



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO PARCIAL DE ENERGÍA DE LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE”

AUTORES:

Denisse Anabel Tonato Palomo

Riquelme Estefania Tutin Chicaiza

TUTOR: Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Agosto – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO PARCIAL DE ENERGÍA DE LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE”**, elaborado por las Señoritas Denisse Anabel Tonato Palomo, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 0504448010 y Riquelme Estefania Tutin Chicaiza, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1805065107, estudiantes de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, agosto 2023



Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Denisse Anabel Tonato Palomo, con C.I. 0504448010 y Riquelme Estefania Tutin Chicaiza, con C.I. 1805065107 declaramos que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO PARCIAL DE ENERGÍA DE LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE”**, así como también los análisis estadísticos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autoras del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, agosto 2023

Denisse Anabel Tonato Palomo

C.I. 0504448010

Riquelme Estefania Tutin Chicaiza

C.I. 1805065107

DERECHOS DE AUTOR

Autorizamos 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.

Cedemos los derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos 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 nuestros derechos de autor.

Ambato, agosto 2023



Denisse Anabel Tonato Palomo

C.I. 0504448010



Riquelme Estefania Tutin Chicaiza

C.I. 1805065107

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por las estudiantes Denisse Anabel Tonato Palomo y Riquelme Estefania Tutin Chicaiza, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO PARCIAL DE ENERGÍA DE LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE.”**

Ambato, agosto 2023

Para constancia firman:



Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios, por haberme dado la vida, una familia maravillosa y haber permitido que llegue hasta este momento tan importante de mi formación profesional, a mis padres Rodrigo Tonato y Esther Palomo ya que ellos fueron mi soporte en todo momento, estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y no dejar que me rinda en el camino, a mis hermanas Erika Tonato y Lady Tonato por sus palabras de aliento, cuidarme y siempre confiar en mí, a mi amiga Estefania Tutin por estar conmigo desde el inicio de nuestra carrera, el apoyo mutuo que nos brindamos en cada ciclo que pasamos nos generó un lazo de confianza y compañerismo que nos ayudó a llegar hasta este punto de nuestras vidas, a mis primos, Avril; Domenic y Santiago Chisaguano por compartir momentos significativos conmigo y siempre hacerme compañía y a mis tíos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para el logro de mis objetivos.

Denisse Tonato

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada principalmente a Dios, por haberme dado la vida, siempre acompañarme en cada paso, decisión, guiarme por el buen camino, por una familia maravillosa, y haberme permitido que llegue hasta este momento de mi vida tan importante de mi formación profesional, a mis padres Lucila Chicaiza y Anibal Tutin ya que ellos fueron mi soporte en todo momento, siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional y no dejar que me rinda en el camino, a mis hermanos Henry Tutin, Brigitte Tutin y Paola Tutin por sus palabras de aliento, desvelarse conmigo cuando era necesario, cuidarme y siempre confiar en mí, a mi amiga Denisse Tonato por estar conmigo desde el inicio de nuestra carrera, el apoyo mutuo que nos brindamos en cada ciclo que pasamos nos generó un lazo de confianza, las palabras de aliento cuando sentíamos no poder más y compañerismo que nos permitió llegar hasta este punto de nuestras vidas, a Saúl Sarabia que desde un inicio de la carrera me apoyo, ayudo en todo lo que necesitaba y me brindo palabras de aliento, a mis primos y tíos que han compartido momentos significativos conmigo y siempre haberme compañía, amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una y u otra manera contribuyeron para que logre todos mis objetivos.

Estefania Tutin

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme la vida, a mis padres que gracias a sus esfuerzos y sacrificios he terminado mi carrera profesional, a mis hermas y primos por escucharme y confiar en mí.

Agradezco también a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica-Carrera de Mecánica por abrirme las puertas y haberme aceptado para formar parte de su prestigiosa y respetable institución.

Al Ing.Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo por su gentil labor guiándonos en nuestro proyecto de tesis desde el inicio.

A mi amiga Estefania Tutin que durante estos 5 años pasamos por momentos muy difíciles y gracias a ello nuestra amistad se ha fortalecido.

Agradezco a todos los que me apoyaron y me brindaron su amor incondicional permitiéndome llegar a esta gran etapa de mi vida.

Denisse Tonato

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme la vida y siempre acompañarme en mi camino diario, agradezco a mis padres que por sus esfuerzos y sacrificios diario he logrado terminar mi carrera profesional, a mis hermanos y demás familia por escucharme, ayudarme y siempre confiar en mí y a mis docentes del colegio que siempre me alentaron a seguir adelante luchando para cumplir mis metas.

Agradezco también a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica – Carrera de Mecánica por abrirme las puertas y haberme aceptado para formar parte de su prestigiosa y respetable institución.

Al Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo por su gentil labor guiándonos en nuestro proyecto de tesis desde el inicio.

A mi amiga Denisse Tonato que durante los 5 años de carrera universitaria hemos pasado por momentos muy difíciles que gracias a su apoyo hemos podido sobrellevarlos y con ello nuestra amistad se ha fortalecido.

Agradezco a todos los que me apoyaron, creyeron en mí siempre, nunca me dejaron sola en este largo camino de preparación y me brindaron su amor incondicional.

Estefania Tutin

ÍNDICE 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.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT	xvii
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.....	3
1.2.1 Objetivo general	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	3
1.3.1 Implementaciones fotovoltaicas.....	3
1.3.2 Esquema de una instalación fotovoltaica	4
1.3.3 Paneles fotovoltaicos.....	4
1.3.4 Baterías.....	8
1.3.5 Controlador o regulador de carga.....	15
1.3.6 Inversor fotovoltaico	16
1.3.7 Cables eléctricos.....	17
1.3.8 Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos	19
1.3.9 Orientación de los paneles solares	20
CAPITULO II	21
2 METODOLOGÍA.....	21
2.1 MATERIALES.....	21

2.2	MÉTODOS.....	22
2.2.1	Método descriptivo.....	22
2.2.2	Método cuantitativo	22
2.2.3	Método de comparación.....	22
2.3	SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	25
2.3.1	Consumo energético.....	25
2.3.2	Paneles solares	25
2.3.3	Baterías.....	30
2.3.4	Regulador de carga.....	34
2.3.5	Inversor fotovoltaico	36
2.3.6	Cableado eléctrico.....	36
CAPITULO III.....		38
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	38
3.2	PARÁMETROS DE DISEÑO	38
3.2.1	Cálculo del consumo energético	38
3.2.2	Cálculo del número de paneles	38
3.2.3	Cálculo del número de baterías.....	41
3.2.4	Cálculo para el regulador de carga.....	42
3.2.5	Cálculo para el inversor fotovoltaico.....	43
3.2.6	Cálculo para el cableado eléctrico.....	43
3.3	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES.....	45
3.3.1	Análisis estático de la estructura.....	47
3.3.2	Cargas de la estructura de soporte de los paneles solares	49
3.3.3	Resultados del análisis de la estructura de soporte del panel solar	52
3.4	Implementación del sistema fotovoltaico.....	55
3.5	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	57
3.5.1	Pruebas de funcionamiento en un día soleado.....	57
3.5.2	Pruebas de funcionamiento en un día nublado.....	59
3.5.3	Pruebas de funcionamiento en la noche (22h00).....	61

3.5.4	Prueba de consumo de energía en la noche.....	63
3.6	MATERIALES UTILIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	64
3.7	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	67
3.7.1	Costos de los equipos del sistema fotovoltaico.....	67
3.7.2	Costo de los materiales de la instalación eléctrica	68
3.7.3	Costo de los materiales adicionales para la instalación fotovoltaica.	69
3.7.4	Costo de mano de obra para la instalación fotovoltaica.....	69
3.7.5	Costo de inversión total para el proyecto de implementación.	70
3.7.6	Costo generado por el sistema fotovoltaico (kWh).....	70
3.8	PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EN LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE.	70
3.8.1	Mantenimiento de componentes del sistema fotovoltaico	71
3.8.2	Mantenimiento de los paneles fotovoltaicos	71
3.8.3	Mantenimiento de las baterías.....	72
3.8.4	Mantenimiento del controlador	73
3.8.5	Mantenimiento del inversor	74
3.8.6	Mantenimiento del cableado y conexión.....	75
3.8.7	Riesgos en la instalación de un sistema fotovoltaico.	75
3.8.8	Advertencias para la instalación un sistema fotovoltaico	77
CAPÍTULO IV		79
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
4.1	CONCLUSIONES.....	79
4.2	RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		80
Anexos.....		83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencia de los paneles solares .	7
Tabla 2. Tipos de baterías con sus características básicas .	10
Tabla 3. Modelos utilizados en una instalación fotovoltaica .	11
Tabla 4. El tamaño de los cables, la corriente y la potencia generada .	18
Tabla 5. Coordenadas geográficas de Ambato.....	19
Tabla 6. ángulos de inclinación recomendadas.....	19
Tabla 7. Equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica.	21
Tabla 8. Matriz de decisiones para la selección de los paneles solares.	29
Tabla 9. Ponderación para la matriz de decisiones.	29
Tabla 10. Matriz de decisiones para la selección de las baterías.	33
Tabla 11. Ponderación para la matriz de decisiones.	33
Tabla 12. Matriz de decisiones para la selección del regulador de carga.	35
Tabla 13. Ponderación para la matriz de decisiones.	35
Tabla 14. Caída de tensión según IDAE .	37
Tabla 15. Consumo energético total requerido para la instalación.	38
Tabla 16. Radiación solar que existe en Huachi Grande-Ambato .	39
Tabla 17. Calibre de cables AWG.....	44
Tabla 18. Número de equipos y materiales necesarios según los cálculos realizados.	45
Tabla 19. Equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica.	64
Tabla 20. Materiales utilizados para la conexión eléctrica.	65
Tabla 21. Materiales y equipos adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica.	67
Tabla 22. Costo de los equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica. ...	67
Tabla 23. Costo de los materiales utilizados para la conexión eléctrica.	68
Tabla 24. Costo de los materiales adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica. .	69
Tabla 25. Costo de mano de obra.....	69
Tabla 26. Costo total de inversión para la implementación del sistema fotovoltaico.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una instalación fotovoltaica	4
Figura 2. Curva I-V.....	5
Figura 3. Transformación de la energía en una batería.....	8
Figura 4. Curva de profundidad de descarga de una batería.....	10
Figura 5. Conexión en paralelo de baterías	14
Figura 6. Conexión en serie de las baterías.....	15
Figura 7. Regulador de carga (PWM).....	15
Figura 8. Esquema de función del Inversor fotovoltaico.....	17
Figura 9. Radiación y orientación.....	20
Figura 10. Diagrama de flujo de la implementación fotovoltaica.....	23
Figura 11. Diagrama de flujo de diseño.....	24
Figura 12. Tamaños del grosor del cable según AWG	36
Figura 13. Dimensiones del panel solar.....	46
Figura 14. Diseño de la estructura de soporte en un programa especializado en diseño.....	47
Figura 15. Espectro de métrica de mallado.....	47
Figura 16. Mallado de la estructura de soporte en ANSYS.....	48
Figura 17. Dato de la calidad del mallado.....	48
Figura 18. Aplicación de la fuerza de viento en la estructura.....	50
Figura 19. Aplicación de la carga del peso del panel solar.....	51
Figura 20. Aplicación de los soportes sufijos en la estructura de soporte.....	52
Figura 21. Deformación total de la estructura.....	52
Figura 22. Deformación en el eje X.....	53
Figura 23. Deformación en el eje Y.....	53
Figura 24. Deformación en el eje Z.....	54
Figura 25. Esfuerzo máximo que soportara la estructura.....	54
Figura 26. factor de seguridad.....	55
Figura 27. Instalación del sistema fotovoltaico.....	56
Figura 28. Voltaje en CC que ingresa al inversor en un día soleado.....	58
Figura 29. Voltaje en CA que sale para el consumo en un día soleado.....	58
Figura 30. Amperaje que recibe el inversor en un día soleado.....	59

Figura 31. Voltaje en CC que ingresa al inversor en un día nublado.....	59
Figura 32. Voltaje en CA que sale para el consumo en un día nublado.	60
Figura 33. Amperaje que recibe el inversor en un día nublado.	60
Figura 34. Voltaje en CC que ingresa al inversor en la noche.....	61
Figura 35. Voltaje en CA que sale para el consumo en la noche.....	61
Figura 36. Amperaje que recibe el inversor en la noche.....	62
Figura 37. Comparación del voltaje en CD.....	62
Figura 38. Comparación de voltaje de CA.....	63
Figura 39. Porcentaje de la descarga de la batería.	63

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto técnico se aplicó en la Unidad Educativa Huachi Grande de la ciudad de Ambato con el fin de proporcionar energía eléctrica al área administrativa, ya que no existe un buen diseño de la infraestructura por lo que no cuenta con espacios suficientes para el ingreso de iluminación natural además el cableado eléctrico está en mal estado al no existir cortocircuitos en algunas áreas de la institución provocando que se hayan quedado sin energía eléctrica en varias ocasiones.

Para este proyecto se va seleccionar los componentes necesarios para la instalación tomando en cuenta diferentes parámetros de diseño como es el cálculo de la demanda energética de las 15 luminarias en forma de bombillo que es la base para los cálculos posteriores. Mediante tablas de selección de alternativas se eligió los componentes específicos para la instalación fotovoltaica. Con los componentes ya seleccionados se realiza la instalación fotovoltaica en la institución para suministrar energía a las áreas establecidas.

Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento en 2 días específicos: soleado, nublado y la noche, con un cierto valor de carga. Bajo estas condiciones se midió la tensión e intensidad de corriente en la entrada y salida del inversor solar, logrando obtener el comportamiento del consumo de las baterías y asegurando que el sistema fotovoltaico está funcionando correctamente.

Palabras claves: Infraestructura, tensión, demanda energética, instalación fotovoltaica, intensidad de corriente.

ABSTRACT

This technical project was applied in the Huachi Grande Educational Unit of the city of Ambato in order to provide electricity to the administrative area, since there is no good infrastructure design, so it does not have enough spaces for the entry of natural lighting, in addition, the electrical wiring is in poor condition as there are no short circuits in some areas of the institution, causing them to run out of electricity on several occasions.

For this project, the necessary components for the installation will be selected taking into account different design parameters such as the calculation of the energy demand of the 15 bulb-shaped luminaires, which is the basis for subsequent calculations. Using alternative selection tables, the specific components for the photovoltaic installation were chosen. With the components already selected, the photovoltaic installation is carried out in the institution to supply energy to the established areas.

Finally, performance tests were carried out on 2 specific days: sunny, cloudy and at night, with a certain load value. Under these conditions, the voltage and current intensity at the input and output of the solar inverter were measured, obtaining the behavior of battery consumption and ensuring that the photovoltaic system is working correctly.

Keywords: Infrastructure, voltage, energy demand, photovoltaic installation, current intensity.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 JUSTIFICACIÓN

La siguiente tesis tiene como finalidad la investigación, cálculo e instalación de un sistema solar fotovoltaico para la Unidad Educativa Huachi Grande en donde este sistema abastecerá solo a la iluminación del área administrativa de la institución teniendo en cuenta que en el área administrativa donde se encuentra el departamento del rectorado, la sala de profesores, inspección y un pasillo que conecta a estas tres aulas, donde existe un total de 15 luminarias.

La instalación del sistema fotovoltaico se realizó en la Unidad Educativa Huachi Grande ya que al ser una institución bastante antigua el diseño de su infraestructura no está bien diseñada por lo que no cuentan con espacios suficientes para el ingreso de iluminación de forma natural por lo cual se ha visto en la necesidad de que las luminarias permanezcan encendidas en toda la jornada. A demás de ello su cableado eléctrico se encuentra en mal estado, hay conexiones que ya no se utilizan y conductores eléctricos con empalmes en un mismo cableado, los mismos que causan cortocircuitos en algunas áreas de la institución provocando que se hayan quedado sin energía eléctrica en varias ocasiones.

Con la instalación del sistema fotovoltaico la institución cuenta con un sistema de energía alterno que proporciona electricidad. La instalación fotovoltaica instalada es autónoma por lo tanto la energía se almacena en baterías y luego se distribuye hacia el circuito de iluminación.

1.1.1 Antecedentes investigativos

Para el desarrollo del presente proyecto se ha considerado las siguientes referencias:

Según [1] el primer paso que se debe aplicar para el estudio de sistema fotovoltaico es tener un modelo teórico, posteriormente se debe conocer los valores numéricos de todos

los parámetros que están involucrados en la instalación tales como; la vida útil del sistema, corriente de cortocircuito, capacidad nominal de las baterías, voltaje, entre otros, que generalmente son valores nominales las cuales se puede encontrar de los fabricantes, este tipo de parámetros por lo general están sujetos a una limitación en precisión por causa del envejecimiento del sistema.

Según [2] en la generación de energía mediante la implementación de un sistema fotovoltaico abarca el uso o la instalación de generadores al igual que el empleo de baterías, uno de los principales beneficios en la generación de este tipo de energía es la reducción de costos en el caso de la expansión en el sistema de transmisión y distribución, de la misma manera ayuda a la reducción del pago de la planilla de luz eléctrica así mejorando en la sensibilidad y la confiabilidad en el sistema.

Según [3] un sistema fotovoltaico autónomo se encuentra aislado de la red eléctrica por lo que, para su funcionamiento es necesario distinguir en ellos tres etapas: producción, acumulación y consumo. Para cada etapa se puede asociar un elemento, es decir, en la etapa de producción el elemento asociado son los paneles solares debido a que convierten la energía del sol en energía eléctrica, en la parte de acumulación se encuentran las baterías y para la etapa de consumo se utiliza un inversor el cual es el encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna.

Por lo tanto, se puede concluir que el tema tratado anteriormente es fundamental para los parámetros de diseño que se van a utilizar en la presente tesis en vista que se puede obtener información que sean de utilidad para el desarrollo de la misma.

1.1.2 Descripción del lugar

La Unidad Educativa Huachi Grande es una escuela de educación regular ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato en la parroquia de Huachi Grande, su modalidad de enseñanza es presencial en jornadas matutinas y vespertinas, los niveles que ofrece son

Inicial, Educación Básica y Bachillerato, cuenta con 63 docentes y 1583 estudiantes. El diseño de la infraestructura de las aulas de la Unidad Educativa Huachi Grande no cuenta con espacios diseñados para el ingreso de iluminación de forma natural por lo cual se ha visto en la necesidad de que las bombillas permanezcan encendidas en toda la jornada por lo que con la aplicación de un sistema fotovoltaico se podría sustentar el consumo y gasto de la energía eléctrica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Implementar un sistema fotovoltaico para el suministro parcial de energía de iluminación de la Unidad Educativa Huachi Grande, Tungurahua-Ecuador.

1.2.2 Objetivos específicos

- Recolectar datos y parámetros que permitan el dimensionamiento para la determinación de factores en el sistema fotovoltaico.
- Seleccionar todos los dispositivos o componentes que se requieren para la implementación del sistema de generación de energía en base a los parámetros de diseño.
- Implementar el sistema fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica en la Institución.
- Realizar pruebas y proponer mejoras.

1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.3.1 Implementaciones fotovoltaicas

Hace aproximadamente 50 años se empezaron a utilizar sistemas fotovoltaicos, con el transcurso del tiempo este tipo de tecnología se ha ido mejorando continuamente permitiendo así utilizarlo de forma rentable. En la actualidad se puede encontrar instalaciones fotovoltaicas con diferentes aplicaciones como son: bombeo de agua en

sistemas de riego, iluminación de la zona urbana, suministro de energía eléctrica, plantas de generación eléctrica para empresas que consumen mucha potencia, entre otros [4].

1.3.2 Esquema de una instalación fotovoltaica

Para la instalación de un sistema fotovoltaico, resaltan cuatro elementos principales estos son módulo fotovoltaico, regulador de carga, baterías, inversor y los elementos de consumo. El modulo capta la energía solar, el regulador de carga protege la batería de sobrecargas, las baterías acumulan la energía captada por el sol y el inversor de tensiones convierte la energía continua en energía alterna. Para que tenga un buen funcionamiento estos elementos deben estar conectados entre ellos y contar con las protecciones pertinentes. En la figura 1 se muestra el esquema básico de la instalación fotovoltaica [5].

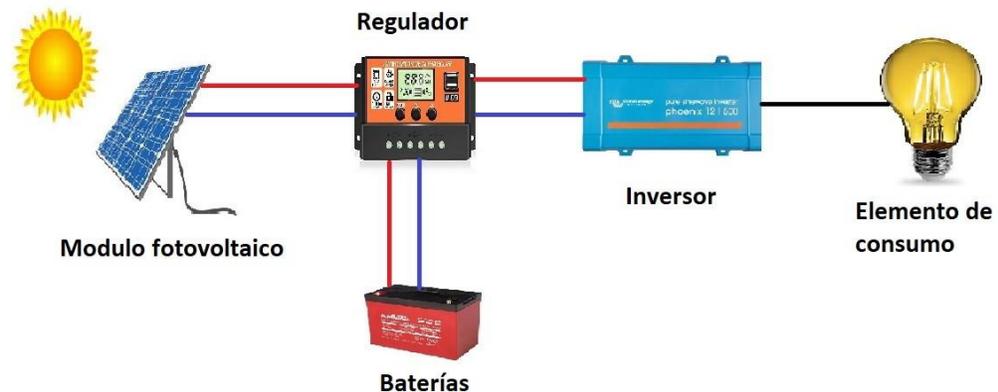


Figura 1. Esquema de una instalación fotovoltaica [5].

A continuación, se hace una descripción de cada uno de ellos:

1.3.3 Paneles fotovoltaicos

Los paneles solares están compuestos por una gran agrupación de células fotovoltaicas, sin embargo, también existen otros tipos de paneles especiales o se los puede fabricar según la medida requerida. La cantidad de células que generalmente se encuentran en el

mercado es de 36, 60 y 72, debido a que esta medida esta estandarizada para la fabricación de paneles de distintos tamaños, para el uso común que generalmente se aplica.

El silicio es uno de los materiales que más se utilizan para fabricar paneles solares debido a la relación eficiencia – coste, aunque antes de utilizarlos como un semiconductor se le debe realizar un tratamiento de purificación y cristalización. Para fabricar las células de silicio se debe utilizar otros elementos que nos sirven como dopantes para así poder tener semiconductores tipo “p” o “n” y crear una unión p-n, en este caso se tiende a utilizar elementos como el boro, fosforo, arsénico, bismuto y antimonio. El rendimiento del panel solar depende de la estructura cristalina, pero independientemente de esto se pueden encontrar paneles de diferentes potencias que están comprendidas entre los 50 W y 350 W. La tensión comercial a la cual se trabaja va desde los 17 V a los 31V, sin embargo, la intensidad pico depende del modelo con el que se trabaje, estas características de su funcionamiento se las puede encontrar en los catálogos de los fabricantes en una tabla de datos y con la curva Intensidad – Voltaje (I-V) como se muestra en la figura 2, [5].

