis estático en la estructura del módulo fotovoltaico 55

3.1.3 Instalación del sistema fotovoltaico 59

3.1.3.1 Transporte de los equipos del sistema a la finca Mi Quinta 59

3.1.3.2 Ubicación y base de montaje de los módulos fotovoltaicos 60

3.1.3.3 Conexión de los componentes del sistema fotovoltaico 63

3.1.3.4 Conexión de las baterías, regulador de carga e inversor 63

3.1.3.5 Montaje y conexión de los módulos fotovoltaicos 66

3.1.4 Registro mensual de horas diarias de sol 67

3.1.5 Evaluaciones de funcionamiento 70

3.1.5.1 Evaluación de funcionamiento en un día con sol pleno 70

3.1.5.2 Evaluación de funcionamiento en un día totalmente nublado 72

3.1.5.3 Evaluación de funcionamiento en un día parcialmente soleado 73

3.1.5.4 Evaluación de consumo en la noche 75

3.1.6 Presupuesto del proyecto instalado 76

3.1.6.1 Costo de los componentes del sistema fotovoltaico 76

3.1.6.2 Costo de materiales eléctricos de la instalación 76

3.1.6.3 Costo de materiales adicionales de la instalación 77

3.1.6.4 Costo de mano de obra y transporte 78

3.1.6.5 Costo total del proyecto instalado 78

3.1.6.6 Costo de energía producida por el sistema fotovoltaico en kWh 78

3.1.7 Mantenimiento de los componentes del sistema fotovoltaico 79

3.1.7.1 Mantenimiento de los módulos fotovoltaicos 80

3.1.7.2 Mantenimiento de la batería 80

3.1.7.3 Mantenimiento del controlador de carga 80

3.1.7.4 Mantenimiento del inversor de voltaje 81

3.1.7.5 Mantenimiento de las conexiones eléctricas 81

3.1.7.6 Recomendaciones generales de mantenimiento y seguridad..... 82

CAPÍTULO IV 83

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83

4.1 Conclusiones……83

4.2 Recomendaciones……83

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 84

Anexo 1. Datos geográficos de la instalación fotovoltaica……87

Anexo 2. Fichas técnicas de consumo energético de electrodomésticos……87

Anexo 3. Datos técnicos del módulo fotovoltaico de 430-450Wp……89

Anexo 4. Datos técnicos de la batería sellada……90

Anexo 5. Datos técnicos del controlador de carga…….91

Anexo 6. Datos técnicos del inversor de voltaje……91

Anexo 7. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de febrero…..92

Anexo 8. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de marzo……93

Anexo 9. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de abril……94

Anexo 10. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de mayo……95

Anexo 11. Pruebas de funcionamiento amperaje, voltaje y potencia del sistema fotovoltaico en un día con sol pleno……...96

Anexo 12. Pruebas de funcionamiento amperaje, voltaje y potencia del sistema fotovoltaico en un día totalmente nublado…….96

Anexo 13. Pruebas de funcionamiento amperaje, voltaje y potencia del sistema fotovoltaico en un día parcialmente soleado……..97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Declinación del sol de acorde al día del año 4

Figura 2. Ángulo de azimut en dirección de una brújula 4

Figura 3. Sistema fotovoltaico aislado 7

Figura 4. Radiación sobre un módulo fotovoltaico 8

Figura 5. Masa de aire 8

Figura 6. Mercado de materiales de paneles fotovoltaicos 10

Figura 7. Formas de conexión de los módulos fotovoltaicos 12

Figura 8. Curvas características I-V de módulos en serie y paralelo 12

Figura 9. Regulador de carga solar 14

Figura 10. Batería cargada y batería descargada 18

Figura 11. Conexión en serie de baterías 20

Figura 12. Conexión en paralelo de baterías 21

Figura 13. Conexión en serie y paralelo de baterías 22

Figura 14. Inversor de sistema aislado 23

Figura 15. Esquema de cables eléctricos 23

Figura 16. Diagrama de flujo de la instalación fotovoltaica. 28

Figura 17. Datos de irradiación promedio de 1998 al 2020, NREL..... 32

Figura 18. Datos de irradiación promedio de 2005 al 2015, PVGis 32

Figura 19. Datos de irradiación promedio de 2016 al 2021, Meteonorm 33

Figura 20. Medidas del módulo fotovoltaico. 51

Figura 21. Modelado de la estructura en software de diseño mecánico. 52

Figura 22. Espectro de asimetría para calidad de mallado. 52

Figura 23. Mallado de la estructura del módulo fotovoltaico en ANSYS. 53

Figura 24. Valor de calidad de mallado. 53

Figura 25. Aplicación de cargas de viento en la estructura del módulo fotovoltaico……...54

Figura 26. Aplicación de la carga muerta del módulo fotovoltaico. 54

Figura 27. Aplicación de los soportes fijos en la estructura del módulo fotovoltaico. 55

Figura 28. Aplicación de las cargas en conjunto en la estructura del módulo fotovoltaico. 55

Figura 29. Resultado de la deformación total de la estructura. 56

Figura 30. Resultado de la deformación de la estructura en el eje X. 56

Figura 31. Resultado de la deformación de la estructura en el eje Y. 57

Figura 32. Resultado de la deformación de la estructura en el eje Z. 57

Figura 33. Resultado del esfuerzo máximo que soporta la estructura. 58

Figura 34. Resultado del factor de seguridad de la estructura. 58

Figura 35. Traslado de los equipos fotovoltaicos a la parroquia Viche. 59

Figura 36. Traslado de los equipos fotovoltaicos a la finca. 60

Figura 37. Casa-corral de la finca “Mi Quinta”. 60

Figura 38. Armadura de la base de montaje para los módulos fotovoltaicos..... 62

Figura 39. Segunda armadura de la base de montaje para los módulos fotovoltaicos……..63

Figura 40. Arreglo del banco de baterías y comprobación de voltaje. 64

Figura 41. Conexión del controlador de carga. 64

Figura 42. Conexión del controlador de carga-inversor. 65

Figura 43. Instalación de breaker a la salida del Inversor. 66

Figura 44. Montaje de los módulos fotovoltaicos. 66

Figura 45. Conexión de los módulos fotovoltaicos. 67

Figura 46. Instalación de breaker entre los módulos y el controlador de carga. 67

Figura 47. Registro mensual de febrero de las horas diarias de sol. 68

Figura 48. Registro mensual de marzo de las horas diarias de sol. 69

Figura 49. Registro mensual de abril de las horas diarias de sol. 69

Figura 50. Registro mensual de mayo de las horas diarias de sol. 70

Figura 51. Amperaje generado por el sistema fotovoltaico en un día con sol pleno. 71

Figura 52. Voltaje generado por el sistema fotovoltaico en un día con sol pleno. 71

Figura 53. Potencia generada por el sistema fotovoltaico en un día con sol pleno. 72

Figura 54. Amperaje generado por el sistema fotovoltaico un día totalmente nublado. 72

Figura 55. Voltaje generado por el sistema fotovoltaico un día totalmente nublado. 73

Figura 56. Potencia generada por el sistema fotovoltaico un día totalmente nublado. 73

Figura 57. Amperaje generado por el sistema fotovoltaico un día parcialmente soleado. 74

Figura 58. Voltaje generado por el sistema fotovoltaico un día parcialmente soleado. 74

Figura 59. Potencia generada por el sistema fotovoltaico un día parcialmente soleado. 75

Figura 60. Evaluación de descarga del banco de baterías. 75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos geográficos de la parroquia Viche. (Anexo 1) 12

Tabla 2. Características de los tipos de baterías 17

Tabla 3. Modelos de baterías solares plomo-ácido 18

Tabla 4. Tamaños y características de cables 24

Tabla 5. Materiales y componentes adicionales de un sistema fotovoltaico. 25

Tabla 6. Consumo energético estimado para la vivienda unifamiliar. (Anexo 2) 29

Tabla 7. Factores para el rendimiento de cálculo global 31

Tabla 8. Tabla de comparación de valores de irradiación horizontal global. 34

Tabla 9. Matriz de selección de opciones de módulos. 36

Tabla 10. Matriz de selección de baterías para el sistema fotovoltaico. 39

Tabla 11. Máxima caída de tensión en tramos de conexión 41

Tabla 12. Calibre de cables eléctricos y usos comunes 47

Tabla 13. Subsistemas de cables AWG. 47

Tabla 14. Número de elementos y características de los equipos. 48

Tabla 15. Propiedades mecánicas del Pambil 61

Tabla 16. Propiedades mecánicas del Dormilón 61

Tabla 17. Costo de los componentes utilizados en la instalación fotovoltaica. 76

Tabla 18. Costo de materiales eléctricos utilizados en la instalación fotovoltaica. 76

Tabla 19. Costo de materiales adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica. 77

Tabla 20. Costo de mano de obra y transporte de la instalación fotovoltaica. 78

Tabla 21. Costo total del proyecto instalado. 78

RESUMEN EJECUTIVO

En la finca "Mi Quinta", ubicada en la parroquia Viche, provincia de Esmeraldas, la lejanía de la red eléctrica nacional hace inviable la acometida de instalación de energía eléctrica. Esta situación es común en sectores rurales de la Costa, donde los altos costos de instalación y el impacto ambiental que ocasiona para el tendido eléctrico generan una necesidad urgente de alternativas energéticas. La problemática existente en la finca ha llevado a considerar el uso de energías renovables como solución viable para abastecer las necesidades energéticas.

En el presente proyecto se centró en diseñar e instalar un sistema fotovoltaico para una vivienda unifamiliar en la finca. Primero, se evaluaron las necesidades energéticas de la vivienda para asegurar que el sistema proporcionará suficiente energía para el uso diario de electrodomésticos y la iluminación. Luego, se seleccionaron cuidadosamente los componentes del sistema fotovoltaico para garantizar su eficiencia y durabilidad, y se procedió a la instalación, asegurando que todos los elementos funcionaran en conjunto de manera óptima y que los paneles solares estuvieran adecuadamente orientados para maximizar la captación de energía solar.

Los resultados indican que el sistema fotovoltaico garantiza un suministro energético confiable y eficiente. Este proyecto aborda de manera significativa la problemática energética rural, proporcionando una solución sostenible y económica a largo plazo. Se recomienda un monitoreo semestral y el uso de controladores de carga MPPT para optimizar la eficiencia y durabilidad del sistema, así como la revisión periódica del banco de baterías para evitar descargas totales, especialmente en días nublados consecutivos.

Palabras Clave: Energía solar, Radiación, Sistema fotovoltaico, Temperatura, Baterías.

ABSTRACT

On the "Mi Quinta" farm, located in the parish of Viche, province of Esmeraldas, the remoteness of the national electricity grid makes it unfeasible to install electricity. This situation is common in rural areas of the coast, where the high installation costs and the environmental impact of felling trees for the power lines generate an urgent need for alternative energy sources. The existing problems on the farm have led to consider the use of renewable energies as a viable solution to supply energy needs.

This project focused on designing and installing a photovoltaic system for a single-family house on the farm. First, the energy needs of the house were assessed to ensure that the system would provide sufficient energy for the daily use of appliances and lighting. Then, the components of the PV system were carefully selected to ensure efficiency and durability, and installation proceeded, ensuring that all elements worked together optimally and that the solar panels were properly oriented to maximize solar energy collection.

The results indicate that the PV system ensures a reliable and efficient energy supply for the "Mi Quinta" house. This project significantly addresses the rural energy problem, providing a long-term sustainable and cost-effective solution. Six-monthly monitoring and the use of MPPT charge controllers are recommended to optimize the efficiency and durability of the system, as well as the periodic revision of the battery bank to avoid total discharges, especially on consecutive cloudy days.

Keywords: Solar energy, Radiation, Photovoltaic system, Temperature, Batteries.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Justificación

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el desarrollo, diseño e instalación de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de una vivienda en la finca "Mi Quinta". El desarrollo de este proyecto es debido a la problemática que actualmente existe en la finca, ya que al ser un sector rural la red eléctrica nacional se ubica demasiado lejos para la acometida de instalación. Por tal situación, es mejor la utilización de energías renovables para abastecer este tipo de necesidades energéticas.

Las empresas de la red eléctrica nacional en sectores rurales de la Costa en su mayoría de veces por la distancia de instalación, los usuarios se ven obligados hacer acometidas de manera particular. Esto hace incurrir a costos altos para obtener el servicio de energía eléctrica, además los bosques se ven afectados por la tala de árboles para el tendido de la red eléctrica. La necesidad de utilizar energías alternativas, que beneficien el medio ambiente y a los usuarios hace que la inversión en un sistema solar fotovoltaico genere ahorros a largo plazo en costos de energía.

El desarrollo del proyecto busca incrementar el uso de energías limpias e implementar en sectores donde el tendido de la red eléctrica nacional no es accesible, dando solución a la problemática energética que tiene el sector rural de la Costa, entre otros sectores de la región. La energía solar fotovoltaica también evita costos de mantenimiento y transporte de las líneas eléctricas. Siendo mejor la utilización de energías renovables para abastecer este tipo de necesidades energéticas.

1.1.1 Antecedentes investigativos

Para el presente proyecto técnico se ha considerado las siguientes referencias:

Según [1] para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos es indispensable conocer la potencia requerida por la carga y la radiación solar. Este último parámetro representa el recurso energético disponible en una ubicación geográfica específica. Si no se conoce la radiación solar

promedio de un sitio es posible subdimensionar o sobredimensionar el sistema fotovoltaico, ocasionando pérdidas económicas y/o un desaprovechamiento del recurso solar.

Según [2] la energía solar fotovoltaica evita costes de mantenimiento y transporte de las líneas eléctricas, tanto en zonas de difícil acceso, donde no llega la red, como en áreas urbanas, donde muchas veces coinciden las puntas de demanda eléctrica con los momentos de máxima insolación. Una vez instalada, tiene un coste energético de mantenimiento nulo.

Según [3] las células solares están constituidas por materiales semiconductores, principalmente silicio, y son elementos que transforman directamente parte de la energía solar que reciben en energía eléctrica. Los electrones de valencia del material semiconductor de la célula, que están ligados débilmente al núcleo de sus átomos, son arrancados por la energía de los fotones de la radiación solar que inciden sobre ella. Este fenómeno se denomina efecto fotovoltaico.

Según [4] desde un punto de vista ecológico, el interés de las instalaciones fotovoltaicas se basa, principalmente, en el ahorro de emisiones de CO_2 y consumo de energía primaria no renovable. Desde el punto de vista de la Administración, pueden influir otros objetivos como, por ejemplo, la diversificación de fuentes energéticas, la adquisición de conocimientos, el mantenimiento al día de la tecnología, etc. Como, desde el punto de vista del usuario particular, el ahorro económico es una condición determinante.

1.1.2 Descripción del lugar

En la parroquia Viche, de la provincia de Esmeraldas, se encuentra la finca “Mi Quinta”, a 300 metros sobre el nivel del mar, cuenta con 66 hectáreas, además tiene una larga historia de dedicación a la agricultura y ganadería. La finca se encuentra a dos kilómetros de distancia de la vía de acceso principal lo que dificulta la instalación eléctrica de la red nacional, debido a la ubicación remota de la vivienda hace que la adopción de fuentes de energías alternativas sea esencial para satisfacer las necesidades energéticas de la finca de manera confiable y eficiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Diseñar e instalar un sistema fotovoltaico para una vivienda unifamiliar en la parroquia Viche, provincia Esmeraldas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Investigar las necesidades energéticas que permitan realizar el diseño del sistema fotovoltaico.
- Seleccionar los componentes de acorde a los parámetros de diseño que garanticen el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico.
- Instalar el sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en la vivienda.

1.2 Fundamentación teórica

1.3.1 Energía solar

El Sol es la principal fuente de energía, proporciona luz y calor, fundamentales para la vida en el planeta. En todo momento la superficie terrestre expuesta al Sol recibe la energía de 10000 veces mayor que el consumo mundial, esta energía puede ser aprovechada con instalaciones fotovoltaicas para generar electricidad o mediante instalaciones solares térmicas para el calentamiento de agua [5].

1.3.2 Geometría solar

El desplazamiento que da la Tierra en su órbita alrededor del Sol se denomina movimiento terrestre, y consta de dos fases: una traslación alrededor del Sol y un giro sobre su propio eje. Durante la traslación, la Tierra se mueve siguiendo una elipse de excentricidad reducida, con el Sol ubicado en uno de los focos de la elipse. La duración de este movimiento determina un año, y su trayectoria está dentro del plano conocido como eclíptica. El movimiento que tiene la Tierra en su eje polar, perpendicular al plano terrestre ecuatorial forma un ángulo constante, este ángulo a pesar de mantenerse de forma lineal puede variar dependiendo las estaciones del año. El valor de la declinación para el hemisferio Norte durante el solsticio de junio o denominado verano toma el valor de 23,45º, de tal forma que amanece por el noreste y anochece por el noroeste, en cambio para el solsticio de diciembre o denominado invierno, se tiene un día solar más corto, el valor de la declinación toma el valor de -23,45º, en esta estación amanece por sureste y anochece por el suroeste [6].

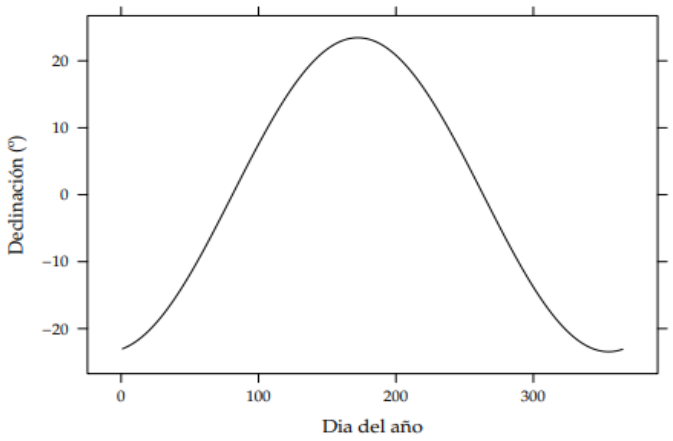


Figura 1. Declinación del sol de acorde al día del año [6].

1.3.3 Azimut solar

La intersección de los planos paralelos al ecuatorial terrestre ayuda a identificar la latitud, la distancia angular de un punto respecto al ecuador. El plano ecuatorial tiene dos hemisferios, convenio a la declinación la latitud para el hemisferio norte tendrá signo positivo y al sur la latitud será con signo negativo. El ángulo hora solar o también denominado azimut solar, mide la diferencia entre un instante en cuestión y el medio día solar, de acorde con hemisferio para el caso del Norte será respecto al sur, el ángulo tiene valor cero al medio día, por la mañana toma signo negativo y la tarde signo positivo [6]. En la figura 2 se indica el ángulo de azimut.

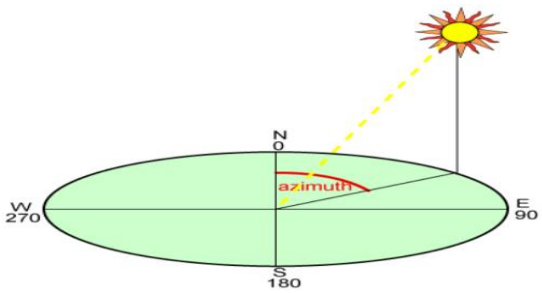


Figura 2. Ángulo de azimut en dirección de una brújula [7].

1.3.4 Radiación solar

Es la energía que se produce en el sol a través de reacciones nucleares de fusión, y se transmite en forma de radiación electromagnética que llega a la atmósfera terrestre. La radiación que alcanza un módulo fotovoltaico o un captador solar consiste en la suma de la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada, que se obtiene una radiación global [5].

- Radiación directa: proviene directamente del sol y la característica principal de debe por proyectar una sombra definida en objetos opacos en los que incide. Este tipo de radiación es menor en cuanto más nublado este el día [5].
- Radiación difusa: se genera en la atmosfera, debido a la dispersión de la radiación solar en ella, y toma varias direcciones. Si el día es despejado, este tipo de radiación alcanza valores del 15% de la radiación global, pero en días nublados alcanza valores superiores al 50% [5].
- Radiación reflejada: procede en el reflejo de la superficie terrestre y otros objetos, se puede dar la reflexión de la radiación solar sobre el terreno, lagos, etc. La cantidad de esta radiación depende de una superficie para reflejar la radiación [5].
- Radiación global: es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada [5].

1.3.4.1 Insolación

Es la cantidad total de radiación solar, incluyendo la radiación directa y la radiación reflejada, que llega a un punto específico en la superficie de la Tierra, por cada metro cuadrado de esa superficie. Esta medida se toma en cuenta para un ángulo de inclinación determinado entre la superficie colectora, como un panel solar, y la horizontal del lugar. Para obtener un valor preciso de la insolación en una ubicación específica, es necesario considerar el promedio a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta las variaciones cíclicas estacionales. Esto se logra realizando mediciones de la radiación solar diaria durante un período de al menos 10 años o más [8].

1.3.4.2 Irradiancia

Es una forma de medir la potencia solar que incide sobre una unidad de superficie, que cuantifica la intensidad de la radiación y sus valores se miden en W/m^2 o en algún múltiplo de esta unidad. La irradiancia procedente del sol se reduce al atravesar la atmosfera, de manera que a la superficie terrestre llegan aproximadamente 1000 W/m^2 si el cielo se encuentra despejado, este dato es normalizado y se utiliza para definir los parámetros que son nominales en los módulos fotovoltaicos [5].

1.3.4.3 Irradiación

La irradiación es la energía solar que capta una unidad de superficie en un tiempo determinado. Es decir, se obtiene sumando las diferentes irradiancias que se presentan durante ese periodo de tiempo a considerar. La unidad de medida es $W * h/m^2$ o en algún otro múltiplo [5].

1.3.4.4 Día solar promedio

La irradiancia experimenta variaciones en función de la densidad atmosférica, la cual fluctúa continuamente desde el alba hasta el ocaso. Con el propósito de simplificar el cálculo de la producción energética diaria de un panel fotovoltaico, se ha adoptado la noción de día solar medio. Este término indica el número de horas, dentro del intervalo total de horas desde la salida hasta la puesta del sol, en las cuales la radiación solar alcanza una potencia luminosa equivalente a 1 Sol. Por ejemplo, si la insolación media diaria en un determinado lugar es de $5Kwh/m^2$, al dividir este valor por la unidad estándar de irradiancia solar, se obtiene la duración en horas del día solar medio correspondiente a esa ubicación y orientación específicas [8].

1.3.5 Instalaciones fotovoltaicas aisladas

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas desempeñan un papel crucial en áreas remotas o donde la construcción de líneas eléctricas no resulta económicamente viable. Por ejemplo, se utilizan en viviendas rurales, granjas, sistemas de telecomunicaciones, señalización de tráfico, entre otros. En estas regiones, la energía solar representa la única fuente práctica de suministro eléctrico. Las baterías son elementos fundamentales en estas instalaciones, ya que se encargan de suministrar la energía necesaria durante la noche o en momentos de baja radiación solar. Sin embargo, su inclusión aumenta los costos de la instalación, lo que requiere encontrar un equilibrio entre el tamaño del sistema y su rentabilidad económica [5].

1.3.5.1 Sistemas fotovoltaicos aislado

El diseño de un sistema fotovoltaico aislado, también conocido como generador solar independiente, típicamente incluye cuatro componentes esenciales para su operación: el panel o módulo fotovoltaico, el regulador de carga, el acumulador de energía y el inversor. Estos elementos deben ser conectados de manera adecuada y en un orden específico para asegurar un

funcionamiento correcto del sistema, y también deben contar con las protecciones necesarias. En la Figura 3 se presenta un sistema fotovoltaico aislado como ejemplo visual de su estructura.

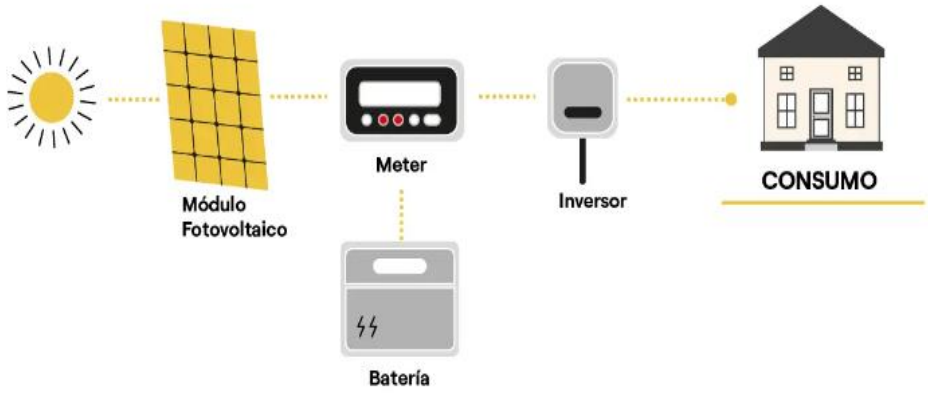


Figura 3. Sistema fotovoltaico aislado [9].

1.3.6 Módulos fotovoltaicos

La función principal de los módulos fotovoltaicos es proporcionar energía a través de la irradiación solar, aprovechando el efecto fotoeléctrico. Estos módulos están compuestos por la interconexión de varias células solares, ya sea en serie o en paralelo, para adaptar el panel a los niveles de tensión y corriente necesarios. Cada célula puede generar alrededor de 0,5 voltios. En el caso de los paneles solares de uniones de silicio con conexiones de células en serie, los valores de tensión por número de células suelen ser aproximadamente 36 células para 12 voltios y 72 células para 24 voltios [5].