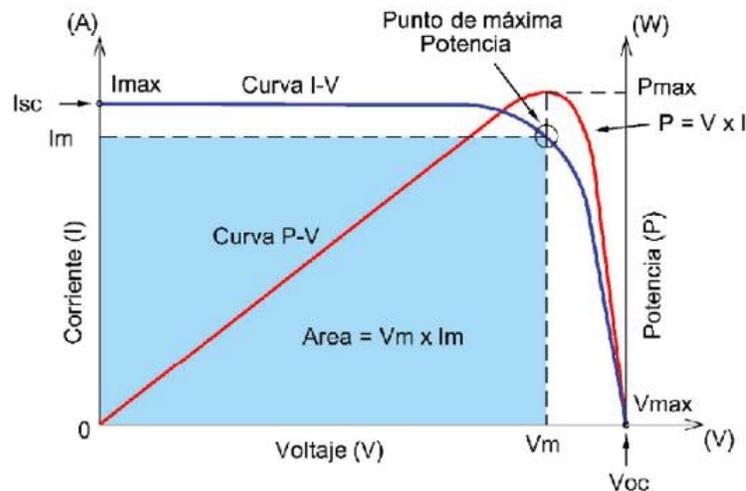


Figura 2. Curva I-V [6].

1.3.3.1 Corriente de cortocircuito

Se describe a la corriente de cortocircuito como la corriente que fluye a través de la célula solar cuando el voltaje de esta es cero. Esta corriente se debe a la generación y acumulación de portadores inducidos por la luz. Para una célula solar ideal con un

mecanismo de pérdida resistiva óptima, la corriente de cortocircuito y la corriente que está dada por la luz son las mismas. Por, lo tanto, la corriente de cortocircuito es la corriente máxima que se puede extraer de la celda solar [7].

1.3.3.2 Voltaje de circuito abierto

Se describe al voltaje de circuito abierto como el voltaje máximo disponible para la celda solar y ocurre con corriente cero. El voltaje de circuito abierto corresponde al tamaño de la polarización directa de la celda solar debido a la tendencia de la unión entre la celda solar entre la corriente generada por la luz [7].

1.3.3.3 Tipos de paneles solares

- Células de silicio amorfo

Una de las principales ventajas es el costo bajo de este panel. Por su capacidad de funcionamiento este tiene un espesor menor a los paneles que utilizan células monocristalinas. Estas células generalmente no se las utilizan para instalaciones donde el propósito sea de generación eléctrica, más bien se los usa como complemento de otros aparatos como las calculadoras solares.

Otra desventaja que presentan es su baja eficiencia de conversión, aproximadamente del 7% en comparación a otros y su vida útil es de corta duración.

- Células monocristalinas

Las células monocristalinas tienen un rendimiento del 16 % y 17% por lo que su costo es más alto comparado con la anterior. Cuando trabajan a altas temperaturas su rendimiento aumentan por lo que demandan un mejor mantenimiento y no son recomendables para instalaciones de media o alta potencia [5].

- Células policristalinas

Las células policristalinas tienen un rendimiento que va entre el 14% y 16%, su costo es más económico que las anteriores, sin embargo, su rendimiento es más bajo. Este tipo de paneles solares trabajan con mayor eficiencia cuando se encuentran a altas temperaturas en comparación con los monocristalinos.

En la tabla 1, se puede observar las diferencias que presentan los distintos tipos de paneles solares.

Tabla 1. Diferencia de los paneles solares [8].

Células	Silicio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Amorfo	7 %	<ul style="list-style-type: none"> • Es de color marrón y homogéneo • Las conexiones entre las células no son visibles. 	Se depositan sobre un sustrato que puede ser de vidrio o plástico y tiene forma de una lámina delgada.
	Policristalino	14-16 %	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene distintos tonos de color azul. • La estructura que posee la superficie es en forma de cristales. 	El número de fases de cristalización es menor que el monocristalino.
	Monocristalino	16-17%	<ul style="list-style-type: none"> • Es de color azul y homogéneo. • Las células están conectadas de forma individual. 	Es fabricado de silicio puro fundido y se agrega otros elementos dopantes como el boro.

1.3.3.4 Conexión en serie o paralelo de los paneles fotovoltaicos

Conexión en serie: En las conexiones en serie aumenta la tensión nominal por lo que también aumenta su capacidad, pero se mantiene la intensidad.

Conexión en paralelo: Este tipo de conexiones aumenta la intensidad y mantiene la misma tensión nominal. Es la más recomendada para la conexión de los módulos fotovoltaicos.

1.3.3.5 Arreglo fotovoltaico

Como ya se sabe el panel fotovoltaico es la base de un buen sistema y, por ende, la conexión entre los módulos es la que garantiza la confiabilidad del arreglo fotovoltaico.

Se puede decir que un arreglo fotovoltaico es un grupo de paneles que se encuentran conectados eléctricamente ya sea en serie o paralelo. Las características del arreglo coinciden con las de los módulos individuales cuando la potencia, la corriente y el voltaje varían según la cantidad de módulos conectados en serie o en paralelo [9].

1.3.4 Baterías

Las baterías transforman la energía química en energía eléctrica y la acumulan. En una instalación fotovoltaica las baterías funcionan de la siguiente manera como se muestra en la figura 3.

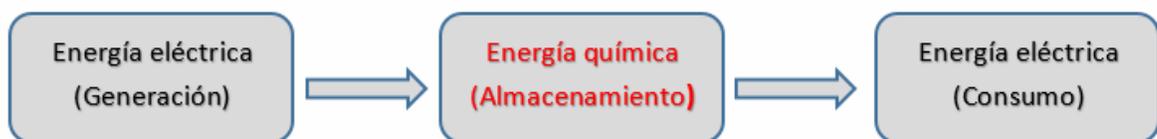


Figura 3. Transformación de la energía en una batería.

Los acumuladores de energía se recargan por la electricidad que se produce en los paneles solares, con un regulador de carga y entregan su energía para el consumo. Las baterías están encargadas de tres funciones en una instalación fotovoltaica:

1. Almacenan energía por un determinado tiempo.
2. Proporcionan potencia elevada.
3. Fijan el voltaje de trabajo en la instalación.

Para la selección de una batería se debe tomar en cuenta la capacidad ya que es la cantidad de electricidad que se logra en una descarga completa a partir de un estado de carga total. Esta se mide en Ah y se calcula con la fórmula de la ecuación 1:

$$C = t * I \quad (1)$$

Donde:

C = Capacidad

t = Tiempo de descarga

I = Intensidad de descarga

Otros parámetros a considerarse para la selección de una batería son:

- **Eficiencia de carga:** es la relación entre la energía almacenada y la energía que se utiliza para recargar la batería, este valor debe ser alto aproximadamente del 100%. Esto indica que la energía que se almacena es empleada para el consumo. Cuando la eficiencia sea baja se debe aumentar la cantidad de paneles solares hasta obtener la eficiencia deseada.
- **Autodescarga:** Proceso en el cual una batería se descarga sin estar en funcionamiento.
- **Profundidad de descarga:** porcentaje de energía obtenida de una batería durante la descarga, partiendo desde su carga total. Se relaciona con la vida útil de la batería, es decir, cuando los ciclos de descarga sean cortos esta tendrá mayor duración, caso contrario su duración será menor al tener descargas profundas.

A continuación, se muestra la figura 4 que es la relación entre la capacidad de retención y el número de ciclos de carga y descarga de una batería.

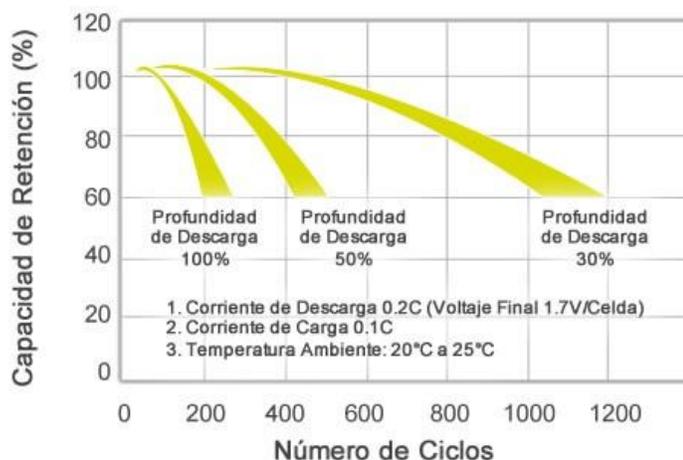


Figura 4. Curva de profundidad de descarga de una batería [10].

Según la figura 4, cuando exista una descarga del 50% se obtiene 500 ciclos de carga y descarga de la batería. Disminuyendo la capacidad en un 60% con relación al valor nominal de la batería que nos da el fabricante.

1.3.4.1 Tipos de baterías

Las baterías se clasifican según los electrolitos que utilizan y la tecnología de fabricación. En la tabla 2 se puede observar las comparaciones de los tipos de baterías que existen en el mercado según sus características básicas.

Tabla 2. Tipos de baterías con sus características básicas [9].

Tipo de batería	Voltaje (V)	Tiempo de carga (Horas)	Autodescarga por mes (%)	Nº de ciclos	Capacidad (W-h/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
-----------	-----	-----	---	----------------	---------	------

Las baterías que se utilizan en instalaciones fotovoltaicas son de plomo-ácido por las características que tienen.

- **Plomo-ácido**

Las baterías de plomo-ácido tienen gran demanda en el mercado debido a su adaptabilidad en un sistema fotovoltaico autónomo. Una de las ventajas es su bajo costo en comparación a las demás y rápida disponibilidad, siempre y cuando se realice un mantenimiento adecuado. Si una batería de este tipo sufre una autodescarga y se agota en un 80%, al no cargarse rápidamente sufre un daño considerable en su capacidad.

Tiene buen funcionamiento a altas temperaturas. Está compuesto de dos electrodos que se componen de plomo, el electrolito es una combinación de agua destilada en un 75% con ácido sulfúrico en un 25%. Las baterías plomo-ácido se pueden clasificar en dos tipos según su fabricación: líquidas y selladas. Las líquidas son las que disponen de orificios para acceder a su interior por medio de tapones removibles para poder verificar el nivel de electrolito [11]. Las baterías selladas están libres de fugas de electrolitos, no requieren mucho mantenimiento, tiene imposibilidad de reponer la pérdida de agua en una sobrecarga y no se puede verificar de manera confiable el estado de carga [12].

En este tipo de baterías se presentan diferentes modelos. En la tabla 3 se muestra los diferentes modelos utilizados en una instalación fotovoltaica con sus ventajas e inconvenientes.

Tabla 3. Modelos utilizados en una instalación fotovoltaica [9].

Tipo	Ventajas	Inconvenientes	Gráfica
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclado profundo. • Vida útil de larga duración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo 	

	<ul style="list-style-type: none"> • Reserva de sedimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Escasa comercialización en varios lugares. 	
Arranque (SLI, Automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> • Costo. • Disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su funcionamiento no es bueno ante el ciclado profundo y corrientes bajas. • Vida útil de menor duración. • Escasa reserva de electrolitos. 	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> • Similitud en fabricación con el SLI. • Reserva amplia de electrolitos. • Buen funcionamiento en ciclados medios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil de media duración. • No se utiliza para ciclado profundo y prolongado. 	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> • No requiere mayor mantenimiento. • Ciclado profundo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido deterioro en condiciones elevadas de funcionamiento de V-I. 	

En instalaciones que requiera descargas profundas o se requiera de capacidades elevadas se debe elegir baterías tubulares estacionarias. Esto se lo realiza en las instalaciones autónomas para viviendas.

En aquellas instalaciones solares de pequeña dimensión o de mantenimiento difícil, se debe instalar baterías de gel. No se debe producir ciclos de descarga profunda. Al elegir los acumuladores se tomará en cuenta la temperatura, debido a que su capacidad va en aumento cuando existan temperaturas elevadas en el lugar donde se encuentran instaladas las baterías y viceversa. Las baterías se eligen acorde a la tensión con que se trabaje en la instalación y la potencia de consumo [7].

1.3.4.2 Ciclado profundo

El ciclado profundo en una batería está diseñada para abastecer la cantidad de energía sostenida en un periodo de uso extenso de forma segura hasta que esté descargada en un 80% o más. En la mayoría de catálogos de fabricantes no recomiendan descargar menos del 45% para así prolongar la vida útil de las baterías. Las baterías de ciclado profundo se utilizan en aplicaciones que requieran más que un inicio rápido [13].

1.3.4.3 Conexión de las baterías

A las baterías se las puede considerar como la unión de diversos acumuladores ya que son conectados en serie o en paralelo se obtiene la tensión de salida y la capacidad de almacenamiento que se desea. Al momento de adquirir una batería se debe tener en cuenta que no existen dos baterías similares, esto por varios factores como el almacenaje, fabricación y el transporte. Aunque las baterías estén conectadas de igual forma no posean características similares entre ellas y se descompensaran con el tiempo.

- **Conexión en paralelo**

Las conexiones en paralelo de las baterías no son recomendables para las instalaciones. Este tipo de conexiones aumenta la intensidad y mantiene la misma tensión nominal como se muestra en la figura 5. Las conexiones en paralelo crean un círculo cerrado en las baterías, esto provoca el paso de corriente de desequilibrio ya que existen diferencias que circula de una batería hacia la otra para tratar de equilibrarlas. La corriente de desequilibrio

va a existir permanentemente incluso sin tener consumos conectados por lo que provoca el acelerado desgaste de las baterías.

Si estas diferencias de las baterías son mayores la corriente de desequilibrio ira aumentando por lo que existirá una circulación constante de los acumuladores y no llegará a completarse el 100% de la carga y provocara mayor aceleración de desgaste.

Fallos al surgir conexiones en paralelo

- Las baterías tienden a pasar de estar descargadas a cargadas muy rápidamente.
- Disminuye la capacidad por lo que una batería puede estar más cargada que otra.

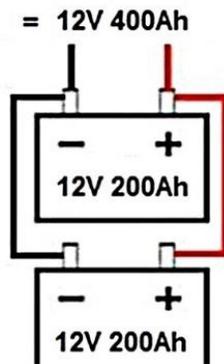


Figura 5. Conexión en paralelo de baterías [14].

- **Conexiones en serie**

En las conexiones en serie aumenta la tensión nominal por lo que también aumenta su capacidad, pero se mantiene la intensidad como se muestra en la figura 6. En este tipo de conexión cada celda debe tener la misma capacidad y voltaje sino se podría dañar las celdas. La conexión en serie permite el paso de la corriente solo cuando exista consumo mientras que si no existe ningún consumo las baterías permanecerán en reposo.

En las instalaciones de sistemas eólicos y fotovoltaicos autónomos, al tener una mayor tensión al cargar las baterías se obtendrá menores pérdidas de energía. La conexión en serie ralentiza las descargas de las baterías [14].

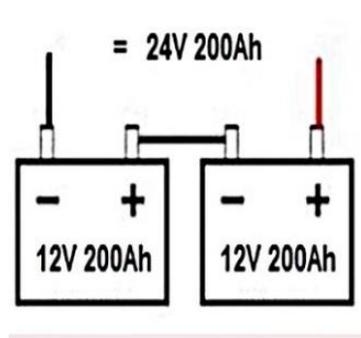


Figura 6. Conexión en serie de las baterías [14].

1.3.5 Controlador o regulador de carga

El controlador o regulador de carga en el sistema fotovoltaico protege las baterías ante cargas excesivas. En instalaciones que utilicen cargas impredecibles, sistema de acumulación o presente otro tipo de inconveniente el cual llegue a sobrecargar o descargar una batería, se debe utilizar un regulador de carga en dicha instalación ya que al no utilizar puede ocasionar un desgaste y reducir la vida útil de la batería y su disponibilidad de carga.

El regulador controla la tensión de la batería de manera constante cortando la corriente cuando la batería este cargada completamente, al detectar cuando la tensión descienda esta volverá a reanudar la carga. El regulador se ocupa en sistemas autónomos ya que da paso a la corriente del panel hacia la batería y de este a la carga, también ayuda en la protección de cortocircuitos, sobrecargas y bajas tensiones como se muestra en la figura 7, [15].



Figura 7. Regulador de carga (PWM) [16].

El controlador está formado por tres bloques principales: medición, potencia y control. La parte de la medición como el nombre lo dice es el encargado de medir la corriente que se suministra en el panel solar y la que se entrega a la carga, la temperatura del ambiente y la tensión que existe en la batería. En la potencia se suministra la corriente utilizando modulación y transistores. En el bloque de control se desconecta únicamente la carga si la tensión de la batería está por debajo de los 11,3 V o la corriente es superior al valor especificado por el fabricante [17].

El regulador de carga fotovoltaico controla de manera continua la temperatura de funcionamiento de los transistores de las instalaciones, es decir, si encuentra temperaturas demasiado altas estos transistores actuarán de forma rápida las veces que sea necesario para poder reducir la carga de la batería y así lograr la reducción de esta temperatura. Será necesario desconectar la carga externa de la batería únicamente cuando la corriente de carga sea cero y se conserve en sobre-temperatura. Se deberá volver a conectar la carga externa cuando la temperatura vuelva a estar en el rango de trabajo [18].

1.3.5.1 Tipos de reguladores de carga

- **Reguladores PWM:** Estos reguladores se utilizan únicamente en paneles solares de 12V que contengan 36 células y 24 voltios con 72 células.
- **Reguladores MPPT:** Estos reguladores se utilizan en paneles solares de 24V que contengan 60 células, llamados paneles de red.

1.3.6 Inversor fotovoltaico

Los inversores fotovoltaicos son componentes indispensables para una instalación fotovoltaica. Los sistemas fotovoltaicos son los que generan energía eléctrica continua por lo que no se usa para alimentar cargas alternas, por lo que se utiliza un inversor encargado de convertir la energía continua en energía alterna como se muestra en la figura 8. Los inversores que se utilizan para una instalación fotovoltaica autónoma es muy distinto a los que se utiliza para instalaciones fotovoltaicas que están conectados a la red por lo que es

importante la elección adecuada según la instalación requerida. En los módulos fotovoltaicos no se presenta este inconveniente ya que se puede utilizar el mismo inversor para los dos tipos de instalaciones [19].

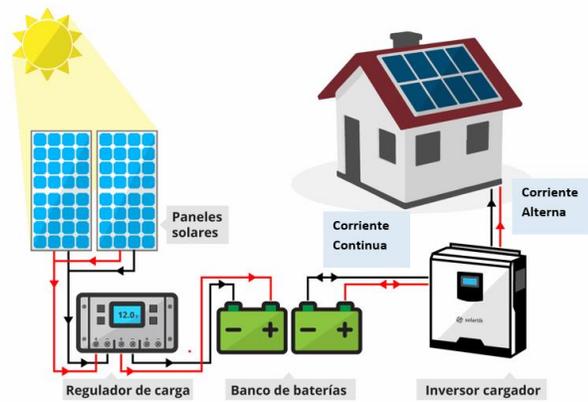


Figura 8. Esquema de función del Inversor fotovoltaico [20].

La selección de un inversor depende de los siguientes parámetros:

- Tipo de inversor
- Potencia existente
- La tensión e intensidad de corriente de entrada que existe.
- Rango de tensión en el cual el inversor tiene la capacidad de seguir el punto de máxima potencia (MPPT), este siempre y cuando corresponda.
- Tensión, Potencia, frecuencia de salida e intensidad de corriente.
- La capacidad de carga que posee o la potencia pico del mismo.
- Eficiencia [21].

1.3.7 Cables eléctricos

Los cables eléctricos utilizados en un sistema fotovoltaico se diseñan cuidadosamente, ya que posee un voltaje bajo, aproximadamente de 12V o 24V en CC. La corriente que recorre en los cables es más elevada que los sistemas de voltaje que trabajan con 110V o 220V en CA. Para calcular la cantidad potencia en Watts que produce la batería se utiliza la ecuación 2.

$$P = U * I \text{ (watts)} \quad (2)$$

Donde:

P = cantidad de potencia

U = tensión (V)

I = corriente (A)

Para obtener una potencia a 12 V la corriente deberá ser 20 veces más elevada de la que existe en un sistema de 220 V. Por lo que se recomienda utilizar cables más gruesos para evitar que haya recalentamiento o cables quemados. En la tabla 4 se presenta el tamaño de los cables, la corriente máxima que fluirá sin existir recalentamiento en el cable y la potencia generada en 12, 24 Y 220 V.

Tabla 4. El tamaño de los cables, la corriente y la potencia generada [22].

Tamaño del cable (mm ²)	Corriente máxima (A)	Potencia generada (W)		
		12 V	24 V	220 V
1.0	10	120	240	2200
1.5	15	180	360	3300
2.5	20	240	480	4400
4.0	30	360	720	6600
6.0	35	420	840	7700
10.0	50	600	1200	11000
16.0	70	840	1680	15400
25.0	90	1080	2160	19800

En la tabla 4 se visualiza que, en voltajes bajos, se obtienen bajas demandas de potencia, por lo que se debe usar cables gruesos. Para obtener una potencia de 1 KW a 24V de debe utilizar cables de 10.0 mm² en comparación con 11 KW a 220V. Por lo que aumenta el precio en la instalación por el costo de los cables.

Al utilizar fusibles que protejan la unidad de control, el tamaño de estos no deberá exceder la corriente máxima del cable proporcionada. Se usan fusibles únicamente en el extremo de la batería, en el lado fotovoltaico donde la corriente de cortocircuito es 10% mayor que la corriente máxima en un brillo solar completo [22].

1.3.8 Ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos

Para establecer el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos hay que tomar en cuenta los parámetros de longitud y latitud, o también el lugar geográfico de la ciudad en donde se realizará la instalación del sistema debido a que es el ángulo a considerar para conseguir la máxima potencia. En la tabla 5 se muestran las coordenadas de ubicación de la ciudad de Ambato.

Tabla 5. Coordenadas geográficas de Ambato.

Coordenadas y características	
Longitud	S1°14'56.69"
Latitud	078°37'0.3"
Altura del sector	2,882 msnm
Temperatura promedio	15°C

En la tabla 6 se puede visualizar los ángulos de inclinación recomendados para instalaciones de paneles fotovoltaicos.

Tabla 6. ángulos de inclinación recomendadas.

Latitud del lugar (Grados)	Ángulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 20°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más de 5°
30° a 35°	Latitud más de 10°
35° a 40°	Latitud más de 15°
40° 0 más	Latitud más de 20°

1.3.9 Orientación de los paneles solares

La luz solar viaja del sol a la tierra en línea recta. Cuando entra en la atmosfera terrestre una parte cae en la superficie en línea recta, otra parte se dispersa y la última parte la absorbe la atmosfera. La luz solar cae en la superficie sin ser absorbida y dispersa provocando radiación directa. La radiación es más intensa cuando es directa como se muestra en la figura 9.

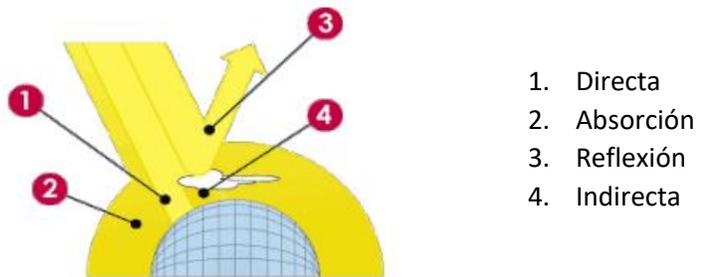


Figura 9. Radiación y orientación [15].

Si no existe luz solar directa un panel solar seguirá generando electricidad, un sistema fotovoltaico generará energía incluso en días nublados. Las condiciones de operación que deben presentar un sistema solar son: luz solar plena y orientación del panel hacia el sol para aprovechar la luz solar directa. En el hemisferio Norte, los paneles solares deben orientarse hacia el Sur, mientras que en el hemisferio Sur los paneles solares deben orientarse hacia el norte.