1.3.6.1 Radiación incidente sobre un módulo fotovoltaico

La potencia que entrega un módulo fotovoltaico es mayor en cuanto la radiación reflejada está ligada con el ángulo de inclinación con respecto al sol. La radiación directa es proporcionalmente mayor a la radiación difusa. En un sistema estático de captador de energía solar la inclinación depende de la latitud orientados hacia el Ecuador terrestre, por tanto, cuando la superficie que absorbe la energía solar y la luz del sol son perpendiculares la densidad de potencia obtendrá su máximo, sin embargo, cuando el ángulo entre la superficie inclinada y el sol está en cambio constante, la densidad de absorción aminora. En la figura 4 muestra como incide la luz solar sobre una superficie inclinada [7].

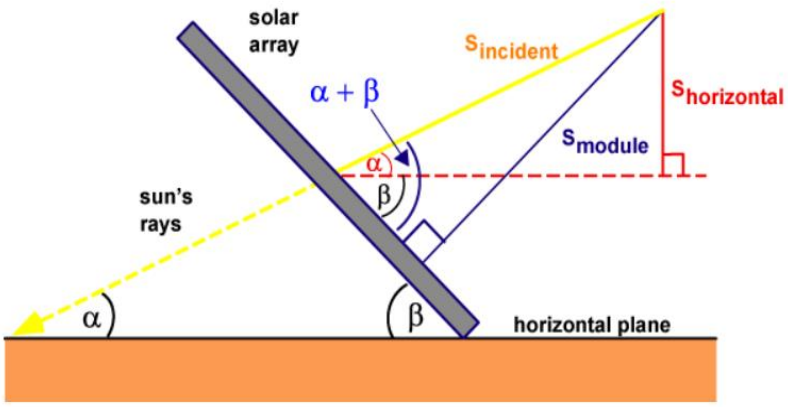


Figura 4. Radiación sobre un módulo fotovoltaico [7].

1.3.6.2 Masa de aire

La posición del sol en relación con la horizontal del lugar tiene un impacto directo en la masa de aire, que es una medida de la cantidad de atmósfera a través de la cual la radiación solar debe pasar. Cuando los rayos solares caen perpendicularmente formando un ángulo de 90 grados respecto a la horizontal, se dice que el sol está en su cenit o zenit. En este momento, la radiación solar alcanza su intensidad máxima en ese punto específico. A la posición del zenit se le asigna una masa de aire igual a 1. $Masa\ de\ aire = 1/cos\alpha$. Cuando se hace referencia al ángulo α formado entre la posición del zenit y la posición actual del sol, y se menciona que $cos\alpha$, es importante destacar que este valor varía entre 1 y 0 a medida que el ángulo α varía entre 0 y 90 grados. Para ángulos α mayores que cero, el valor de $cos\alpha$ siempre es menor que la unidad, lo que significa que a medida que el ángulo se incrementa, el valor de la masa de aire también se incrementa [8].

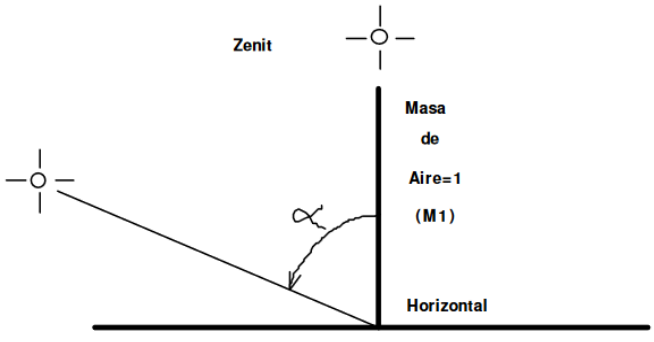


Figura 5. Masa de aire [8].

1.3.6.3 Sombras en el módulo fotovoltaico

El efecto de las sombras sobre un módulo fotovoltaico ya sea de manera parcial se ve afectado por la reducción de producción de energía, hay factores que están involucrados que van desde la época del año, porcentaje de área sombreada sobre el módulo, conexión de los módulos, amplitud del rango en el inversor. Una de las tareas al momento de realizar el diseño de un sistema fotovoltaico es decidir la ubicación de cada una de las partes que componen la parte de generación solar, resolver de manera adecuada el espacio disponible, las sombras parciales pueden generar puntos calientes en la célula solar afectando la vida útil. En días nublados, lluviosos o nevados las sombras pueden afectar la eficiencia de los módulos fotovoltaicos [6].

1.3.6.4 Tipos de módulos fotovoltaicos

Las células de los generadores se elaboran con la cristalización del silicio, existen tres tipos principales:

- Células de silicio cristalino: Existen dos tipos principales de células de silicio cristalino: monocristalinas y policristalinas. Las células monocristalinas tienen todos los átomos de silicio organizados de manera perfecta, formando un único cristal en toda la estructura de la célula. Por otro lado, las células policristalinas están compuestas por la unión de pequeños cristales, lo que resulta en un grado de ordenación menor; aunque dentro de cada cristal el orden es perfecto, la unión entre los cristales no sigue un patrón ordenado. Las células monocristalinas tienen un rendimiento más alto, generalmente entre el 14% y el 17%, mientras que las células policristalinas tienen un rendimiento ligeramente menor, entre el 12% y el 14%. Sin embargo, las células policristalinas suelen ser más económicas que las monocristalinas. En términos de aplicación práctica, las células de silicio cristalino son las más utilizadas debido a su eficiencia y disponibilidad en el mercado. [10].
- Células de silicio amorfo: La disposición de los átomos en este sólido no conserva ningún tipo de orden, lo que resulta en la presencia de numerosos enlaces vacíos, es decir, enlaces que no están unidos a otros átomos. Esta estructura presenta un problema significativo frente al fenómeno fotoeléctrico, ya que cuando se genera un electrón libre debido a la luz, tiende a ser capturado de manera inmediata debido a la alta cantidad de enlaces vacíos presentes [10].

- Células de AsGa/AsGaAl: En comparación con las células de silicio, las células fotovoltaicas de otros materiales pueden teóricamente alcanzar un rendimiento mucho más alto, llegando alrededor del 26% a temperatura ambiente. Este rendimiento aumenta significativamente en sistemas concentradores, donde se concentra la luz solar en la célula fotovoltaica, lo que permite aprovechar de manera más eficiente la energía solar incidente. [10]. En la figura 5 se indica el mercado de manufactura para la elaboración de paneles fotovoltaicos.

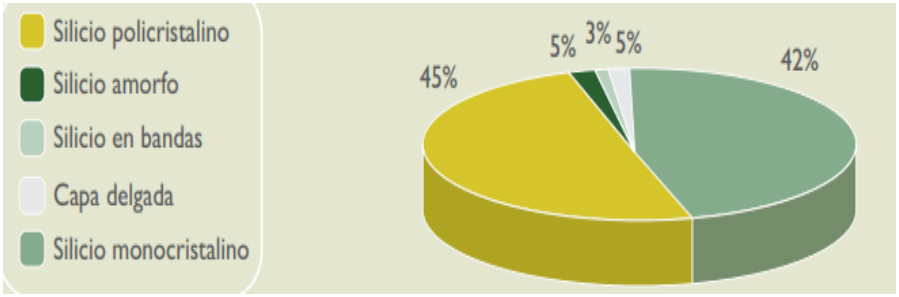


Figura 6. Mercado de materiales de paneles fotovoltaicos [11].

1.3.6.5 Conexión de los módulos fotovoltaicos

Conexión en serie: En este tipo de conexión, conocida como conexión en serie, la corriente permanece constante y fluye en una sola dirección. En esta configuración, el polo positivo de un panel se conecta al polo negativo del siguiente panel. Esta forma de conexión se utiliza cuando se necesita obtener un voltaje más alto, ya que, al sumar los voltajes de cada panel conectado en serie, se logra un voltaje total más elevado.

- **Ventajas**

- La suma de los voltajes es útil en sistemas que requieren tensiones altas.
- La corriente se mantiene constante en ciertos equipos, se beneficia de manera adecuada el suministro de energía.
- Menor pérdida de energía debido a que la resistencia en esta conexión es mínima.

- **Desventajas**

- La tolerancia a la sombra es menor, si un módulo se encuentra sombreado afecta el rendimiento de todos los demás.
- Si un módulo falla, afecta el rendimiento de todos los demás y el tiempo de carga del banco de baterías es más lento.

- Se requiere un controlador de carga que pueda manejar voltajes más altos, lo que incurre a un gasto más elevado.

Conexión en paralelo: La corriente total es la suma de las corrientes individuales de cada panel, mientras que el voltaje se mantiene constante. En este tipo de conexión, los polos positivos de los paneles se conectan entre sí, al igual que los polos negativos. Esta configuración se utiliza cuando se necesita aumentar la corriente de salida, al sumar las corrientes de cada panel conectado en paralelo, se obtiene una corriente total mayor.

- **Ventajas**
- Existe mayor corriente disponible lo que facilita una carga más rápida del banco de baterías.
- La tolerancia a las sombras es menos sensible ya que solo afecta al módulo que se encuentra sombreado.
- La flexibilidad en el diseño permite que se puedan agregar o retirar módulos sin afectar el voltaje del sistema.
- **Desventajas**
- El voltaje nominal es el mismo de un solo módulo fotovoltaico, lo que puede requerir más módulos para alcanzar ciertos voltajes.
- La pérdida de energía es más elevada debido a la resistencia en los cables y componentes.
- La conexión debe ser adecuada para evitar desequilibrios en la carga del banco de baterías.

Conexión mixta: Este tipo de conexión se utiliza para optimizar el rendimiento del sistema fotovoltaico según las necesidades específicas de voltaje y corriente. En una conexión mixta, se agrupan varios paneles en serie para aumentar el voltaje total y luego se conectan estos grupos en paralelo para aumentar la corriente total.

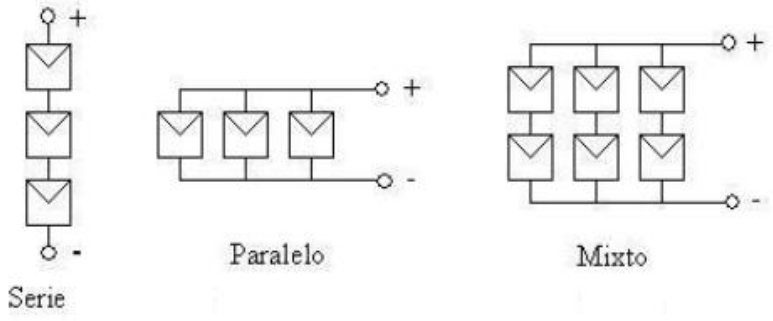


Figura 7. Formas de conexión de los módulos fotovoltaicos [10].

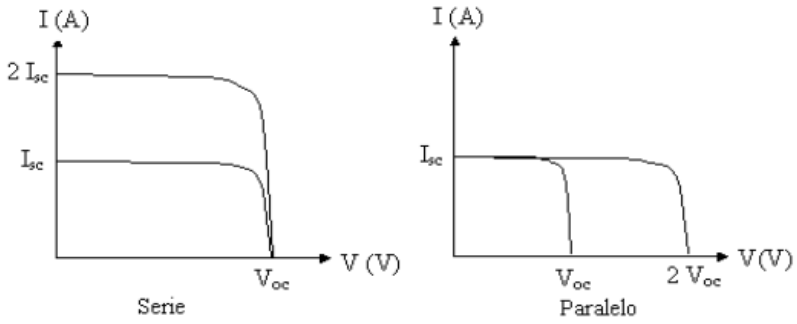


Figura 8. Curvas características I-V de módulos en serie y paralelo [10].

1.3.6.6 Ángulo de inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos

Para determinar el ángulo de inclinación ideal para un módulo fotovoltaico en relación con una superficie horizontal, es importante considerar varios factores específicos del lugar, como la longitud, la latitud, la temperatura promedio y la altitud sobre el nivel del mar. Estos elementos influyen en la cantidad de radiación solar que llega al panel y esto ayuda que mejore también la eficiencia de recepción. En la tabla 1 se encuentran los datos específicos de la parroquia Viche, que serían necesarios para calcular el ángulo de inclinación óptimo.

Tabla 1. Datos geográficos de la parroquia Viche. (Anexo 1)

Datos de ubicación geográfica	
Longitud	0°39'19"N
Latitud	79°32'39"W
Temperatura promedio	24ºC

Altura sobre el nivel del mar	314 msnm

La orientación de un módulo fotovoltaico se caracteriza por el ángulo de azimut α. Es importante tener en cuenta que un error de hasta 15º con respecto a la posición óptima de orientación tiene un impacto mínimo en la cantidad de radiación solar captada. Sin embargo, se deben evitar desviaciones superiores a este valor para garantizar un rendimiento adecuado del sistema fotovoltaico. [5].

1.3.7 Regulador de carga solar

El regulador de carga es un componente esencial en un sistema fotovoltaico es el encargado de controlar los procesos de carga y descarga de la batería, desempeñan un papel fundamental al proteger la batería o la bancada de baterías, ya sea de plomo-ácido de ciclo profundo, iones de litio u otras tecnologías de acumuladores. Estos dispositivos se encargan de evitar sobrecargas provenientes del panel solar fotovoltaico y descargas profundas debido a los consumos de corriente directa que se producen en la etapa de consumo. Los reguladores de voltaje garantizan una gestión eficiente y segura de la energía en el sistema solar fotovoltaico [12].

El control del flujo de energía en un sistema solar fotovoltaico se lleva a cabo mediante la gestión de los parámetros de intensidad (I) y voltaje (V) que se aplican a la batería. Este flujo de energía está directamente influenciado por el estado de carga de la batería o bancada de baterías, así como por la energía generada por el campo fotovoltaico, monitorea de manera constante el estado de carga de las baterías para llevar a cabo una carga óptima que prolongue su vida útil [12].

El controlador en su mayoría de veces tiene tres estados de carga:

- Fase bulk: la batería se encuentra descargada y todo el flujo de corriente generado por el campo fotovoltaico es dirigido hacia las baterías, lo que resulta en un aumento progresivo de la tensión en la batería a medida que esta se va cargando [12].
- Fase absorción: una vez que la tensión de la batería alcanza el nivel de tensión de absorción específico (14,4 V para baterías de plomo-ácido abiertas, 14,1 V para baterías AGM y baterías GEL), el regulador de carga solar ajusta la tensión ligeramente por debajo de este valor y disminuye gradualmente la corriente de carga hasta que la batería esté casi completamente cargada [12].

- Fase flotación: la tensión se reduce a la tensión de flotación establecida (generalmente alrededor de 13,5 V) y la corriente inyectada se reduce más, permitiendo que la batería se mantenga completamente cargada sin sobrecargarla. Esta fase ayuda a prolongar la vida útil de la batería al evitar que permanezca constantemente bajo tensión y corriente alta una vez que está completamente cargada [12].



Figura 9. Regulador de carga solar [12].

1.3.7.1 Tipos de reguladores de carga solar

- **Regulador PWM:** emplea un algoritmo interno programado para controlar y gestionar la carga de la batería. Su principal función radica en limitar la corriente que ingresa a la batería, adaptándola según los diferentes estados de carga. La tensión de la batería es un indicador crucial que proporciona información detallada acerca de su nivel de carga, ajusta de manera dinámica la corriente de carga para mantener la batería en óptimas condiciones y prolongar su vida útil [12].
- **Regulador MPPT:** tiene la capacidad de desvincular la tensión de operación de los paneles solares de la tensión de la batería. Esta característica permite que el algoritmo MPPT pueda ajustar la tensión de operación de los paneles de manera dinámica, con el fin de encontrar el punto en el que el panel solar genera la máxima potencia disponible en todo momento. Estos controladores se emplean específicamente para cargar baterías utilizando paneles solares que tienen 60 células [12].

1.3.8 Baterías o acumuladores de energía

El banco de baterías es un conjunto de baterías conectadas en serie o paralelo, su función es almacenar la energía generada por paneles solares u dispositivos de generación de energía solar.

Estas baterías son fundamentales en los sistemas fotovoltaicos independientes de la red eléctrica, ya que permiten almacenar la energía generada durante el día para su uso posterior durante la noche o en momentos en los que la generación de energía solar es insuficiente. El tamaño y la capacidad del banco de baterías depende de diversos factores, como la demanda energética del sistema, la cantidad de energía generada por los paneles solares, la autonomía requerida y la eficiencia de las baterías. Es importante dimensionar correctamente el banco de baterías para asegurar un suministro de energía adecuado y estable en todo momento, sobre todo en el periodo de autonomía [13].

1.3.8.1 Energía química a eléctrica

Un acumulador de energía o batería es un dispositivo electroquímico diseñado para almacenar energía en forma química. Al conectar una batería a un circuito eléctrico, la energía química se convierte en energía eléctrica, todas las baterías son fundamentalmente similares y están compuestas por un conjunto de celdas electroquímicas. Cada celda dentro de una batería está formada por un electrodo positivo, un electrodo negativo y un separador que los mantiene separados [12].

1.3.8.2 Capacidad de almacenamiento

La capacidad que posee una batería es la cantidad de energía que se puede almacenar. La capacidad de una batería se evalúa en amperios-hora (Ah), una medida que cuantifica la energía disponible antes de que la batería se agote por completo. Es esencial destacar que los amperios-hora no constituyen una medida directa de la energía en watts-hora; para obtener esta última, es necesario multiplicar los amperios-hora por el voltaje de la batería [13].

1.3.8.3 Estados de carga

- Corriente de carga: representa la corriente eléctrica suministrada a una batería y almacenada en ella. La cantidad de energía que recibe una batería puede estimarse multiplicando la corriente de carga por el tiempo de carga. Es importante no exceder una décima parte de la capacidad estimada al cargar las baterías; por ejemplo, una batería de 100Ah no debe cargarse a una corriente superior a los 10 amperios [13].
- Descarga: es el estado de la batería cuando refiere el momento en que su energía es utilizada por un dispositivo conectado. La corriente de descarga indica la rapidez con la que se extrae la corriente de la batería. Si se desea, se puede calcular la cantidad de

energía consumida por una carga durante un lapso determinado al multiplicar la corriente de descarga por el tiempo de uso del dispositivo [13].

- Estado de carga: es una medida de la cantidad de energía que le queda a la batería, es un indicativo crucial para determinar si la batería está completamente cargada, parcialmente cargada o completamente descargada. En el caso de una batería de plomo-ácido, es posible evaluar su estado de carga mediante herramientas como un higrómetro o un voltímetro [13].

1.3.8.4 Ciclo y ciclo de vida

- Ciclo: Una batería tiene un proceso de carga diario a través de un módulo fotovoltaico y posteriormente se descarga debido al uso que se le da. Este ciclo que incluye el periodo de carga y el periodo de descarga se conoce como un ciclo completo. Por ejemplo, durante un ciclo, una batería con una capacidad de 100Ah podría alcanzar un nivel de carga del 95% durante el día y luego disminuir hasta un 75% de su capacidad durante la noche [13].
- Ciclo de vida: es el número aproximado de ciclos que puede completar antes de que su capacidad se reduzca significativamente. La mayoría de las baterías tienen un ciclo de vida que abarca varios miles de ciclos; por ejemplo, las baterías de níquel-cadmio suelen tener un ciclo de vida más prolongado en comparación con las baterías de plomo-ácido. Es importante tener en cuenta que el ciclo de vida real puede ser más corto debido a factores como descargas profundas, altas temperaturas, falta de mantenimiento y descargas rápidas y frecuentes [13].

1.3.8.5 Autodescarga

Cuando las baterías permanecen sin uso constante, experimentan una pérdida de su carga debido a un proceso conocido como autodescarga. Esto se origina a partir de reacciones químicas que tienen lugar dentro de las celdas de la batería. El nivel de autodescarga de una batería tiene que ver con la temperatura del entorno en el que se encuentra y por el tipo específico de batería que se está utilizando. Los climas cálidos tienen un impacto significativo en el aumento de la autodescarga de las baterías. Por lo general, las baterías nuevas experimentan una autodescarga de alrededor del 5% al mes. En climas cálidos, las baterías de plomo-ácido usadas pueden perder hasta un 40% de su capacidad, cada mes si no se las carga regularmente [13].

1.3.8.6 Tipos de baterías

En el mercado existen diferentes tipos de baterías, las cuales se clasifican según su manufactura de fabricación. En la tabla 2 se puede apreciar la comparación los principales tipos de baterías para sistemas fotovoltaicos.

Tabla 2. Características de los tipos de baterías [14].

Tipo de batería	**Voltaje (V)**	**Tiempo de carga (Horas)**	**Autodescarga al mes (%)**	**N.º de Ciclos**	**Capacidad (Wh/kg)**	**Precio**
Plomo-ácido	2	8-16	5	Medio	30-50	Bajo
Níquel-cadmio	1.2	1	20	Elevado	50-80	Medio
Níquel-hidruro metálico	1.2	2-4	20	Medio	60-120	Medio
Ion litio	3.6	2-4	6	Medio-bajo	110-160	Alto

- **Plomo-ácido**

Las baterías con mayor uso en sistemas fotovoltaicos son de plomo-ácido, debido a las características que poseen, además debido a su costo se vuelven más accesibles, sin embargo, dentro de este grupo de baterías hay varios modelos. En una batería de plomo-ácido, ambos electrodos están fabricados con plomo, mientras que el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Durante la carga de la batería, el electrodo positivo presenta un recubrimiento de dióxido de plomo, mientras que el electrodo negativo está compuesto de plomo puro. Al descargarse, se produce una reacción química que genera depósitos de sulfato de plomo tanto en la placa positiva como en la negativa [8].

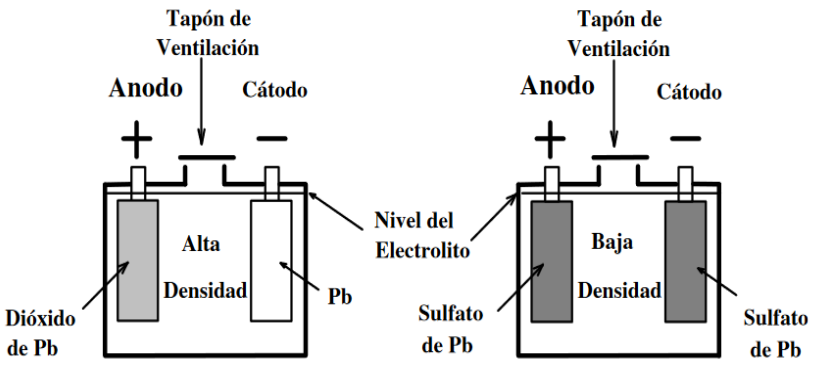


Figura 10. Batería cargada y batería descargada [8].

En la tabla 3 se indica diferentes modelos de baterías de plomo-ácido con sus ventajas y desventajas en el uso de la práctica.

Tabla 3. Modelos de baterías solares plomo-ácido [14].

Tipo	Ventajas	Desventajas	Gráfico
Tubular estacionaria	• Ciclado profundo • Tiempo de vida largo • Reserva de sedimentos	• Precio elevado • Difícil de conseguir	
Arranque	• Precio • Disponibilidad	• Mal funcionamiento en ciclado profundo • Tiempo de vida corto • Escasa reserva de electrolito	

Solar	• Manufactura similar al de arranque • Gran reserva de electrolito • Funciona bien en ciclados medios	• Tiempo de vida medios • No recomendada para ciclos profundos	
Gel	• Escaso mantenimiento • Mejor resultado en climas cálidos • Vida útil de alrededor de 12 años • No tiene caída de voltaje	• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremo • Ciclo de carga, planificación de más tiempo • Costo inicial más alto • Menor densidad de energía en comparación con las de litio.	

- **Níquel-Cadmio**

Las baterías de níquel-cadmio son comunes en dispositivos portátiles y pueden recargarse múltiples veces. Sin embargo, su uso ha disminuido debido al efecto memoria que presentan y a la alta contaminación asociada al cadmio. Para evitar el efecto memoria, es recomendable descargar completamente estas baterías antes de recargarlas [12].

- **Níquel-Hidruro metálico**

Tienen una mejor autonomía, son más ligeras, tienen una vida útil moderada y se utilizan comúnmente en ordenadores portátiles y teléfonos móviles. Utilizan un ánodo de óxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico. En comparación con las baterías Níquel-Cadmio, las Níquel-Hidruro metálico tienen costos más bajos y son menos peligrosas para el medio ambiente debido a la ausencia de cadmio. Además, tienen una mayor capacidad de carga, hasta dos o tres veces, del mismo tamaño y peso, y presentan un menor efecto memoria. Sin embargo, tienen una tasa de autodescarga ligeramente mayor, alrededor del 30% mensual en comparación con el 20% de las de níquel-cadmio [12].

1.3.8.7 Conexión de las baterías

La conexión de las baterías puede ser entre sí para poder aumentar el voltaje, la capacidad, o puede ser a la vez las dos, para los ejemplos de las conexiones se toma en cuenta que las baterías son de 2 voltios cada una.

Conexión en serie: los polos positivos se unen con el negativo, esto hace que las tensiones de las celdas se sumen, obteniendo un mayor voltaje.

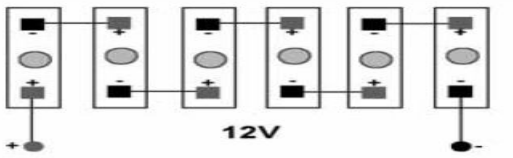


Figura 11. Conexión en serie de baterías [15].

- **Ventajas**
    - La suma del voltaje de cada batería es útil para sistemas que requieren voltajes altos.
    - La corriente total se mantiene baja lo cual puede ser beneficioso para ciertos componentes del sistema.
    - La pérdida de energía debido a resistencias es menor independientemente de la energía almacenada.

- **Desventajas**
    - Existe un mayor riesgo de desequilibrio en la descarga del banco de baterías lo que afecta la vida útil general del conjunto.
    - La capacidad de almacenar energía se ve afectada debido por la batería que se descargue más rápido.
    - El sistema de ciclo de la batería tiene mayor complejidad para una carga y descarga equilibrada

Conexión en paralelo: en este tipo de conexión los polos positivos se unen y también los polos negativos, manteniendo así la misma tensión en el circuito de baterías.