En una instalación fotovoltaica los paneles solares se deben ubicar en ángulo con el plano horizontal. En el Ecuador los paneles solares se deberán ubicar levemente inclinado casi de forma horizontal y así la lluvia limpie el polvo. Una mínima desviación en la orientación de los paneles solares no afectara de manera significativa la generación de electricidad porque el sol se traslada de este a oeste en el cielo [15].

CAPITULO II

2 METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES

En la tabla 7 se detallan los equipos y materiales utilizados para la instalación del sistema fotovoltaico.

Tabla 7. Equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica.

N°	Denominación	Descripción	Imagen
1	Multímetro	Permite la medición de la tensión o el voltaje.	
2	Pinza Amperimétrica	Permite comprobar el paso de corriente en el conductor.	
3	Computadora	Ayuda con el registro de datos.	

4	Herramientas varias	Ayuda en el proceso de instalación del sistema fotovoltaico.	
---	------------------------	--	---

2.2 MÉTODOS

Las metodologías utilizadas en el proyecto son:

2.2.1 Método descriptivo

El marco teórico se realizó en base a bibliografías de fuentes confiables como: revistas, artículos científicos, tesis, entre otros. De esta forma se pudo describir y argumentar la investigación relacionado con la instalación de un sistema fotovoltaico y estudios realizados de su funcionamiento.

2.2.2 Método cuantitativo

Es cuantitativo por los cálculos previos que se debe realizar para obtener el valor máximo de consumo energético y elegir de manera correcta los equipos y materiales necesarios para el abastecimiento de energía en la instalación.

2.2.3 Método de comparación

En este proyecto se utilizó el método de comparación porque realizamos un cuadro comparativo de las funciones y características que tienen los equipos utilizados en la instalación fotovoltaica. Con la comparación se va a seleccionar dichos equipos dependiendo el costo-beneficio que presenten.

En la figura 10 se muestra el diagrama de flujo de la implementación fotovoltaica en donde se detalla paso a paso todo lo que se necesita para tener un buen funcionamiento en todo el sistema instalado.

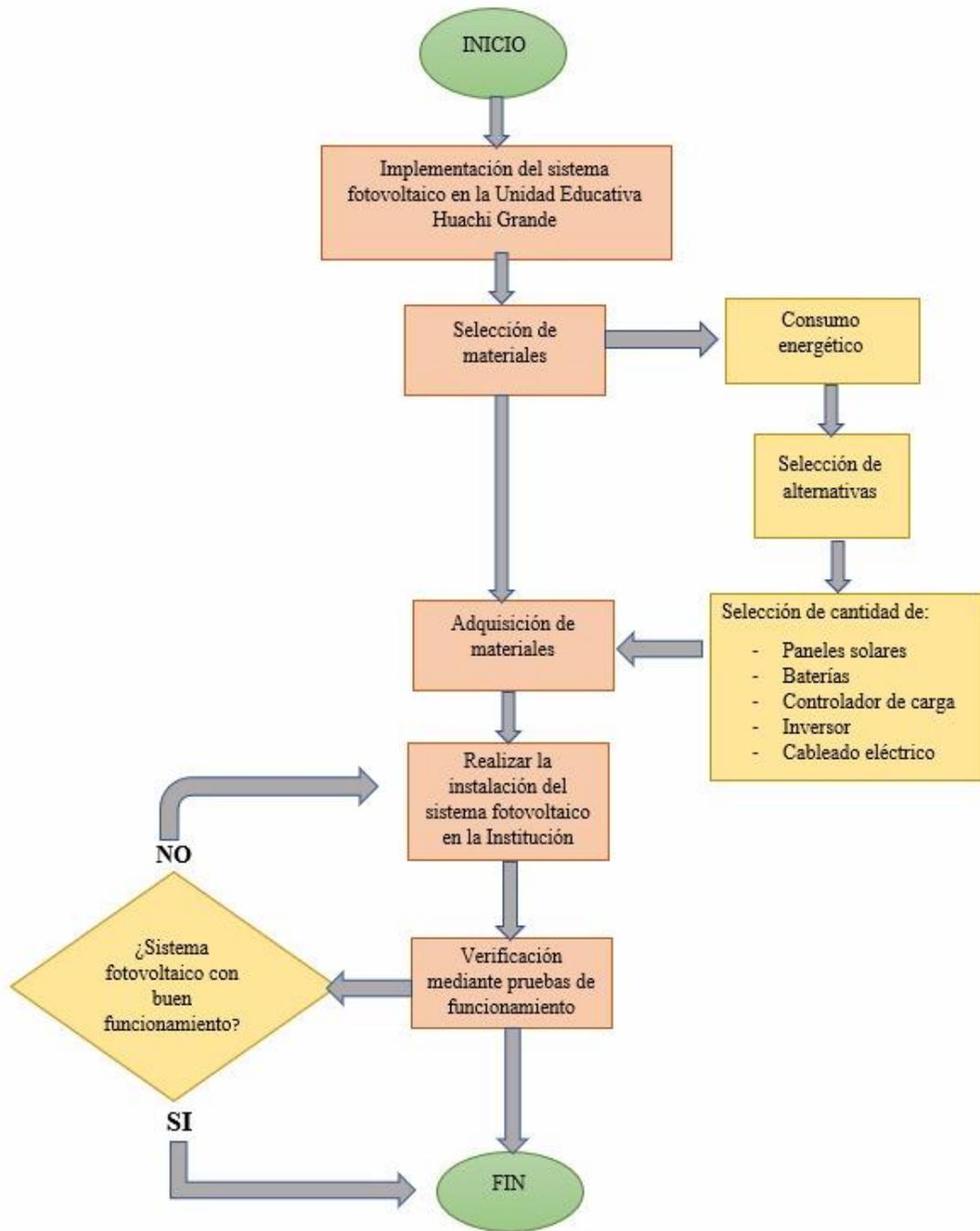


Figura 10. Diagrama de flujo de la implementación fotovoltaica.

En la figura 11 se muestra el diagrama de flujo de diseño en donde se detalla los pasos para el diseño de la estructura de soporte de los paneles solares.

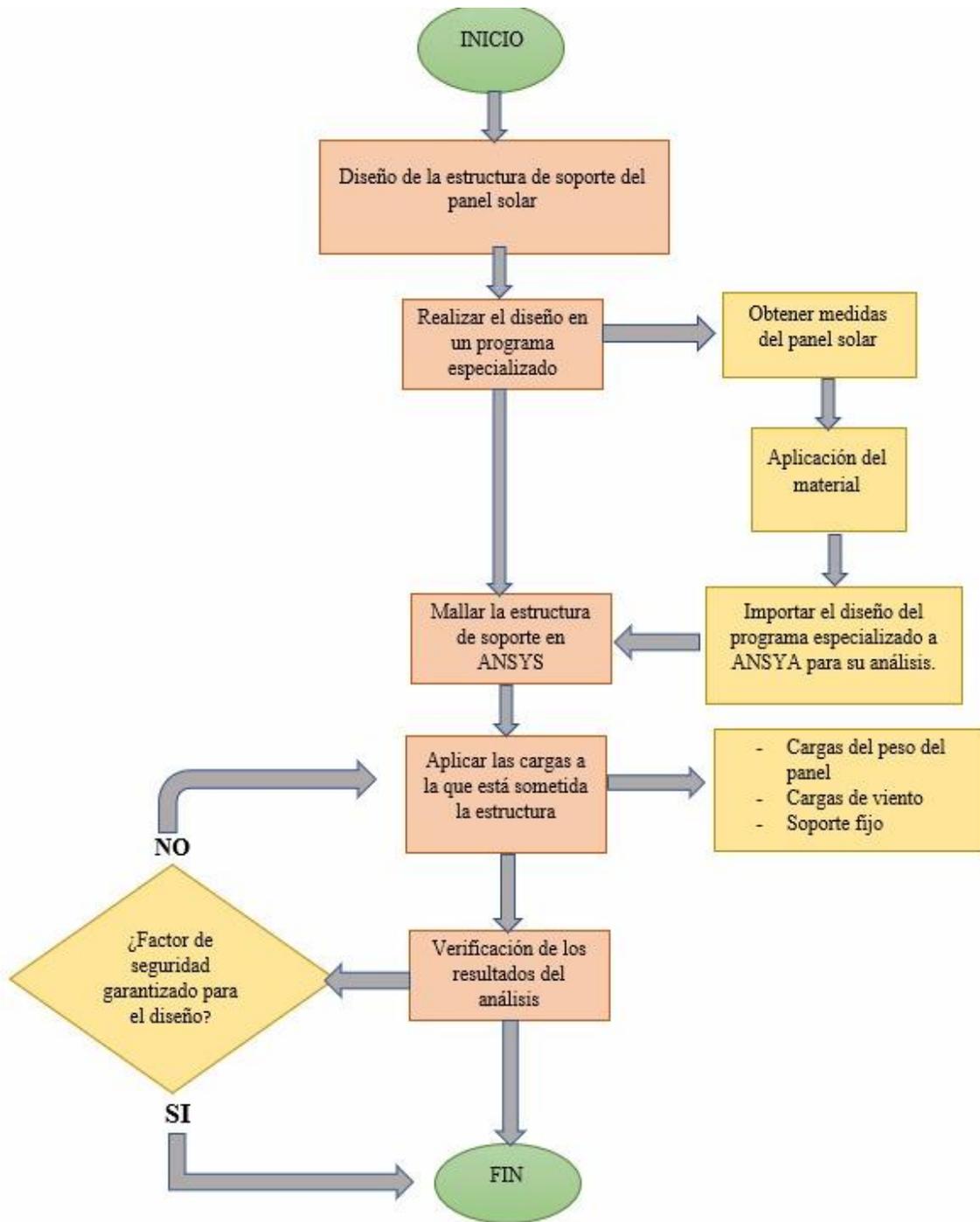


Figura 11. Diagrama de flujo de diseño.

2.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se desarrolla a continuación la forma de cálculo y selección de los componentes del sistema:

2.3.1 Consumo energético

Es necesario tener en cuenta la cantidad de dispositivos de iluminación que se quiere abastecer. Primero se debe calcular la potencia acumulada de la iluminaria y el inversor que se calculará con la ecuación (3).

$$P = U * I \text{ (watts)} \quad (3)$$

Donde:

P_A = Potencia acumulada [Watts].

P = Potencia unitaria de cada equipo [Watts].

C_{eq} = Cantidad de equipos.

Posterior a ello se debe calcular el consumo energético total de cada equipo en el día, para este cálculo se debe utilizar la ecuación (4).

$$\text{Consumo} = P_A * t \quad (4)$$

Donde:

Consumo = consumo energético [W-h].

t = Tiempo de consumo al día [h].

Al obtener el consumo energético de cada equipo se debe sumar para obtener el consumo total de todo el sistema al cual se debe abastecer.

2.3.2 Paneles solares

Para obtener el número de paneles solares necesarios para la instalación fotovoltaica hay que realizar algunos cálculos.

Primero se calcula la carga diaria de corriente el cual se va a obtener mediante la división del consumo total para la tensión del sistema, como se muestra en la fórmula (5).

$$CDC = \frac{\text{Consumo}}{T_s} \quad (5)$$

Donde:

CDC = Carga Diaria de Corriente [Ah]

T_s = Tensión del sistema [V] (en esta instalación se utilizará una de 24V)

A continuación, se obtiene la carga de corriente corregida mediante la multiplicación de la carga diaria de consumo por 1.2, como se muestra en la ecuación (6). Para este cálculo se toma en cuenta el factor de seguridad del 20% por pérdidas del sistema fotovoltaico.

$$C_{cc} = CDC * 1.2 \quad (6)$$

Donde:

C_{cc} = Carga de corriente corregida [Ah]

CDC = Carga Diaria de Corriente [Ah]

Para calcular la corriente pico del sistema se debe determinar el valor de las horas diarias de radiación solar, el cual se calcula con la división del menor de la media mensual diaria de radiación solar para un valor de 1000 W/m² que es la radiación solar incidente, como se muestra en la ecuación (7).

$$H_{RS} = \frac{R_s}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (7)$$

Donde:

H_{RS} = horas diarias de radiación solar efectivas.

R_s = radiación solar

El valor de la radiación solar incidente en una superficie tiene el valor de 1000 W/m^2 en zonas donde la atmosfera es muy clara, esto durante las horas centrales del día. Cuando el panel esta de forma fija y no sigue los movimientos del sol tendrá este valor en contadas horas a lo largo del año o nunca si se trata de atmosferas contaminadas.

Después, calculamos la corriente pico del sistema mediante la división de la carga de corriente corregida para el valor de la radiación solar, como se muestra en la ecuación (8).

$$Cps = \frac{Ccc}{Rs} \quad (8)$$

Donde:

Cps = Corriente pico del sistema [A]

Rs = Radiación solar $\left[\frac{kWh}{m^2} / dia \right]$

Una vez obtenido el valor de la corriente pico del sistema, se calcula el arreglo de módulos mediante la división de la corriente pico del sistema para la corriente pico del panel, como se muestra en la ecuación (9).

$$Am = \frac{Cps}{Cpp} \quad (9)$$

Donde:

Am = Arreglo de módulos

Cpp = Corriente pico del panel [A] (Anexo 1)

A continuación, se calcula el valor de la tensión del sistema final mediante la división de la tensión nominal del sistema para la tensión del módulo fotovoltaico, como se muestra en la ecuación (10).

$$Tsf = \frac{Tns}{TnmF} \quad (10)$$

Donde:

T_{sf} = Tensión del sistema final

T_{ns} = Tensión nominal del sistema [V]

T_{nmF} = Tensión nominal del sistema fotovoltaico [V] (Anexo 1)

Por último, se obtiene el número de paneles solares necesarios para la instalación mediante la multiplicación de la tensión del sistema por el arreglo de módulos, como se muestra en la ecuación (11).

$$N^{\circ} PS = T_{sf} * Am \quad (11)$$

Donde:

$N^{\circ} PS$ = Numero de paneles solares

2.3.2.1 Selección de paneles solares

A continuación, se va a describir los criterios de cada uno de las alternativas de los paneles solares:

- **Alternativa 1: Amorfo**

El mantenimiento para un panel amorfo se debe realizar de 3 a 4 veces al año. Su principal característica es que no genera la suficiente intensidad y tensión, por lo que no se utiliza para instalaciones fotovoltaicas si no como un complemento para otros equipos. El costo de este tipo de panel depende de sus dimensiones y su vida útil esta alrededor de los 15 años.

- **Alternativa 2: Monocristalino**

El mantenimiento para un panel monocristalino se debe realizar de 3 a 4 veces al año. Su principal característica se debe a que es muy eficiente para instalaciones fotovoltaicas de media y alta potencia. El costo de este tipo de panel varía entre los 150 a 450 dólares dependiendo de la potencia que se requiera y su vida útil es de 40 años sin importar los

watts que produzcan, pero los fabricantes por lo general dan garantías hasta los 25 años de utilidad.

- **Alternativa 3: Policristalinas**

El mantenimiento para un panel policristalino se debe realizar de 3 a 4 veces al año. Su principal característica se debe a que es eficiente para instalaciones fotovoltaicas de baja potencia. El costo de este tipo de panel varía entre los 170 a 500 dólares dependiendo de la potencia que se requiera y su vida útil oscila alrededor de los 25 años, pero posiblemente duraran más tiempo. En la tabla 8 se presenta la matriz de decisiones para la selección de paneles solares con un rango de 1 a 5, siendo 5 la mejor opción:

Tabla 8. Matriz de decisiones para la selección de los paneles solares.

Matriz de decisiones de los paneles solares			
Criterios	Tipo de panel solar		
	Amorfo	Monocristalino	Policristalino
Rendimiento	2	5	3
Mantenimiento	4	4	4
Características	1	5	3
Costo	5	3	2
Vida útil	2	4	4

Se asignará una ponderación a cada criterio tomando en cuenta el factor más relevante para la selección, esta tendrá un rango del 1 al 5, siendo 5 el factor que más influya para la selección como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Ponderación para la matriz de decisiones.

Matriz de decisiones de los paneles solares			
Criterios	Tipo de panel solar		
	Amorfo	Monocristalino	Policristalino
Rendimiento (4)	$2 \times 4 = 8$	$5 \times 4 = 20$	$3 \times 4 = 12$
Mantenimiento (2)	$4 \times 2 = 8$	$4 \times 2 = 8$	$4 \times 2 = 8$

Características (5)	1x5=5	5x5=25	3x5=15
Costo (3)	5x3=15	3x3=9	2x3=6
Vida útil (1)	2x1=2	4 x1=4	4 x1=4
Total	38	66	45

Como se puede observar en la tabla 9 el panel solar monocristalino tiene una puntuación de 66, por lo que este tipo de panel se seccionará para la instalación. A pesar de que el amorfo tiene un costo menor, no puede ser seleccionado ya que no se lo utiliza en instalaciones fotovoltaicas. Mientras que el policristalino no es seleccionado para la instalación ya que trabaja en potencias bajas y nuestra instalación requiere de una potencia media.

2.3.3 Baterías

Para obtener el número de baterías es necesario realizar algunos cálculos previos, los cuales son:

Primero hay que obtener el valor de la capacidad nominal del banco de baterías multiplicando la carga de la corriente corregida por el día de reserva, ecuación (12), las cuales se deben emplear entre 1 a 5 días de reserva.

$$CnBB = Ccc * \text{Días de reserva} \quad (12)$$

Donde:

$CnBB$ = Capacidad nominal del banco de baterías. [Ah]

Después se obtiene el valor de la capacidad corregida del banco de baterías mediante la división de la capacidad nominal del banco de baterías para la profundidad de descarga de la batería, como se muestra en la ecuación (13)

$$CcBB = \frac{CnBB}{PdB} \quad (13)$$

Donde:

$CcBB$ = Capacidad corregida del banco de baterías. [Ah]

PdB = Profundidad de descarga de la batería.

A continuación, para obtener el valor del arreglo de baterías se divide la capacidad corregida del banco de baterías para la capacidad nominal de la batería, como se muestra en la ecuación (14).

$$AB = \frac{CcBB}{CnB} \quad (14)$$

Donde:

AB = Arreglo de baterías en serie.

CnB = Capacidad nominal de la batería [Ah]. (Anexo 2)

Finalmente, para obtener el número de baterías requeridas para el sistema se debe calcular la cantidad de baterías en serie dividiendo la tensión nominal del sistema para la tensión nominal de la batería, como se muestra en la ecuación (15).

$$N^{\circ}Bs = \frac{TnS}{TnB} \quad (15)$$

Donde:

$N^{\circ}Bs$ = Numero de baterías en serie.

TnS = Tensión nominal del sistema [V].

TnB = Tensión nominal de la batería [V].

Con el valor del $N^{\circ}Bs$, se calculará el número total de baterías que requiere el sistema fotovoltaico multiplicando el arreglo de las baterías en serie por el número de baterías en serie, como se muestra en la ecuación (16).

$$N^{\circ}B_{Total} = AB * N^{\circ}Bs \quad (16)$$

Donde:

$N^{\circ}B_{Total}$ = número total de baterías

- **Profundidad de carga**

Se debe conocer la profundidad de carga de la batería para su selección. Si una batería posee una profundidad de descarga del 50% no abastecerá completamente el sistema ya que proporcionará solo la mitad de su carga y se necesitará mayor cantidad de baterías.

2.3.3.1 Selección de baterías

A continuación, se va a describir los criterios de cada uno de las alternativas de los paneles solares:

- **Alternativa 1: Baterías Tubulares**

Las baterías de tipo tubular poseen un ciclado profundo para hacer frente a las exigencias de carga y descarga. Se debe realizar mantenimiento cada tres meses, esto depende del uso de la batería. Su vida útil se encuentra entre los 10 a 20 años si trabaja a una temperatura ambiente de 20 °C. Una de las principales desventajas es su escasa comercialización en diversos lugares del país lo que dificulta su instalación, su costo varía entre los 120 a 280 dólares dependiendo de la tensión (voltaje) y carga eléctrica (Ah).

- **Alternativa 2: Baterías Solares**

Las baterías de tipo solar poseen un ciclado medio, no están diseñadas para descargarse en su totalidad. Se debe realizar un mantenimiento anual para que mantenga su buen funcionamiento y rendimiento. Su vida útil es de 15 años si trabaja a una temperatura ambiente de 20-25 °C. Su principal característica es que no se utiliza para ciclado profundo y prolongado, su costo varía entre los 170 a 400 dólares dependiendo de la tensión (voltaje) y carga eléctrica (Ah).

- **Alternativa 2: Baterías de Gel**

Las baterías de tipo gel poseen un ciclado profundo, están diseñadas para descargarse casi en su totalidad hasta un 90%. Se puede realizar mantenimientos semestrales o anuales para que mantenga un buen funcionamiento y rendimiento. Su vida útil es de 20 años si trabaja a una temperatura ambiente de 20 °C. Su principal característica es que proporciona un mejor rendimiento para sistemas fotovoltaicos fuera de la red en altas temperaturas, su costo varía entre los 160 a 400 dólares dependiendo de la tensión (voltaje) y carga eléctrica

(Ah). En la tabla 10 se presenta la matriz de decisiones para la selección de baterías con un rango de 1 a 5, siendo 5 la mejor opción:

Tabla 10. Matriz de decisiones para la selección de las baterías.

Matriz de decisiones de las baterías			
Criterio	Tipos de baterías		
	Tubular	Solar	Gel
Ciclado profundo	5	3	5
Mantenimiento	2	5	4
Vida útil	4	3	5
Características	3	4	5
Costo	5	3	3

Se asignará una ponderación a cada criterio tomando en cuenta el factor más relevante para la selección, esta tendrá un rango del 1 al 5, siendo 5 el factor que más influya para la selección como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Ponderación para la matriz de decisiones.

Matriz de decisiones de las baterías			
Criterio	Tipos de baterías		
	Tubular	Solar	Gel
Ciclado profundo (5)	$5 \times 5 = 25$	$3 \times 5 = 15$	$5 \times 5 = 25$
Mantenimiento (3)	$2 \times 3 = 6$	$5 \times 3 = 15$	$4 \times 3 = 12$
Vida útil (1)	$4 \times 1 = 4$	$3 \times 1 = 3$	$5 \times 1 = 5$
Características (4)	$3 \times 4 = 12$	$4 \times 4 = 16$	$5 \times 4 = 20$
Costo (2)	$5 \times 2 = 10$	$3 \times 2 = 6$	$3 \times 2 = 6$
Total	57	55	68

Como se puede observar en la tabla 11 la batería tipo gel tiene una puntuación de 68, por lo que este tipo de acumulador se seccionará para la instalación. A pesar de que la de tipo tubular tiene un costo menor, no puede ser seleccionado por su escasa comercialización para sistemas fotovoltaicos. Mientras que el de tipo solar no es seleccionado para la

instalación ya que no trabaja con ciclados profundos y prolongados y nuestra instalación requiere de un ciclado profundo.

2.3.4 Regulador de carga

Una vez seleccionado el tipo de panel solar que se va a utilizar en la instalación, se va a elegir un tipo de regulador de carga. El regular más óptimo para la instalación es un PWM ya que estos se utilizan únicamente en paneles solares de 24 voltios que contengan 72 células.

Para la selección de un regulador de carga PWM se debe tomar en cuenta la intensidad de máxima potencia, que se lo puede verificar en la ficha técnica de los paneles solares. Al valor del IMP se le debe multiplicar el número de paneles solares que se va a utilizar en la instalación, como se muestra en la ecuación (17).

$$IMP_{Total} = IMP_{ps} * N^{\circ} \text{ de Paneles Solares} \quad (17)$$

Donde:

IMP_{Total} = Intensidad de máxima potencia total [A]

IMP_{ps} = Intensidad de máxima potencia en los paneles solares [A] (Anexo 1)

2.3.4.1 Selección del regulador de carga

A continuación, se va a describir los criterios de cada uno de las alternativas del regulador de carga:

- **Alternativa 1: Regulador PWM**

Para el regulador PWM es necesario realizar mantenimiento periódicamente una vez al año, su vida útil es de larga duración. Su principal característica es que se utiliza en instalaciones que tengan paneles solares de 24V y 72 Células. Su costo varía desde los 50 hasta los 250 dólares dependiendo de la intensidad de corriente que se requiera para la instalación.

- **Alternativa 2: Regulador MPPT**

Para el regulador MPPT es necesario realizar mantenimiento periódicamente una vez al año, pero se recomienda realizarlo semestralmente, su vida útil es de corta duración. Su principal característica es que se utiliza en instalaciones que tengan paneles solares de 24V y 60 Células. Su costo varía desde los 80 hasta los 235 dólares dependiendo de la intensidad de corriente que se requiera para la instalación como se muestra en la tabla 12.

Se asignará una ponderación a cada criterio tomando en cuenta el factor más relevante para la selección, esta tendrá un rango del 1 al 5, siendo 5 el factor que más influya para la selección como se muestra en la tabla 13.

Tabla 12. Matriz de decisiones para la selección del regulador de carga.

Matriz de decisiones para regulador de carga		
Criterios	Tipos de reguladores de carga	
	PWM	MPPT
Mantenimiento	5	4
Vida útil	5	2
Características	5	1
Costo	3	3

Tabla 13. Ponderación para la matriz de decisiones.

Matriz de decisiones para regulador de carga		
Criterios	Tipos de reguladores de carga	
	PWM	MPPT
Mantenimiento (2)	$5 \times 2 = 10$	$4 \times 2 = 8$
Vida útil (4)	$5 \times 4 = 20$	$2 \times 4 = 8$
Características (5)	$5 \times 5 = 25$	$1 \times 5 = 5$
Costo (3)	$3 \times 3 = 9$	$3 \times 3 = 9$
Total	64	30

Como se puede observar en la tabla 13 el regulador PWM tiene una puntuación de 64, por lo que este tipo de controlador se seccionará para la instalación. A pesar de que el regulador MPPT tiene un costo similar, no puede ser seleccionado por que no se utiliza en instalaciones que tengan paneles monocristalinos de 24 V con 72 células.

2.3.5 Inversor fotovoltaico

Para la selección de un inversor se debe tomar en cuenta el consumo de energía total. Por lo que se elige un inversor con mayor potencia que el valor del consumo para que este pueda abastecer.

2.3.6 Cableado eléctrico

Para la selección de los cables para la instalación fotovoltaica hay que tomar en cuenta la intensidad que va a fluir desde los paneles solares hacia el gabinete eléctrico. Para seleccionar los cables se utilizará el sistema estadounidense estandarizado AWG. Este sistema se basa en 44 tamaños diferentes de alambre que están estandarizados, va en un rango desde el 0 al 40, dentro de la tabla también existen medidas de 00, 000 y 0000, con relación al grosor del alambre.

En la figura 12 se muestra los tamaños de alambre que existen en el sistema AWG.

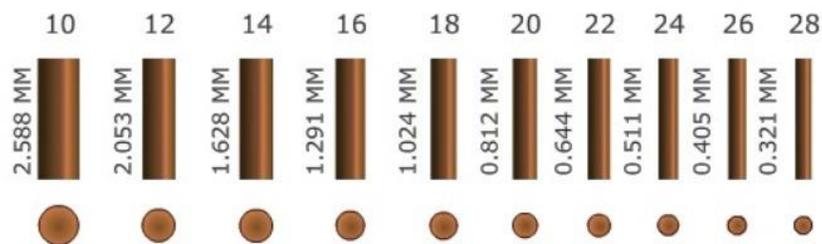


Figura 12. Tamaños del grosor del cable según AWG [23].

Como se muestra en la figura, un cable de 10 AWG tiene un grosor de 2,588 mm mientras que un cable de 28 AWG posee un grosor 0,321 mm. Esto quiere decir que mientras más grande sea la designación AWG menor será el grosor del cable.

Para la selección del diámetro de cable se debe calcular el área de sección transversal, para lo cual se va a utilizar la ecuación (18).

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * (VA - VB)} \quad (18)$$

Donde:

S= Sección transversal del cable

L= Longitud de conducción

I= Intensidad (Anexo 1)

VA – VB = Caída de tensión máxima admisible.

Para calcular la caída de tensión máxima admisible se debe tomar en cuenta la tabla 14 que nos presenta el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Tabla 14. Caída de tensión según IDAE [24].

Subsistemas	Caída de tensión máxima	Recomendada
Paneles-Regulador	3%	1%
Regulador – Baterías	1%	0.5%
Baterías-Inversor	1%	1%

Como se muestra en la tabla 14 desde la instalación de los paneles solares hasta llegar al regulador se tiene una caída de tensión máxima de 3%, por lo que para calcular la caída de tensión máxima admisible se va a trabajar con una caída de tensión del 1%.

CAPITULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para el presente proyecto se tomó en consideración a la teoría del Atlas Solar del Ecuador para realizar los cálculos del sistema, en el cual nos presenta la fórmula para el cálculo del consumo energético y la hora solar pico en el Ecuador durante los 12 meses del año, además se tomará en cuenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) específicamente el capítulo 14 que nos habla de energías renovables.

3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

3.2.1 Cálculo del consumo energético

En la tabla 15 se va a realizar el cálculo del consumo energético total que se requiere para el suministro parcial de energía de los dispositivos de iluminación para la Unidad Educativa Huachi Grande.

Tabla 15. Consumo energético total requerido para la instalación.

CONSUMO ESTIMADO DE ENERGÍA AL DÍA					
Equipos	Potencia (W)	Cantidad	Potencia Acumulada	Tiempo de consumo (h)	Consumo (Wh/día)
Iluminación	10	15	150	8	1200
Inversor	15	1	15	24	360
		Potencia Total	165	Energía Total	1560

Como se muestra en la tabla 15 el consumo energético total que se requiere para la instalación es de **1560 Wh/día**. En el cálculo se agrega el consumo del inversor ya que presenta un autoconsumo y genera pérdidas de energía diarias.

3.2.2 Cálculo del número de paneles

Para realizar el cálculo primero obtenemos el valor de la carga diaria de corriente con la ecuación (5).

$$CDC = \frac{\text{Consumo}}{Ts}$$
$$CDC = \frac{1560 \text{ Wh/día}}{24 \text{ V}}$$

$$CDC = 65 A.h$$

Una vez que obtengamos la CDC, se debe calcular el valor de la carga de corriente corregida con la ecuación (6).

$$Ccc = CDC * 1.2$$

$$Ccc = 65 Ah * 1.2$$

$$Ccc = 78 A.h$$

Con el valor de la Ccc, calculamos la corriente pico del sistema con la ecuación (7). Para obtener el valor de la radiación solar nos basamos en un estudio de varios años, el estudio más reciente se realizó en el año 2019 y para obtener estos datos utilizamos la página de NREL (Laboratorio Nacional de Energía Renovable) como se muestra en la tabla 16. Anexo 3.

Tabla 16. Radiación solar que existe en Huachi Grande-Ambato [25].

Mes	Radiación solar (kWh / m ² / día)	Energía de corriente alterna (kWh)
Enero	4.37	411
Febrero	4.39	375
Marzo	5.01	471
Abril	5.14	470
Mayo	5.08	483
Jun	5.20	486
Jul	5.18	505
Agosto	5.24	506
Septiembre	5.05	465
Octubre	4.88	460
Noviembre	4.90	447
Diciembre	4.20	397
Annual	4.89	5,476

Con el valor de la radiación solar y tomando en cuenta la radiación solar incidente, se va a calcular el número de horas diarias efectivas de radiación solar del sistema como se muestra en la ecuación 7.

$$H_{Rs} = \frac{R_s}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$H_{Rs} = \frac{4200 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

$$H_{Rs} = 4,2 \text{ h}$$

Una vez calculado las horas diarias de radiación solar efectivas (4,2 h) este cálculo se realizó con el mes más bajo de radiación solar. Este valor es el que se va a utilizar en la ecuación (8) para calcular la corriente pico del sistema, entonces:

$$Cps = \frac{Ccc}{R_s}$$

$$Cps = \frac{78 \text{ Ah}}{4,2 \text{ h}}$$

$$\mathbf{Cps = 18,57 \text{ A}}$$

Con el valor obtenido de la Cps, se puede realizar el cálculo del arreglo de módulos con la ecuación (9).

$$Am = \frac{Cps}{C_{pp}}$$

$$Am = \frac{18,57 \text{ A}}{10,02 \text{ A}}$$

$$\mathbf{Am = 1,85 \approx 2}$$

Con la ecuación (10) se va a obtener el valor de la tensión del sistema final.

$$Tsf = \frac{Tns}{TnmF}$$

$$T_{sf} = \frac{24 V}{39,9 V}$$

$$T_{sf} = 0,6$$

Por último, se calcula el número de paneles solares que se necesita para la instalación fotovoltaica con la ecuación (11).

$$N^{\circ} PS = T_{sf} * Am$$

$$N^{\circ} PS = 0,6 * 2$$

$$N^{\circ} PS = 1,2 \approx 2$$

Para la instalación del sistema fotovoltaico se necesita dos paneles de 400 W para satisfacer el consumo energético del lugar. Se eligió un panel de 400W ya que con esta potencia solo se utilizará dos módulos fotovoltaicos. Mientras que si se utiliza un panel de menos potencia como por ejemplo 200W se tendrá que utilizar mayor cantidad de módulos fotovoltaicos para que abastezca el consumo energético.

3.2.3 Cálculo del número de baterías.

Para calcular el dimensionamiento de las baterías primero obtenemos el valor capacidad nominal del banco de baterías con la ecuación (12).

$$C_{nBB} = C_{cc} * \text{Días de reserva}$$

$$C_{nBB} = 78Ah * 1$$

$$C_{nBB} = 78 Ah$$

Una vez obtenido el valor de la C_{nBB} , se realiza el cálculo de la capacidad corregida del banco de baterías con la ecuación (13).

$$C_{cBB} = \frac{C_{nBB}}{PdB}$$

$$C_{cBB} = \frac{78 Ah}{0,5}$$

$$C_{cBB} = 156 Ah$$

Con el valor de la CcBB, se realiza el cálculo de arreglo de baterías en serie con la ecuación (14).

$$AB = \frac{CcBB}{CnB}$$

$$AB = \frac{156 Ah}{150 Ah}$$

$$AB = 1,04 \approx 1$$

Se realiza el cálculo para la obtención del número de baterías en serie, como se muestra en la ecuación (15)

$$N^{\circ}Bs = \frac{TnS}{TnB}$$

$$N^{\circ}Bs = \frac{24 V}{12 V}$$

$$N^{\circ}Bs = 2$$

Finalmente, con el valor de AB y del $N^{\circ}Bs$ se calcula el número total de baterías, como se muestra en la ecuación (16).

$$N^{\circ}B_{Total} = AB * N^{\circ}Bs$$

$$N^{\circ}B_{Total} = 1 * 2$$

$$N^{\circ}B_{Total} = 2$$

El número de baterías necesarias para el sistema fotovoltaico que se obtiene para la instalación es de 2 baterías de gel de 12 V y 150 Ah conectados en serie.

3.2.4 Cálculo para el regulador de carga.

El regulador óptimo para la instalación es un PWM ya que estos se utilizan únicamente en paneles solares de 24 voltios que contengan 72 células.

Para obtener la intensidad de máxima potencia se va a utilizar la ecuación (17), donde:

$$IMP_{Total} = IMP_{ps} * N^{\circ} \text{ de Paneles Solares}$$

$$IMP_{Total} = 10,02 \text{ A} * 2 \text{ Paneles}$$

$$IMP_{Total} = 20,04 \text{ A}$$

Para la selección del regulador se toma en cuenta el valor del IMP_{Total} , ya que este debe ser mayor a 20,04 A para que pueda abastecer al sistema fotovoltaico. Un regulador con un IMP de 30 A es el valor más cercano al obtenido y este abastece correctamente a nuestro sistema instalado.

3.2.5 Cálculo para el inversor fotovoltaico.

Para la selección de un inversor hay que tener en cuenta el consumo de energía total, el cual calculamos anteriormente y obtuvimos un valor de 1560 Wh. Con este dato se busca un inversor que pueda abastecer toda esta energía del sistema.

Se eligió un inversor de 1500W ya que al ser de gran potencia puede trabajar de forma continua las 24 horas del día durante los 7 días de la semana, mientras que con uno de menor potencia como por ejemplo de 500W no puede estar prendido de forma continua y se lo utiliza solo para cargar equipos pequeños.

3.2.6 Cálculo para el cableado eléctrico.

Para el cálculo de la sección transversal del cable para las diferentes secciones del sistema se va a utilizar la ecuación (18), la tabla 14 del capítulo II y el Anexo 1, entonces:

- Paneles solares – regulador

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * (VA - VB)}$$

$$S = \frac{2 * 16 \text{ m} * 10.4}{56 * 0,72}$$

$$S = 8,25 \text{ mm}^2$$

- **Regulador – baterías**

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * (VA - VB)}$$

$$S = \frac{2 * 1 \text{ m} * 30}{56 * 0,24}$$

$$S = 4,46 \text{ mm}^2$$

- **Batería – inversor**

$$S = \frac{2 * L * I}{56 * (VA - VB)}$$

$$S = \frac{2 * 1 \text{ m} * 60}{56 * 0,24}$$

$$S = 8,93 \text{ mm}^2$$

Una vez realizado los cálculos se ubican en una tabla para su mejor comprensión y visualización como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Calibre de cables AWG.

Subsistemas	Sección en mm²	Calibre de cable AWG
Paneles-Regulador	8,25	AWG 8
Regulador – Baterías	4,46	AWG 10
Baterías-Inversor	8,93	AWG 8

En el anexo 4 se obtiene el valor de la sección transversal del cable utilizando la tabla del Sistema Estadounidense Estandarizado AWG, para su selección.

Una vez calculado los parámetros de diseño en donde se obtiene el número exacto de equipos y materiales que se necesita para que abastezca el consumo energético de la instalación, se realiza la tabla 18 donde se especifica cada uno de ellos:

Tabla 18. Número de equipos y materiales necesarios según los cálculos realizados.

Equipos y materiales	Características	Valor obtenido de los cálculos.
Paneles solares	- Monocristalino - 400 W - 24V	2
Baterías	- De Gel - 12V - 150 Ah	2
Regulador	- PWM - 30A - 12/24V	1
Inversor	- Potencia nominal de 1500 W - 24V entrada -120V salida	1
Conductor eléctrico	- Selección del cable según el Sistema Estadounidense Estandarizado AWG	AWG

3.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE LOS PANELES SOLARES.

Para realizar el diseño de la estructura se tomó en cuenta que los paneles solares van ubicados en la cubierta del graderío de la institución. La estructura se lo utilizara como soporte para obtener mayor resistencia y ser un apoyo para los paneles solares. La estructura estará anclado a la cubierta por medio de pernos.

Los aspectos a tomar en cuenta en el diseño de la estructura son:

- Peso del panel solar
- Velocidad del viento en la ciudad que es de aproximadamente 50 Km/h en días de mayor viento [26].

- Inclinación de los paneles que va dado por el ángulo de la cubierta que es de 15°.

Para el diseño de la estructura del panel solar se lo realizó primero en un software especializado en el diseño de piezas mecánicas y ensamble, después se lo exporto al software ANSYS para su respectivo análisis estático.

Para el diseño se debe conocer las dimensiones del panel solar como se muestra en la figura 13.

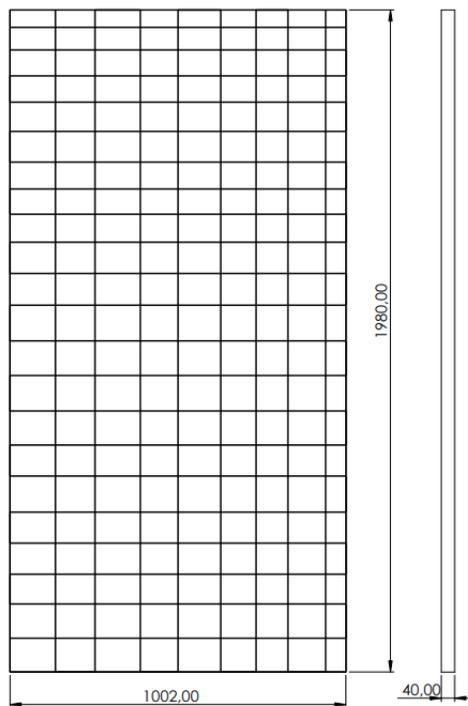


Figura 13. Dimensiones del panel solar.

En la figura 14 se puede observar el diseño de la estructura de soporte en un programa especializado. Al conocer las dimensiones de los paneles solares el cual se puede visualizar en el anexo 1 se obtiene las proporciones que debe tener la estructura de soporte.

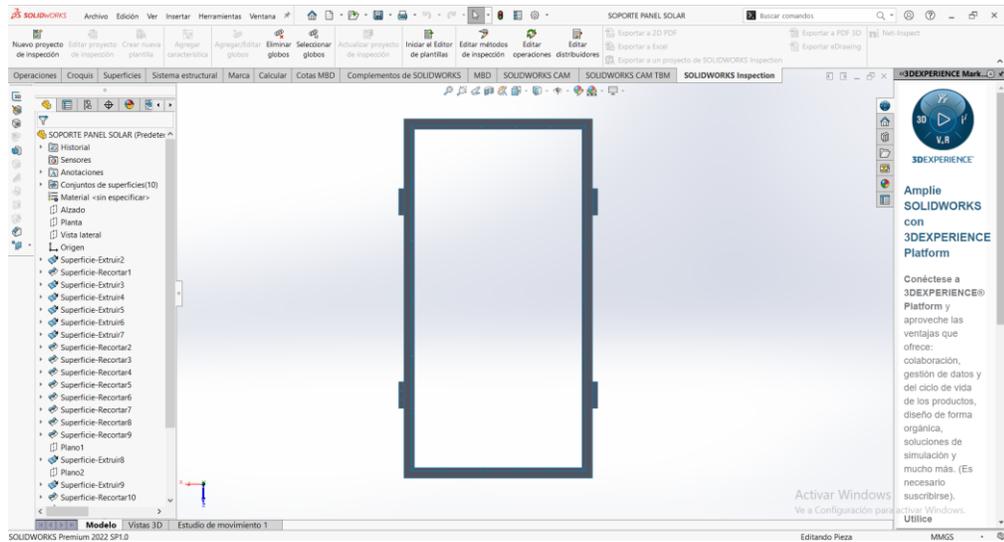


Figura 14. Diseño de la estructura de soporte en un programa especializado en diseño.

3.3.1 Análisis estático de la estructura

3.3.1.1 Mallado de la estructura de soporte

Para realizar el mallado se utilizó el programa ANSYS, primero se debe verificar que la estructura del panel solar este dibujado correctamente con las dimensiones especificas el cual lo podemos visualizar en el apartado de SpaceClaim en ANSYS. Para verificar la calidad del mallado se debe utilizar espectro que sirve para medir la calidad del mallado que se lo observa en la figura 15. El mallado obtuvo un Average de 0,975, este valor al estar cercano a 1 de obtiene un nivel de mallado de excelente calidad.

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 15. Espectro de métrica de mallado.

En la figura 16 se muestra el mallado del soporte de los paneles solares en el que se puede observar que el mallado cubre toda la estructura para el análisis.

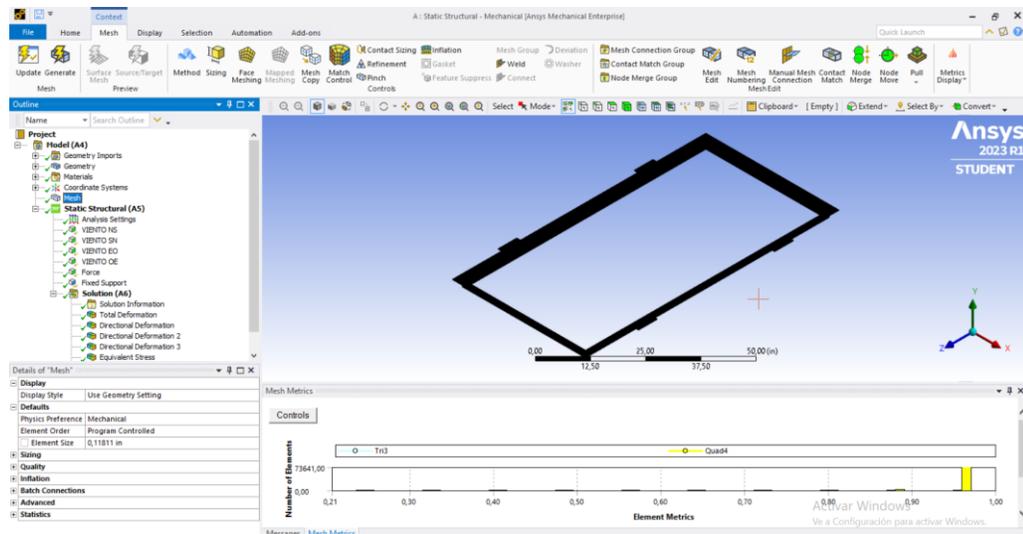


Figura 16. Mallado de la estructura de soporte en ANSYS.

En la figura 17 se observar el resultado del mallado de la estructura con un valor de 0,97544.

Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Aggressive ...
Target Element Quality	Default (5, e-...
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Element Qu...
Min	0,20641
Max	0,99947
Average	0,97544
Standard Deviation	6,1493e-002
Inflation	

Figura 17. Dato de la calidad del mallado.

3.3.2 Cargas de la estructura de soporte de los paneles solares

Para realizar la estructura de soporte se seleccionó tubos cuadrado de aleación de aluminio 40x40 mm y de 1980 mm de largo y posee un espesor de 3 mm, se seleccionó este tipo de material ya que es más liviano que el acero estructural y es más resistente a la corrosión.

En el catálogo de los paneles solares de 400 Wp se puede observar el peso de 23 kg de cada uno de ellos por lo que se decidió realizar estructuras individuales por lo que el análisis se lo ejecuta a una sola estructura ya que la otra es la misma.

Para el análisis se debe aplicar la fuerza del viento que ejerce sobre la estructura de los paneles solares, para obtenerla se debe utilizar la ecuación (19).

$$Fv = p * S * \sin(\beta) \quad (19)$$

Donde:

Fv = fuerza del viento [N]

p = presión del viento [N/m^2]

S = superficie de los paneles solares [m^2]

β = ángulo de inclinación de los paneles solares con respecto a la horizontal

Primero se debe calcular la presión del viento para lo cual se utiliza una velocidad promedio de viento de 50 km/h en días de mayor viento en la ciudad de Ambato, para este cálculo se utiliza la ecuación (20).

$$p = 0.613 * v^2 \quad (20)$$

Donde:

v =velocidad del viento [m/s]

$$p = 0,613 * \left(13,88 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$p = 118,9 N/m^2$$

Se obtuvo el valor de la presión del viento de $118,9 \text{ N/m}^2$. La superficie de los paneles solares con la estructura de soporte es de $2,228920 \text{ m}^2$ este valor se obtuvo del diseño en SOLIDWORKS y el ángulo de inclinación que viene ya dado por la cubierta del graderío es de 15° , con estos valores ya se puede calcular la fuerza de viento con la ecuación (19) que es de:

$$F_v = p * S * \sin(\beta) \quad (19)$$

$$F_v = 118,9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 2,228920 \text{ m}^2 * \sin 15^\circ$$

$$F_v = 68,59 \text{ N}$$

La fuerza de viento se colocó en el análisis en ANSYS de forma distribuida en los cuatro lados de la estructura de soporte como se observa en la figura 18. Esto se debe a que la dirección del viento tiende a variar durante el año.