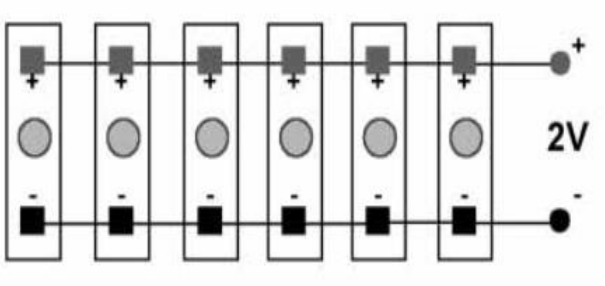


Figura 12. Conexión en paralelo de baterías [15].

- **Ventajas**
    - La capacidad total del banco de baterías es mayor, lo que permite poder almacenar más energía.
    - El riesgo por desequilibrio es menor ya que las baterías se pueden cargar y descargar entre sí de forma adecuada, ayuda a prolongar la vida útil del banco de baterías.
    - La flexibilidad en el diseño permite agregar más baterías al sistema sin que se vea afectada la tensión nominal.
- **Desventajas**
    - La corriente total es mayor lo que incurre en dispositivos y cables eléctricos más resistentes.
    - Puede existir mayores pérdidas debido a los componentes del sistema si no se dimensiona bien en el diseño.

- Las baterías deben tener la misma tensión nominal para evitar posibles desequilibrios en el proceso de carga y descarga.

Conexión mixta: al hacer las conexiones de esta forma, se incrementa tanto el voltaje como la capacidad del circuito de baterías.

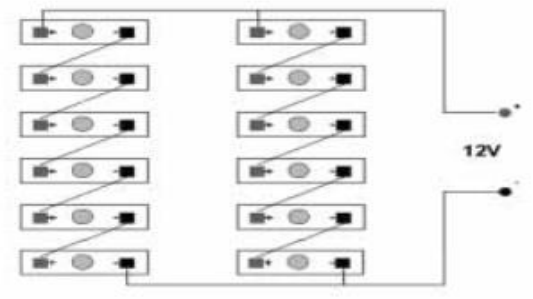


Figura 13. Conexión en serie y paralelo de baterías [15].

1.3.9 Inversor

Los inversores de corriente, también denominados convertidores, son equipos que transforman la corriente directa en corriente alterna. Su funcionamiento se debe en el empleo de dispositivos electrónicos que ejercen la función de interruptores, posibilitando la interrupción y el cambio de polaridad de la corriente eléctrica. Al seleccionar un inversor para sistemas aislados, es importante considerar el tipo de forma de onda que produce, ya que existen varios tipos de onda [15].

- **Onda senoidal pura:** son aquellos que generan una forma de onda muy similar a la de la red eléctrica, lo que les permite alimentar cualquier tipo de carga. Este tipo de inversor son los más costosos.
- **Onda trapezoidal y cuadrada:** Es posible que estos inversores no alimenten de manera adecuada cargas electrónicas y que generen más pérdidas en equipos que requieren una corriente sinusoidal. Se justifica su elección cuando las cargas no son muy exigentes y la forma de onda no es tan importante para su correcto funcionamiento [15].

Al momento de la adquisición de un dispositivo inversor se debe tener en cuenta que cuente con la siguiente información:

- Potencia nominal (VA)
- Tensión nominal de entrada (V)
- Tensión (VRMS) y frecuencia (Hz) nominales de salida
- Fabricante (nombre) y número de serie
- Polaridad y terminales



Figura 14. Inversor de sistema aislado [12].

1.3.10 Cables conductores

Los cables eléctricos o conductores deben tener la capacidad de llevar una corriente eléctrica sin causar pérdidas de energía significativas, mantener una temperatura que no dañe su integridad y estar instalados en condiciones que eviten accidentes que puedan afectar el buen funcionamiento de la instalación o la salud de quienes manejan estos conductores. Para lograr esto, se debe limitar la caída de tensión dentro de niveles aceptables, controlar la intensidad de corriente que circula a través del cable y asegurar un aislamiento apropiado según el tipo de instalación del cable. Debido a su mayor rendimiento y prestaciones, el cable fotovoltaico es más costoso que el cable estándar. Por lo tanto, se aconseja optar por el cable fotovoltaico solo en aquellas partes de la instalación donde su calidad sea absolutamente necesaria, como la conexión entre los paneles solares y la conexión entre estos y el regulador inversor [10].

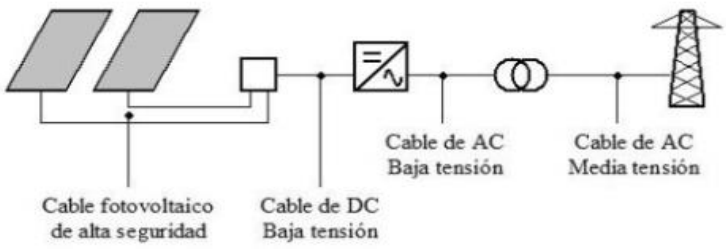


Figura 15. Esquema de cables eléctricos [10].

En el mercado actual, se pueden encontrar una amplia variedad de tipos de cables, como se indica en la tabla 4, cada uno de ellos diseñado para adaptarse a diferentes tipos de instalaciones y desempeñar funciones adecuadas.

Tabla 4. Tamaños y características de cables [10].

Sección (mm^2)	**Diámetro externo (mm)**	**Peso (kg/km)**	**Radio de curvatura (mm)**	**Resistencia a 20º C Ω/km**	**Intensidad al aire A**	**Caída de tensión V/A*km**
1x1.5	4.3	35	18	13.7	30	38.17
1x2.5	5	50	20	8.21	41	22.87
1x4	5.6	65	23	5.09	55	14.18
1x6	6.3	85	26	3.39	70	9.445
1x10	7.9	140	32	1.95	96	5.433
1x16	8.8	200	35	1.24	132	3.455
1x25	10.5	295	42	0.795	176	2.215
1x35	11.8	395	47	0.565	218	1.574

CAPÍTULO II

2 METODOLOGÍA

2.1 Materiales

El presente proyecto es de origen técnico, aparte de los elementos mencionados anteriormente el sistema fotovoltaico puede requerir otros componentes y materiales. En la tabla 5 se indican los materiales y componentes adicionales que requiere un sistema fotovoltaico.

Tabla 5. Materiales y componentes adicionales de un sistema fotovoltaico.

Denominación	Cantidad	Descripción	Gráfico
Soportes	1	Soporte para montaje de paneles solares	
Breaker	2	Interruptor de circuito que permite o impide el paso de corriente	
Conectores MC4	2	Se colocan en las terminales de cada panel fotovoltaico	
Cinta aislante	2	Para aislar empalmes, cables conductores eléctricos	

Grapas para cable	100	Ayudan a la sujeción de cables eléctricos	
Pernos	40	Permite unir y fijar cosas.	
Pelacables	1	Sirve para retirar el aislamiento externo de un cable	
Multímetro	1	Mide magnitudes eléctricas activas, pasivas, tensiones, etc.	
Pinza Amperimétrica	1	Permite medir las corrientes mediante un sensor sin tener que quitar el recubrimiento	
Alicate	1	Permite sujetar, doblar y cortar.	

Gabinete eléctrico	1	Se concentran los dispositivos de conexión	

2.2 Métodos

2.2.1 Método cuantitativo

Debido al previo cálculo de consumo energético para el diseño del sistema fotovoltaico, este método se usó de forma vital en la elección de los equipos y dispositivos mediante enfoques analíticos, numéricos adecuados para las etapas de diseño, análisis de rendimiento. De esta forma el sistema pueda funcionar correctamente y solventar sin problema las necesidades energéticas de la vivienda.

2.2.2 Método de comparación

En este proyecto técnico se hace uso de este método ya que permite comparar los diferentes equipos, dispositivos, costos y beneficio, para que el diseño del sistema fotovoltaico sea eficiente y solvente de manera adecuada las necesidades energéticas.

2.2.3 Técnica de observación

El uso de este método de debe a la observación detallada una vez instalado el sistema fotovoltaico para la descripción de comportamientos y situaciones que se dan de acuerdo con las condiciones climáticas del lugar. Es una forma de recopilar datos directamente de la realidad.

2.3 Análisis de alternativas

Para realizar un análisis correcto de alternativas de los componentes del sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta diferentes aspectos como: vida útil, garantía del producto, costos, eficiencia energética, facilidad de instalación y mantenimiento.

En la figura 14 se indica el diagrama de flujo de los pasos de la instalación fotovoltaica hasta su funcionamiento operacional.

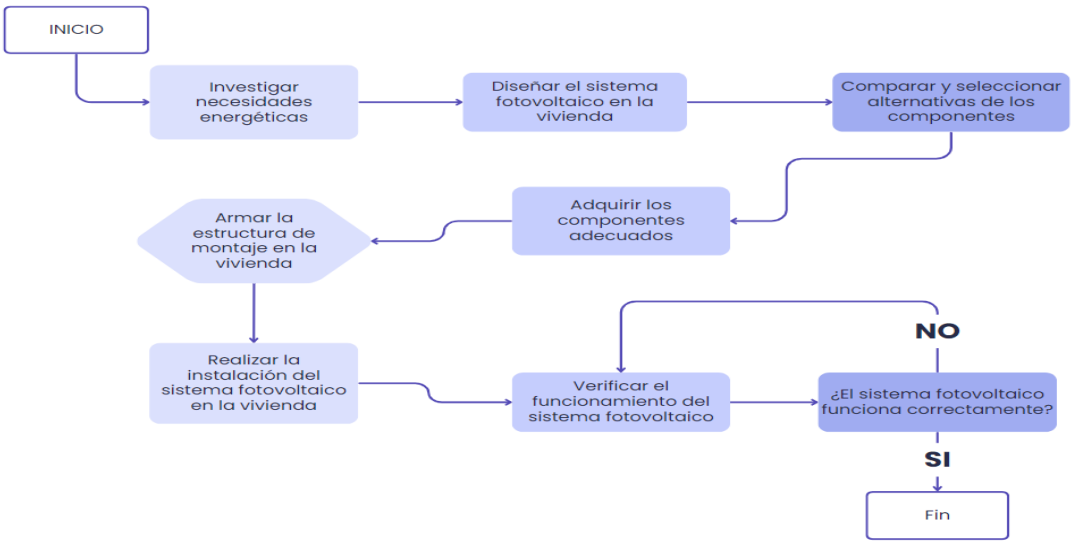


Figura 16. Diagrama de flujo de la instalación fotovoltaica.

2.4 Recolección de datos

Para la recolección de datos es importante recopilar la información relevante sobre equipos que consumen energía, como electrodomésticos, sistemas de iluminación, sistemas de carga de dispositivos electrónicos, entre otros. Tomar la nota de las especificaciones de las potencias de los artefactos, consumo de watts hora, fichas técnicas.

2.4.1 Consumo energético

También denominado potencia eléctrica, es el valor de consumo de energía de un electrodoméstico o dispositivo electrónico y se mide en unidades de kilowatt – hora por año ($kWh/año$), el primer paso es investigar los artefactos que se van a utilizar en el sistema fotovoltaico para ello se calcula la potencia total considerando las horas que estarán en uso los electrodomésticos al día, el número de artefactos existentes. Se debe tener en cuenta que ciertos electrodomésticos tienen un uso regular al día o casi nulo lo cual se hace un consumo de horas total a la semana. Para el cálculo del consumo energético se realiza el cálculo mediante la ecuación 1.

$$C_{energetico} = P * t \qquad (1)$$

$C_{energético} = \text{Consumo energético [Watts} - \text{hora]}$

$P =$ Potencia [Watts]

$t =$ tiempo [horas]

El consumo diario energético de la vivienda unifamiliar tiene el pico horario de consumo que es en la noche de 6:00 pm a 9:00 pm, que es después de las actividades diarias.

En la tabla 6 y anexo 2 se muestra el consumo energético de los electrodomésticos que se estima usar en la vivienda unifamiliar.

Tabla 6. Consumo energético estimado para la vivienda unifamiliar.

Consumo energético				
Electrodomésticos	**Cantidad**	**Potencia (Watts)**	**Horas de (uso/día)**	**Consumo diario (kWh/día)**
Minibar	1	27	14	0.378
Televisor	1	80	3	0.24
Lavadora	1	510	0.5	0.255
Licuadora	1	400	0.17	0.068
Celular	3	33	1	0.1
Iluminación	10	20	3	0.6
Potencia máxima de la instalación (kWh/día)				**1.641**

2.4.1.1 Cálculo del consumo sin pérdidas

Una vez determinada la potencia máxima de la instalación de generación de energía se calcula la corriente máxima de la instalación fotovoltaica necesaria para la capacidad de generación de energía en condiciones óptimas de radiación solar, para ello se necesita saber la tensión nominal de la batería, la ecuación para la corriente máxima se indica en la ecuación 2.

$$I_{\max\ _ins} = \frac{P_{max}}{V_{nom_bat}} \qquad (2)$$

$I_{\max\ _ins} =$ Corriente máxima de instalación [Ah/d]

V_{nom_bat} = Voltaje nominal del sistema [V] (Anexo 4)

2.4.1.2 Cálculo de consumo real

El consumo real será superior al consumo teórico ya que se debe tener en cuenta las pérdidas de energía en cuanto al rendimiento de los equipos, al valor de la potencia máxima de instalación se le aumenta un margen de seguridad o factor de seguridad con un aumento que puede ser desde 10%, 15% y 20%, valores que dependen del diseñador, para este caso el valor de margen de seguridad será del 10%. El cálculo se lo realiza como se muestra en la ecuación 3.

$$I_{max} = I_{\max_ins} + I_{\max_ins} * 10\% \rightarrow I_{\max_ins} * 1{,}1 \quad (3)$$

$I_{max} = Corriente\ máxima[\mathrm{Ah/d}]$

Una vez obtenida la corriente máxima aplicado el margen de seguridad se calcula las pérdidas totales, estas pérdidas son debido a los componentes que tiene el sistema fotovoltaico. En la ecuación 4 se indica el proceso para el cálculo.

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \frac{K_A * D_{aut}}{P_d}\right] \quad (4)$$

$K_T = Pérdidas\ totales$

$K_A = Pérdidas\ autodescarga\ de\ baterías\ [adim]$

$K_B = Pérdidas\ rendimiento\ de\ baterías\ [adim]$

$K_C = Pérdidas\ de\ inversor\ [adim]$

$K_R = Pérdidas\ rendimiento\ regulador\ [adim]$

$K_X = Pérdidas\ efecto\ Joule\ [adim]$

$D_{aut} = Días\ de\ autonomía\ [adim]$

$P_d = Profundidad\ de\ descarga\ de\ batería\ [adim]$

En la tabla 7 se indica los valores promedio de factores que afectan el rendimiento.

Tabla 7. Factores para el rendimiento de cálculo global [5].

Factor	Descripción del factor	Valor predeterminado
K_A	Autodescarga de baterías	0.005
K_B	Rendimiento de baterías	0.01
K_C	Pérdidas de inversor	0.01
K_R	Pérdidas regulador	0.01
K_X	Efecto Joule	0.01
D_{aut}	Días de autonomía	2 a 5
P_d	Profundidad de descarga	0.6 a 0.7

Para calcular el consumo máximo real con el cociente máximo entre las pérdidas totales, se procede a usar la ecuación 5.

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{K_T} \quad (5)$$

$C_{max} = Consumo\ máximo\ [\mathrm{Ah/d}]$

2.4.2 Datos climatológicos de irradiación

Para la aplicación de cálculos se tomará en cuenta las horas solares pico del lugar, lo cual depende de la zona geográfica, la Hora Solar Pico (HSP) se define como las horas de irradiación diarias u horas de luz que puede oscilar entre 3 a 7 horas diarias, cuando incide en una unidad de superficie y se mide en kilovatios por metro cuadrado $kWh/m^2/día$. Los valores de irradiación se consultan en bases de datos para ello se tomarán como referencia PVGis, NREL, Meteonorm.

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento
	kWh/m²/día	kWh/m²/día	°C	m/s
Enero	3.58	2.56	24.8	2.03
Febrero	4.38	2.69	24.1	1.66
Marzo	4.62	2.82	24.9	1.43
Abril	4.21	2.52	25.4	1.60
Mayo	4.01	2.68	25.1	1.69
Junio	3.83	2.41	24.6	1.96
Julio	3.81	2.42	24.0	1.81
Agosto	4.25	2.46	25.2	2.34
Septiembre	3.88	2.77	25.2	2.53
Octubre	3.85	2.65	24.7	2.41
Noviembre	3.69	2.56	25.3	2.40
Diciembre	3.69	2.37	24.6	2.12
Año	**3.98**	**2.57**	**24.8**	**2.0**

Figura 17. Datos de irradiación promedio de 1998 al 2020, NREL [16].

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento
	kWh/m²/día	kWh/m²/día	°C	m/s
Enero	3.54	2.30	23.9	1.31
Febrero	4.00	2.77	23.3	1.00
Marzo	4.70	2.81	23.7	0.98
Abril	5.10	2.45	24.2	0.94
Mayo	3.67	2.45	24.4	1.25
Junio	3.74	2.48	24.1	1.47
Julio	3.52	2.41	23.8	1.54
Agosto	3.52	2.57	23.9	1.56
Septiembre	3.55	2.60	24.2	1.81
Octubre	3.96	2.53	23.6	1.91
Noviembre	4.26	2.64	23.7	1.65
Diciembre	3.27	2.39	22.8	1.40
Año	**3.90**	**2.53**	**23.8**	**1.4**

Figura 18. Datos de irradiación promedio de 2005 al 2015, PVGis [17].

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento
	kWh/m²/día	kWh/m²/día	°C	m/s
Enero	4.75	2.37	25.7	2.80
Febrero	4.84	2.84	26.0	2.19
Marzo	4.90	2.71	26.2	2.20
Abril	5.37	2.81	25.9	2.39
Mayo	5.04	2.38	25.7	3.00
Junio	4.59	2.31	24.4	3.40
Julio	4.45	2.66	24.2	3.70
Agosto	4.39	2.50	23.7	3.90
Septiembre	3.85	2.53	23.4	4.00
Octubre	4.06	2.65	23.8	4.00
Noviembre	4.26	2.46	23.9	4.00
Diciembre	4.70	2.57	25.3	3.70
Año	**4.60**	**2.56**	**24.8**	**3.3**

Figura 19. Datos de irradiación promedio de 2016 al 2021, Meteonorm [18].

Para la obtención de la Hora Solar Pico se debe dividir la cantidad de irradiación R_β entre la potencia de irradiación incidente I_β, o también si se tiene el valor mensual de Irradiación horizontal global, en la ecuación 6 se indica. [19].

$$HSP = \frac{R_\beta}{I_\beta} \tag{6}$$

$HSP =$ Hora Solar Pico [horas]

$R_\beta =$ Potencia de radiación incidente [$\mathrm{Wh/m^2día}$]

$I_\beta =$ Irradiación incidente[$1000\mathrm{W/m^2}$]

Para el diseño de una vivienda con uso de energía diario, se deberá escoger la cantidad media de irradiación de todo el año o el valor medio de todo el año. En la tabla 8 se indica valores de las bases de datos de irradiación.

Tabla 8. Tabla de comparación de valores de irradiación horizontal global.

Base de datos	**Irradiación horizontal global media (kWh/m^2dia)**	**Irradiación horizontal global menor (kWh/m^2dia)**
NREL	3.98	3.58
PVGis	3.90	3.27
Meteonorm	4.60	3.85
Total, valor medio	**4.16**	**3.56**

Debido a valores registrados de forma manual durante tres meses, se registró a diario el horario solar, se obtuvo días solares de alrededor de 4 a 7 horas, dicha tabla se indica en el siguiente capitulo. Para este caso se escoge el valor irradiación horizontal global media de la tabla 8, se tiene 4.16 kWh/m^2dia.

2.5 Módulos fotovoltaicos

Una vez determinado el consumo máximo, se usa el valor para el cálculo de número de módulos fotovoltaicos necesarios, se empieza por la cantidad de amperios que se necesita ingresar al sistema, además se necesita saber la corriente que suministra el módulo [20].

En la ecuación 7 y 8 se indica la fórmula para el número de paneles en paralelo y en serie respectivamente.

$$N_{mod_p} \geq \frac{C_{max}}{N_{HIM} * A_{mod}} \quad (7)$$

$N_{mod_p} = N\acute{u}mero\ de\ m\acute{o}dulos\ en\ paralelo$

$N_{HIM} = Horas\ de\ Irradiación\ global\ menor\ [h]$

$A_{mod} = Amperaje\ medio\ del\ módulo\ [A]$ (Anexo 3)

$$N_{mod_s} \geq \frac{V_{bat}}{V_{pan}} \quad (8)$$

$N_{mod_s} = Número\ de\ módulos\ en\ serie$

$V_{bat} = Tensión\ de\ la\ batería$ [V] (Anexo 4)

$V_{pan} = Voltaje\ del\ panel$ [V] (Anexo 4)

El valor que se debe escoger será el superior al cálculo obtenido, redondeando dicho valor al entero superior.

2.5.1 Selección de los módulos fotovoltaicos

- **Opción 1: Amorfo**

La durabilidad de un módulo amorfo es de 10 a 15 años, la eficiencia es de 5 al 12%, el tamaño y peso es menor en comparación con el tipo monocristalinos, el mantenimiento se debe realizar de 3 a 5 veces por año, la tensión e intensidad de corriente es baja, el costo es variable de acuerdo con las dimensiones que tenga el módulo.

- **Opción 2: Policristalino**

La durabilidad de un módulo policristalino es de 20 a 25 años, la eficiencia es de 13 al 17%, el tamaño y peso es mayor en comparación con el tipo amorfo, el mantenimiento se debe realizar de 2 a 3 veces por año, se instala en superficies planas, ya que no son flexibles y presentan una estructura rígida. Su característica en cuanto a eficiencia es que es superior a módulos amorfos, lo que significa que requieren menos espacio para generar la misma cantidad de energía. Su precio oscila entre los 150 a 400 dólares, lo cual depende de la potencia requerida para el sistema fotovoltaico.

- **Opción 3: Monocristalino**

La durabilidad de un módulo policristalino es de 20 a 25 años, la eficiencia es de 15 al 22%, el tamaño y peso es mayor en comparación con el tipo amorfo, el mantenimiento se debe realizar de 1 a 2 veces por año, se instala en superficies planas, ya que no son flexibles y tiene una estructura rígida. Su característica en cuanto a eficiencia es que es superior a módulos amorfos y policristalinos lo que hace adecuado para condiciones de radiación difusa. Su precio oscila

entre los 180 a 500 dólares, lo cual depende de la potencia requerida para el sistema fotovoltaico.

Para la selección de los módulos se presenta una tabla comparativa con las características importantes para evaluar los tipos de módulos fotovoltaicos anteriormente descritos, para ello se dará una ponderación con valores de 1 a 5, siendo 5 el valor de mejor ponderación, luego se procede a sumar los valores para determinar la opción más viable para el sistema fotovoltaico. En la tabla 9 se muestra las características.

Tabla 9. Matriz de selección de opciones de módulos.

Matriz de ponderación para selección			
Características	**Tipos de módulos fotovoltaicos**		
	Amorfo	**Policristalino**	**Monocristalino**
Durabilidad	3	4	5
Eficiencia	2	4	5
Mantenimiento	2	3	4
Precio	5	3	3
Instalación	4	3	3
Total	**16**	**17**	**20**

El panel monocristalino es la mejor opción para el sistema ya que sus características son las mejores para un sistema fotovoltaico ya que genera más energía por unidad de área, lo que significa que requiere menos espacio para generar la misma cantidad de energía que otros tipos de módulos fotovoltaicos, su mantenimiento es más bajo, durabilidad a largo plazo, el precio no es un factor muy relevante a considerar ya que la instalación se necesita que suministre la suficiente energía para la vivienda.

2.5.2 Selección del tipo de conexión

El tipo de conexión para los módulos de un sistema fotovoltaico ayuda a determinar la opción más viable que permita calcular del número de componentes adecuados, además que cumpla con ciertas especificaciones para que el sistema funcione eficientemente. El tipo de conexión que cumple con los requerimientos es la conexión en paralelo debido a que permite tener una corriente adecuada de carga del banco de baterías, tolerancia a las sombras, flexibilidad en el

diseño para agregar o retirar componentes sin que se vea afectado todo el sistema, es decir que si se requiere expandir el sistema fotovoltaico no existirá inconveniente, además este tipo de conexión ayuda a que el tiempo de carga del banco de baterías sea menor en comparación con la conexión en serie.

2.6 Banco de baterías

El cálculo de la capacidad que debe tener la batería o acumulador de carga se toma en cuenta el consumo máximo, los días de autonomía del sistema y la profundidad de descarga que tendrán las baterías. En la ecuación 9 se indica la fórmula.

$$C_{bat} \geq \frac{C_{max}}{P_d} * D_{aut} \quad (9)$$

$C_{bat} = Capacidad\ de\ la\ batería$ [Ah]

Una vez que se determina capacidad que debe tener el banco de baterías, se procede a calcular las baterías que serán necesarias para el sistema fotovoltaico. En la ecuación 10 y 11 se indica la fórmula, para el cálculo del número de baterías en paralelo y serie, respectivamente.

$$N_{bat_p} \geq \frac{C_{bat}}{C_{nom}} \quad (10)$$

$N_{bat_p} = Número\ de\ baterías\ en\ paralelo$

$C_{nom} = Capacidad\ nominal\ de\ la\ batería$ [Ah] (Anexo 4)

$$N_{bat_s} \geq \frac{V_{bat}}{V_{nom_bat}} \quad (11)$$

$N_{bat_p} = Número\ de\ baterías\ en\ paralelo$

$V_{nom_bat} = Voltaje\ nominal\ de\ la\ batería$ [V] (Anexo 4)

2.6.1 Selección del tipo de baterías

- **Opción 1: Tubular estacionaria**

Este tipo de baterías se utilizan para ciclo de trabajo profundo, su vida útil oscila entre los 5 y 20 años, dependiendo el mantenimiento que se le dé, el ciclo de vida puede alcanzar entre 1500 y 5000 ciclos a un 50% de profundidad de descarga, la capacidad de almacenamiento de energía varía según el tamaño y la capacidad de la batería, la tensión nominal va desde 2V hasta los 24V, el mantenimiento es regular, aunque algunas versiones selladas son libres de mantenimiento. Al ser batería de ciclo profundo el costo inicial es alto, que va desde los 300 a 2000 dólares, poseen una tasa de autodescarga baja.