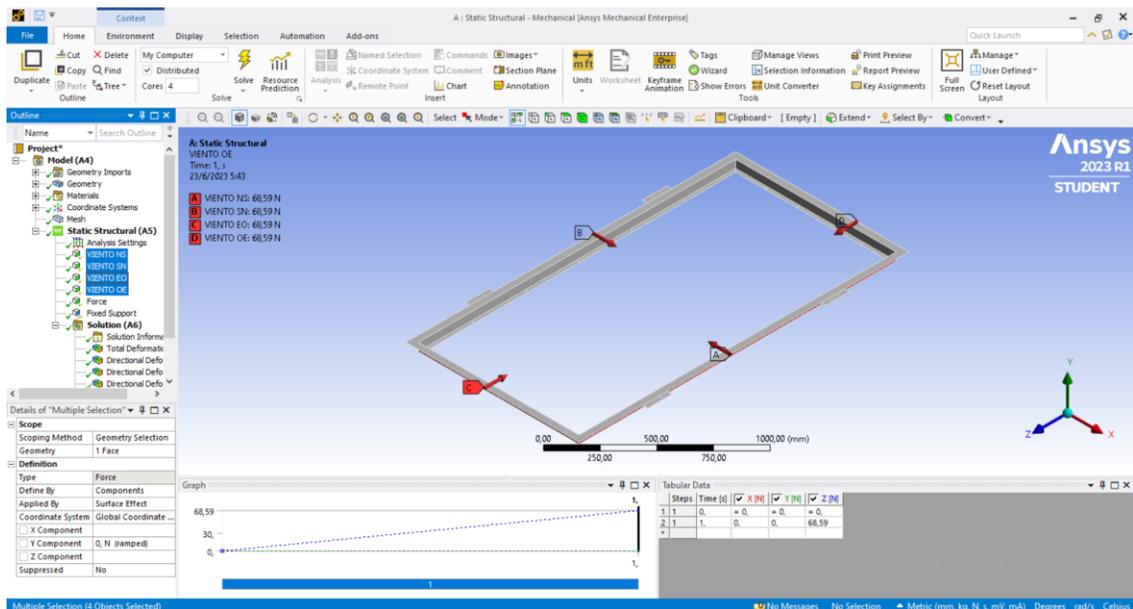


Figura 18. Aplicación de la fuerza de viento en la estructura.

En el análisis también se debe aplicar la carga del peso del panel solar para lo cual se debe multiplicar la masa por la gravedad, como se muestra en la ecuación (21).

$$W = m * g \quad (21)$$

Donde:

m= masa del panel solar en [Kg]

g= gravedad [m/s²]

$$W = 23kg * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 225,63 N$$

La carga del peso del panel solar se distribuirá en la parte interna de la estructura, debido a que el panel solar estará ubicado en ese lugar, como se muestra en la figura 19.

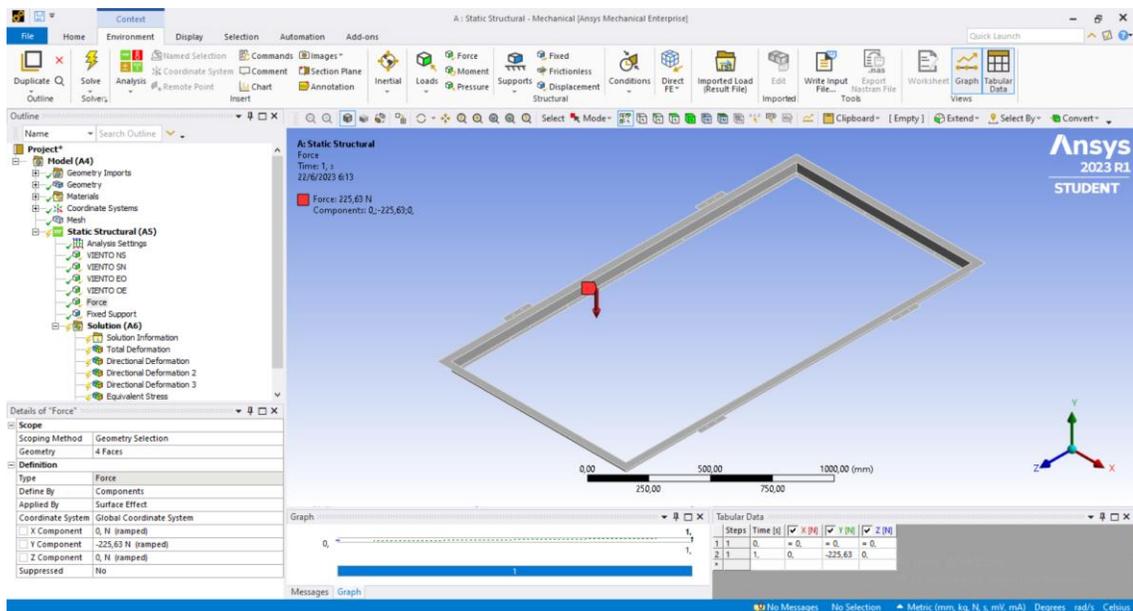


Figura 19. Aplicación de la carga del peso del panel solar.

En la figura 20 se muestra el diseño de la estructura donde se dibujó 4 placas sujetadoras en los extremos con dos agujeros en cada uno, a los cuales seleccionamos como soportes fijos.

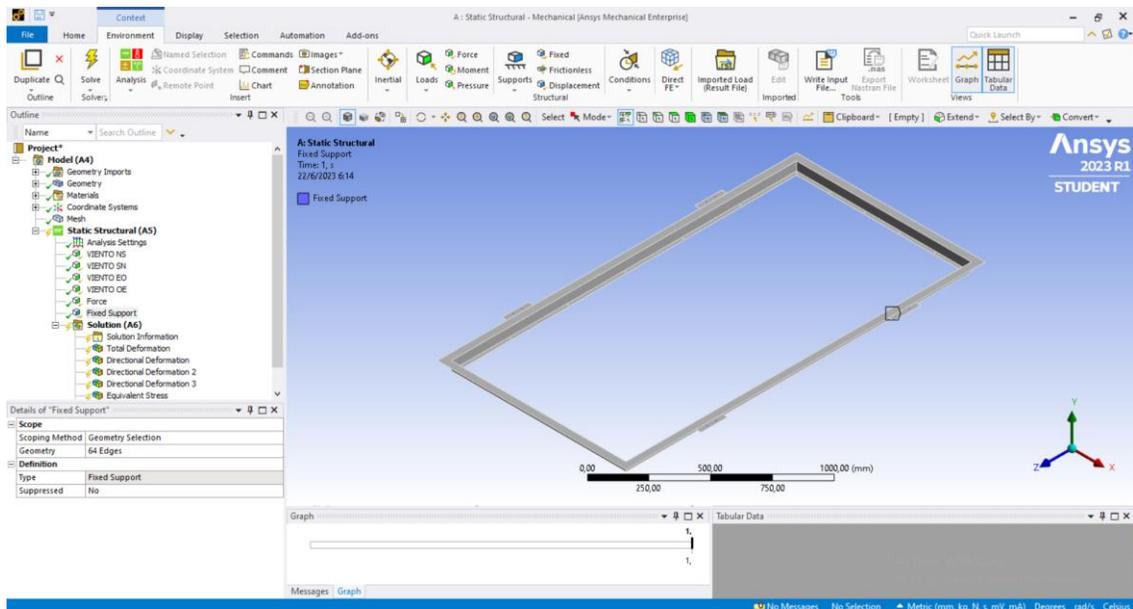


Figura 20. Aplicación de los soportes sufixos en la estructura de soporte.

3.3.3 Resultados del análisis de la estructura de soporte del panel solar

Al aplicar todas las cargas, la deformación total que se va a producir en la estructura de soporte del panel solar es de 0,367 mm, como se muestra en la figura 21.

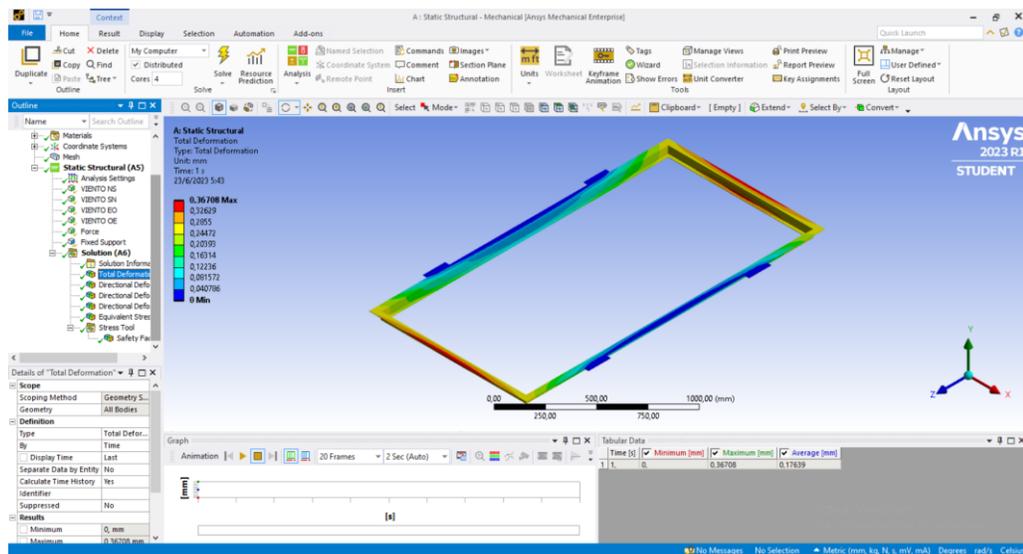


Figura 21. Deformación total de la estructura.

En la figura 21 en la cual se encuentran las deformaciones se puede observar que en los laterales hay mayor deformación con respecto a los transversales.

La deformación en el eje X que se va a producir en la estructura de soporte del panel solar es de 0,107 mm, como se muestra en la figura 22.

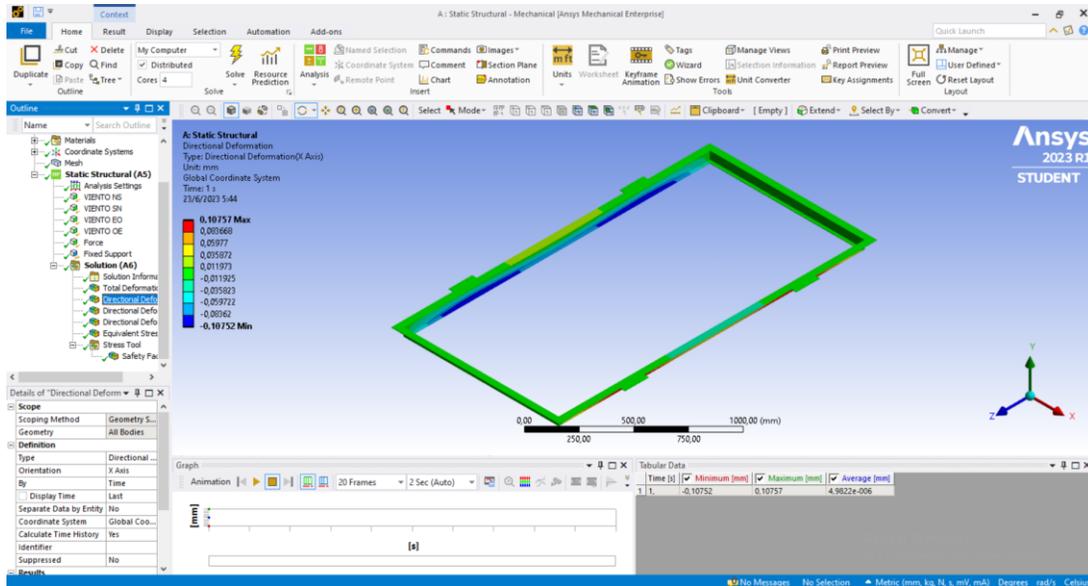


Figura 22. Deformación en el eje X.

En la figura 23 se muestra la deformación en el eje Y que se va a producir en la estructura de soporte del panel solar es de 0,0265 mm.

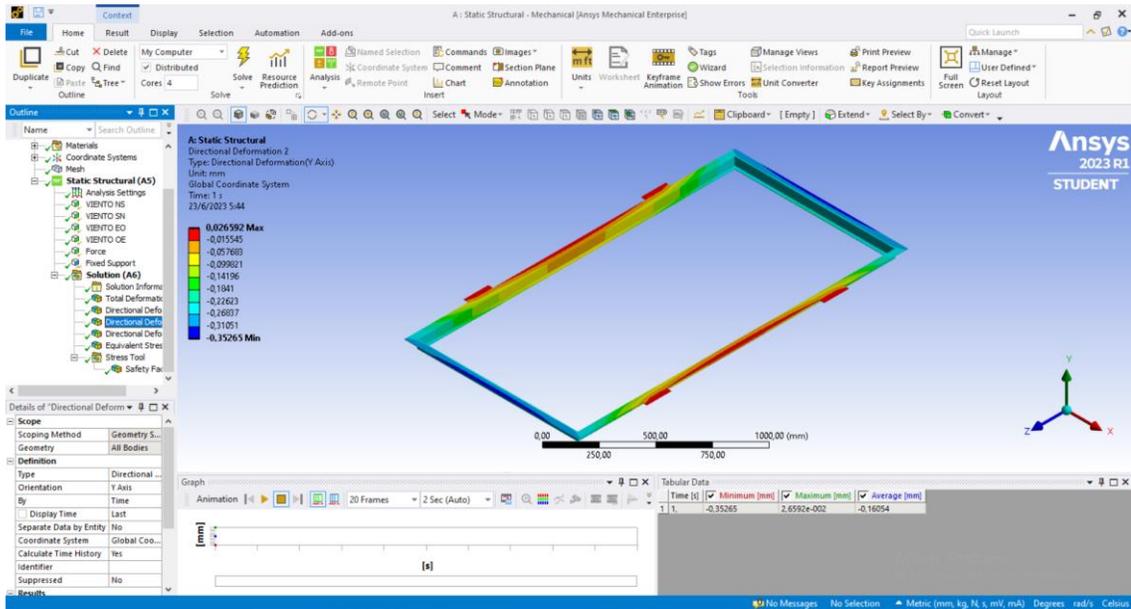


Figura 23. Deformación en el eje Y.

La deformación en el eje Z que se va a producir en la estructura de soporte del panel solar es de 0,229 mm, como se muestra en la figura 24.

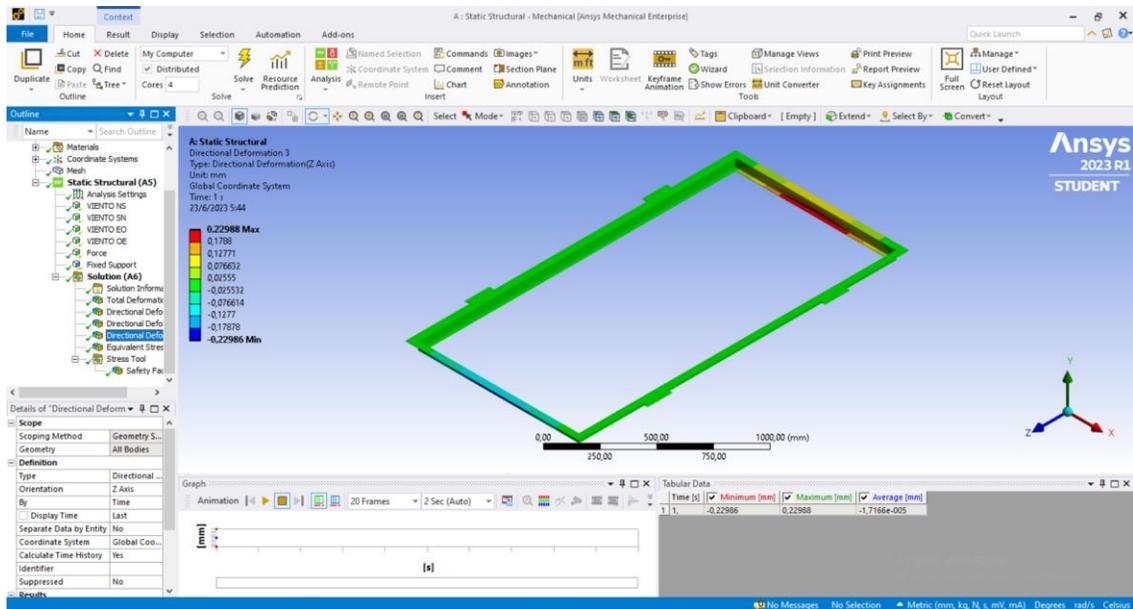


Figura 24. Deformación en el eje Z.

En la figura 25 se puede visualizar que al aplicar todas las cargas, el esfuerzo máximo que se va a producir en la estructura de soporte del panel solar es de $\sigma = 61,91$ MPa.

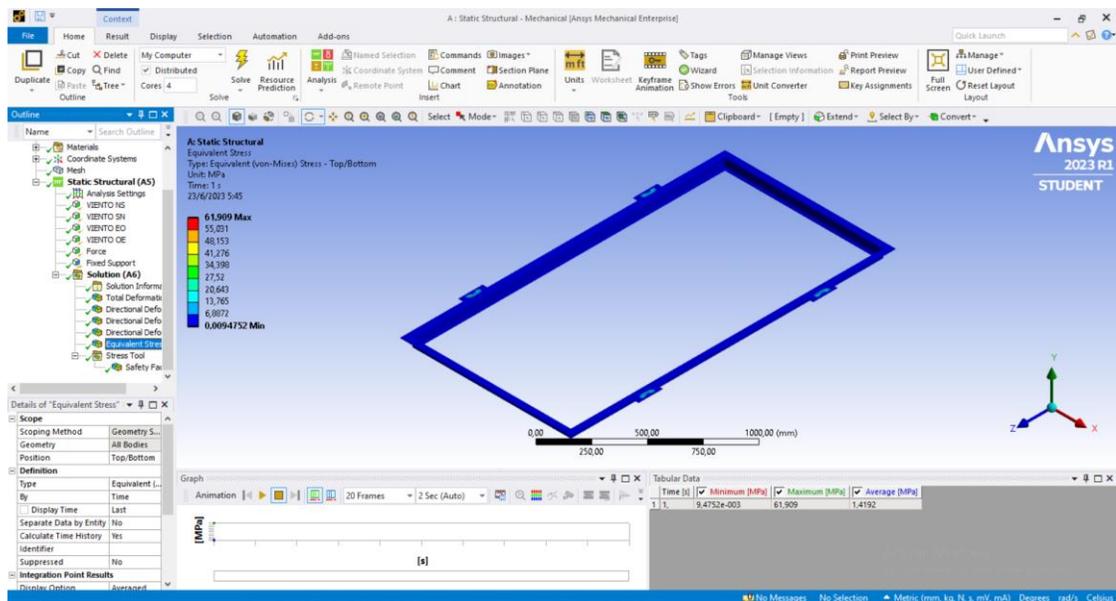


Figura 25. Esfuerzo máximo que soportara la estructura.

Al realizar el análisis estático se obtuvo un factor de seguridad de $n= 1,44$ como se muestra en la figura 26.

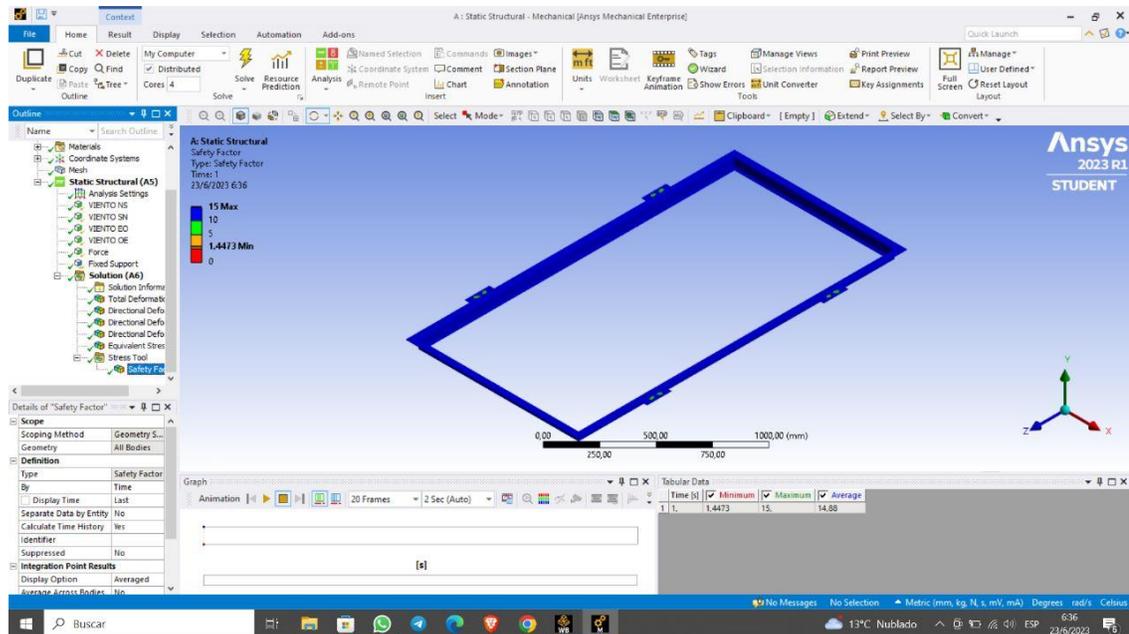


Figura 26. factor de seguridad.

Las estructuras de soporte del panel solar de aluminio ubicados en la cubierta del graderío de la institución mediante pernos es lo suficientemente sólida y podrá soportar sin ningún inconveniente las cargas presentes como son: el peso del panel solar y la fuerza del viento que se ejerce en la zona ya que las deformaciones generadas en los ejes X, Y y Z son mínimas (menor a 0.25 mm) y no existe peligro de provocar ruptura al obteniendo un factor de seguridad de ($n=1,44$) por lo que la estructura de soporte es segura.

3.4 Implementación del sistema fotovoltaico

A continuación, se describirá mediante un diagrama de flujo con imágenes el proceso que se realizó para la implementación del sistema fotovoltaico de generación de energía para la iluminación del área administrativa de la Unidad Educativa Huachi Grande como se muestra en la figura 27.

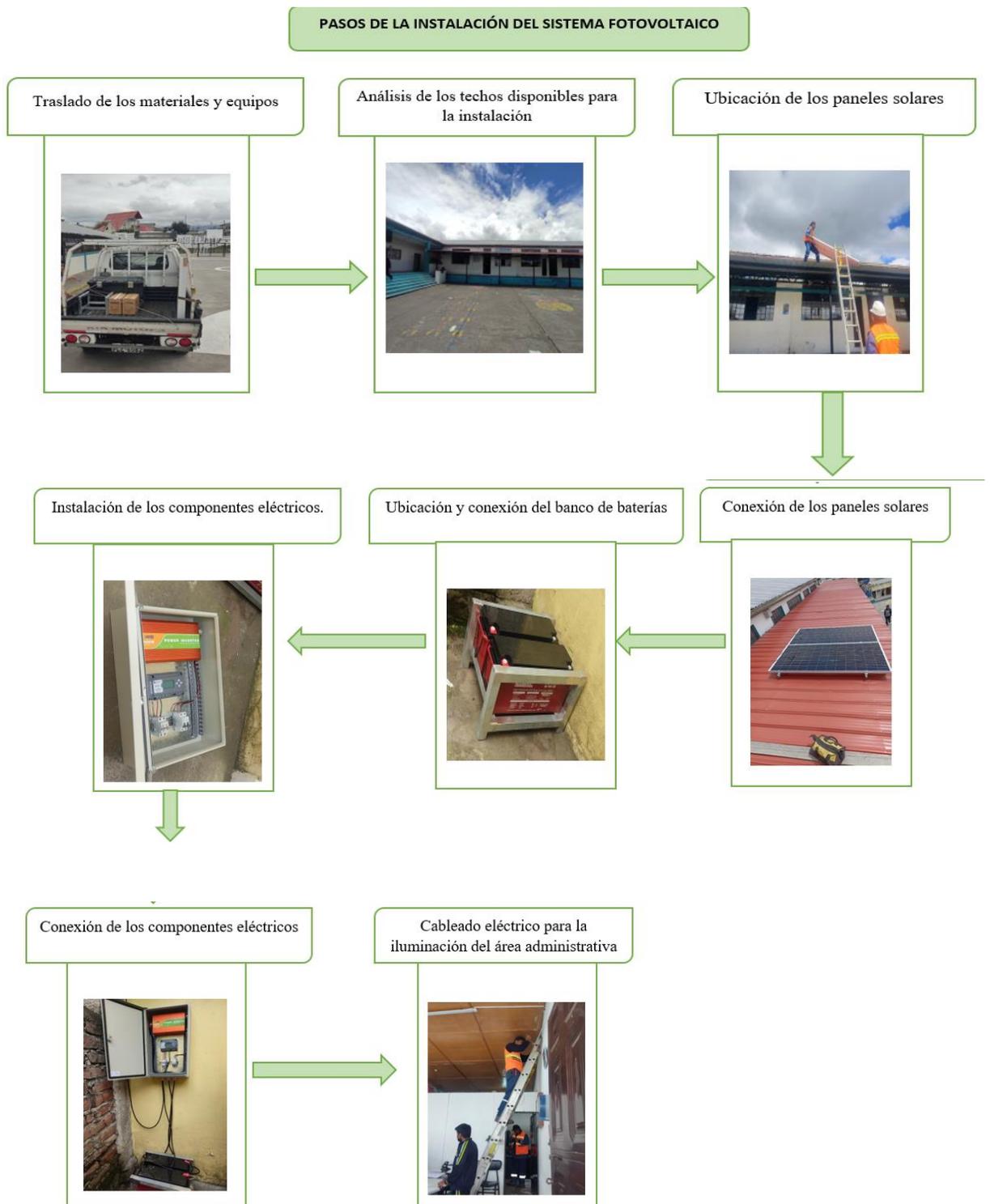


Figura 27. Instalación del sistema fotovoltaico.

3.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Para recolectar los datos de funcionamiento se consideró tres etapas: un día soleado, un día nublado y la noche, con estos términos se tomó las medidas de voltaje y amperaje tanto en la entrada de corriente continua que viene de los paneles fotovoltaicos como en la salida de corriente alterna que va desde el inversor para el consumo.

Las pruebas se realizaron en un total de 15 focos tipo bombillo, tomando en cuenta la ficha técnica se estima que la potencia la cual se va a cubrir es 150W.

Los datos para las pruebas de funcionamiento se obtuvieron a la entrada y salida del inversor. Los datos se recolecto cada 10 minutos, sin embargo, en las gráficas se realiza un promedio cada media hora para su análisis. Al instalar un regulador digital se puede observar los datos de: Voltaje máximo y mínimo que ingresa, porcentaje de descarga de la batería, intensidad que sale, temperatura a la cual se encuentra la batería, entre otros.

Una vez realizadas las mediciones del voltaje se obtiene un resultado de 113 V este valor es muy cercano a los 120 V.

3.5.1 Pruebas de funcionamiento en un día soleado.

En el anexo 5 se muestra las mediciones tomadas del voltaje y amperaje de la entra y salida de corriente, mostrando así el comportamiento que tiene cada una de ellas al momento que recibe el controlador y cuando transmite al inversor en un día soleado.

La figura 28 muestra como tiende a variar el voltaje que es transmitido de los paneles fotovoltaicos en un día soleado, teniendo un valor en el voltaje pico de 25,87 V y el voltaje mínimo de 23,64 V.

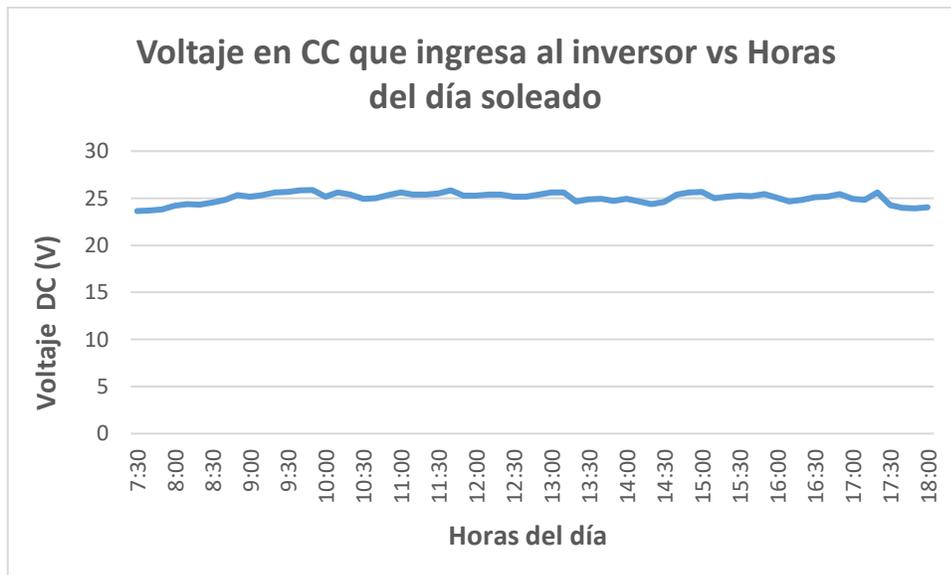


Figura 28. Voltaje en CC que ingresa al inversor en un día soleado.

La figura 29 muestra como tiende a variar el voltaje que es transmitido del inversor para el consumo en un día soleado, teniendo un valor en el voltaje pico de 113,2 V y el voltaje mínimo de 110,4 V.



Figura 29. Voltaje en CA que sale para el consumo en un día soleado.

La figura 30 muestra como tiende a variar el amperaje que es transmitido hacia el inversor en un día soleado, teniendo un valor en el amperaje pico de 8,6 A y el amperaje mínimo de 7,4 A.

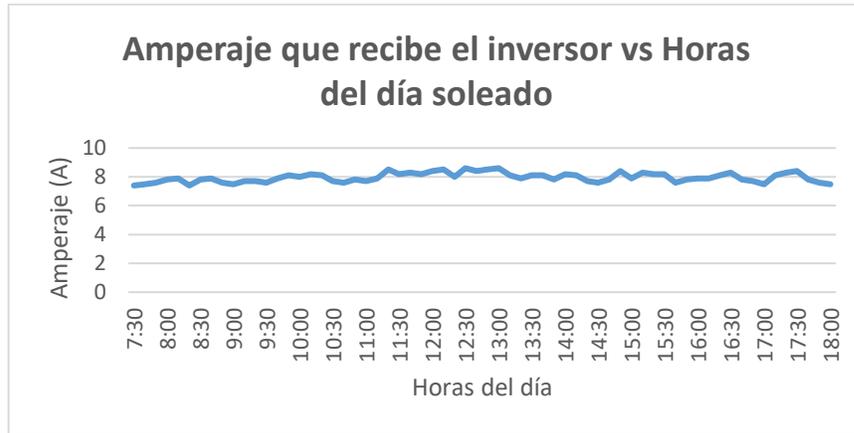


Figura 30. Amperaje que recibe el inversor en un día soleado.

3.5.2 Pruebas de funcionamiento en un día nublado.

En el anexo 6 se muestra las mediciones tomadas del voltaje y amperaje de la entra y salida de corriente, mostrando así el comportamiento que tiene cada una de ellas al momento que recibe el controlador y cuando transmite al inversor en un día nublado.

La figura 31 muestra como tiende a variar el voltaje que es transmitido de los paneles fotovoltaicos en un día nublado, teniendo un valor en el voltaje pico de 25,10 V y el voltaje mínimo de 23,42 V.

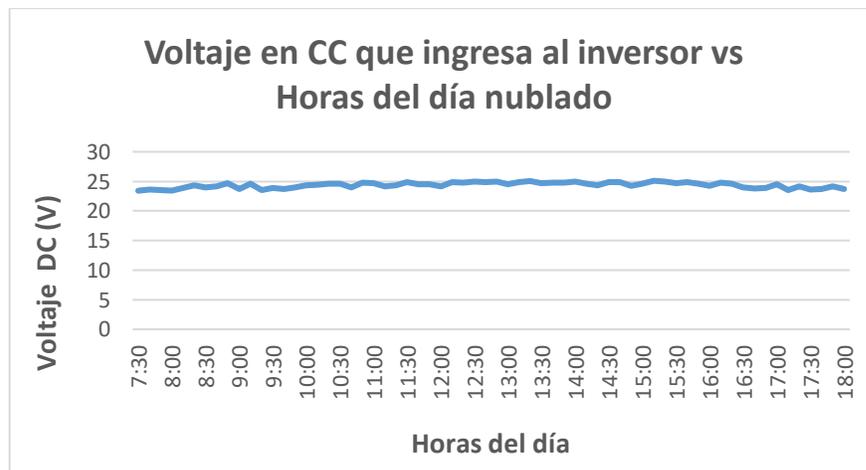


Figura 31. Voltaje en CC que ingresa al inversor en un día nublado.

La figura 32 muestra como tiende a variar el voltaje que es transmitido del inversor para el consumo en un día nublado, teniendo un valor en el voltaje pico de 112,6 V y el voltaje mínimo de 110,3 V.

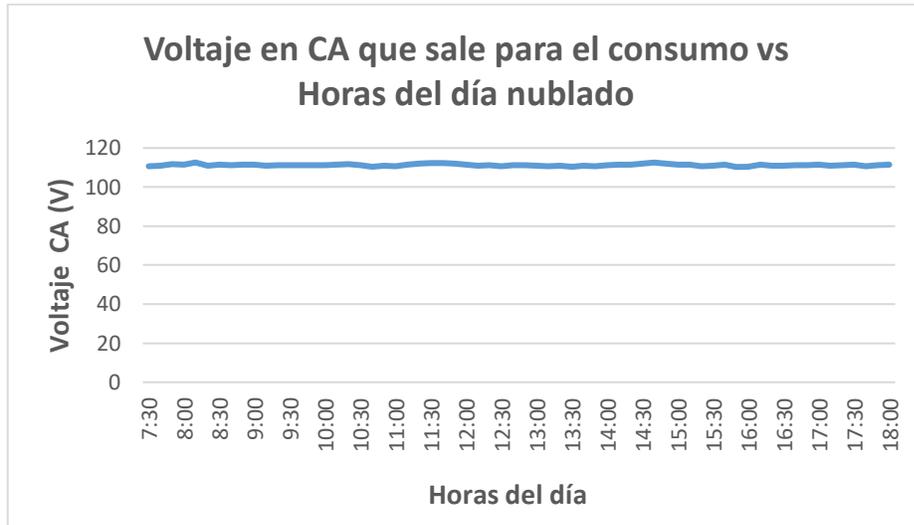


Figura 32. Voltaje en CA que sale para el consumo en un día nublado.

La figura 33 muestra como tiende a variar el amperaje que es transmitido hacia el inversor en un día soleado, teniendo un valor en el amperaje pico de 7,3 A y el amperaje mínimo de 6,1 A.

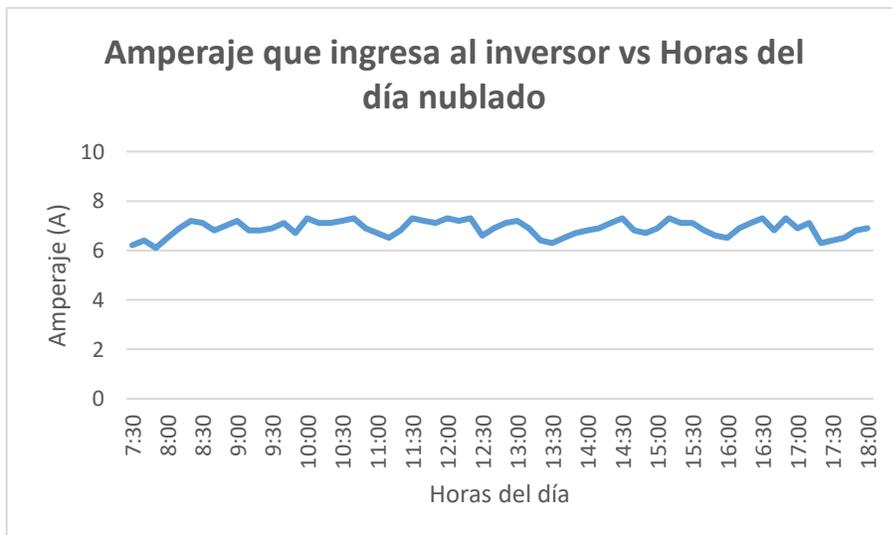


Figura 33. Amperaje que recibe el inversor en un día nublado.

3.5.3 Pruebas de funcionamiento en la noche (22h00).

En el anexo 7 se muestra las mediciones tomadas del voltaje y amperaje de la entra y salida de corriente, mostrando así el comportamiento que tiene cada una de ellas al momento que recibe el controlador y cuando transmite al inversor en la noche.

La figura 34 muestra como tiende a variar el voltaje que es transmitido de los paneles fotovoltaicos en la noche, teniendo un valor en el voltaje pico de 23,56 V y el voltaje mínimo de 21,43 V.

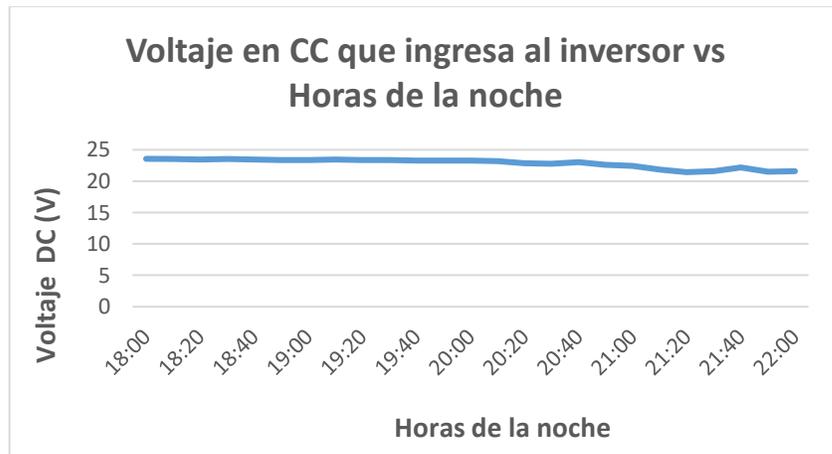


Figura 34. Voltaje en CC que ingresa al inversor en la noche.

La figura 35 muestra como tiende a variar el voltaje que es transmitido del inversor para el consumo en la noche, teniendo un valor en el voltaje pico de 110,9 V y el voltaje mínimo de 109,3V.

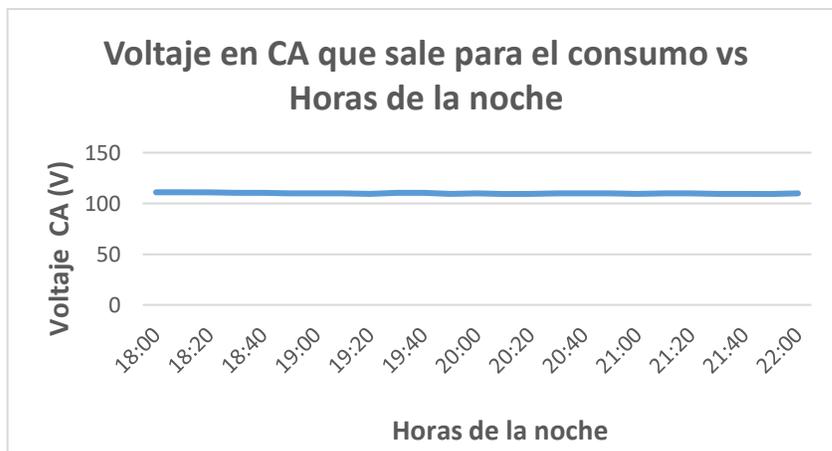


Figura 35. Voltaje en CA que sale para el consumo en la noche.

La figura 36 muestra como tiende a variar el amperaje que es transmitido hacia el inversor en un día soleado, teniendo un valor en el amperaje pico de 6,9 A y el amperaje mínimo de 6,1 A.

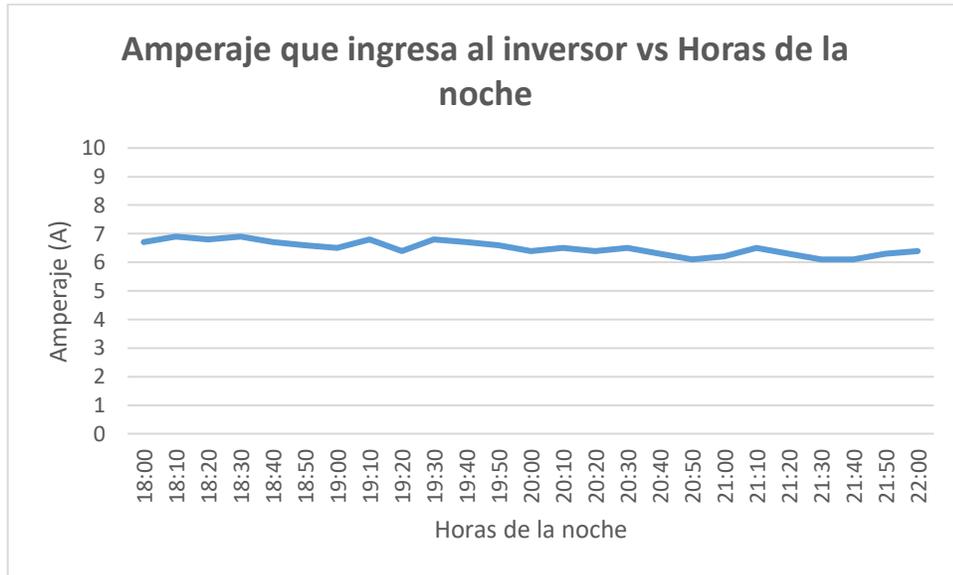


Figura 36. Amperaje que recibe el inversor en la noche.

En la figura 37 se muestra la comparación del voltaje de corriente directa que ingresa al inversor en el día soleado, día nublado y en la noche.

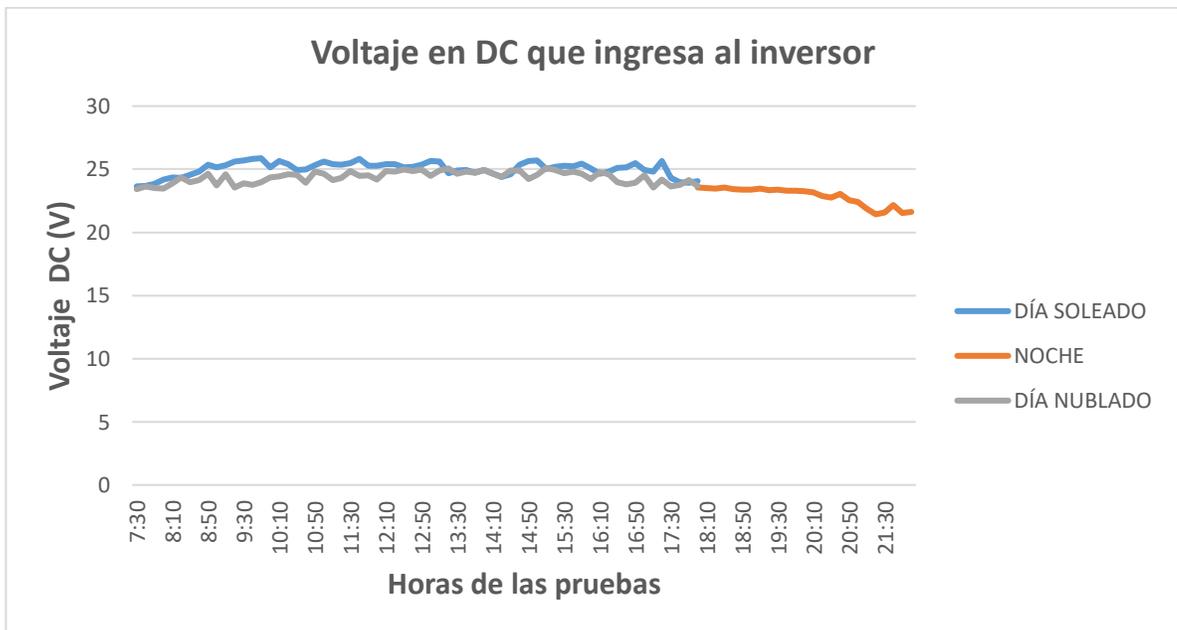


Figura 37. Comparación del voltaje en CD.

En la figura 37 se puede observar que en la noche ingresa menor cantidad de voltaje en CD al inversor, mientras que en el día soleado tiene un ingreso mayor de voltaje por lo que se almacena más energía y se puede cargar mejor las baterías.

En la figura 38 se muestra la comparación del voltaje de corriente alterna que sale para el consumo en el día soleado, día nublado y en la noche.

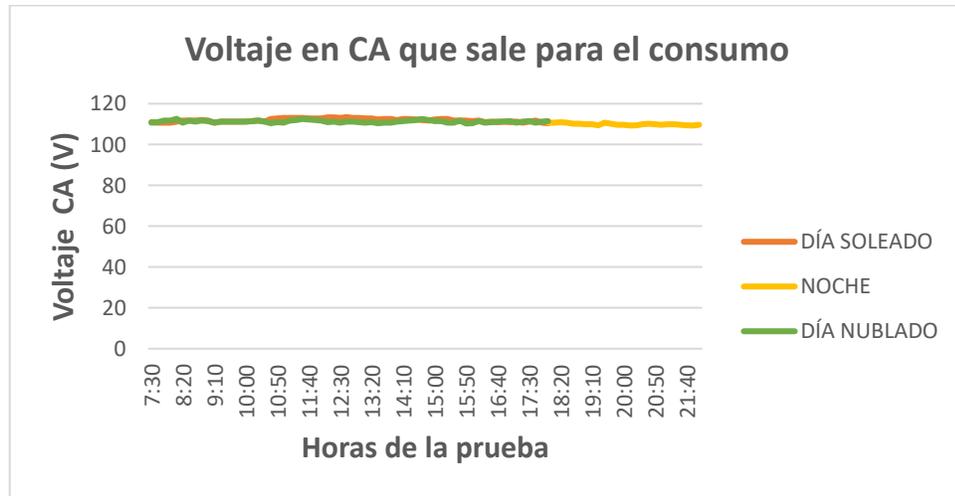


Figura 38. Comparación de voltaje de CA.