- **Opción 2: Solar**

Se utilizan para ciclos de trabajo de ciclado medio, su vida útil oscila entre los 3 y 10 años, dependiendo el mantenimiento que se le dé, el ciclo de vida puede alcanzar entre 300 y 1500 ciclos a un 50% de profundidad de descarga, la capacidad de almacenamiento de energía varía según el tamaño y la capacidad de la batería, la tensión nominal va desde 6V, 12V y 24V, requieren mantenimiento regular, revisión de electrolito y rellenado de agua destilada. Su costo es económico en comparación con otras tecnologías de baterías, el precio va desde los 150 a 400 dólares además tiene una tasa de autodescarga alta.

- **Opción 3: Gel**

Se utilizan para trabajos de ciclado profundo, su vida útil oscila entre los 5 y 12 años si trabaja a temperatura ambiente, depende las condiciones de uso y mantenimiento, el ciclo de vida puede alcanzar entre 400 y 2000 ciclos a un 50% de profundidad de descarga, la capacidad de almacenamiento de energía varía según el tamaño y la capacidad de la batería, la tensión nominal va desde 6V, 12V y 24V, son libres de mantenimiento en la mayoría de los casos, ya que el gel no requiere relleno ni revisión. Su costo es económico oscila entre los 180 y 400 dólares, depende de la capacidad de almacenamiento de energía, tasa de autodescarga es baja.

Para la selección de las baterías o acumulador de energía se presenta una tabla comparativa con las características importantes para evaluar los tipos de baterías anteriormente descritas, para

ello se dará una ponderación con valores de 1 a 5, siendo 5 el valor de mejor ponderación, luego se procede a sumar los valores para determinar la opción más viable para el sistema fotovoltaico. En la tabla 10 se muestra las características de las baterías.

Tabla 10. Matriz de selección de baterías para el sistema fotovoltaico.

Matriz de ponderación para selección			
Características	**Tipos de baterías**		
	Estacionarias	**Solar**	**Gel**
Vida útil	5	2	3
Ciclos de vida	5	2	3
Mantenimiento	3	3	5
Precio	1	5	5
Resistencia a ciclos profundos	5	2	3
Total	**19**	**14**	**19**

La batería estacionaria es una buena opción, en cuanto a sus características, pero el precio no es una alternativa viable, en segundo lugar, está la batería de gel, la cual presenta una ponderación media y es una alternativa viable en cuanto a costo y características.

2.6.2 Selección del tipo de conexión

El tipo de conexión para el banco de baterías está enfocado en aumentar la capacidad total de corriente para ello se ha elegido la conexión en paralelo, la ventaja que se obtendrá es la posibilidad a expansión para aumentar los días de autonomía del sistema, además el menor riesgo de desequilibrio de carga-descarga y tolerancia a fallos del sistema hacen que la conexión en paralelo evite disminuir la vida útil de las baterías. Por otro lado, la facilidad de mantenimiento y menor posibilidad de pérdida de energía por fallos individuales hacen que la conexión en paralelo sea la opción más viable para el sistema.

2.7 Regulador de carga

Para calcular el regulador que se debe utilizar en el sistema fotovoltaico, se toma en cuenta el número de módulos que hay en el sistema y de las baterías, particularmente estos valores para

el cálculo vienen en las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante. En la ecuación 12 se muestra la fórmula para el cálculo del regulador de carga.

$$I_{reg} = N^{o}_{mod} * I_{mod} \quad (12)$$

$I_{reg} = Intensidad\ del\ regulador$ [A]

$N^{o}_{mod} = Número\ de\ módulos$

$I_{mod} = Intensidad\ del\ módulo$ [A] (Anexo 3)

El tipo de regulador que se seleccionara es del tipo PWM debido a que el regulador del tipo MPPT no se utiliza en instalaciones con módulos monocristalinos por tanto no es necesaria una tabla de comparación para la selección del tipo de regulador de carga.

2.8 Inversor de voltaje

El inversor que se va a utilizar es para la transformación de corriente continua a corriente alterna ya que el consumo de energía de los electrodomésticos y dispositivos serán de este tipo, para el cálculo se debe tener en cuenta el consumo de energía máxima y se seleccionara un inversor de voltaje con una potencia superior del consumo para que pueda soportar la energía generada por el sistema.

2.9 Cables conductores

El cálculo para la selección de sección del conductor se debe tomar en cuenta el criterio de la máxima caída de tensión, la sección en ya sea para corriente continua y corriente alterna monofásica, el sistema estandarizado de uso será el AWG que se clasifican de acuerdo con el calibre, para ello se utiliza la ecuación 13 como se indica a continuación:

$$Sec_c = \frac{2 * L * I_{cab}}{56 * \Delta V} \quad (13)$$

$Sec_c = Sección\ del\ cableado$ [mm^2]

$L = Longitud\ del\ cable$ [m]

$I_{cab} = Intensidad\ máxima\ prevista\ en\ el\ cable$ [A]

$\Delta V = Caida\ de\ tensión$ [%]

Al momento de la selección se elige inmediatamente el valor superior de área transversal, se toma en cuenta que en el sistema estandarizado AWG entre mayor sea la designación del cable menor es el área transversal del cable. Para el cálculo de la caída de tensión en diferentes circuitos se utiliza la tabla 11 donde se indica valores para diferentes tramos de conexión entre dispositivos del sistema fotovoltaico.

Tabla 11. Máxima caída de tensión en tramos de conexión [5].

Tramo	**Máxima caída admisible**	**Máxima caída recomendable**
Generador-Regulador	3%	1.5%
Regulador-Baterías	1%	0.5%
Regulador-Inversor	1%	0.5%
Regulador-consumo c.c.	3%	1.5%
Regulador-consumo c.a.	3%	1.5%

CAPÍTULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

Para el presente proyecto técnico se tomó en cuenta el libro de Energía Solar Fotovoltaica y el Atlas Solar del Ecuador dichos libros disponen de fórmulas para el cálculo de cada uno de los diferentes tipos de consumo energético y dispositivos del sistema, para la obtención de radiación se usó PVsyst versión estudiantil ya que posee una base de datos de varios sistemas de información geográfica de radiación.

3.1.1 Diseño del sistema

3.1.1.1 Cálculo del consumo sin pérdidas

Con los datos de la tabla 6 donde se detalla el consumo energético total estimado de instalación en la vivienda unifamiliar que es de **1.641 kWh/día**. Para el cálculo del consumo sin pérdidas se usa la ecuación 2.

$$I_{\max\ _ins} = \frac{P_{max}}{V_{nom_bat}}$$

$$I_{\max\ _ins} = \frac{1641 Wh/día}{12\ V}$$

$$I_{\max\ _ins} = \mathbf{136.75\ Ah/d}$$

3.1.1.2 Cálculo del consumo real

Algunas bibliografías como el Atlas Solar del Ecuador recomiendan añadir un 20% al consumo debido a las pérdidas del sistema, pero en muchas ocasiones depende del diseñador, para este caso se elegirá un porcentaje de pérdidas de 10%, para evitar un sobredimensionamiento. Con la ecuación 3, se procede al cálculo real.

$$I_{max} = I_{\max\ _ins} * 1{,}1$$

$$I_{max} = 136.75\ Ah * 1.1$$

$$I_{\max\ _ins} = \mathbf{150.43\ Ah/d}$$

La autonomía del sistema serán 2 días. Con la ecuación 4 y la tabla 7 se calcula las pérdidas totales del sistema que son debido a los componentes.

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] * \left[1 - \frac{K_A * D_{aut}}{P_d}\right]$$

$$K_T = [1 - (0.01 + 0.01 + 0.01 + 0.01)] * \left[1 - \frac{0.005 * 2}{0.7}\right]$$

$$K_T = \mathbf{0.9463}$$

Se usa la ecuación 3 en la ecuación 5 para el cálculo del consumo máximo total del sistema.

$$C_{max} = \frac{I_{max}}{K_T}$$

$$C_{max} = \frac{150.43\ Ah/d}{0.9463}$$

$$C_{max} = \mathbf{158.97\ Ah/d}$$

3.1.1.3 Cálculo de hora solar pico

Para el cálculo de esta sección se usa el valor medio de Irradiación horizontal global menor de la tabla 8 datos obtenidos del software PVsyst, el uso de la ecuación 6 para obtener el valor de hora solar pico del sector geográfico, además se realiza el cálculo del ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos.

$$HSP = \frac{R_\beta}{I_\beta}$$

$$HSP = \frac{4160 Wh/m^2 día}{1000 W/m^2}$$

$$HSP = 4.16\ h/día$$

$$\beta = \emptyset + 10°$$

$$\beta = 0° + 10° = 10°$$

3.1.1.4 Cálculo del número de módulos

Para obtener el número de módulos fotovoltaicos se procede a usar la ecuación 7 para el número de módulos en paralelo, además el uso de la tabla 8 con el valor promedio total de irradiación horizontal global menor.

$$N_{mod_p} \geq \frac{C_{max}}{N_{HIM} * A_{mod}}$$

$$N_{mod_p} \geq \frac{158.97\ Ah/d}{4.16\ h}$$

$$N_{mod_p} = 38.21\ A/d$$

$$N_{mod_p} = \frac{38.21\ A}{10.6\ A} = 3.60 \approx 4$$

El número de módulos a usar será de 4 y se utiliza la conexión mixta ya que se desea tener un valor de corriente y voltaje significativo, además ayuda a que la carga de las baterías sea más rápida, los módulos fotovoltaicos a usar son de 430W para satisfacer las necesidades de carga del banco de baterías.

3.1.1.5 Cálculo del número de baterías

Para obtener el número de baterías en paralelo, se hace el uso de la ecuación 9.

$$C_{bat} \geq \frac{C_{max}}{P_d} * D_{aut}$$

$$C_{bat} \geq \frac{158.97 \frac{Ah}{d}}{0.7} * 2\ d$$

$$C_{bat} = 454.2\ Ah$$

Con el uso de la ecuación 10 se procede a realizar el cálculo del número de baterías en paralelo.

$$N_{bat_p} \geq \frac{C_{bat}}{C_{nom}}$$

$$N_{bat_p} \geq \frac{454.2\ Ah}{200\ Ah}$$

$$N_{bat_p} = 2.27 \approx 2$$

El uso de la conexión de las baterías será en paralelo debido a que se requiere una capacidad de amperios-hora para la extensión del uso de energía, además se hará uso de un controlador de carga a 12V al igual que el inversor de voltaje de 12V a 110/120V.

3.1.1.6 Cálculo del regulador de carga

El uso del regulador de carga será del tipo PWM debido a que se puede usar para módulos monocristalinos, para ello se hace el uso de la ecuación 12.

$$I_{reg} = N^{o}{}_{mod} * I_{mod}$$

$$I_{reg} = 4 * 10.6\ A$$

$$I_{reg} = 42.4\ A$$

El regulador de voltaje se necesita que soporte una corriente mínima de 40 Amperios por tanto se seleccionará un regulador mayor a 45 Amperios con tecnología PWM.

3.1.1.7 Cálculo del inversor de voltaje

Para la selección del inversor del voltaje con el consumo de energía total en la vivienda unifamiliar que es de **1.641 kWh/día**, se elige un inversor que tenga una capacidad igual o superior, ya que es importante dejar un margen de seguridad para cubrir picos de carga y evitar que el inversor trabaje constantemente al límite de su capacidad. También, es importante

considerar que la batería sea compatible debido a la tensión que se debe ser adecuada a la que se va a utilizar. El inversor que se eligió es de 3000W de potencia ya que cumple con los requerimientos para el sistema fotovoltaico.

3.1.1.8 Cálculo de los cables eléctricos

Para el cálculo del cableado eléctrico que se usará en la instalación del sistema fotovoltaico, se usa el sistema AWG y para el área de sección se usará la ecuación 13, además se hace uso de la tabla 11 para la caída de tensión.

- **Módulos fotovoltaicos - regulador**

$$Sec_c = \frac{2 * L * I_{cab}}{56 * \Delta V}$$

$$Sec_c = \frac{2 * 15m * 10.6A}{56 * 0.72} = 7.88\ mm^2$$

- **Regulador – baterías**

$$Sec_c = \frac{2 * L * I_{cab}}{56 * \Delta V}$$

$$Sec_c = \frac{2 * 1m * 36.36A}{56 * 0.24} = 5.41\ mm^2$$

- **Regulador – inversor**

$$Sec_c = \frac{2 * L * I_{cab}}{56 * \Delta V}$$

$$Sec_c = \frac{2 * 2m * 52.9A}{56 * 0.24} = 15.74mm^2$$

- **Inversor – consumo c.a.**

$$Sec_c = \frac{2 * L * I_{cab}}{56 * \Delta V}$$

$$Sec_c = \frac{2 * 70m * 5A}{56 * 2} = 6.25\ mm^2$$

En el sistema AWG, los cables se clasifican de acorde a su área transversal es decir que a medida que aumenta el calibre, la capacidad de resistencia de conducción de corriente disminuye. Para la selección del tipo de cable en unidades AWG, para ello se muestra en la tabla 12 el calibre de los cables eléctricos, además su capacidad de conducción de corriente y los usos comunes que se le suelen dar.

Tabla 12. Calibre de cables eléctricos y usos comunes [21].

Calibre	**AWG**	$\boldsymbol{mm^2}$	**Conducción de corriente (A)**	**Usos habituales**
Calibre 4	4	25	85	Circuitos de alimentación
Calibre 6	6	16	65	Microondas, aires acondicionados grandes
Calibre 8	8	10	55	Bombas, hornos eléctricos
Calibre 10	10	6	30	Estufas, Plancha
Calibre 12	12	4	20	Lavadora, secadora
Calibre 14	14	2.5	10	Refrigerador, televisor
Calibre 16	16	1.5	5	Extractores de aire, calentadores de agua

Una vez obtenido los resultados de las áreas de sección para el cableado se realiza una tabla para una mejor visualización de los subsistemas y su número de cable AWG correspondiente elegido, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Subsistemas de cables AWG.

Conexión	**Sección ($\boldsymbol{mm^2}$)**	**Calibre AWG**
Módulos – Regulador	7.88	8
Regulador – Baterías	5.41	10
Regulador – Inversor	15.74	6
Inversor – Consumo C.A.	6.25	10

Con el cálculo de los parámetros de diseño, se considera el consumo energético real, también el número de elementos para la instalación del sistema fotovoltaico. En la tabla 14 se indica el número de elementos y las características necesarios para la instalación en la vivienda unifamiliar.

Tabla 14. Número de elementos y características de los equipos.

Elementos del sistema	**Características**	**Número de equipos**
Módulos fotovoltaicos	- Monocristalino - 430W - 450 W - 40.6 V - 10.6 A	4
Baterías	- 200 Ah - 12 V - Plomo-ácido de Gel	2
Regulador de carga	- PWM - 45 A - 12/24 V	1
Inversor de voltaje	- 110-120 V de salida - Potencia de 3000 W	1
Cable eléctrico	- Calibre 6 - Calibre 8 - Calibre 10	-2 m -15 m -71 m

3.1.2 Análisis de cargas en la estructura de soporte para los módulos fotovoltaicos

El análisis estático en la estructura se hace con la finalidad de evaluar la capacidad que tiene para resistir cargas y deformaciones. Para el análisis estático se toma en cuenta que la ubicación de los módulos fotovoltaicos estará sobre una estructura de aluminio anodizado, los cuales estarán fijos por medio de pernos para evitar cualquier tipo de deslizamiento de los módulos fotovoltaicos.

3.1.2.1 Cargas en la estructura del módulo fotovoltaico

Al realizar el análisis estático de la estructura, es importante considerar los siguientes aspectos:

- Peso del panel solar de 24 Kg
- Velocidad de viento en el sitio es de 36 km/h aproximadamente
- Inclinación de los módulos fotovoltaicos por el ángulo de la estructura de 15º

El análisis de cargas de la estructura se debe tomar en consideración la ubicación geográfica de la instalación y la incidencia de los factores climáticos sobre los módulos fotovoltaicos, la instalación se lleva a cabo en la región Costa, por lo tanto, se descarta: carga por nieve, carga viva del techo y de ocupación. Se toma en consideración para el análisis estático: carga de viento y carga muerta.

Para el análisis de la carga de viento que se ejerce sobre la estructura en los módulos fotovoltaicos, se hace uso de la ecuación 14.

$$Fv = p * A * \sin(\beta) \tag{14}$$

Donde:

$Fv = fuerza\ de\ viento$ [N]

$p = presión\ del\ viento$ [N/m^2]

$A = área\ de\ los\ módulos\ fotovoltaicos$ [m^2]

$\beta = ángulo\ de\ inclinación\ de\ los\ módulos\ fotovoltaicos$

Para proseguir con el análisis de cargas se calcula la presión del viento, para ello se hace uso de la velocidad promedio del viento existente en la parroquia Viche que es de 36 km/h y se hace uso de la ecuación 15.

$$p = 0.613 * v^2 \tag{15}$$

Donde:

$v = velocidad\ del\ viento$ [m/s^2]

$$p = 0.613 * (10m/s)^2$$

$$p = 63.1\ N/m^2$$

La presión que se obtuvo es de $63.1\ N/m^2$, el área de superficie que tiene los módulos fotovoltaicos tomado del software SolidWorks para el diseño es de $2.2092m^2$, además el ángulo de inclinación para la captación de radiación solar β es de 10º, una vez determinado estos valores se procede con la ecuación 14 a calcular la fuerza de viento, por tanto, la fuerza de viento para los módulos fotovoltaicos será de:

$$Fv = 63.1\ N/m^2 * 2.2092m^2 * \sin 10^o$$

$$Fv = 24.21\ N$$

Para el cálculo también se considera la carga muerta del módulo fotovoltaico este valor se obtiene del producto entre el peso del módulo y la gravedad, tal como se indica en la ecuación 16.

$$W_m = m * g \qquad (16)$$

Donde:

$W_m = Carga\ muerta$ [N]

$m = masa\ del\ módulo\ fotovoltaico$ [Kg]

$g = gravedad$ [m/s^2]

$$W_m = 24Kg * 9.81m/s^2$$

$$W_m = 235.44\ N$$

3.1.2.2 Análisis estático en la estructura del módulo fotovoltaico

Para el análisis estático de la estructura se llevó a cabo mediante software de diseño de piezas mecánicas y luego se exportó para el análisis por elementos finitos al software ANSYS 2024 versión estudiantil.

Las dimensiones del módulo fotovoltaico son los siguientes:

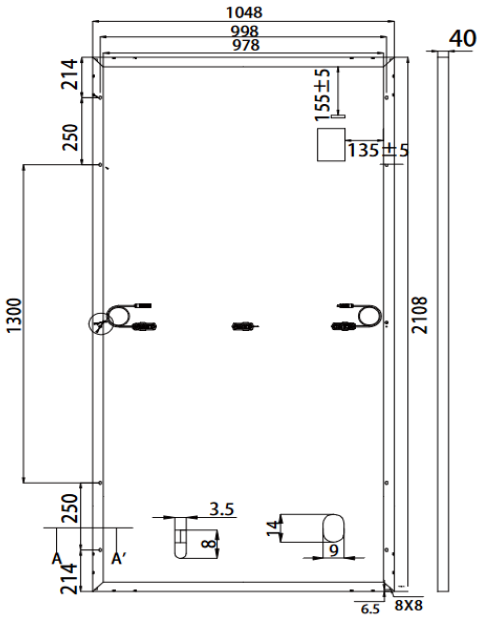


Figura 20. Medidas del módulo fotovoltaico.

La estructura de soporte de los paneles viene incorporada con los módulos fotovoltaicos el perfil es en ángulo de 40x35mm, además tiene de largo y ancho 2108mm y 1048mm respectivamente y el espesor del material es de 2 mm, el tipo de material de fabricación de los módulos fotovoltaicos es una aleación de aluminio anodizado, este material es liviano y resistente en ambientes donde hay mucho índice de corrosión [22].

En el anexo 3 el módulo fotovoltaico de 430-450 Wp tiene un peso de 24 kg, al ser las estructuras la misma en todos los módulos se realiza un solo análisis, ya que todas las estructuras tienen el mismo comportamiento, material y dimensiones.

De acuerdo con la tabla 14 en la selección de los módulos fotovoltaicos y su respectiva ficha técnica, se modela en el software para diseño de piezas mecánicas.

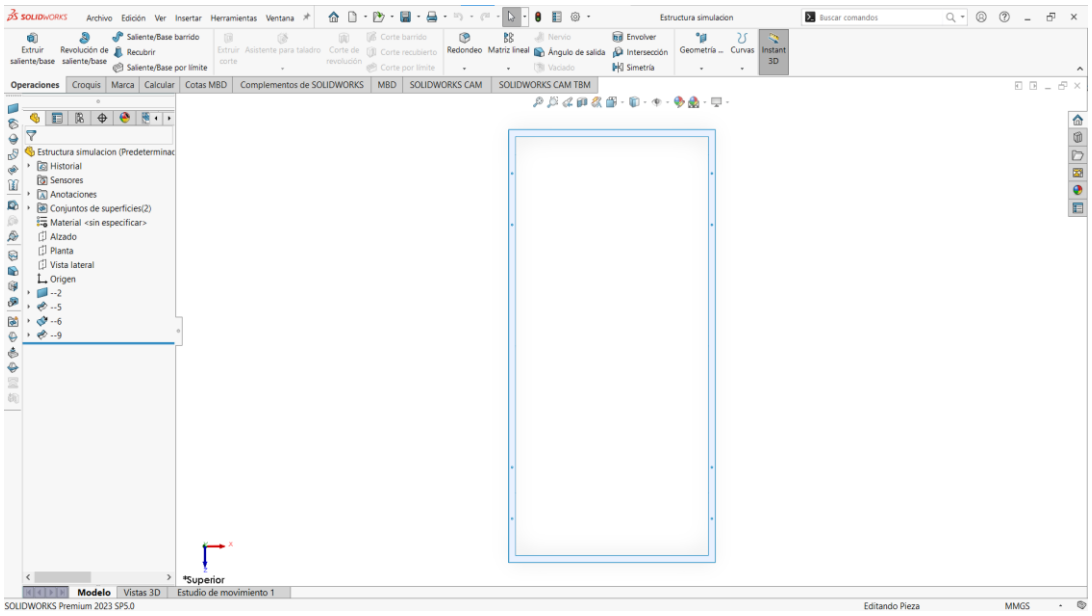


Figura 21. Modelado de la estructura en software de diseño mecánico.

3.1.2.3 Mallado y aplicación de cargas en la estructura del módulo fotovoltaico

Para realizar el análisis de mallado se utilizó el Software ANSYS, donde primero se verifica que el módulo fotovoltaico este modelado de forma correcta en el apartado de SpaceClaim en ANSYS. Para comprobar la calidad de mallado de la estructura del módulo fotovoltaico se lo hace mediante el espectro Jacobiano, se logró un "Average" de 0.99676, este valor indica que el mallado es de excelente calidad ya que es cercano a 1. En la figura 22 se indica las diferentes categorías de tipos de mallado.

Skewness Jacobian – Espectro de métrica de malla



EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	MALO	INACEPTABLE
1-1.05	1.06-1.3	1.31-1.77	1.78-1.82	1.83-1.96	1.97-2

Orthogonal Quality Jacobian – Espectro de métrica de malla



INACEPTABLE	MALO	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.19	0.2-0.69	0.7-0.94	0.95-1.05

Figura 22. Espectro de asimetría para calidad de mallado.

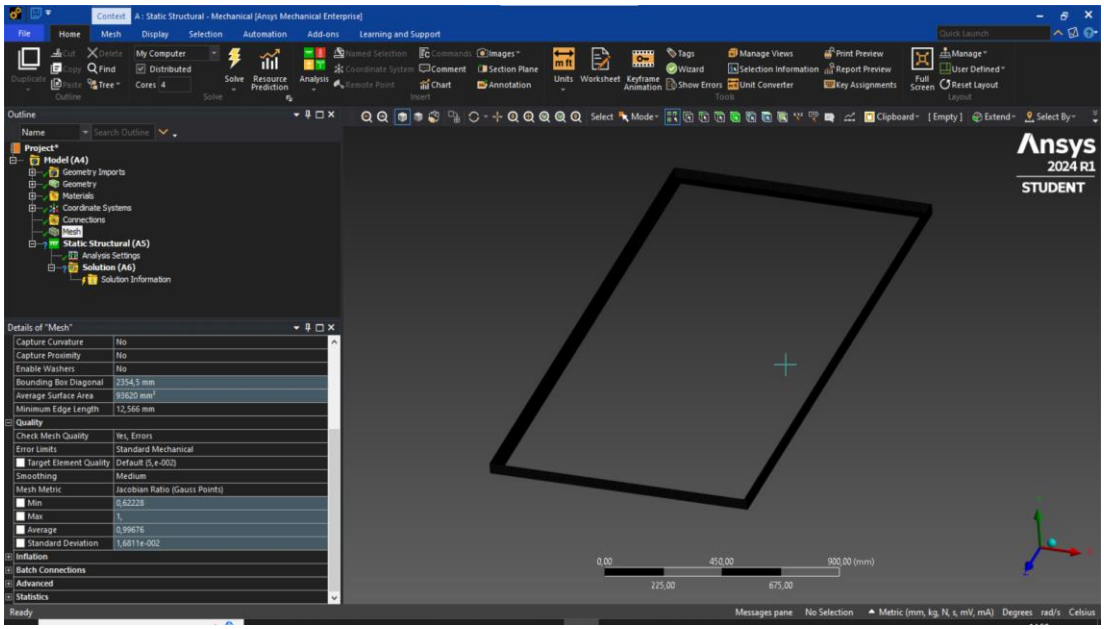


Figura 23. Mallado de la estructura del módulo fotovoltaico en ANSYS.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Element Quality	Default (5,e-002)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (Gauss Points)
Min	0,62228
Max	1,
Average	0,99676
Standard Deviation	1,6811e-002

Figura 24. Valor de calidad de mallado.

Con la fuerza de viento calculada con la ecuación 14, se procede a colocar de forma distribuida en el ANSYS las cargas, se ubican tal como se puede observar en la figura 25. Las cargas de viento se ubican en las cuatro direcciones debido a que la dirección puede variar en función durante las distintas épocas del año.

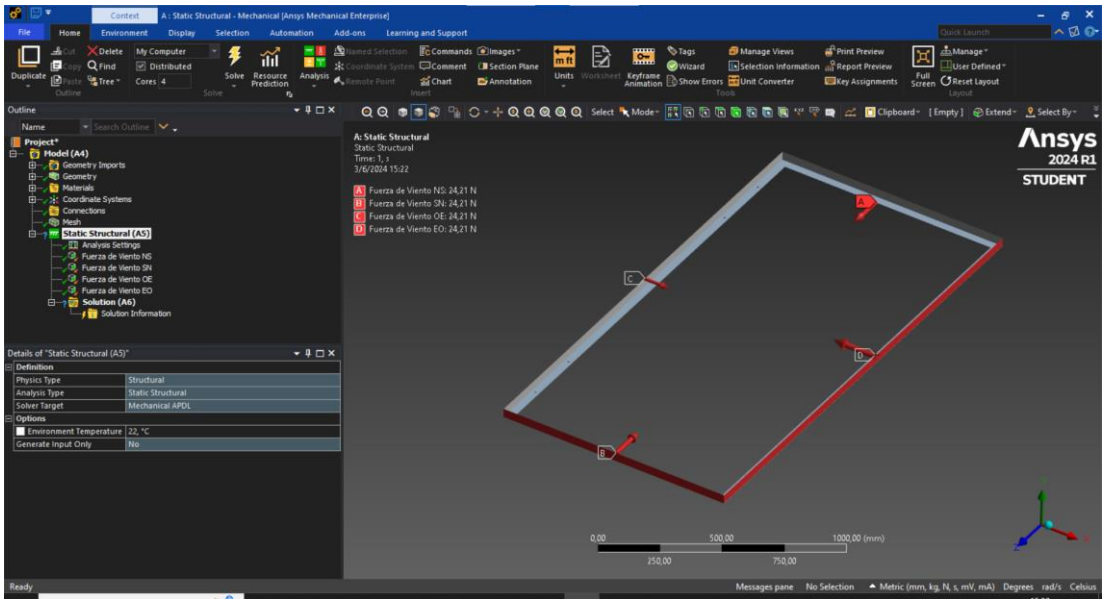


Figura 25. Aplicación de cargas de viento en la estructura del módulo fotovoltaico.

Posteriormente se ubica la carga muerta calculada con la ecuación 16, en la figura 26 se muestra la carga aplicada a la estructura del módulo fotovoltaico.

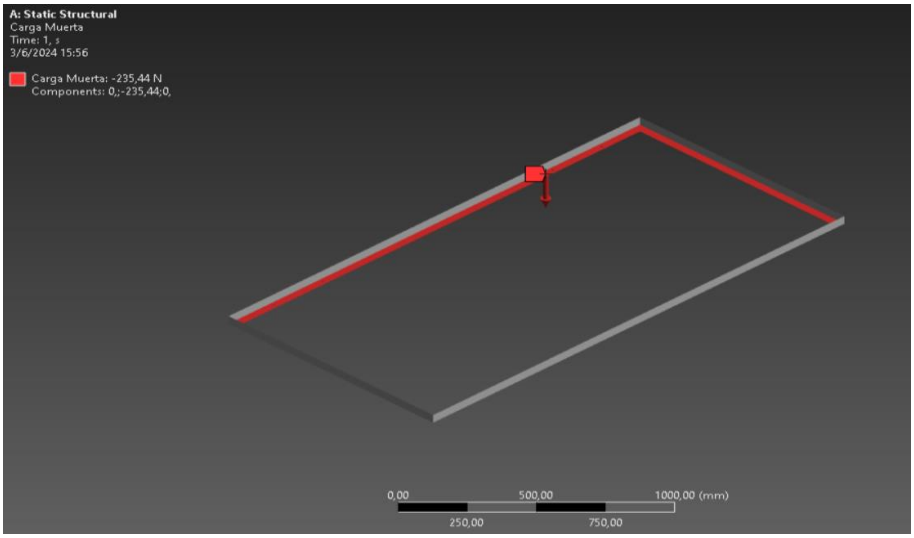


Figura 26. Aplicación de la carga muerta del módulo fotovoltaico.

Por último, se ubican los apoyos fijos, para la estructura del módulo fotovoltaico está sujeto mediante tornillos y tuercas, asegurando cualquier tipo de desplazamiento, en la figura 27 se muestra la aplicación de los soportes fijos.

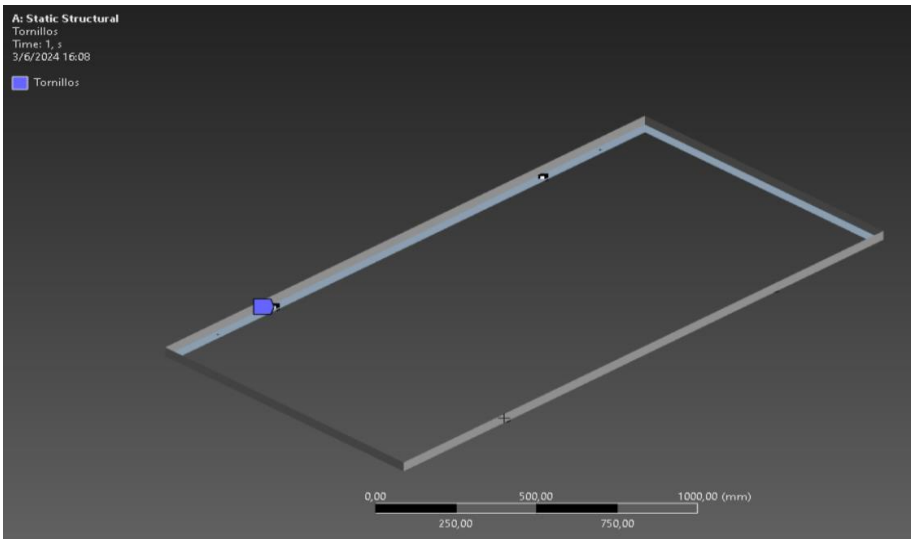


Figura 27. Aplicación de los soportes fijos en la estructura del módulo fotovoltaico.

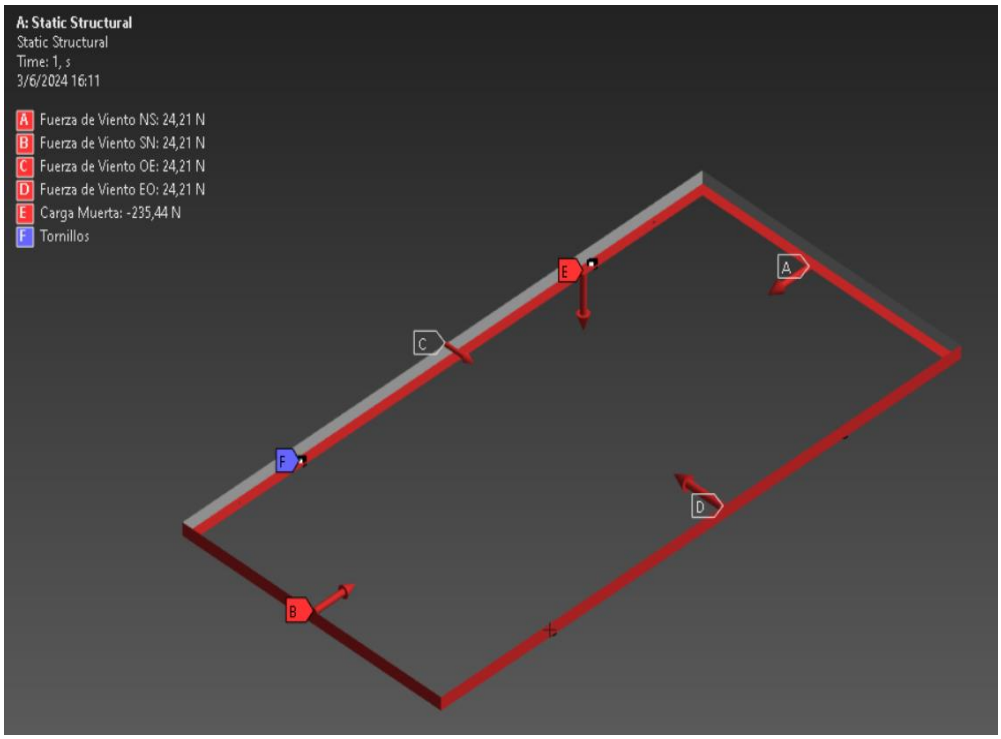


Figura 28. Aplicación de las cargas en conjunto en la estructura del módulo fotovoltaico.

3.1.2.4 Resultados del análisis estático en la estructura del módulo fotovoltaico

La deformación total al aplicar todas las cargas en la estructura del módulo fotovoltaico es 1.38 mm, en la figura 29 se indica el resultado del análisis.

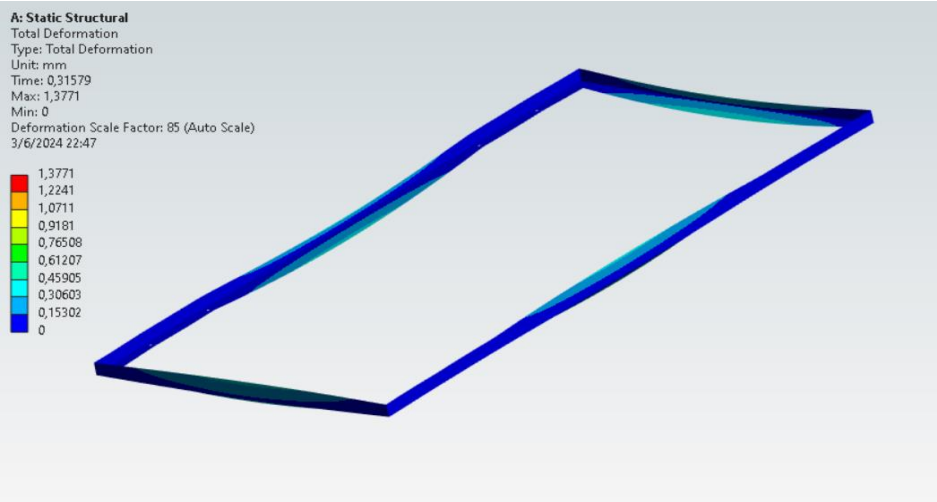


Figura 29. Resultado de la deformación total de la estructura.

La deformación axial para el eje de coordenadas en X tiene un desplazamiento de 1.095 mm, tal como se indica en la figura 30.

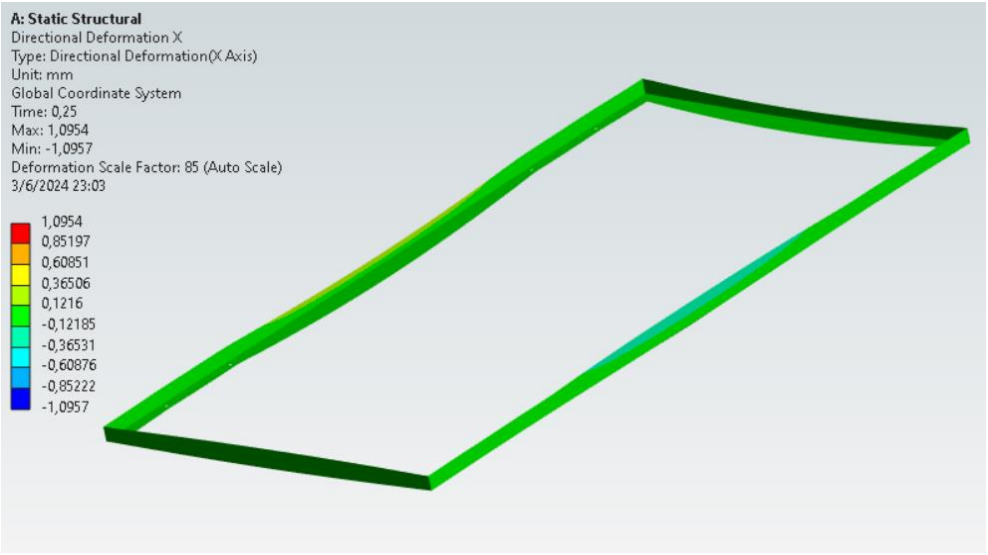


Figura 30. Resultado de la deformación de la estructura en el eje X.

La deformación axial para el eje de coordenadas en Y tiene un desplazamiento de 1.095 mm, tal como se indica en la figura 31.

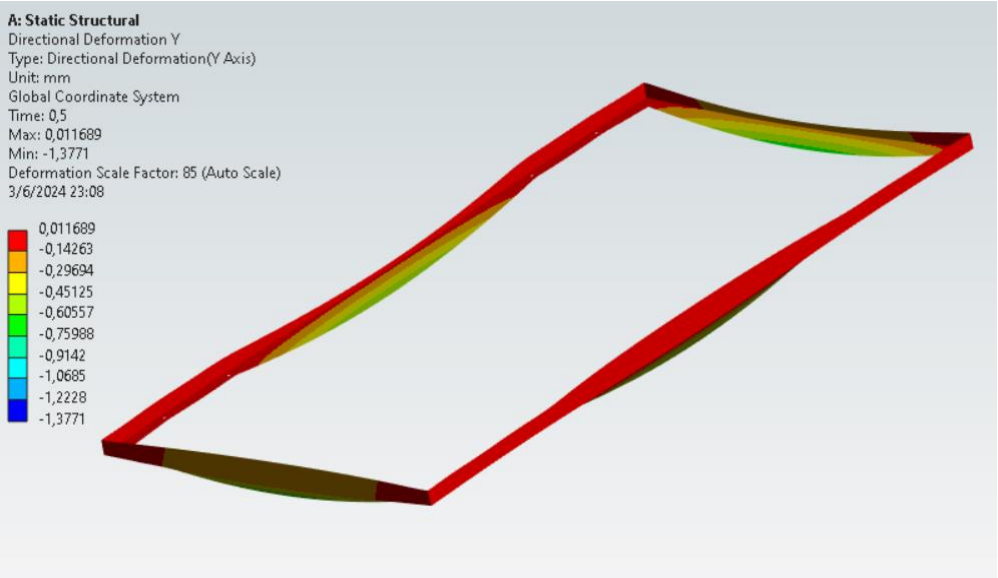


Figura 31. Resultado de la deformación de la estructura en el eje Y.

La deformación axial para el eje de coordenadas en Z tiene un desplazamiento de 1.0708 mm, tal como se indica en la figura 32.

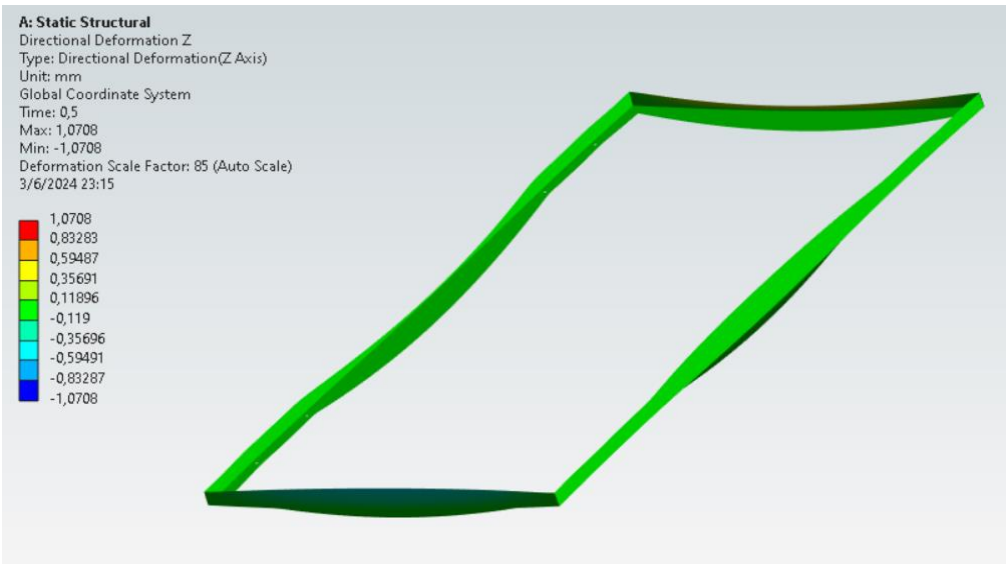


Figura 32. Resultado de la deformación de la estructura en el eje Z.

El esfuerzo máximo que podrá soportar la estructura del módulo fotovoltaico es de $\sigma =$ 18.19 MPa, tal como se muestra en la figura 33.

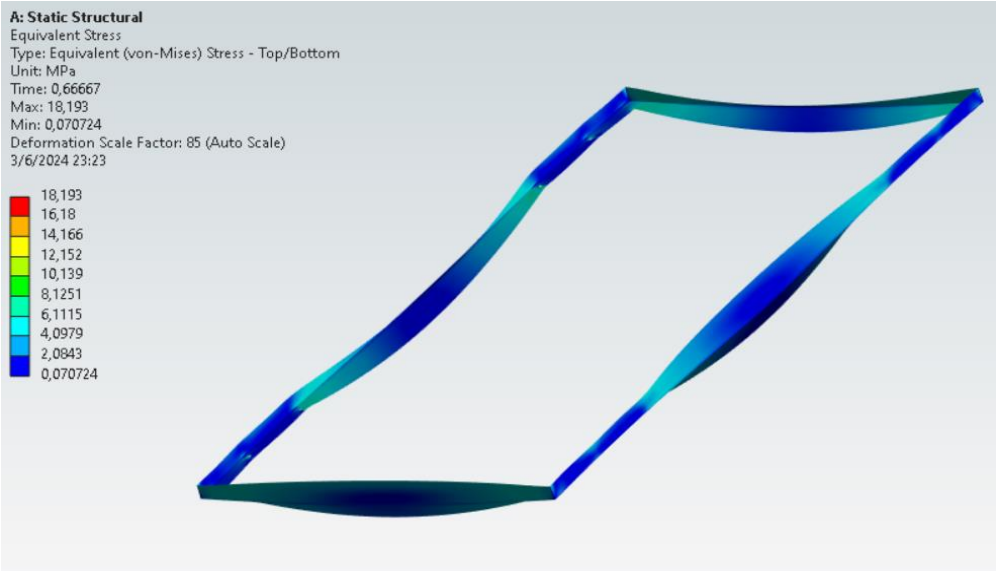


Figura 33. Resultado del esfuerzo máximo que soporta la estructura.

Con el análisis estático que se realizó en la estructura del módulo fotovoltaico se obtuvo un factor de seguridad de 13.35, como se indica en la figura 34.

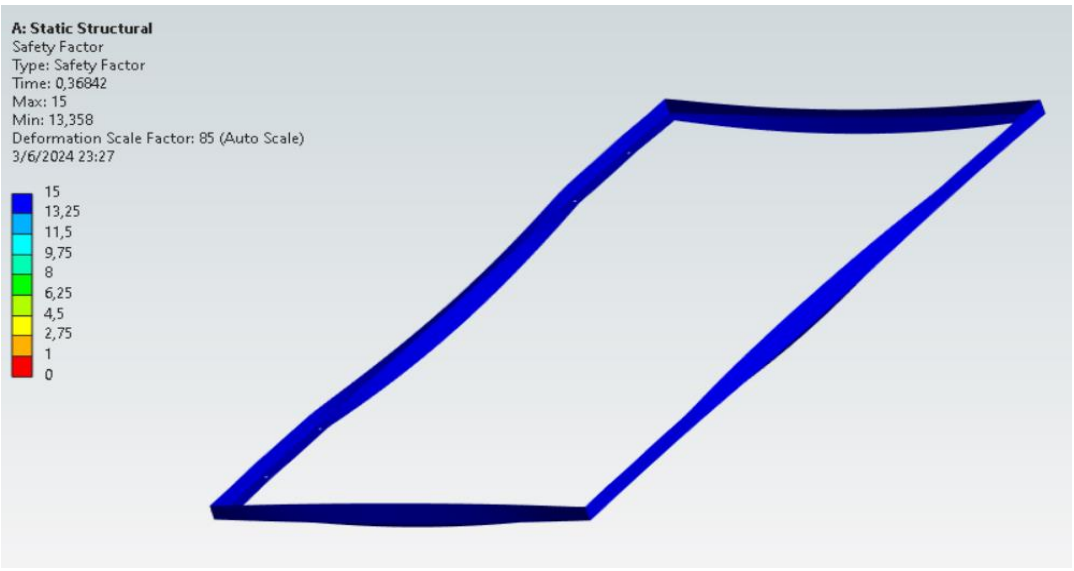


Figura 34. Resultado del factor de seguridad de la estructura.

El análisis estático realizado en la estructura del módulo fotovoltaico ha revelado un factor de seguridad de 13.35. Este valor es significativamente alto, lo que indica que la estructura analizada puede soportar cargas mucho mayores que las cargas de diseño especificadas. Los desplazamientos totales en los ejes X, Y, Z son menores a 1 mm, esto indica que la deformación

de la estructura es mínima bajo las cargas aplicadas. Los desplazamientos al ser pequeños sugieren una excelente rigidez y estabilidad estructural.

3.1.3 Instalación del sistema fotovoltaico

A continuación, se detalla la descripción de los procesos para la instalación del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la finca “Mi Quinta”.

3.1.3.1 Transporte de los equipos del sistema a la finca Mi Quinta

La adquisición de los equipos se realizó en la empresa Energy Power localizada al norte de Quito, se trasladó en furgoneta hasta una localidad de la parroquia Viche, para posteriormente trasladar los equipos fotovoltaicos hasta la finca que se encuentra a 1200 metros de distancia desde la carretera asfaltada con la ayuda de personal y acémilas, debido a que la vía de acceso a la finca es solo para época de verano.



Figura 35. Traslado de los equipos fotovoltaicos a la parroquia Viche.



Figura 36. Traslado de los equipos fotovoltaicos a la finca.

3.1.3.2 Ubicación y base de montaje de los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos fueron colocados en el frente de la casa de la finca para mayor seguridad, debido a que la finca se dedica a la crianza de ganado bovino y la casa se encuentra rodeada de una cerca para impedir el ingreso de los animales al patio.



Figura 37. Casa-corral de la finca “Mi Quinta”.

Para la base de montaje de los módulos fotovoltaicos se utilizó madera de Pambil y Dormilón. La madera de Pambil o por su nombre científico Iriartea Deltoidea, se hace uso de este recurso debido a la abundancia en el sector, además presenta propiedades mecánicas muy resistentes a cargas medianas, el uso maderero del Pambil para la construcción de columnas y puntales se hace evidente en la zona por su alta resistencia a la degradación por organismos xilófagos [23].

En la tabla 15 se indica las propiedades mecánicas de la madera Pambil.

Tabla 15. Propiedades mecánicas del Pambil [23].

PROPIEDADES MECÁNICAS	**VALOR (MPa)**
Resistencia al límite proporcional	72.5
Esfuerzo unitario máximo	86.5
Módulo de elasticidad	18816.43
Compresión paralela unitario máximo	55.51
Compresión paralela límite proporcional	52.2
Módulo de ruptura	249.1
Módulo de elasticidad en flexión	31860.5

Por otro lado, el Dormilón o también llamado científicamente Cojoba Arborea es una madera dura utilizada para la construcción pesada, en casas de madera su uso es como vigas debido a su durabilidad natural alta, ya que tiene buena resistencia a la compresión y flexión lo que significa que puede soportar cargas sin deformarse excesivamente, es adecuada para diversos usos estructurales, además tiene resistencia a la degradación por organismos xilófagos [24].

En la tabla 16 se indica las propiedades mecánicas de la madera Dormilón.

Tabla 16. Propiedades mecánicas del Dormilón [24].

PROPIEDADES MECÁNICAS	**VALOR (MPa)**
Módulo de ruptura	7578.95
Módulo de elasticidad en flexión	40563.77
Compresión paralela unitario máximo	459.55
Compresión perpendicular	1554.17

Dureza corte radial	6.93
Dureza de corte tangencial	7.80
Dureza de corte axial	10.20



Figura 38. Armadura de la base de montaje para los módulos fotovoltaicos.

La orientación (azimut) para la base de montaje de los módulos fotovoltaicos al encontrarse en el hemisferio norte y maximizar la captación de energía solar, los módulos fueron orientados hacia el hemisferio sur. Esta orientación permite que los módulos fotovoltaicos reciban la mayor cantidad de radiación solar durante el día.



Figura 39. Segunda armadura de la base de montaje para los módulos fotovoltaicos.