En la figura 38 se puede observar que en la noche existe menor cantidad de consumo de voltaje en CA debido a que los docentes ya se retiran de su jornada laboral, mientras que en el día soleado y nublado tiene un mayor consumo de voltaje.

3.5.4 Prueba de consumo de energía en la noche

Para medir el porcentaje de descarga del banco de baterías. El valor registrado fue del 40% como se muestra en la figura 39. Al día siguiente la batería alcanzo nuevamente el 100% de carga has las 14h00.

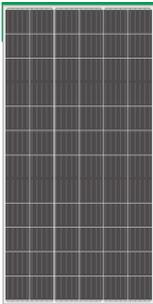


Figura 39. Porcentaje de la descarga de la batería.

3.6 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

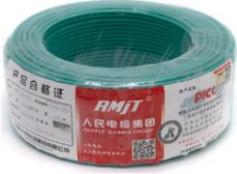
En las tablas 19, 20 y 21 se detallan y describe los materiales y equipos que se utilizó en la implementación del sistema fotovoltaico.

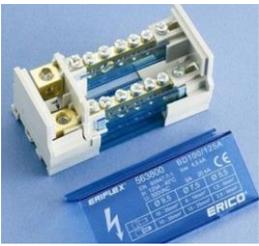
Tabla 19. Equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica.

N°	Denominación	Cantidad	Descripción	Imagen	Costo (C/U)
1	Paneles solares fotovoltaicos	2	Panel solar fotovoltaico 400 W _p /24VDC		\$220,00
2	Baterías de Plomo-Ácido	2	Batería de gel Ciclo Profundo 12V/150 Ah		\$370,00
3	Regulador de carga	1	Regulador solar 30 A PWM		\$250,00
4	Inversor fotovoltaico	1	Inversor fotovoltaico 1500W/24VDC/1 20VAC		\$320,00

En la tabla 20 se describe los materiales que se ocupó para la conexión eléctrica en el sistema fotovoltaico.

Tabla 20. Materiales utilizados para la conexión eléctrica.

N°	Denominación	Cantidad	Descripción	Imagen	Costo (C/U)
1	Cable eléctrico	16 m	Cable flexible gemelo calibre n° 8		\$ 5,16
2	Cable eléctrico	2 m	Cable flexible gemelo calibre n° 10		\$10,40
3	Cable eléctrico	50 m	Cable solido Calibre n° 12		\$75,00
4	Conectores MC4	2	Voltaje de funcionamiento entre 600V a 1000V con una corriente nominal de 30A.		\$ 8,00

5	Breaker	2	Voltaje máximo de 500VDC. Corriente máxima 32A.		\$20,00
6	Terminal de compresión	6	Terminal de compresión para cables de calibre n° 8		\$4,00
7	Repartidor de corriente	1	Repartidor de corriente 100A.		\$30,00
8	Gabinete eléctrico	1	Gabinete eléctrico de 60x40x20 cm		\$120,00

En la tabla 21 se describen los materiales y equipos adicionales que se utilizó en la instalación fotovoltaica.

Tabla 21. Materiales y equipos adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica.

N°	Denominación	Cantidad	Descripción	Imagen	Costo (C/U)
1	Tornillos	16	-		\$3,50
2	Estructura metálica	2	Soporte de paneles solares	-	\$75,00
3	Estructura metálica	1	Soporte para baterías		\$40,00

3.7 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

A continuación, se describe el presupuesto que se requirió para la implementación del sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la Unidad Educativa Huachi Grande como se muestra en la tabla 22.

3.7.1 Costos de los equipos del sistema fotovoltaico

Tabla 22. Costo de los equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica.

Equipos del Sistema fotovoltaico				
N°	Cantidad	Descripción	Costo (C/U)	Costo total
1	2	Panel solar fotovoltaico 400 Wp/24VDC	\$220,00	\$440,00
2	2	Batería de gel Ciclo Profundo 12V/150 Ah	\$370,00	\$740,00

3	1	Regulador solar 30 A PWM	\$250,00	\$250,00
4	1	Inversor fotovoltaico 1500W/24VDC/120VAC	\$320,00	\$320,00
Total				\$1740,00

3.7.2 Costo de los materiales de la instalación eléctrica

Tabla 23. Costo de los materiales utilizados para la conexión eléctrica.

Materiales de la instalación eléctrica				
N°	Cantidad	Descripción	Costo (C/U)	Costo total
1	16 m	Cable flexible gemelo calibre n° 8	\$ 5,16	\$82,52
2	2 m	Cable flexible gemelo calibre n° 10	\$10,4	\$20,8
3	50 m	Cable solido Calibre n° 12	\$1,50	\$75,00
4	2	Conectores MC4 Voltaje de funcionamiento entre 600V a 1000V con una corriente nominal de 30A.	\$ 8,00	\$16,00
5	2	Breaker con un voltaje máximo de 500VDC. Corriente máxima 32A.	\$20,00	\$40,00
6	6	Terminal de compresión para cables de calibre n° 8	\$4,00	\$24,00
7	1	Repartidor de corriente 100A.	\$30,00	\$30,00

8	1	Gabinete eléctrico de 60x40x20 cm	\$120,00	\$120,00
Total				\$408,32

3.7.3 Costo de los materiales adicionales para la instalación fotovoltaica.

Tabla 24. Costo de los materiales adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica.

Materiales adicionales				
N°	Cantidad	Descripción	Costo (C/U)	Costo total
1	15	Pernos 3/16"	\$2,10	\$2,10
2	2	Estructura metálica (soporte de paneles solares)	\$75,00	\$150,00
3	1	Estructura metálica (soporte para baterías)	\$40,00	\$40,00
Total				\$192,1

3.7.4 Costo de mano de obra para la instalación fotovoltaica.

Tabla 25. Costo de mano de obra.

Mano de obra y gestión				
N°	Cantidad	Descripción	Costo (C/U)	Costo total
3	1	Mano de obra de la instalación fotovoltaica	\$900,00	\$900,00
Total				\$900,00

3.7.5 Costo de inversión total para el proyecto de implementación.

Tabla 26. Costo total de inversión para la implementación del sistema fotovoltaico.

Costo de inversión Total		
N°	Descripción	Costo total
1	Costo de los equipos y materiales utilizados en la instalación fotovoltaica.	\$1740,00
2	Costo de los materiales utilizados para la conexión eléctrica	\$408,32
3	Costo de los materiales adicionales utilizados en la instalación fotovoltaica	\$192,1
4	Costo de mano de obra	\$900,00
	TOTAL	\$3240,42

3.7.6 Costo generado por el sistema fotovoltaico (kWh)

Como se muestra en la tabla 8 el costo total de inversión es de \$3240,42. Tomando en cuenta que este valor está asegurado con el suministro del recurso energético durante 15 años de vida útil que es lo que se ha considerado para el sistema fotovoltaico el mismo que esta dimensionado para generar 1,560 kWh por día; se procede al cálculo del costo de kWh que se obtiene del sistema fotovoltaico.

$$\text{Costo generado} = \frac{\$3240,42}{15 \text{ años}} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{1,560 \text{ kWh}}$$

$$\text{Costo generado} = \$0,379$$

En el sistema fotovoltaico instalado el costo por kWh generado es de \$0,379

3.8 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EN LA UNIDAD EDUCATIVA HUACHI GRANDE.

Según la Norma de la Construcción Ecuatoriana NEC, Capítulo 14 en el ítem de Operación, Mantenimiento y Evolución nos dice que: “cuando el sistema fotovoltaico ya

se encuentre en funcionamiento la forma más eficiente de asegurar la confiabilidad del abastecimiento energético y mantener la vida útil de los componentes instalados, es realizando visitas periódicas donde se aplique un mantenimiento preventivo. Es muy importante establecer protocolos apropiados de mantenimiento preventivo con el fin de organizar estas tareas asegurando así la calidad de los componentes instalados” [27].

El mantenimiento preventivo corresponde a todos los componentes del sistema fotovoltaico estos son: paneles, baterías, controlador de carga, inversor y cableado.

3.8.1 Mantenimiento de componentes del sistema fotovoltaico

Existen tres tipos de mantenimiento estos se clasifican en preventivo, correctivo y predictivo. En una instalación fotovoltaica el más aplicable es el mantenimiento preventivo.

3.8.1.1 *Mantenimiento preventivo*

El mantenimiento preventivo evita o modera las consecuencias de falla de los componentes instalados aumentando así su disponibilidad, esta función ayuda ahorrar gastos permitiendo así aumentar la vida útil del sistema fotovoltaico [28].

3.8.2 Mantenimiento de los paneles fotovoltaicos

A continuación, se describen las actividades de mantenimiento que usualmente se realizan en los paneles solares.

3.8.2.1 *Limpieza*

Los paneles fotovoltaicos en su mayoría de veces acumulan suciedad como partículas de polvo, excrementos de animales, hojas o ramas de árboles, entre otros. Esto impide que los módulos reciban la radiación solar de forma directa reduciendo su producción hasta un 50% o al mismo tiempo podrían producirse puntos calientes esto debido a que los rayos solares absorbidas por el polvo tiende a convertirse en calor, esto lleva a un incremento de temperatura en los paneles reduciendo la eficiencia del mismo [29]. Es muy importante realizar la limpieza de los módulos fotovoltaicos cada tres meses en el caso que exista excremento, al no ser este el caso es aconsejable limpiar cada 6 meses.

Cuando se limpien los módulos fotovoltaicos es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Observar si existe una fuente de agua o grifo cerca al no ser este el caso se deberá traerla desde una fuente externa mediante una manguera o tanque.
- El uso de agua destilada para esta actividad está prohibido.
- Utilice agua de cal, no alcalina.
- Asegurarse que el agua que se utilice no contenga demasiadas sales o componentes que dejen huellas sobre el cristal de los módulos fotovoltaicos.
- En general, es recomendable la utilización de abundante agua siempre y cuando este no contenga detergentes ni disolventes, y un producto de limpieza con cerdas suaves, tal es el caso de una esponja, trapo o algodón. El agua desionizada es mejor para evitar manchas. Para que la superficie no quede rayada tener cuidado de no cepillar ni limpiar con herramientas duras o metálicas como una espátula. Esto es especialmente importante si la superficie del vidrio del módulo posee un revestimiento antirreflejante.
- Para la limpieza de los módulos no utilizar agua a presión, la presión recomendada es de 50 a 70 libras por pulgada cuadrada o psi [30].

3.8.3 Mantenimiento de las baterías

Para el almacenamiento de energía de este sistema se instalaron baterías de ciclo profundo Gel ya que estas no emiten gases y no requieren de gran mantenimiento ni de revisiones periódicas. Estas baterías están consideradas dentro del mercado como gama media-alta.

Si bien estas baterías no requieren de mantenimiento, hay que tener en cuenta las siguientes condiciones para que no sufran averías y su vida útil sea de larga duración:

- No deben ser colocadas en lugares donde la temperatura se encuentre a menos de 40°C o superior.
- Evitar que se encuentre instaladas en lugares donde el sol o la lluvia den directamente a las baterías.
- Evitar que tenga contacto con niebla o hielo.
- Colocarlas en lugares donde no exista gases corrosivos.

- No deben estar sometidas a gran humedad o lugares polvorientos.
- Colocarlas en un lugar seguro donde no exista vibraciones o corran riesgo de impacto.

El mejor lugar para instalas las baterías es en un lugar con ambiente fresco, seco, limpio y ventilado; protegido de todo aquello que dañe su vida útil [31].

3.8.3.1 Medidas de seguridad

Tener en cuenta siempre las siguientes medidas de seguridad para evitar cualquier accidente:

- El electrolito de las baterías es corrosivo, utilizar siempre guantes de goma para su manipulación.
- Utilizar el equipo de protección adecuado, siempre es necesario la utilización de gafas.
- Cuando se realice el mantenimiento evitar fumar, encender cualquier tipo de fuego y esencialmente no usar herramientas que produzcas chispas.
- El área en donde las baterías se encuentren instaladas, deben estar siempre bien ventiladas [32].

3.8.4 Mantenimiento del controlador

El controlador es un componente que no tiene partes móviles, esto ocasiona que se dé un mantenimiento mínimo y nada tardado. Al estar dentro de un gabinete eléctrico su protección es más eficiente ya que solo podría entrar en contacto con partículas de polvo. Es recomendable dar un mantenimiento de limpieza cada año.

3.8.4.1 Limpieza

Para realizar la limpieza del controlador de carga es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones:

- El controlador no debe entrar en contacto directo con el agua.
- La limpieza del polvo se debe realizar únicamente con una tela o trapo que no ocasionen ningún daño en el componente.

- Este componente está diseñado únicamente para instalaciones en interiores, el controlador no debe exponerse a nieve, al sol, a la lluvia o cualquier otro líquido.

3.8.4.2 Medias de seguridad

Tener en cuenta siempre las siguientes medidas de seguridad para evitar cualquier accidente:

- Para realizar mantenimiento, no llevar artefactos como anillos o pulseras metálicas. Esto reduce el riesgo de un contacto accidental con circuitos bajo tensión.
- En el caso de ser necesario, utilizar herramientas aisladas para evitar riesgos de cortocircuito.
- Las conexiones eléctricas se realizan siempre con los códigos eléctricos locales, nacionales e internacionales.
- Utilizar siempre el equipo de protección personal [32].

3.8.5 Mantenimiento del inversor

Los inversores son dispositivos electrónicos que están diseñados para funcionar mediante el recubrimiento de una carcasa, en donde se encuentren protegidos de la intemperie y la lluvia. En la actualidad muchos de estos dispositivos cuentan con la protección necesaria que les permite trabajar en exteriores, tienen que ser instalados en lugares donde no les de la luz solar directamente esto para evitar las altas temperaturas que puedan afectar negativamente a su rendimiento [30].

La actividad de mantenimiento para los inversores se realiza anualmente para verificar que su lugar de instalación se mantenga limpia, seca, bien ventilada y que los insectos estén fuera del alcance de este componente.

3.8.5.1 Limpieza

Cuando se limpie el inversor es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Inspección visual de la carcasa, en caso que exista partículas de polvo, limpiar con una tela o trapo seco.
- Evitar que entre en contacto directo con el agua.
- Inspección visual del interior esto para comprobar que no exista quemaduras del circuito de CA Y CC.
- Verificación del sistema de ventilación [29].

3.8.5.2 Medias de seguridad

Tener en cuenta siempre las siguientes medidas de seguridad para evitar cualquier accidente:

- Utilizar siempre los equipos de protección, el uso de guantes siempre es indispensable.
- Para realizar mantenimiento, no llevar artefactos como anillos o pulseras metálicas. Esto reduce el riesgo de un contacto accidental con circuitos bajo tensión.
- En el caso de ser necesario, utilizar herramientas aisladas para evitar riesgos de cortocircuito.

3.8.6 Mantenimiento del cableado y conexión

El cableado realizado, de acuerdo con las normas vigentes minimiza el riesgo de mal funcionamiento. Sin embargo, es importante inspeccionar periódicamente los cables expuestos a la intemperie en busca de daños en el aislamiento; esto puede ser ocasionado por roedores, daños por rayos ultravioletas o grietas en el recubrimiento. Por otro lado, la conexión de los conectores al cable siempre debe realizarse con una herramienta adecuada y siempre tomando en cuenta las instrucciones del fabricante. Si es posible, las conexiones defectuosas pueden identificarse mediante un análisis termográfico [30].

3.8.7 Riesgos en la instalación de un sistema fotovoltaico.

Al instalar un sistema fotovoltaico, hay varios riesgos que deben ser considerados para garantizar la seguridad de las personas involucradas en la instalación, así como para

asegurar el funcionamiento correcto y eficiente del sistema. Algunos de los riesgos más comunes incluyen:

Riesgos eléctricos: Los paneles solares generan electricidad cuando están expuestos a la luz solar. Manipular cables y conexiones eléctricas mal hechas puede llevar a descargas eléctricas graves. Es importante seguir las normativas eléctricas y utilizar equipos de protección adecuados.

Riesgos en alturas: La instalación de paneles solares a menudo implica trabajar en alturas, como en los techos. Esto aumenta el riesgo de caídas. Utilizar equipos de seguridad, como arneses y barandillas, es esencial para prevenir accidentes.

Riesgos estructurales: Los paneles solares agregan peso a la estructura donde se instalan. Es importante asegurarse de que la estructura del edificio o la superficie donde se instalarán los paneles pueda soportar el peso adicional y las cargas de viento y nieve.

Riesgos de incendio: Aunque los paneles solares en sí mismos no son inflamables, hay un riesgo potencial de incendio si se manipulan de manera incorrecta o si las conexiones eléctricas no se hacen adecuadamente. El uso de cables adecuados y la instalación siguiendo las normas de seguridad son cruciales.

Riesgos de exposición: Durante la instalación, los trabajadores pueden estar expuestos a condiciones climáticas adversas, como altas temperaturas o radiación solar excesiva. Es importante mantenerse hidratado y utilizar ropa protectora y protector solar.

Riesgos químicos: Algunos selladores y adhesivos utilizados en la instalación pueden emitir vapores tóxicos. Es importante trabajar en áreas bien ventiladas y utilizar equipos de protección personal cuando sea necesario.

Riesgos de daño a la propiedad: Durante la instalación, existe el riesgo de dañar la propiedad, como los techos, las paredes u otras superficies donde se están instalando los paneles.

Riesgos de instalación incorrecta: Una instalación incorrecta puede afectar la eficiencia del sistema y su funcionamiento a largo plazo. Esto podría llevar a pérdidas económicas y problemas de seguridad.

Para minimizar estos riesgos, es fundamental contar con personal capacitado y certificado para la instalación de sistemas fotovoltaicos. Además, seguir las normativas y regulaciones locales, utilizar equipos de seguridad adecuados y garantizar una instalación de alta calidad son pasos esenciales para mitigar los riesgos asociados con la instalación de sistemas fotovoltaicos [29].

3.8.8 Advertencias para la instalación un sistema fotovoltaico

La instalación de un sistema fotovoltaico requiere cuidado y atención para garantizar su seguridad y funcionamiento adecuado. Aquí tienes algunas advertencias importantes que debes tener en cuenta durante la instalación:

Electricidad Peligrosa: Los paneles solares generan electricidad cuando están expuestos a la luz solar. Trabajar con cables y conexiones eléctricas puede ser peligroso. Asegúrate de desconectar el sistema antes de cualquier trabajo eléctrico y utiliza equipos de protección personal, como guantes aislantes y gafas de seguridad.

Alturas Peligrosas: La instalación en techos o estructuras elevadas puede ser riesgosa. Utiliza equipos de seguridad, como arneses y líneas de vida, para prevenir caídas y asegúrate de que todos los trabajadores estén capacitados en técnicas de trabajo seguro en alturas.

Estructuras Débiles: Antes de instalar los paneles, asegúrate de que la estructura del techo o la superficie pueda soportar el peso de los paneles y las cargas adicionales, como viento y nieve. La instalación en estructuras débiles podría causar daños graves.

Condiciones Climáticas: Trabajar en condiciones climáticas extremas, como calor intenso o frío extremo, puede tener efectos adversos en la salud de los trabajadores. Mantén a los trabajadores hidratados y protegidos contra la exposición excesiva al sol o al frío.

Conexiones Eléctricas Correctas: Las conexiones eléctricas incorrectas pueden causar fallos en el sistema y representar un riesgo de incendio. Asegúrate de que todas las conexiones estén hechas correctamente según las especificaciones del fabricante y las normativas locales.

Radiación Solar: Durante la instalación, los paneles aún pueden estar generando electricidad. Evita bloquear los paneles con sombras y ten cuidado con la radiación solar directa, ya que puede causar quemaduras.

Productos Químicos: Algunos selladores y adhesivos utilizados durante la instalación pueden ser tóxicos o inflamables. Utiliza estos productos en áreas bien ventiladas y sigue las indicaciones del fabricante para un uso seguro.

Protección Contra Incendios: Asegúrate de contar con extintores adecuados y cercanos en caso de un incendio. Mantén limpio el área de instalación de materiales inflamables.

Normativas y Regulaciones: Asegúrate de cumplir con todas las normativas y regulaciones locales y nacionales relacionadas con la instalación de sistemas fotovoltaicos. Esto garantiza la seguridad y la legalidad de tu instalación.

Capacitación y Conocimiento: Todos los trabajadores involucrados en la instalación deben estar adecuadamente capacitados en seguridad y en el manejo de equipos. La falta de conocimiento puede aumentar los riesgos [32].

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para el diseño del sistema fotovoltaico los datos recolectados son de 15 luminarias con un consumo energético de 1560 Wh/Día, los factores para la selección de los equipos más esenciales son: el mantenimiento, el costo, la vida útil, su función principal, entre otros.
- Dentro del diseño se puede determinar que para los 1560 Wh/Día se requiere dos paneles solares con una sección de 1,984 m² y que circula 10A, dos baterías de 12V con una capacidad de 150 Ah, un controlador PWM de 24V por el cual circula 30A y un inversor de 1500 W de potencia.
- En la instalación del sistema es necesario tener en cuenta la inclinación de 15° y orientación de los paneles fotovoltaicos para que los módulos capten la radiación solar y exista menos pérdidas de energía. Los paneles solares son de 400W de potencia que generan 24 V por lo que todo el sistema debe tener la misma tensión para reducir la corriente y evitar pérdidas por circulación y por calor.
- En las pruebas de funcionamiento al dejar encendida las luminarias toda la noche la batería llegó a una descarga del 60%, por lo que la autonomía de cada batería es de un día, corroborando la especificación del fabricante.

4.2 RECOMENDACIONES

- No debe existir gran distancia de cableado entre los paneles solares y el gabinete eléctrico para que no exista mucha pérdida de energía.
- El banco de baterías se debe instalar en un lugar ventilado y cubierto de los rayos solares y la lluvia.
- En los sistemas fotovoltaicos independientes es necesario instalar un regulador de carga para garantizar el control del estado de carga de las baterías y alargar su vida útil.
- Al existir un excedente de energía se podría utilizarse posteriormente para ampliar el consumo (Carga de computadoras, más luminarias, entre otros).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Guasch Murillo, «Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos», Ph.D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2003.
- [2] R. A. H. Isaza, «CARLOS ANDRES TORRES», n.º 44, pp. 31-33.
- [3] E. Fernandez Grau, «Sistema de gestió de l'autonomia de les bateries destinades a e-bikes», 2022.
- [4] C. S. JULIÁN, *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2016.
- [5] F. J. S. Alejo, «DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA», p. 90.
- [6] J. E. N. Jerez, M. Alfaro, I. Alfaro, y R. Guerra, «Determinación de la eficiencia de un mini panel solar fotovoltaico: Una experiencia de laboratorio en energías renovables», *Educación Química*, vol. 31, n.º 2, Art. n.º 2, abr. 2020, doi: 10.22201/fq.18708404e.2020.2.70300.
- [7] S. Bowden, «Corriente de Cortocircuito | PVEducation». <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/corriente-de-cortocircuito> (accedido 30 de junio de 2023).
- [8] L. Ramirez, «Componentes instalacion solar FV», Accedido: 19 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/8568755/Componentes_instalacion_solar_FV
- [9] *Control digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar*. Universidad de las Américas Puebla, 2006.
- [10] Seslab, «Ciclo de carga y descarga», 2009. http://seslab.org/fotovoltaico/2441_ciclo_de_carga_y_descarga.html (accedido 27 de abril de 2023).
- [11] A. U. O. Edison, «DECLARACIÓN DE AUTORÍA», pp. 42-44.
- [12] J. Guembe Zabaleta, «Cálculo del estado de carga de baterías: diseño y validación experimental», 2016.