3.1.3.3 Conexión de los componentes del sistema fotovoltaico

El correcto orden de la conexión de los equipos fotovoltaicos es muy importante porque permite garantizar que los componentes no se dañen por descargas eléctricas, también brinda seguridad a los instaladores y una buena operatividad del sistema, sin embargo, la magnitud de cada proyecto son factores que predominan en el orden de conexión de los componentes fotovoltaicos. El correcto orden de conexión de los componentes fotovoltaicos es el siguiente:

- Baterías- Controlador de carga
- Controlador de carga- Inversor
- Módulos fotovoltaicos- Controlador de carga
- Inversor- Consumo de energía de la casa

3.1.3.4 Conexión de las baterías, regulador de carga e inversor

Durante todo el proceso de la conexión de los componentes se tuvo un especial cuidado entre los cables positivo y negativo, al momento de todas las conexiones al controlador de carga fue importante el uso de cable punta solida con terminales de compresión para obtener un eficaz paso de energía entre componentes.

Se realizó el arreglo de conexión en paralelo del banco de baterías y la comprobación de voltaje.



Figura 40. Arreglo del banco de baterías y comprobación de voltaje.

Se procedió con la conexión del banco de baterías al controlador de carga y la medición del autoconsumo.

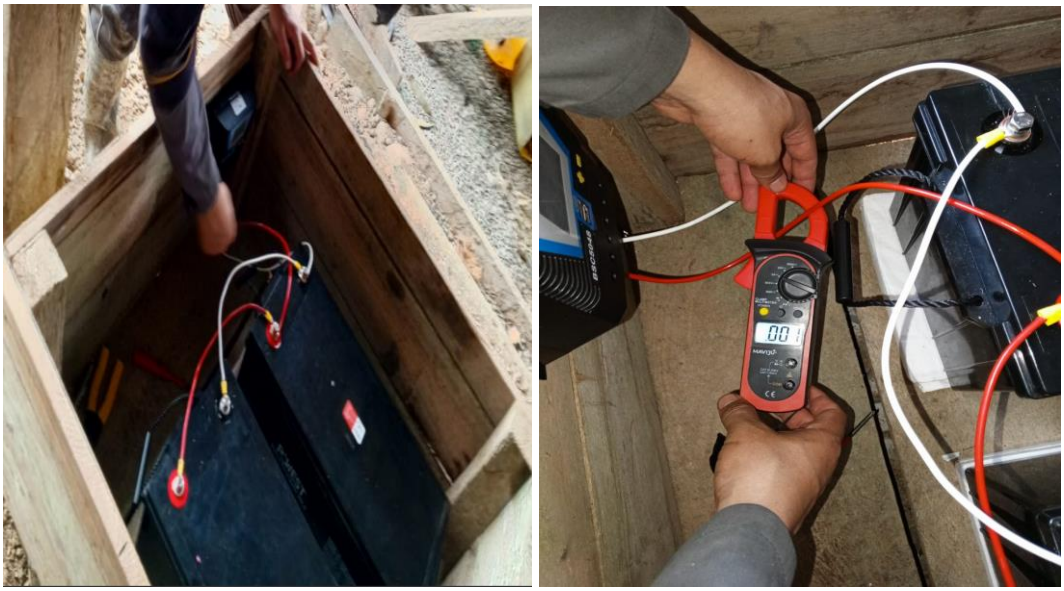


Figura 41. Conexión del controlador de carga.

Se toma en consideración primero la conexión del terminal positivo y consecuentemente el terminal negativo, si se tiene que desconectar el controlador de carga por cualquier motivo, se debe hacer en orden inverso.

Una vez conectado el banco de baterías al controlador de carga, se enciende la pantalla LCD y se procede con la configuración de este, se consideró la siguiente secuencia de pasos para la configuración:

- Voltaje del banco de batería detectado automáticamente por el controlador de carga de 12V.
- Selección del tipo batería que se usa en el sistema fotovoltaico, para este caso se toma batería sellada.
- Establecer los voltajes de las etapas de carga, máximo voltaje de carga de 14.5V, voltaje de flotación de 13.8V, reinicio de carga de 12.6V y la profundidad de descarga de 11.9V.
- Programación del modo de trabajo a 24h.

La ubicación del inversor de voltaje esta junto al controlador de carga, para conexionar este subsistema primero se realizó la conexión del terminal positivo al controlador de carga, después la conexión del terminal negativo, ya que tiene salidas de corriente continua a 12V.



Figura 42. Conexión del controlador de carga-inversor.

Luego de efectuar la instalación del inversor de voltaje, en la salida de corriente alterna que alimenta la vivienda, se instaló un elemento de protección o breaker en el polo positivo para ejecutar una desconexión de corriente segura para los usuarios y a su vez proteger al sistema de subidas de corriente.



Figura 43. Instalación de breaker a la salida del Inversor.

3.1.3.5 Montaje y conexión de los módulos fotovoltaicos

El montaje de los módulos fotovoltaicos se lo realizó en un horario de 4:00 a 6:00 pm, con la finalidad de minimizar riesgos asociados con la electricidad y el calor hacia los instaladores, además para protección de los componentes del sistema ya que a esta hora existe la ausencia considerable de radiación solar y así poder garantizar un montaje seguro y efectivo, la fijación de los módulos se hizo mediante anclaje tipo L y T.



Figura 44. Montaje de los módulos fotovoltaicos.

La conexión de los módulos es mixta, está compuesta con conectores MC4 en Y, MC4 macho y hembra, que ayuda a conexionar los módulos fácilmente, son diseñados especialmente para soportar climas variantes, además simplifican las conexiones en paralelo y en serie.



Figura 45. Conexión de los módulos fotovoltaicos.

Una vez hecho el empalme de los módulos fotovoltaicos se hizo la extensión del cableado desde los módulos hasta el controlador de carga, para conexionar este subsistema primero se realizó la conexión del terminal positivo al controlador de carga, después la conexión del terminal negativo. También se conecta al polo positivo un breaker de 32A en corriente continua como dispositivo de protección para sobrecarga.



Figura 46. Instalación de breaker entre los módulos y el controlador de carga.

3.1.4 Registro mensual de horas diarias de sol

Durante un periodo de cuatro meses en la parroquia Viche, se realizó un registro manual de las horas diarias de sol como parte de estudio del proyecto técnico presente. Este registro de datos implicó la observación y anotación de horas desde del inicio del sol por la mañana y el final al

atardecer. Luego obtener una tabla de datos con valor máximo, mínimo y valor promedio de horas promedio mensual, posteriormente los datos son representados en gráficos que permiten visualizar las variaciones diarias de luz solar. Este análisis gráfico permite evaluar la disponibilidad de luz solar, eficiencia energética, comportamiento y posibles pérdidas del sistema fotovoltaico.

En el anexo 7 se indica los datos obtenidos diariamente para el mes de febrero y se representa en la figura 47 los datos recopilados, se obtuvo un valor máximo de 7 horas solares por 3 días, un valor mínimo 0 de horas solares por 3 días y un promedio 3.82 horas solares mensual.

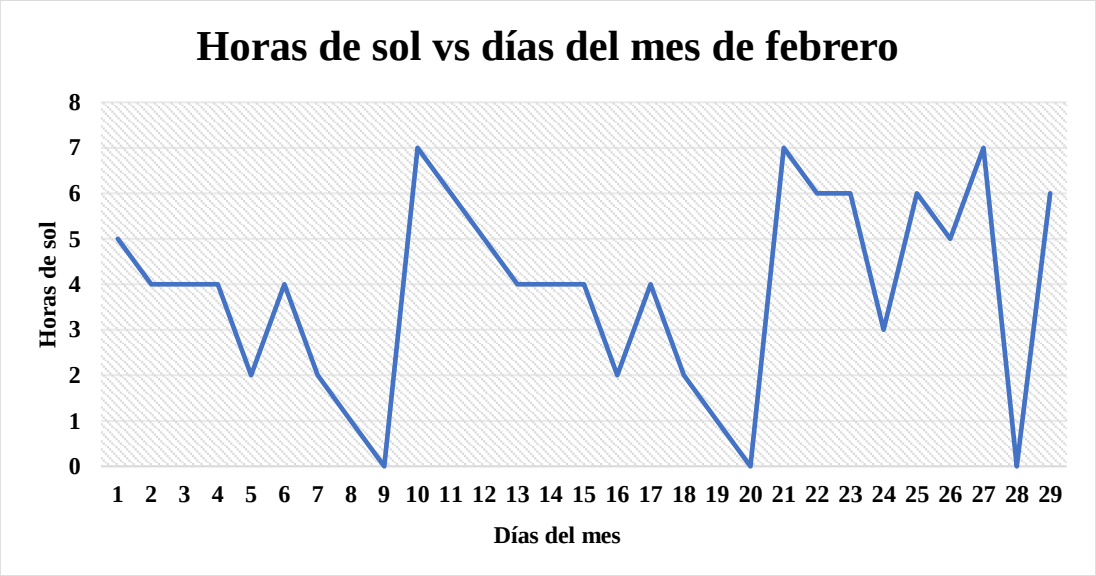


Figura 47. Registro mensual de febrero de las horas diarias de sol.

En el anexo 8 se indica los datos obtenidos diariamente para el mes de marzo y se representa en la figura 48 los datos recopilados, se obtuvo un valor máximo de 10 horas solares por 1 día, un valor mínimo 0 de horas solares por 2 días y un promedio 5.23 horas solares mensual.

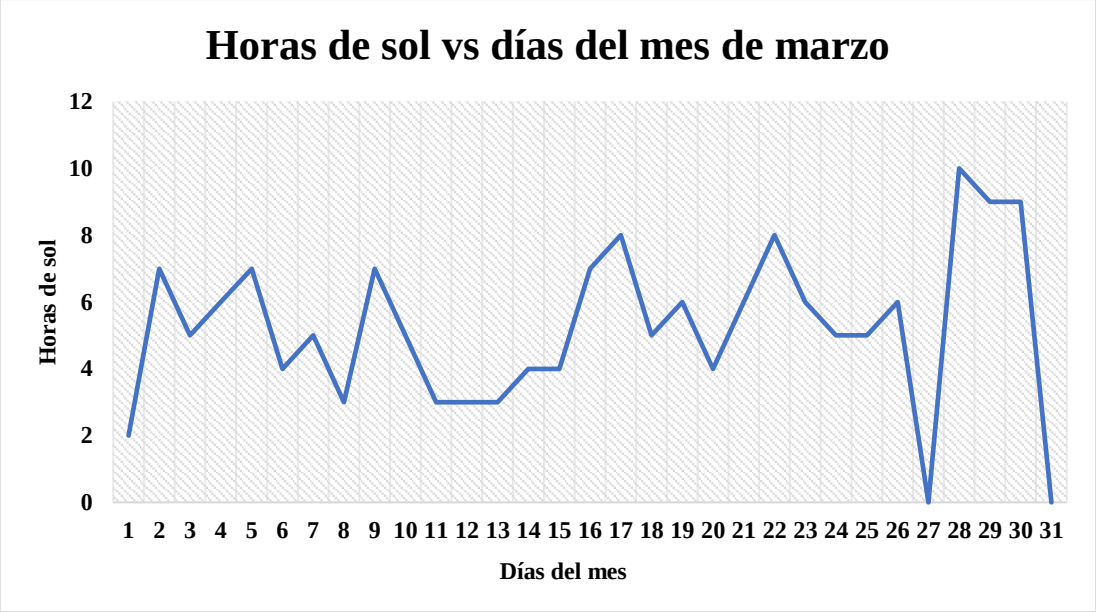


Figura 48. Registro mensual de marzo de las horas diarias de sol.

En el anexo 9 se indica los datos obtenidos diariamente para el mes de abril y se representa en la figura 49 los datos recopilados, se obtuvo un valor máximo de 9 horas solares por 2 días, un valor mínimo 0 de horas solares por 3 días y un promedio 4.9 horas solares mensual.

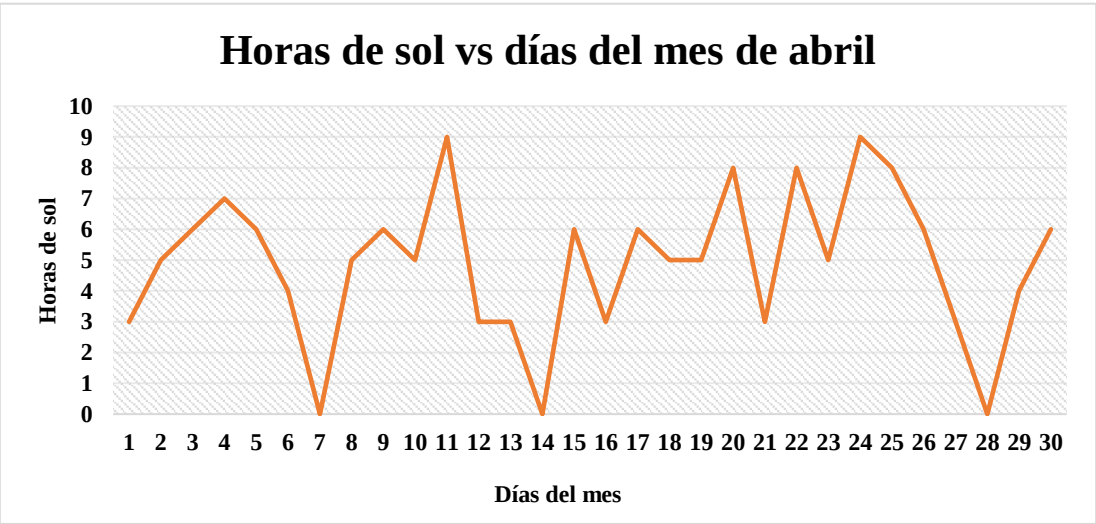


Figura 49. Registro mensual de abril de las horas diarias de sol.

En el anexo 10 se indica los datos obtenidos diariamente para el mes de mayo y se representa en la figura 50 los datos recopilados, se obtuvo un valor máximo de 9 horas solares por 1 día, un valor mínimo 1 de hora solares por 2 días y un promedio 4.5 horas solares mensual.

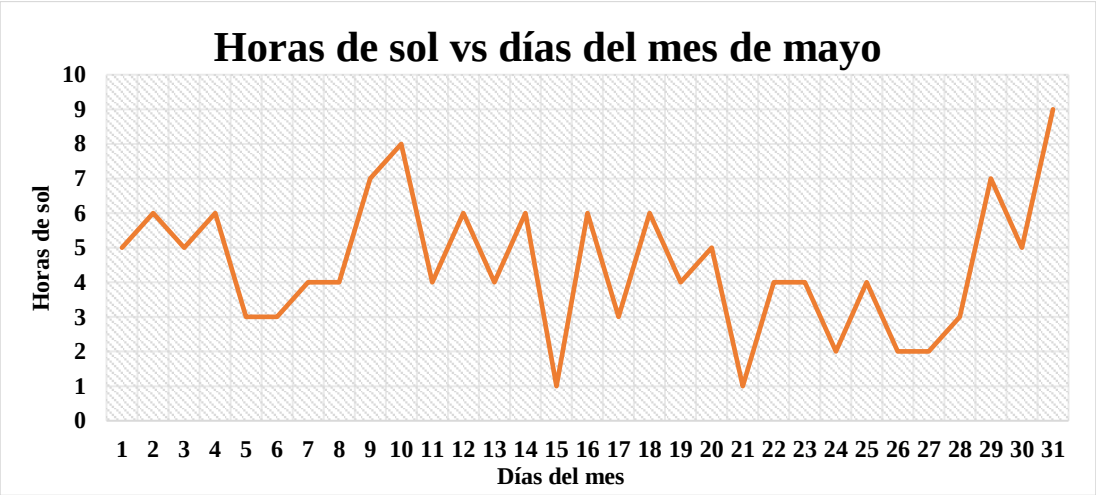


Figura 50. Registro mensual de mayo de las horas diarias de sol.

3.1.5 Evaluaciones de funcionamiento

Para tomar los datos de desempeño del sistema fotovoltaico se consideró la toma de pruebas en tres días específicos: un día con sol pleno, un día totalmente nublado y un día parcialmente soleado, esto con la finalidad de tomar mediciones de amperaje, potencia y voltaje. El monitoreo se realizó a la entrada de corriente continua que entrega de los módulos fotovoltaicos y también a la salida del consumo energético que se transforma en corriente alterna. Los datos se obtuvieron a intervalos de 30 minutos, desde las 7 am hasta las 5 pm en los días específicos anteriormente mencionados, en los gráficos se ilustra la curva de las mediciones y sus variaciones en el transcurso del día. Para realizar las mediciones del sistema fotovoltaico se hizo uso de un total de 10 focos tipo bombillo LED, según la ficha técnica del Anexo 2 se estima que la potencia tendrá un valor de 20W. Tras realizar el monitoreo del voltaje en la salida del inversor se registró un valor de 112V, el cual está en el rango de 110V – 120V para el uso de dispositivos y electrodomésticos.

3.1.5.1 Evaluación de funcionamiento en un día con sol pleno

En el anexo 11 se indican los datos registrados de amperaje, voltaje y potencia a la entrada y salida del sistema fotovoltaico en un día con sol pleno, se puede evaluar el desempeño en el transcurso del día. En la figura 51 se muestra la varianza de amperaje en amperios que generan los módulos fotovoltaicos durante el día con sol pleno, se obtuvo un amperaje máximo de 11.15A y amperaje mínimo de 4.2A.

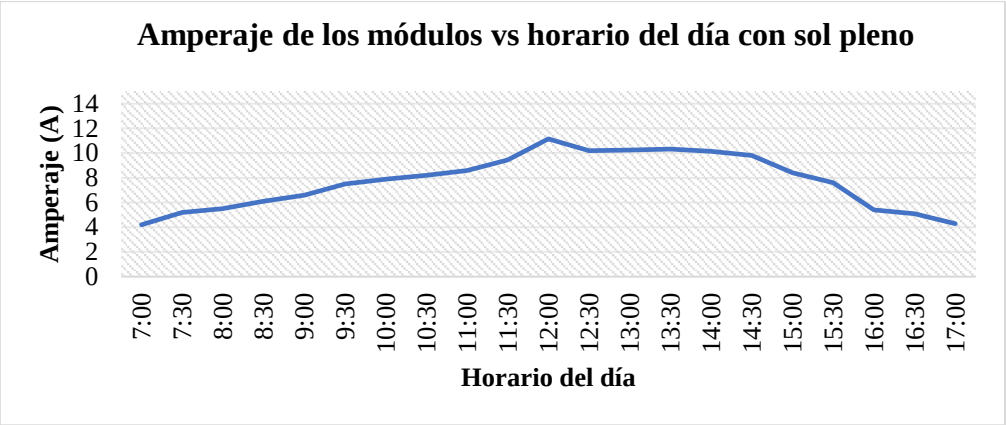


Figura 51. Amperaje generado por el sistema fotovoltaico en un día con sol pleno.

En la figura 52 se muestra la varianza de voltaje en corriente continua que generan los módulos fotovoltaicos durante el día con sol pleno, se obtuvo un voltaje máximo de 41.35V y voltaje mínimo de 40.05V.

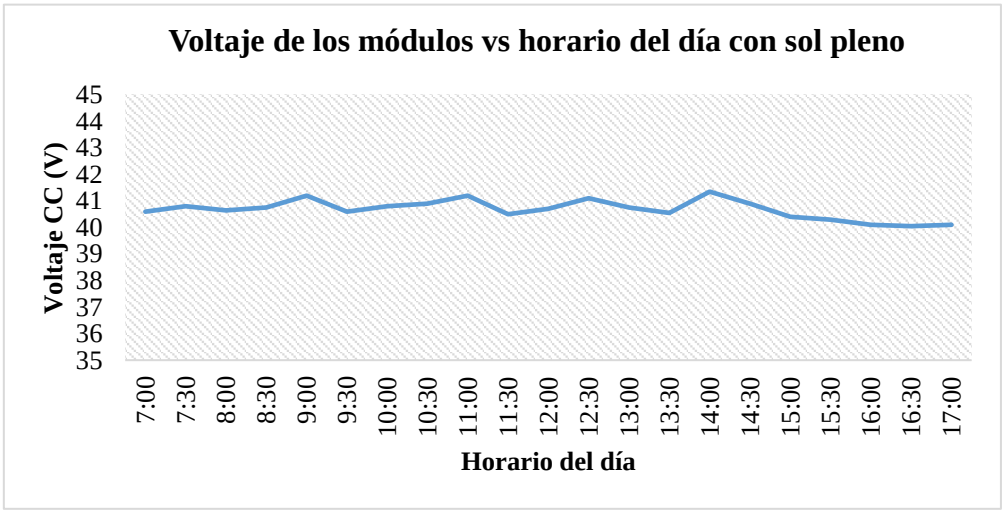


Figura 52. Voltaje generado por el sistema fotovoltaico en un día con sol pleno.

En la figura 53 se muestra la varianza de potencia en watts que generan los módulos fotovoltaicos durante el día con sol pleno, se obtuvo una potencia máxima de 453.81W y potencia mínima de 170.52W.

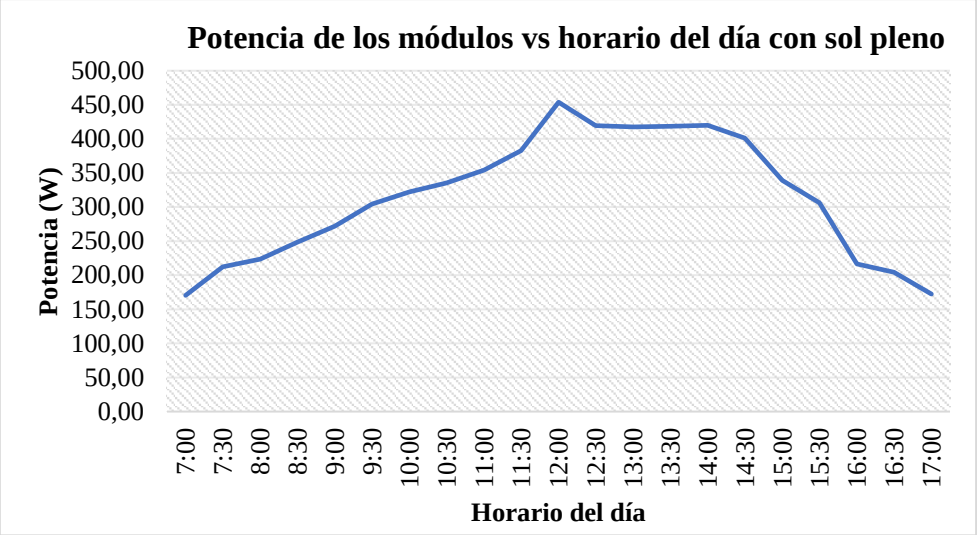


Figura 53. Potencia generada por el sistema fotovoltaico en un día con sol pleno.

3.1.5.2 Evaluación de funcionamiento en un día totalmente nublado

En el anexo 12 se indican los datos registrados de amperaje, voltaje y potencia a la entrada y salida del sistema fotovoltaico en un día totalmente nublado, se puede evaluar el desempeño en el transcurso del día. En la figura 54 se muestra la varianza de amperaje en amperios que generan los módulos fotovoltaicos durante un día totalmente nublado, se obtuvo un amperaje máximo de 4.4A y amperaje mínimo de 2.2A.

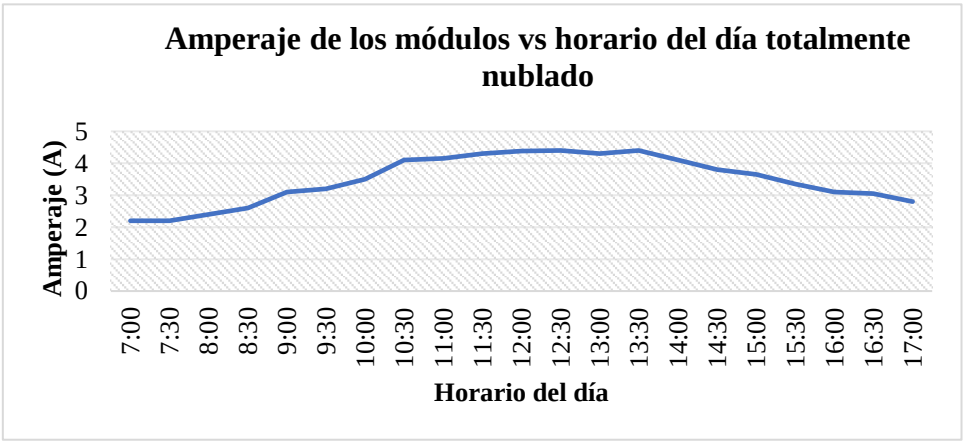


Figura 54. Amperaje generado por el sistema fotovoltaico un día totalmente nublado.

En la figura 55 se muestra la varianza de voltaje en corriente continua que generan los módulos fotovoltaicos durante el día totalmente nublado, se obtuvo un voltaje máximo de 40.5V y voltaje mínimo de 40.05V.

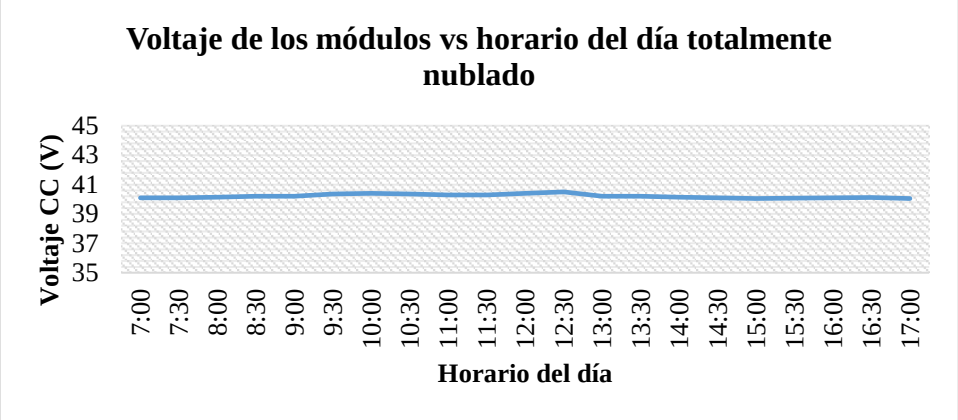


Figura 55. Voltaje generado por el sistema fotovoltaico un día totalmente nublado.