- [13] B. Crown, «¿QUÉ ES UNA BATERÍA DE CICLO PROFUNDO?», 2019. <https://www.crownbattery.com/es/blog/what-is-a-deep-cycle-battery> (accedido 30 de junio de 2023).
- [14] S. Artesa, «¿Cómo conecto mis baterías: en paralelo o en serie? - Atersa Shop». <https://atersa.shop/como-conecto-mis-baterias-en-paralelo-o-en-serie/> (accedido 30 de junio de 2023).
- [15] C. P. Henríquez Prevoo, «Regulador de panel solar - batería - carga con microcontrolador PIC», *Universidad de Piura*, sep. 2012.
- [16] P. Cumbre, «CONTROLADOR DE CARGA» Qué es, Tipos, Parámetros - Cumbre Pueblos», 11 de junio de 2019. <https://cumbrepuebloscop20.org/energias/solar/controlador-carga/> (accedido 20 de abril de 2023).
- [17] D. Hoyos, M. Villena, V. H. Serrano, F. Farfán, C. Cadena, y T. Moya, «Controlador de carga para un sistema fotovoltaico aislado», p. 5, 2011.
- [18] «Manual FUM-PVC2408 Controlador de Carga Fotovoltaico». Accedido: 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.fullwat.com/documentos/005322-LNK05046.pdf>
- [19] «Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed.pdf». Accedido: 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/07/Ing.-Victor-Gonzales-Zamora_compressed.pdf
- [20] Ignacio, «¿Que es un sistema solar OFF GRID?», *Solartik Energía Solar Renovable*, 15 de mayo de 2020. <https://solartik.ar/que-es-un-sistema-solar-off-grid/> (accedido 20 de abril de 2023).
- [21] «Módulo-4-Inversores-reguladores-baterías.pdf». Accedido: 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/12/M%C3%B3dulo-4-Inversores-reguladores-bater%C3%ADas.pdf>
- [22] C. O. , Roberto Arivilca, «Energía Solar Fotovoltaica», *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/351490832/Energia-Solar-Fotovoltaica-Carlos-Orbegozo-Roberto-Arivilca> (accedido 19 de julio de 2023).
- [23] A. Diaz. *Ley de Ohms, Grados IP, AWG de cables, Medidas, Din, Peso - Fácil Electro Componentes, Electrónica, Tecnología Electrónica*, (21 de mayo de 2018). Accedido: 5 de mayo de 2023. [En línea Video]. Disponible en: <https://www.facilelectro.es/grados-ip-awg-de-cables-medidas-din-peso/>

- [24] J. A. Alonso, «Cálculo sección de cable para paneles solares», *SunFields Distribuidor: paneles solares y equipos fotovoltaicos*, 7 de octubre de 2019. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-seccion-de-cable-para-paneles-solares/> (accedido 11 de mayo de 2023).
- [25] «Calculadora PVWatts». <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php> (accedido 30 de junio de 2023).
- [26] S. Mera, «El tiempo en Ambato en 2022 (Ecuador) - Weather Spark», 2022. <https://es.weatherspark.com/h/y/20027/2022/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2022-en-Ambato-Ecuador> (accedido 30 de junio de 2023).
- [27] «NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN 2011 – Inmobiliaria DJA CAP. 14», 2011. <https://inmobiliariadja.wordpress.com/nec-2011/> (accedido 19 de julio de 2023).
- [28] «M. Pereira. Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos». Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_operacionmantenimiento_final.pdf
- [29] M. J. M. Ayora, «Mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas: Legislación y técnicas».
- [30] R. Sancha, «Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos», *4e Chile*, 1 de noviembre de 2018. <https://4echile.cl/publicaciones/guia-de-om-fotovoltaico/> (accedido 19 de julio de 2023).
- [31] E. Cordoni, «Bateria Gel | PDF | Fotovoltaica | Batería recargable», *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/641706029/Bateria-Gel> (accedido 30 de junio de 2023).
- [32] «E. Ávalos. Sistema Fotovoltaico». Accedido: 30 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/825/2/Eduardo%20%C3%A1valos%20de%20le%C3%B3n%20MER.pdf>

Anexos

Anexo 1: Ficha técnica de los paneles solares.

EOS MONO by Eco Green Energy

EGE-380/400W-72M

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	380 W	385 W	390 W	395 W	400 W
Power tolerance	0~+5 W				
Module efficiency	19.15 %	19.41 %	19.66 %	19.91 %	20.16%
Maximum power voltage (Vmp)	39.50 V	39.65 V	39.76 V	39.86 V	39.92 V
Maximum power current (Imp)	9.62 A	9.71 A	9.81 A	9.91 A	10.02 A
Open circuit voltage (Voc)	48.20 V	48.25 V	48.37 V	48.48 V	48.6 V
Short circuit current (Isc)	9.99 A	10.08 A	10.18 A	10.28 A	10.4 A

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

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	283.34 W	287.07 W	290.79 W	294.52 W	298.25 W
Maximum power voltage (Vmp)	37.03 V	37.17 V	37.27 V	37.37 V	37.42 V
Maximum power current (Imp)	7.64 A	7.71 A	7.79 A	7.87 A	7.96 A
Open circuit voltage (Voc)	44.70 V	44.74 V	44.86 V	44.96 V	45.07 V
Short circuit current (Isc)	8.12 A	8.19 A	8.28 A	8.36 A	8.45 A

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

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (158.75x158.75 mm)
Number of cells	72
Dimensions	1980x1002x40mm
Weight	22.9 kg
Glass	3.2 mm tempered glass, High transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4mm ² , 900mm (+) 900mm (-); Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

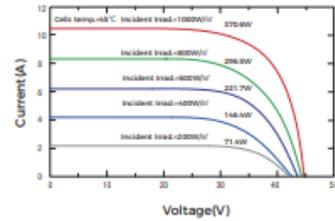
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1500V/DC(IEC) 1500V/DC(UL)
Max series fuse rating	25 A

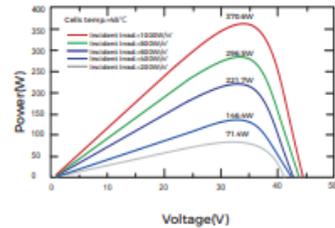
PACKAGING (1980x1002x40mm)

Type	Pcs	Weight
Per pallet	27 pcs	663 kg
40ft HQ Container	696 pcs	17.1 t

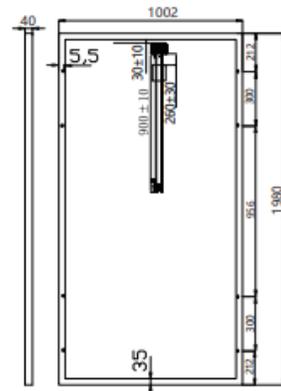
PV MODULE : EGE-400W-72M



PV MODULE : EGE-400W-72M



Dimension of PV Module (mm)



Anexo 2: Ficha técnica de la batería.

High-Temp Long Life GEL Deep Cycle Battery

HTB12-150

HTB series uses the newly developed nano gel electrolyte with super-C additive plus heavy duty plates design inside. The HTB series has a long service life and can provide optimum and reliable service under extreme condition such as high temperature and frequent power failure, This series is highly suited for tropical area in outdoor applications such as Telecom BTS stations and Off-grid PV system.

12V
150Ah

GEL
Technology

Deep
Cycle



Applications

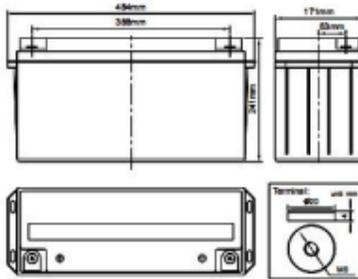
- BTS Stations
- Solar & Wind energy system
- UPS system
- Telecom systems
- Wheel chair, Golf Car

General Features

- ✓ Able to operate at 40-60°C
- ✓ DOD 50% 1500 times Cycles
- ✓ Complied Standards IEC60896-21/22, IEC61427, BS6290 part 4, GB/T 19638
- ✓ Long life and high stability under high temp. environment (no air-con needed)
- ✓ Use super-C additives: Deep discharge recovery capability

Dimensions & Weight

Length(mm)	484±1
Width(mm)	171±1
Height(mm)	241±1
Total Height(mm)	241±1
Weight(kg)	45.7±3%



Technical Specifications

Nominal Voltage		12V (6 cells per unit)
Design Floating Life @25°C		20 Years
Nominal Capacity @25°C (20 hour rate@7.5A,10.8V)		150Ah
Capacity @25°C	10hour rate (13.5A,10.8V)	135Ah
	5 hour rate (23.9A,10.5V)	119.5Ah
	1 hour rate (86.6A,9.6V)	86.6Ah
Internal Resistance	Full Charged Battery@25°C	≤4.0mΩ
Ambient Temperature	Discharge	-25°C~60°C
	Charge	-25°C~60°C
	Storage	-25°C~60°C
Max.Discharge Current@25°C		800A(5s)
Capacity affected by Temperature (10 hour)	40°C	108%
	25°C	100%
	0°C	90%
	-15°C	70%
Self-Discharge@25°C per Month		3%
Charge (Constant Voltage) @25°C	Standby Use	Initial Charging Current Less than 33.75A Voltage 13.6-13.8V
	Cycle Use	Initial Charging Current Less than 33.75A Voltage 14.4-14.9V



Battery Discharge Table

Discharge Constant Current per Cell (Amperes at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	234.3	139.4	99.0	86.6	52.9	37.1	25.2	16.7	14.9	8.10	1.80
1.65V	230.0	136.9	97.2	85.1	51.9	36.5	24.8	16.4	14.6	7.95	1.76
1.70V	225.8	134.4	95.4	83.5	51.0	35.8	24.3	16.1	14.3	7.80	1.73
1.75V	221.5	131.8	93.6	81.9	50.0	35.1	23.9	15.8	14.0	7.65	1.70
1.80V	213.0	126.8	90.0	78.8	48.1	33.8	23.0	15.2	13.5	7.50	1.67

Discharge Constant Power per Cell (Watts at 25°C)

F.V/Time	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h	100h
1.60V	451.0	268.4	190.6	166.8	101.8	71.5	48.6	32.1	28.6	15.6	3.46
1.65V	442.8	263.5	187.1	163.7	99.9	70.2	47.7	31.5	28.1	15.3	3.40
1.70V	434.6	258.6	183.6	160.7	98.1	68.9	46.8	30.9	27.5	15.0	3.33
1.75V	426.4	253.8	180.2	157.7	96.2	67.6	45.9	30.3	27.0	14.7	3.27
1.80V	410.0	244.0	173.3	151.6	92.5	65.0	44.2	29.2	26.0	14.4	3.21

Anexo 3: Procedimiento para la obtención del valor de la radiación solar en Ambato-Huachi Grande.

En la siguiente página <https://nsrdb.nrel.gov/> de la NREL: Laboratorio Nacional de la Energía Renovable, se obtiene los datos de la radiación solar.



Dentro de esta pagina buscar “Calculadora de vatios fotovoltaicos”

A screenshot of the "Datos y Aplicaciones" section of the NSRDB website. The title "Datos y Aplicaciones" is at the top. Below it, a paragraph states: "Los datos de NSRDB están disponibles públicamente sin costo alguno. Se puede acceder a los datos a través de la aplicación NSRDB Viewer. Además, los datos de NSRDB son compatibles con muchos modelos económicos y de rendimiento del sistema, incluidos los siguientes productos creados por NREL." Below this are three cards. The first card, "Modelo de asesor del sistema", features a green gear icon and describes the System Advisor Model (SAM). The second card, "Visor de NSRDB", features a blue globe icon and describes the NSRDB Viewer application. The third card, "Calculadora de vatios fotovoltaicos", features an orange network icon and is highlighted with a red border. It describes a tool for estimating energy production and cost of photovoltaic systems connected to the grid. The text on this card includes "Estima la producción de energía y el costo de la energía de los sistemas de energía fotovoltaica (PV) conectados a la red en todo el mundo." and "NREL PVWatts".

Colocar la ciudad de la cual se quiere obtener los datos de la radiación solar.



Anexos 4: Valor de la sección transversal del cable utilizando la tabla del Sistema Estadounidense Estandarizado AWG, para su selección.

AWG↕	Diametros (Pulgadas)	Diametros (mm)	Area (mm2)	Resistencia (Ohms/1000 ft)	Resistencia (Ohms / km)	Corriente máxima (Amperes)	Frecuencia máxima
0	0.46	11,684	107	49	16,072	302	125 Hz
0	4,096	1,040,384	85	618	202,704	239	160 Hz
0	3,648	926,592	67.4	779	255,512	190	200 Hz
0	3,249	825,246	53.5	983	322,424	150	250 Hz
1	2,893	734,822	42.4	1,239	406,392	119	325 Hz
2	2,576	654,304	33.6	1,563	512,664	94	410 Hz
3	2,294	582,676	42942	197	64,616	75	500 Hz
4	2,043	518,922	42787	2,485	81,508	60	650 Hz
5	1,819	462,026	42963	3,133	1,027,624	47	810 Hz
6	162	4.1148	42807	3,951	1,295,928	37	1100 Hz
7	1,443	366,522	42865	4,982	1,634,096	30	1300 Hz
8	1,285	269975	8.37	6,282	2,060,496	24	1650 Hz
9	1,144	290,576	6.63	7,921	2,598,088	19	2050 Hz
10	1,019	258,826	5.26	9,989	3,276,392	15	2600 Hz
11	907	230,378	4.17	1.26	4.1328	12	3200 Hz
12	808	205,232	3.31	1,588	520,864	42803	4150 Hz
13	72	2333171	2.62	2,003	656,984	42832	5300 Hz
14	641	162,814	42949	2,525	8,282	42983	6700 Hz
15	571	145,034	1.65	3,184	1,044,352	42920	8250 Hz
16	508	129,032	1.31	4,016	1,317,248	42919	11k Hz
17	453	115,062	42826	5,064	1,660,992	42980	13k Hz
18	403	102,362	823	6,385	209,428	42796	17k Hz
19	359	91,186	653	8,051	2,640,728	42948	21k Hz
20	32	8,128	518	10.15	33,292	42856	27k Hz
21	285	7,239	0.41	42959	41,984	42767	33k Hz
22	254	64,516	326	16.14	529,392	0.92	42k Hz

Anexo 5: Valores obtenidos de intensidad de corriente y tensión a la entrada y salida del inversor de carga en un día soleado.

Sistema Fotovoltaico			
Horas del día	Voltaje CC (V)	Voltaje CA (V)	Amperaje (A)
7:30	23,64	110,9	7,4
7:40	23,69	110,6	7,5
7:50	23,84	110,6	7,6
8:00	24,18	110,8	7,8
8:10	24,36	111,3	7,9
8:20	24,31	111,6	7,4
8:30	24,56	111,7	7,8
8:40	24,82	111,7	7,9
8:50	25,34	111,9	7,6
9:00	25,16	111,6	7,5
9:10	25,31	110,8	7,7
9:20	25,61	111,2	7,7
9:30	25,69	111,3	7,6
9:40	25,83	111,2	7,9
9:50	25,87	111,1	8,1
10:00	25,16	111,3	8,0
10:10	25,64	111,4	8,2
10:20	25,39	111,8	8,1
10:30	24,92	111,3	7,7
10:40	24,98	112,6	7,6
10:50	25,32	112,8	7,8
11:00	25,61	112,9	7,7
11:10	25,39	113,1	7,9
11:20	25,37	113,0	8,5
11:30	25,49	112,9	8,2
11:40	25,83	112,7	8,3
11:50	25,26	112,8	8,2
12:00	25,27	112,8	8,4
12:10	25,41	113,2	8,5
12:20	25,39	113,2	8,0
12:30	25,16	113,1	8,6
12:40	25,18	113,4	8,4
12:50	25,37	112,9	8,5
13:00	25,63	112,9	8,6
13:10	25,61	112,7	8,1
13:20	24,67	112,8	7,9
13:30	24,89	112,3	8,1
13:40	24,92	112,4	8,1
13:50	24,74	112,6	7,8
14:00	24,95	112,1	8,2
14:10	24,63	112,4	8,1
14:20	24,37	112,5	7,7
14:30	24,62	112,2	7,6
14:40	25,37	111,9	7,8
14:50	25,64	111,7	8,4
15:00	25,69	112,2	7,9
15:10	25,00	112,6	8,3
15:20	25,19	112,4	8,2
15:30	25,26	111,8	8,2
15:40	25,21	111,8	7,6
15:50	25,43	111,6	7,8
16:00	25,06	111,4	7,9
16:10	24,64	111,8	7,9
16:20	24,82	110,9	8,1
16:30	25,09	111,3	8,3
16:40	25,16	111,0	7,8
16:50	25,47	111,1	7,7
17:00	24,92	110,9	7,5
17:10	24,83	111,2	8,1
17:20	25,63	110,8	8,3
17:30	24,29	111,3	8,4
17:40	23,99	111,6	7,8
17:50	23,94	110,8	7,6
18:00	24,05	110,4	7,5

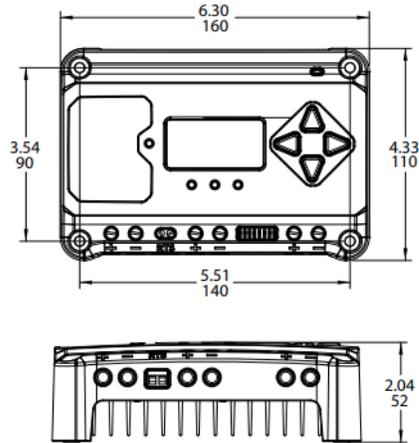
Anexo 6: Valores obtenidos de intensidad de corriente y tensión a la entrada y salida del inversor de carga en un día nublado.

Sistema Fotovoltaico			
Horas del día	Voltaje CC (V)	Voltaje CA (V)	Amperaje (A)
7:30	23,42	110,6	6,2
7:40	23,64	110,9	6,4
7:50	23,51	111,8	6,1
8:00	23,48	111,6	6,5
8:10	23,87	112,6	6,9
8:20	24,33	110,8	7,2
8:30	23,96	111,6	7,1
8:40	24,14	111,2	6,8
8:50	24,66	111,6	7,0
9:00	23,71	111,4	7,2
9:10	24,58	110,8	6,8
9:20	23,53	111,2	6,8
9:30	23,89	111,3	6,9
9:40	23,75	111,2	7,1
9:50	23,96	111,1	6,7
10:00	24,34	111,3	7,3
10:10	24,43	111,4	7,1
10:20	24,61	111,8	7,1
10:30	24,57	111,3	7,2
10:40	23,94	110,4	7,3
10:50	24,81	110,9	6,9
11:00	24,66	110,6	6,7
11:10	24,12	111,6	6,5
11:20	24,31	111,9	6,8
11:30	24,87	112,4	7,3
11:40	24,49	112,3	7,2
11:50	24,53	112,1	7,1
12:00	24,18	111,6	7,3
12:10	24,85	111,0	7,2
12:20	24,82	111,3	7,3
12:30	24,97	110,7	6,6
12:40	24,84	111,2	6,9
12:50	24,98	111,1	7,1
13:00	24,49	110,9	7,2
13:10	24,91	110,7	6,9
13:20	25,08	110,9	6,4
13:30	24,65	110,5	6,3
13:40	24,80	110,8	6,5
13:50	24,74	110,7	6,7
14:00	24,95	111,3	6,8
14:10	24,63	111,5	6,9
14:20	24,37	111,6	7,1
14:30	24,88	112,1	7,3
14:40	24,91	112,5	6,8
14:50	24,22	111,9	6,7
15:00	24,56	111,5	6,9
15:10	25,10	111,4	7,3
15:20	24,93	110,7	7,1
15:30	24,69	110,8	7,1
15:40	24,83	111,6	6,8
15:50	24,64	110,3	6,6
16:00	24,24	110,5	6,5
16:10	24,76	111,4	6,9
16:20	24,62	110,8	7,1
16:30	23,95	110,9	7,3
16:40	23,82	111,1	6,8
16:50	23,93	111,3	7,3
17:00	24,52	111,4	6,9
17:10	23,57	110,8	7,1
17:20	24,16	111,2	6,3
17:30	23,64	111,4	6,4
17:40	23,75	110,7	6,5
17:50	24,13	111,3	6,8
18:00	23,67	111,4	6,9

Anexo 7: Valores obtenidos de intensidad de corriente y tensión a la entrada y salida del inversor de carga en la noche.

Sistema Fotovoltaico			
Horas de la noche	Voltaje CC (V)	Voltaje CA (V)	Amperaje (A)
18:00	23,56	110,8	6,7
18:10	23,52	110,8	6,9
18:20	23,48	110,9	6,8
18:30	23,53	110,6	6,9
18:40	23,41	110,3	6,7
18:50	23,40	110,1	6,6
19:00	23,39	109,9	6,5
19:10	23,45	109,8	6,8
19:20	23,34	109,5	6,4
19:30	23,38	110,6	6,8
19:40	23,31	110,2	6,7
19:50	23,29	109,6	6,6
20:00	23,24	109,7	6,4
20:10	23,16	109,3	6,5
20:20	22,86	109,5	6,4
20:30	22,75	109,9	6,5
20:40	23,06	110,1	6,3
20:50	22,56	110,0	6,1
21:00	22,42	109,6	6,2
21:10	21,86	109,8	6,5
21:20	21,43	109,8	6,3
21:30	21,56	109,6	6,1
21:40	22,16	109,5	6,1
21:50	21,52	109,3	6,3
22:00	21,62	109,7	6,4

Anexo 8: Ficha técnica del regulador de carga



SPECIFICATION SUMMARY			
	10/M	20/M	30/M
Nominal Battery voltage	12 / 24V	12 / 24V	12 / 24V
Max. PV Open- Circuit Voltage*	60V	60V	60V
Max. Battery Charging Current	10A	20A	30A
Rated Load Current	10A	20A	30A

Anexo 9: Ficha técnica del inversor fotovoltaico.

Inverter Technical Parameters

JINGNENG GREEN, BOUTIQUE AND EXQUISITE QUALITY

Power Level	1500W
Rated Power	1500W
Peak Power	3000W(< 1S)
Input Voltage	12V/24V/48V
Output Voltage	100VAC ± 5%/110VAC ± 5%/120VAC ± 5% or 200VAC ± 5%/220VAC ± 5%/240AC ± 5%
Output Frequency	50HZ ± 0.5HZ or 60HZ ± 0.5HZ
Output Waveform	Pure Sine Wave
Wave form distortion	THD < 3%(linear load)
Output Peak Efficiency	Maximum 94%
Starting Mode	Before and after the bipolar soft stat
Cooling	Air cooling
Protect Function	Under voltage /Over voltage, Over-Load, Over-Temperature, Short Circuit, Input Reverse Connection
Working Temperature	-20° — +70°
Stock Temperature	-30° — +75°