En la figura 56 se muestra la varianza de potencia en watts que generan los módulos fotovoltaicos durante el día totalmente nublado, se obtuvo una potencia máxima de 178.2W y potencia mínima de 88.22W.

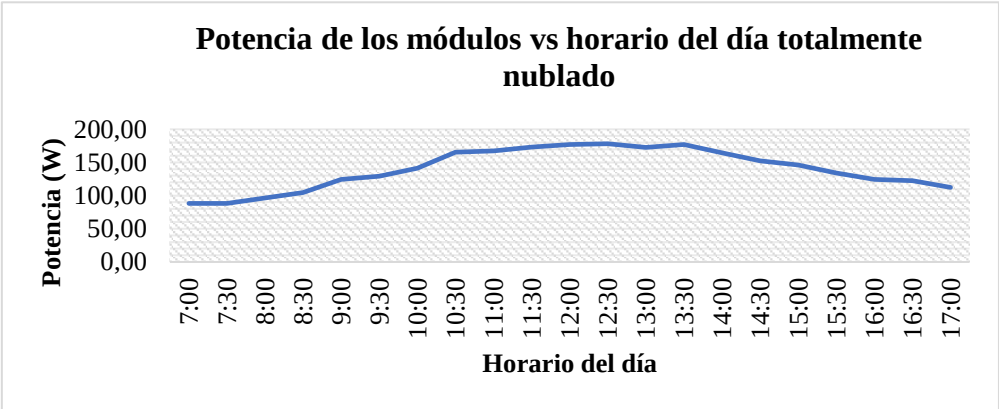


Figura 56. Potencia generada por el sistema fotovoltaico un día totalmente nublado.

3.1.5.3 Evaluación de funcionamiento en un día parcialmente soleado

En el anexo 13 se indican los datos registrados de amperaje, voltaje y potencia a la entrada y salida del sistema fotovoltaico en un día parcialmente soleado, se puede evaluar el desempeño en el transcurso del día. En la figura 57 se muestra la varianza de amperaje en amperios que

generan los módulos fotovoltaicos durante un día parcialmente soleado, se obtuvo un amperaje máximo de 7.2A y amperaje mínimo de 3.1A.

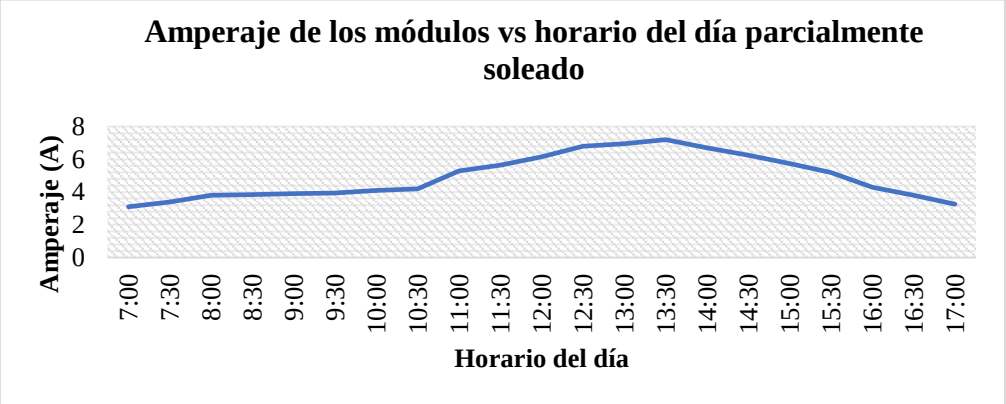


Figura 57. Amperaje generado por el sistema fotovoltaico un día parcialmente soleado.

En la figura 58 se muestra la varianza de voltaje en corriente continua que generan los módulos fotovoltaicos durante el día parcialmente soleado, se obtuvo un voltaje máximo de 41.35V y voltaje mínimo de 40.05V.

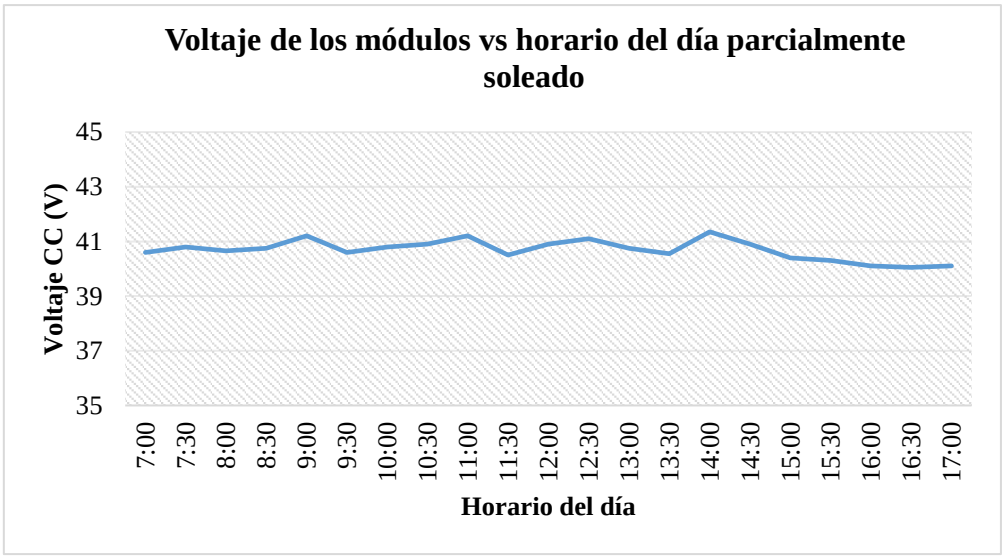


Figura 58. Voltaje generado por el sistema fotovoltaico un día parcialmente soleado.

En la figura 59 se muestra la varianza de potencia en watts que generan los módulos fotovoltaicos durante el día parcialmente soleado, se obtuvo una potencia máxima de 291.96W y potencia mínima de 125.86W.

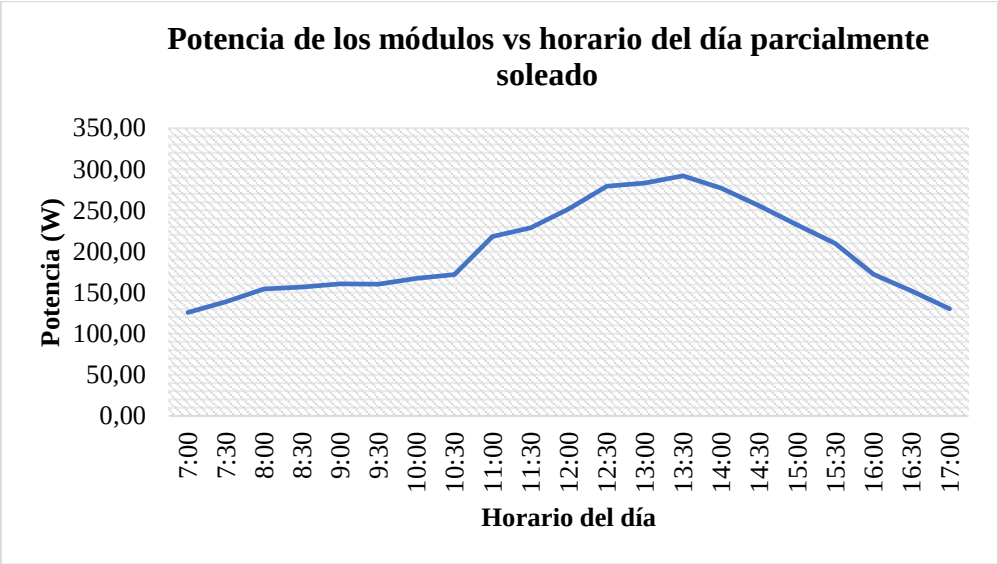


Figura 59. Potencia generada por el sistema fotovoltaico un día parcialmente soleado.

3.1.5.4 Evaluación de consumo en la noche

Para la prueba de consumo se midió el porcentaje de descarga del banco de baterías con el uso de los 10 focos tipo bombillo LED encendidos por 4 horas, en un horario de 18h00 a 22h00. El banco de baterías antes del inicio de prueba se encontraba al 100% de su capacidad y luego de transcurridas las 4 horas de uso el banco de baterías bajo al 60% de su capacidad total. Al día posterior alcanzo de nuevo el 100% de su capacidad de carga.

En la figura 60 se muestra el antes y después del uso energético para la evaluación de funcionamiento en la noche.



Figura 60. Evaluación de descarga del banco de baterías.

3.1.6 Presupuesto del proyecto instalado

En esta sección del presente proyecto se detalla los equipos, materiales, transporte y mano de obra utilizados en la instalación del sistema del suministro de energía con el uso de módulos fotovoltaicos

3.1.6.1 Costo de los componentes del sistema fotovoltaico

Tabla 17. Costo de los componentes utilizados en la instalación fotovoltaica.

Denominación	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Módulos fotovoltaicos	Helius Plus-EGE166M (430-450W)	4	242,02	968,08
Baterías selladas	Powest VRLA 12v / 200Ah	2	410,00	820,00
Controlador de carga solar	Controlador Solar PWM MUST 50A – 100V	1	120,00	120,00
Inversor de voltaje	Inversor de Voltaje 12V 110-120V Q3000W	1	130,00	130,00
Estructura	Estructura Anodizada de Aluminio	1	298,40	298,40
	Total			$2336,48

3.1.6.2 Costo de materiales eléctricos de la instalación

Tabla 18. Costo de materiales eléctricos utilizados en la instalación fotovoltaica.

Denominación	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Conector MC4	Conectores MC4 para módulos tipo Y, macho y hembra, 600V-1000V	2	10,55	21,10
Cable eléctrico	Cable eléctrico solido calibre N° 6	2m	1,50	3,00

Cable eléctrico	Cable eléctrico flexible calibre N° 8	15m	1,15	17,25
Cable eléctrico	Cable eléctrico solido calibre N° 10	71m	0,95	6,45
Terminal de compresión	Para cable eléctrico calibre N° 8	6	0,50	3,00
Breaker	Breaker Schneider Voltaje máximo de 110V-120V y corriente máxima de 40A	1	8,50	8,50
Breaker	Breaker Schneider Voltio Voltaje máximo de 200VDC y corriente máxima de 32A	1	9,50	9,50
Bornes de batería	Bornes para conexión de baterías	2	3,50	7,00
	Total			$75,80

3.1.6.3 Costo de materiales adicionales de la instalación

Tabla 19. Costo de materiales adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica.

Denominación	**Descripción**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Tornillo	Tornillos hexagonales M12	15	0,15	2,25
Tuercas	Tuercas de seguridad M12	15	0,10	1,50
Arandelas	Arandelas medianas M12	15	0,05	0,75
Cinta aislante	Cinta aislante para instalación eléctrica	2	1,50	3,00
Correas	Correas de plástico medianas de sujeción (100 Unid.)	1	2,50	2,50
Grapas	Grapas de sujeción para cable (100 Unid.)	1	1,80	1,80

	Total	$11,80

3.1.6.4 Costo de mano de obra y transporte

Tabla 20. Costo de mano de obra y transporte de la instalación fotovoltaica.

Denominación	**Descripción**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor total**
Transporte	Transporte de componentes Quito – Esmeraldas	1	200,00	200,00
Mano de obra	Mano de obra para transporte e instalación de componentes a la finca Mi Quinta	6	25,00	150,00
Alimentación	Alimentación	6	5,00	30,00
	Total			$380,00

3.1.6.5 Costo total del proyecto instalado

Tabla 21. Costo total del proyecto instalado.

Costo total del proyecto instalado		
N°	**Descripción**	**Costo total**
1	Costo de los componentes del sistema fotovoltaico	$2336,48
2	Costo de materiales eléctricos de la instalación	$75,80
3	Costo de materiales adicionales de la instalación	$11,80
4	Costo de mano de obra y transporte	$380,00
	Total	**$2804,08**

3.1.6.6 Costo de energía producida por el sistema fotovoltaico en kWh

El costo total del proyecto instalado como se indica en la tabla 21 es de $2804.08, una vida útil de 15 años y la generación energética del sistema diariamente es de 1.641 kWh/día, con estos valores se calculó el costo de energía producida en kWh que genera el sistema fotovoltaico.

$$Costo\ de\ energia\ producida = \frac{\$2804.08}{15\ años} * \frac{1\ año}{365\ días} * \frac{1\ día}{1.641\ kWh/día}$$

$$Costo\ de\ energia\ producida = \$0{,}317/kWh$$

El costo por cada kWh que genera el sistema fotovoltaico es de $0,317.

3.1.7 Mantenimiento de los componentes del sistema fotovoltaico

El mantenimiento comprende todas las actividades necesarias para asegurar que una instalación fotovoltaica opere conforme a las especificaciones para las que fue diseñada. Esto implica optimizar el rendimiento energético, garantizar la seguridad del servicio y proteger los componentes a lo largo de su vida útil [25].

El mantenimiento de sistemas fotovoltaicos se clasifica en tres tipos de fallos:

- **Mantenimiento correctivo:** se realiza cuando ocurre un fallo o problema, además requiere de reparaciones o reemplazo de componentes defectuosos.
- **Mantenimiento predictivo:** se utilizan técnicas de monitoreo y revisión de datos para anticipar fallos antes de que ocurran.
- **Mantenimiento preventivo:** implica limpiezas e inspecciones de forma regular para prevenir posibles fallos se lleva con un cronograma.

El tipo de mantenimiento aconsejable es el preventivo ya que permite alargar la vida útil de los componentes, eficiencia energética generada, garantía de retorno de inversión, entre otros, se lo realiza mediante inspecciones programadas.

Para los casos de una instalación fotovoltaica aislada con una potencia nominal mayor a 750W, el mantenimiento preventivo debe realizarse, como mínimo, una vez cada seis meses. Una vez puesta en marcha el funcionamiento de la instalación se toma en cuenta el tiempo transcurrido para el programar el mantenimiento preventivo y tener presente los parámetros de funcionamiento [25].

3.1.7.1 Mantenimiento de los módulos fotovoltaicos

Para el caso de posibles fallas por los módulos las averías comunes que suelen suceder y la solución:

- **Disminución de generación eléctrica:** en el caso de las sombras que se generan cerca de los módulos fotovoltaicos debido al tiempo transcurrido, el origen suele venir de árboles o construcciones nuevas, para tal caso se debe talar los árboles o cambiar de posición los módulos [25].
- **Polvo y suciedad:** se procede a limpiar con agua, sin el uso de detergentes además se hace uso de una esponja o un paño suave, se recomienda realizarlo en horas con bajo índice solar.

3.1.7.2 Mantenimiento de la batería

Para el caso de posibles fallas en la batería las averías comunes que suelen suceder y la solución:

- **Bornes de batería estropeado:** con el transcurso del tiempo y las condiciones ambientales tienden a deteriorarse, bastará con limpiarlos, apretarlos o sustituir por unos nuevos.
- **Sulfatación:** se produce debido a la elevada resistencia esto se debe al mal contacto, lo que genera caída de tensión significativa, la solución consiste en limpiar la parte que tiene corrosión, se aplica vaselina para evitar la corrosión nuevamente y verificar el nivel de electrolito [26].
- **Burbujeo de electrolito:** genera sulfatación, pérdida de líquido y arrastre de ácido, se procede a la revisión del controlador de carga puede estar administrando demasiada corriente.
- **Polvo y suciedad:** limpiar con un paño humedecido con disolución de bicarbonato sódico por litro de agua, se evita auto derivaciones eléctricas [26].

3.1.7.3 Mantenimiento del controlador de carga

Para el caso de posibles fallas en el controlador de carga las averías comunes que suelen suceder y la solución:

- **Configuración incorrecta:** la pantalla indica parámetros con fallas, se procede a interpretar los resultados y dar solución debido al código de falla que se muestre en pantalla.
- **Conexiones flojas:** la solución consiste en simplemente apretar las conexiones usando las herramientas apropiadas. Si la conexión se ha aflojado debido a su deterioro, será necesario reemplazar los componentes averiados para restaurar sus características originales.
- **Polvo y suciedad:** se puede generar una baja ventilación que sobrecalienta el dispositivo, con un paño se retira el polvo y suciedad.
- **Terminales oxidados:** genera un mal contacto y agarrotamiento, se soluciona con limpieza de terminales y líquido anticorrosión.

3.1.7.4 Mantenimiento del inversor de voltaje

Para el caso de posibles fallas en el inversor de voltaje las averías comunes que suelen suceder y la solución:

- **Comprobación de leds:** se verifica que no haya la existencia de led rojo encendido, comprobar el voltaje que genera y el voltaje en corriente continua que suministra la batería.
- **Polvo y suciedad:** genera calentamiento debido a la mala ventilación, se retira el exceso de polvo y suciedad con un paño humedecido, el componente deberá estar previamente desconectado de cualquier fuente de energía.
- **Estado de conexiones:** origina una caída de tensión, se observa el estado de las conexiones y se ajusta los terminales, si están con suciedad limpiarlos.

3.1.7.5 Mantenimiento de las conexiones eléctricas

Para el caso de posibles fallas en las conexiones eléctricas las averías comunes que suelen suceder y la solución:

- **Cables deteriorados:** el deterior puede influir por las condiciones climatológicas, en tal caso lo adecuado es cambiarlos por conductores de las mismas características que soporten la intensidad de corriente y a las condiciones que estarán expuestos.

- **Desbalance de cargas:** da origen a una caída de tensión, la solución es balancear las cargas de manera adecuada, verificando cuanta corriente están suministrando el controlador de carga y el inversor de voltaje.

3.1.7.6 Recomendaciones generales de mantenimiento y seguridad

- En ninguna circunstancia se debe utilizar agua fría para limpiar un módulo fotovoltaico que este caliente.
- Evitar el uso de agua a presión para la limpieza del módulo fotovoltaico y el uso de agua destilada no se usará en ninguna circunstancia.
- Al limpiar la suciedad del módulo fotovoltaico evitar la fricción en seco o raspado, ya que puede dañar la superficie.
- En lugares donde exista la presencia de nieve y se acumule sobre el módulo fotovoltaico, se deberá retirar con el uso de un cepillo suave.
- Tener precaución de no inhalar las partículas liberadas cuando se manipula los contactos de la batería para darle mantenimiento, se recomienda el uso de mascarilla.
- Se recomienda el uso de algún tipo de grasa específica para proteger los contactos eléctricos y los bornes de la batería de la corrosión y la oxidación.
- El lugar de almacenamiento de la batería debe estar libre de humedad y polvo.
- Durante todo el proceso de mantenimiento preventivo utilizar equipo de protección y herramientas aisladas.
- Antes de realizar el proceso de mantenimiento de conexiones eléctricas verificar que no exista el paso de corriente por las mismas.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Tras analizar la demanda energética de la vivienda unifamiliar habitada por tres personas se concluye que el sistema fotovoltaico debe tener una capacidad de generación de 1.641 kWh/día para sustentar el uso de electrodomésticos básicos y sistema de iluminación durante los periodos habituales de uso diario.
- La selección componentes de acuerdo con los parámetros establecidos de diseño para el sistema fotovoltaico son: 4 módulos solares de 430Wp conectados en serie y paralelo, 2 baterías selladas DC 12V – 200Ah con conexión en paralelo, un controlador de carga solar PWM de 50A – 100V, un inversor de voltaje de 3000W de potencia. Los factores para la elección de los componentes fueron: vida útil, eficiencia, mantenimiento y precio.
- El sistema fotovoltaico instalado para la generación de energía eléctrica proporciona un suministro energético fiable y continuo de 100V y 23A durante los días de autonomía, los componentes instalados se integran adecuadamente al sistema, además la orientación de los módulos solares permite aprovechar al máximo la radiación solar.

4.2 Recomendaciones

- Considerando el crecimiento en el consumo energético de la vivienda unifamiliar, se sugiere la posibilidad de ampliar la capacidad de almacenamiento mediante la adición de más baterías. La inclusión de baterías de mayor capacidad para asegurar un suministro constante de energía durante períodos prolongados de baja irradiación solar.
- Para garantizar el rendimiento del sistema fotovoltaico se debe dar un monitoreo y mantenimiento regular cada 6 meses a cada uno de los componentes.
- El uso de controladores de carga tipo MPPT en sistemas fotovoltaicos aislados son más eficientes en convertir la energía de los módulos solares y en alargar la vida útil del banco de baterías.
- La distancia de cableado entre los módulos solares y los demás componentes debe ser mínima para evitar la pérdida significativa de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] S. Sepúlveda, «RADIACIÓN SOLAR: FACTOR CLAVE PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS», *Mundo FESC*, vol. 4, n.º 8, Art. n.º 8, dic. 2014.

[2] «Cuadernos-energías-renovables-para-todos-solar-fotovoltaica». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2007/09/Cuadernos-energias-renovables-para-todos-solar-fotovoltaica-fenercom.pdf

[3] «Energía Solar Fotovoltaica ESF. Rafael Martín Lamaison Urioste Dept. d Enginyeria Electrònica-UPC». Accedido: 9 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://docplayer.es/9171634-Energia-solar-fotovoltaica-esf-rafael-martin-lamaison-urioste-dept-d-enginyeria-electronica-upc.html

[4] L. Jutglar Banyeres, *Generación de Energía Solar Fotovoltaica*. Barcelona: Marcombo, 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/17226

[5] J. C. Serrano, «Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas», . *j*.

[6] O. Perpiñán Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2011.

[7] «La radiación solar sobre una superficie inclinada | PVEducation». Accedido: 2 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/2-propiedades-de-la-luz-del-sol/la-radiaci%C3%B3n-solar-sobre-una-superficie-inclinada

[8] «Conversion_de_la_Luz_Solar_en_Energia_El.pdf».

[9] SotySolar, «¿Cómo es el esquema de una instalación fotovoltaica aislada? SotySolar», https://sotysolar.es/blog/esquema-instalacion-fotovoltaica-aislada. Accedido: 11 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://sotysolar.es/blog/esquema-instalacion-fotovoltaica-aislada

[10] L. Jutglar Banyeres, *Generación de Energía Solar Fotovoltaica*. Barcelona: Marcombo, 2012. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/17226

[11] E. N. Sl, «Energías renovables y eficiencia energética».

[12] «Controladores de Carga PWM para Sistemas de Energía Fotovoltaica», Renovaenergia S.A. Accedido: 19 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.renova-energia.com/categoria-producto/controladores-de-carga-pwm/

[13] «libro_de_Energia-Solar-Fotovoltaica-Carlos-Orbegozo-Roberto-Arivilca-libre.pdf». Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54732175/libro_de_Energia-Solar-Fotovoltaica-Carlos-Orbegozo-Roberto-Arivilca-libre.pdf

[14] «8448171691.pdf». Accedido: 21 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf

[15] J. M. Méndez Muñiz, *Energía solar fotovoltaica (7ª ed.)*. FC Editorial, 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/37869

[16] «Calculadora de vatios fotovoltaicos». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php

[17] «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». Accedido: 6 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#api_5.1

[18] «Meteonorm V 8.2», Solsta. Accedido: 7 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://solsta.co/productos/meteonorm-5/

[19] M. Pareja Aparicio, *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada*. Barcelona: Marcombo, 2009. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/17223

[20] M. C. Tobajas, *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/103152

[21] «Calibres de Cables Eléctricos, Cables y Conductores», Cables y Conductores Eléctricos. Accedido: 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://cablesyconductores.com/calibre-de-cables/

[22] «Perfil de extrusión de aluminio anodizado para sistema de construcción de marcos Fabricado en China - Aluminio Pailian». Accedido: 3 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.pailianaluminio.com/anodized-aluminum-profile/anodized-aluminium-extrusion-profile-for.html

[23] «UPS - ST003459.pdf». Accedido: 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15292/1/UPS%20-%20ST003459.pdf

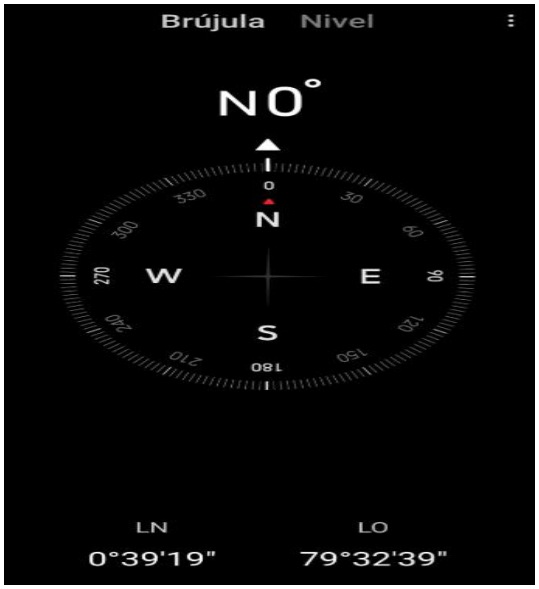
[24] «Cojoba Arborea Análisis de Propiedades Físicas y Mecánicas Peten Aguilar 2017 | ILIDE.INFO Platform PDF Viewer», ilide.info. Accedido: 5 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ilide.info/doc-viewer-v2

[25] M. E. de las Heras León, *Mantenimiento de instalaciones solares fotovoltáicas*. IC Editorial. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/87048

[26] J. M. de la; C. G. Cruz Gómez Félix de la, *Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas*. Ediciones Experiencia, 2009. [En línea]. Disponible en: https://www.digitaliapublishing.com/a/37005

ANEXOS

Anexo 1. Datos geográficos de la instalación fotovoltaica.



Anexo 2. Fichas técnicas de consumo energético de electrodomésticos.



Ficha técnica del minibar. Electrolux



Especificaciones tecnicas

Tensión (Voltaje)	127V
Indice de eficiencia energética	A
Capacidad (L)	1.5
Potencia (W)	400
Velocidades	2

Especificaciones técnicas

Funcion Pulsar	Sí
Cuchilla Extraible y roscadas	SÍ
Sistema TruFlow	SÍ

Ficha técnica de licuadora de 400W. Electrolux

Funciones
Tipo de lavado Normal
Tiempo de centrifugado (0 - 5 min)
Tiempo de lavado (0 - 15 min)
Programas de lavado 1
Entrada de agua 1

Información Técnica
Voltaje 110 V AC
Frecuencia Nominal 60 Hz
Potencia Nominal 510W
Motor de lavado 120W - 2.5A
Motor de centrifugado 50W - 1.2A
Transmisión engrane Metálico
Timer Impermeable

Lavadora semiautomática de 7kg. Indurama

DESCRIPCION GENERAL	DATOS DEL PRODUCTO
PESO BRUTO	9,1 KG
PESO NETO SIN CAJA	6,3 KG
CONSUMO DE ENERGIA (kw.h/año)	78 Kw h/año
EFICIENCIA ENERGÉTICA	A
CODIGO DE BARRAS PRODUCTO (EAN)	
VOLTAJE/FRECUENCIA	110 - 240 V 50 / 60 Hz
POTENCIA NOMINAL	100 W

Ficha técnica de televisión de 43 pulgadas. Indurama

Foco led alta potencia 20w E27 6500°K 1700lm 120-240v

- **Modelo:** Alta Potencia
- **Watts (W):** 20W
- **Voltaje (V)**: 120-240V
- **Factor de Potencia (FP):**F >0.5
- **Base:** E27
- **Lúmenes (Lm):** 1700 lm
- **Eficiencia (lm/w) :** 85 lm/w
- **Temperatura de color (°K):** 6500°K
- **Tonalidad de luz :** Luz fría
- **Reproducción del color (IRC):** 80 IRC
- **Angulo Apertura(°) :** 180°
- **Dimerizable:** No
- **Horas de Vida :** 15000 Hrs

Ficha técnica de foco ahorrador de 20 watts. evLite

Anexo 3. Datos técnicos del módulo fotovoltaico de 430-450Wp.

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Power tolerance	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W	0~+5 W
Module efficiency	19.5 %	19.7 %	19.9 %	20.1 %	20.4 %
Maximum power voltage (Vmp)	40.60 V	40.80 V	41.00 V	41.20 V	41.40 V
Maximum power current (Imp)	10.60 A	10.67 A	10.74 A	10.81 A	10.88 A
Open circuit voltage (Voc)	49.20 V	49.40 V	49.60 V	49.80 V	50.00 V
Short circuit current (Isc)	11.19 A	11.26 A	11.33 A	11.40 A	11.47 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	322 W	326 W	330 W	334 W	338 W
Maximum power voltage (Vmp)	37.70 V	37.90 V	38.10 V	38.20 V	38.30 V
Maximum power current (Imp)	8.56 A	8.61 A	8.66 A	8.75 A	8.84 A
Open circuit voltage (Voc)	46.10 V	46.30 V	46.50 V	46.70 V	46.90 V
Short circuit current (Isc)	9.08 A	9.13 A	9.19 A	9.25 A	9.31 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambiant temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

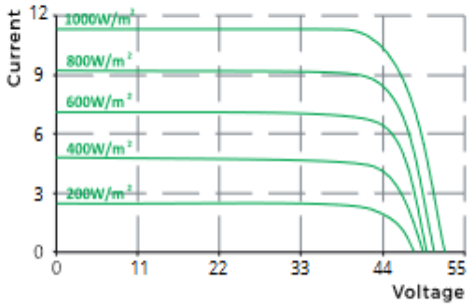
TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C ±3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.28%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1000V / 1500V
Max series fuse rating	20 A
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

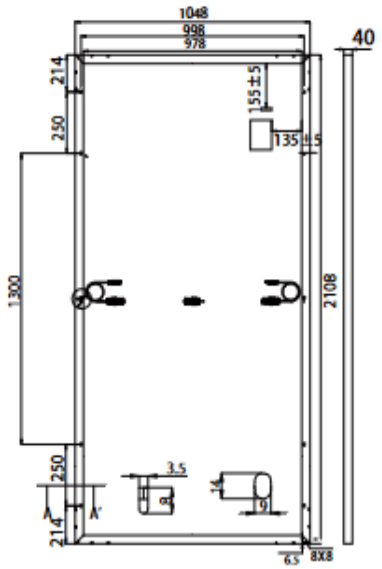
I-V CURVES



MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (166x83 mm)
Number of cells	144
Dimensions	2108x1048x40mm
Weight	24 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68
Cable	4.0mm²
Connector	MC4 compatible

ENGINEERING DRAWINGS (mm)



PACKAGING

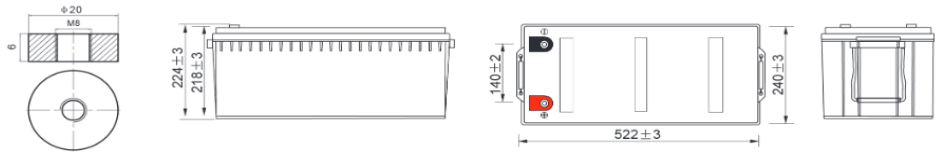
Type	Pcs/ Type	Weight
Per Pallet	26 pcs	675 kg
20ft GP Container	255 pcs	6.7 t
40ft GP Container	540 pcs	14.1 t
40ft HQ Container	594 pcs	15.5 t

Anexo 4. Datos técnicos de la batería sellada.

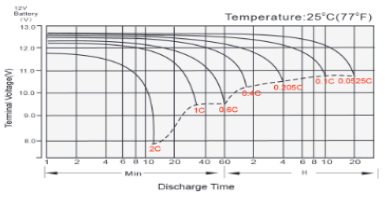
Voltaje Nominal	12V
Capacidad Nominal (20 Hr)	200.0 Ah
Dimensiones	Longitud 522.0±3mm (20.55 ") Ancho 240±2mm (9.45 ") Altura 218.0±3mm (8.58 ") Altura Total 224.0±3mm (8.81 ")
Peso Aproximado	Aprox. 59.8 kg (131.9 lbs)
Terminal	T11-M8
Material del Envase	ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)
Rango de Operación	208.0 AH/10.4 A (20hr, 1.80V/Celda,25° C/77°F) 200.0 AH/20.0A (10hr, 1.80V/Celda,25° C/77°F) 172.0 AH/34.4A (5hr, 1.75V/Celda,25° C/77°F) 156.0 AH/52.0A (3hr, 1.75V/Celda,25° C/77°F) 122.0 AH/122.0A (1hr, 1.60V/Celda,25° C/77°F)
Máxima Corriente de Descarga	2000A(5s)
Resistencia Interna	Aprox. 2.7mΩ
Rango de Temperatura de Operación	Descarga -15~50°C (5~122°F) Carga 0~40°C (32~104°F) Almacenamiento -15~40°C (5~104°F)
Rango Nominal de Temp. de Operación	25±3°C (77±5°F)
Ciclo de Uso	Corriente de carga inicial de menos de 60.0A. Voltage. 14.4V ~ 15.0V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -30mV/ °C
Modo Espera	No hay límite en la carga inicial de tensión actual. 13.5V ~ 13.8V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -20mV /°0C
Capacidad Afectada por la temperatura	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Auto- descarga	Las Baterías de la serie POWEST GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición. Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto.

Dimensiones (mm)

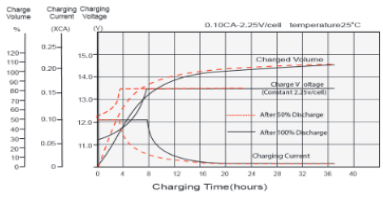
- Terminal



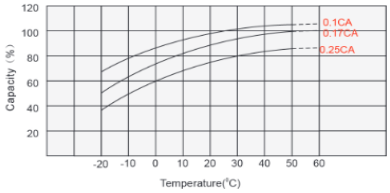
Características de Descarga



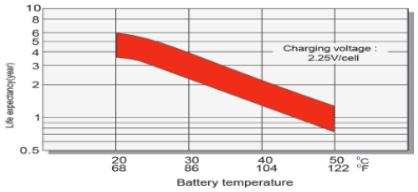
Características de Carga en flotación



Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Anexo 5. Datos técnicos del controlador de carga.

Modelo			50A 12/24V	60A 12/24V	50A 48V	60A 48V
Entrada	Voltaje FV		≤50V		≤100V	
	Intensidad nominal		50A	60A	50A	60A
Salida	Voltaje sistema		12V/24V Auto		48V	
	Desconexión por alto voltaje (HVD)		16.00V x1 / x2		64V	
	Intensidad descarga nominal		50A	60A	50A	60A
	Autoconsumo		≤14mA		≤16mA	
	Caída de tensión circuito carga		≤0.22V		≤0.25V	
	Caída de tensión circuito descarga		≤0.12V		≤0.12V	
	Modo de carga		PWM Multi-etapas (carga, absorción, flotación, ecualización)			
	Voltaje Carga Flotación		13.8V (12.8V~14.2V) x1 / x2		55.2V (51.2V~56.8V)	
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración	14.4V (13.6V~15.2V) x1 / x2		57.6V (54.4V~60.8V)	
	Voltaje Carga Ecualización		14.6V (13V~15.5V) x1 / x2		58.4V (52V~62V)	
	Protección Bajo Voltaje (LVD)		10.8V (10.5V~12V) x1 / x2		43.2V (42V~48V)	
	Reconexión Bajo Voltaje (LVR)		12.6V (11.5V~13V) x1 / x2		50.4V (46V~52V)	
Características físicas	Sección cableado		25mm²			
	Temperatura trabajo		-20 ~ +50°C			
	Tamaño (L x W x H)		188x125x48.5mm	187x125x56mm	188x125x48.5mm	187x125x56mm
	Peso neto		562g	701g	564g	703g

Tipo de batería:

Tipo batería	Voltaje flotación	Voltaje absorción	Tiempo absorción	Voltaje de ecualización	Tiempo de ecualización	Intervalo ecualizaciones
GEL	13.8	14.2	2 horas	-	-	-
Sellada (SLD)	13.8	14.4	2 horas	14.6	2 horas	28 días
Plomo abierto (FLD)	13.8	14.6	2 horas	14.8	2 horas	28 días
Personalizada (USR)	13.8	14.4	2 horas	14.6	2 horas	28 días

Anexo 6. Datos técnicos del inversor de voltaje.

Model	B12M3000-1	B12M3000-2	B24M3000-1	B24M3000-2	B48M3000-1	B48M3000-2
Rated Power	3000W					
Peak Power	6000W					
Wave Form	Modified Sine Wave					
Frequency	50HZ/60HZ					
Output Efficiency	⩾88%					
AC Regulation	THD < 3% (linear load)					
DC Voltage	12V		24V		48V	
DC Voltage Range	10-15.5V		20-31V		40-61V	
Low Voltage Alarm	10.5±0.5V		21±0.5V		42±1V	
Low Voltage Shut Down	10±0.5V		20±0.5V		40±1V	
Over Voltage Shut Down	15.5±0.5V		31±0.5V		61±1V	
Low Voltage Recovery	13±0.5V		24±0.5V		48±1V	
Over Voltage Recovery	14.8±0.5V		29.5±0.5V		59±1V	
AC Voltage	120V (±5%) or 230v (±5%)					
USB Outlet	5V/2.1A					
Working Temp	(-10℃ - +50℃)					
Storage Temp	(-30℃- +70℃)					
Protection	Low Voltage					
	Over Voltage					
	Over Load					
	Over Temp					
	Short Circuit					
Rroduct Size (mm)	445.7*207/86.5					
Packing Size (mm)	505*280*155					
N.W/G.W (kg)	5.2/5.95					

Anexo 7. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de febrero.

Registro diario de días soleados de febrero			
Días	**Horario**	**Horas de sol**	**Observaciones**
1	11am – 4pm	5	Día totalmente despejado
2	8am – 12 pm	4	Día totalmente despejado
3	11am – 3pm	4	Día totalmente despejado
4	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
5	11am – 1pm	2	Día parcialmente nublado
6	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
7	11am – 1pm	2	Día parcialmente nublado
8	12pm – 1pm	1	Día parcialmente nublado
9	-	0	Día totalmente nublado
10	10am – 5pm	7	Día totalmente despejado
11	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
12	11am – 4pm	5	Día totalmente despejado
13	8am – 12 pm	4	Día despejado y lluvia posterior
14	11am – 3pm	4	Día despejado y lluvia posterior
15	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
16	11am – 1pm	2	Día parcialmente nublado
17	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
18	11am – 1pm	2	Día parcialmente nublado
19	12pm – 1pm	1	Día parcialmente nublado
20	-	0	Día totalmente nublado
21	10am – 5pm	7	Día totalmente despejado
22	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
23	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
24	12pm – 3pm	3	Día despejado y lluvia posterior
25	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
26	11am – 4pm	5	Día totalmente despejado
27	10am – 5pm	7	Día totalmente despejado
28	–	0	Día totalmente nublado
29	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
Promedio		**3,828**	**horas**

Anexo 8. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de marzo.

Registro diario de días soleados de marzo			
Días	**Horario**	**Horas de sol**	**Observaciones**
1	11am - 1pm	2	Día totalmente nublado
2	8am – 3 pm	7	Día totalmente despejado
3	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
4	9am – 3pm	6	Día despejado y lluvia posterior
5	8am – 3pm	7	Día totalmente despejado
6	9am – 1pm	4	Día despejado y lluvia posterior
7	8am – 1pm	5	Día totalmente despejado
8	10pm – 1pm	3	Día parcialmente nublado
9	9am – 4pm	7	Día totalmente despejado
10	9am – 2pm	5	Día despejado y lluvia posterior
11	9am – 12pm	3	Día parcialmente nublado
12	8am – 11am	3	Día parcialmente nublado
13	9am – 12 pm	3	Día parcialmente nublado
14	9am – 1pm	4	Día despejado y lluvia posterior
15	11am – 3pm	4	Día despejado y lluvia posterior
16	8am – 3pm	7	Día totalmente despejado
17	9am – 5pm	8	Día totalmente despejado
18	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
19	8pm – 2pm	6	Día totalmente despejado
20	9am – 1pm	4	Día despejado y lluvia posterior
21	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
22	9am – 5pm	8	Día totalmente despejado
23	8am – 2pm	6	Día totalmente despejado
24	8pm – 1pm	5	Día despejado y lluvia posterior
25	9am – 2pm	5	Día totalmente despejado
26	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
27	–	0	Día totalmente nublado
28	7am – 5pm	10	Día totalmente despejado
29	8am – 5pm	9	Día totalmente despejado
30	7am – 4pm	9	Día totalmente despejado
31	–	0	Día totalmente nublado
Promedio		**5,23**	**horas**

Anexo 9. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de abril.

Registro diario de días soleados de abril			
Días	**Horario**	**Horas de sol**	**Observaciones**
1	10am – 1pm	3	Día parcialmente nublado
2	9am – 2pm	5	Día despejado y lluvia posterior
3	9am – 3pm	6	Día despejado y lluvia posterior
4	9am – 4pm	7	Día totalmente despejado
5	8am – 2pm	6	Día totalmente despejado
6	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
7	–	0	Día totalmente nublado
8	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
9	8am – 2pm	6	Día totalmente despejado
10	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
11	8am – 5pm	9	Día totalmente despejado
12	9am – 12am	3	Día parcialmente nublado
13	9am – 12 pm	3	Día parcialmente nublado
14	–	0	Día totalmente nublado
15	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
16	9am – 12am	3	Día parcialmente nublado
17	9am – 3pm	6	Día totalmente despejado
18	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
19	9pm – 2pm	5	Día totalmente despejado
20	8am – 4pm	8	Día totalmente despejado
21	12pm – 3pm	3	Día parcialmente nublado
22	7am – 3pm	8	Día totalmente despejado
23	9am – 2pm	5	Día despejado y lluvia posterior
24	8pm – 5pm	9	Día totalmente despejado
25	8am – 4pm	8	Día totalmente despejado
26	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
27	11am – 2pm	3	Día parcialmente nublado
28	–	0	Día totalmente nublado
29	11am – 3pm	4	Día parcialmente nublado
30	8am – 2pm	6	Día totalmente despejado
Promedio		**4,9**	**horas**

Anexo 10. Datos obtenidos de registro mensual de los días soleados del mes de mayo.

Registro diario de días soleados de mayo			
Días	**Horario**	**Horas de sol**	**Observaciones**
1	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
2	8am – 2pm	6	Día totalmente despejado
3	10am – 3pm	5	Día totalmente despejado
4	8am – 2pm	6	Día totalmente despejado
5	9am – 12am	3	Día parcialmente nublado
6	9am – 12 pm	3	Día parcialmente nublado
7	9am – 1pm	4	Día despejado y lluvia posterior
8	11am – 3pm	4	Día despejado y lluvia posterior
9	8am – 3pm	7	Día totalmente despejado
10	9am – 5pm	8	Día totalmente despejado
11	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
12	8pm – 2pm	6	Día totalmente despejado
13	9am – 1pm	4	Día despejado y lluvia posterior
14	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
15	11am - 12pm	1	Día totalmente nublado
16	10am – 4pm	6	Día totalmente despejado
17	9am – 12am	3	Día parcialmente nublado
18	9am – 3pm	6	Día totalmente despejado
19	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
20	9pm – 2pm	5	Día totalmente despejado
21	10am -11pm	1	Día totalmente nublado
22	11am – 3pm	4	Día despejado y lluvia posterior
23	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
24	11am – 1pm	2	Día parcialmente nublado
25	10am – 2pm	4	Día despejado y lluvia posterior
26	11am – 1pm	2	Día parcialmente nublado
27	12pm – 2pm	2	Día parcialmente nublado
28	9am – 12am	3	Día parcialmente nublado
29	10am – 5pm	7	Día totalmente despejado
30	9am – 2pm	5	Día despejado y lluvia posterior
31	8pm – 5pm	9	Día totalmente despejado
Promedio		**4,5**	**horas**

Anexo 11. Pruebas de funcionamiento amperaje, voltaje y potencia del sistema fotovoltaico en un día con sol pleno.

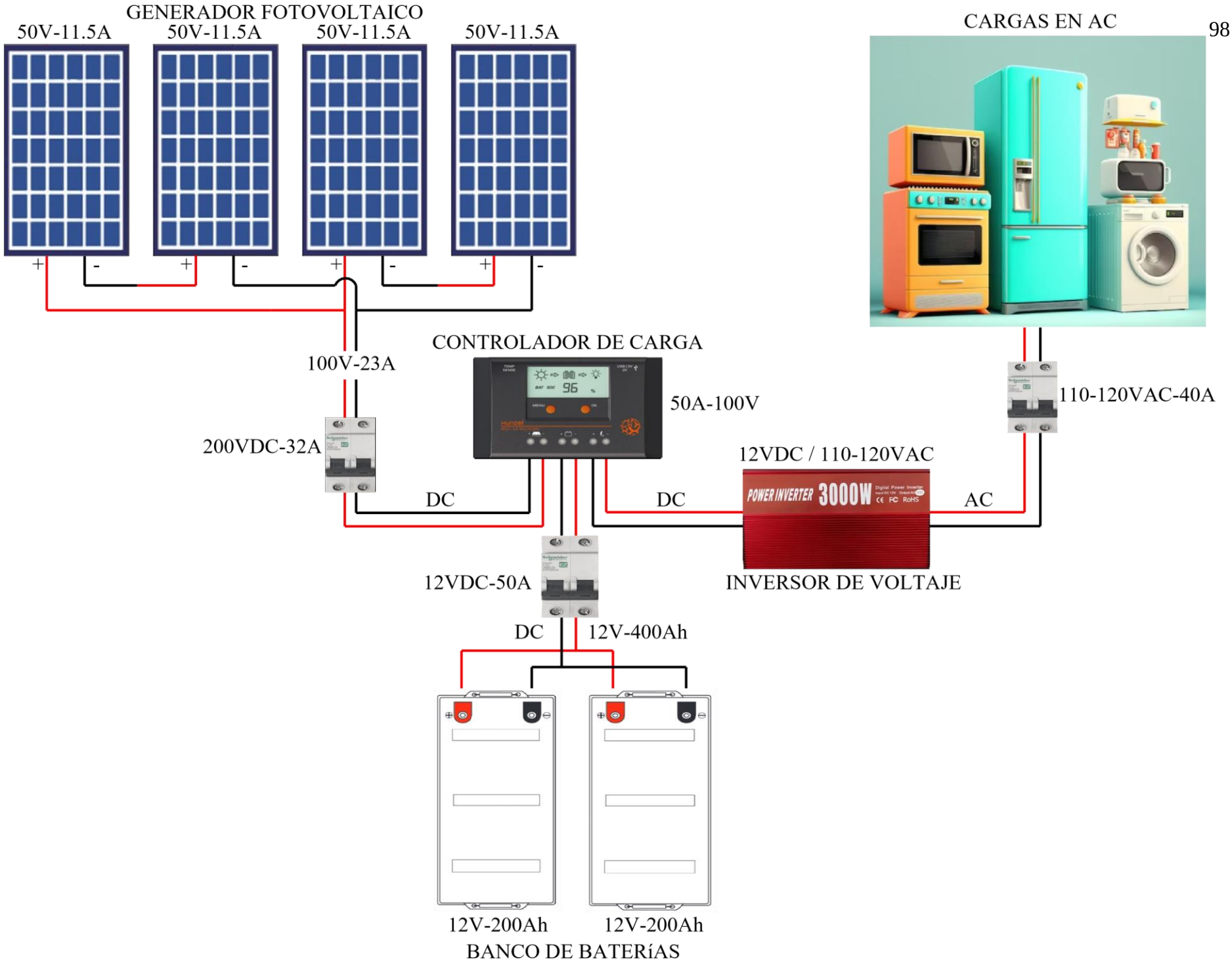
Prueba de funcionamiento del sistema fotovoltaico en un dia con sol pleno			
Horario	**Amperaje (A)**	**Voltaje CC (V)**	**Potencia (W)**
7:00	4,2	40,6	170,52
7:30	5,2	40,8	212,16
8:00	5,5	40,65	223,58
8:30	6,1	40,75	248,58
9:00	6,6	41,2	271,92
9:30	7,5	40,6	304,50
10:00	7,9	40,8	322,32
10:30	8,2	40,9	335,38
11:00	8,6	41,2	354,32
11:30	9,45	40,5	382,73
12:00	11,15	40,7	453,81
12:30	10,2	41,1	419,22
13:00	10,25	40,75	417,69
13:30	10,32	40,55	418,48
14:00	10,15	41,35	419,70
14:30	9,81	40,9	401,23
15:00	8,4	40,4	339,36
15:30	7,6	40,3	306,28
16:00	5,4	40,1	216,54
16:30	5,1	40,05	204,26
17:00	4,3	40,1	172,43
Promedio	7,711	40,68	314,05

Anexo 12. Pruebas de funcionamiento amperaje, voltaje y potencia del sistema fotovoltaico en un día totalmente nublado.

Prueba de funcionamiento del sistema fotovoltaico en un día totalmente nublado			
Horario	**Amperaje (A)**	**Voltaje CC (V)**	**Potencia (W)**
7:00	2,2	40,1	88,22
7:30	2,2	40,1	88,22
8:00	2,4	40,15	96,36
8:30	2,6	40,2	104,52
9:00	3,1	40,2	124,62
9:30	3,2	40,35	129,12
10:00	3,5	40,4	141,40
10:30	4,1	40,35	165,44
11:00	4,15	40,3	167,25
11:30	4,3	40,3	173,29
12:00	4,38	40,4	176,95
12:30	4,4	40,5	178,20
13:00	4,3	40,2	172,86
13:30	4,4	40,2	176,88
14:00	4,1	40,15	164,62
14:30	3,8	40,1	152,38
15:00	3,65	40,05	146,18
15:30	3,35	40,08	134,27
16:00	3,1	40,1	124,31
16:30	3,05	40,12	122,37
17:00	2,8	40,05	112,14
Promedio	3,48	40,21	139,98

Anexo 13. Pruebas de funcionamiento amperaje, voltaje y potencia del sistema fotovoltaico en un día parcialmente soleado.

Prueba de funcionamiento del sistema fotovoltaico en un dia parcialmente soleado			
Horario	**Amperaje (A)**	**Voltaje CC (V)**	**Potencia (W)**
7:00	3,1	40,6	125,86
7:30	3,4	40,8	138,72
8:00	3,8	40,65	154,47
8:30	3,85	40,75	156,89
9:00	3,9	41,2	160,68
9:30	3,95	40,6	160,37
10:00	4,1	40,8	167,28
10:30	4,2	40,9	171,78
11:00	5,3	41,2	218,36
11:30	5,65	40,5	228,83
12:00	6,15	40,9	251,54
12:30	6,8	41,1	279,48
13:00	6,95	40,75	283,21
13:30	7,2	40,55	291,96
14:00	6,7	41,35	277,05
14:30	6,25	40,9	255,63
15:00	5,75	40,4	232,30
15:30	5,2	40,3	209,56
16:00	4,3	40,1	172,43
16:30	3,8	40,05	152,19
17:00	3,25	40,1	130,33
Promedio	4,93	40,69	200,90


GENERADOR FOTOVOLTAICO
50V-11.5A
50V-11.5A
50V-11.5A
50V-11.5A
+
-
+
-
+
-
+
-
CARGAS EN AC
100V-23A
CONTROLADOR DE CARGA
50A-100V
110-120VAC-40A
200VDC-32A
12VDC / 110-120VAC
DC
DC
AC
POWER INVERTER 3000W
12VDC-50A
INVERSOR DE VOLTAJE
DC
12V-400Ah
12V-200Ah
12V-200Ah
BANCO DE BATERíAS