



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICO

TEMA:

**Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación
de la instalación eléctrica de una vivienda residencial**

AUTOR:

Lino Veas, Leonel Alexander

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

10 de marzo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Lino Veas, Leonel Alexander**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica**.

TUTOR

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc.

Guayaquil, a los 10 días del mes de marzo del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Lino Veas, Leonel Alexander**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 10 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR

Lino Veas, Leonel Alexander



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Lino Veas, Leonel Alexander**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 10 días del mes de marzo del año 2022

EL AUTOR:

Lino Veas, Leonel Alexander

REPORTE DE URKUND

URKUND Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

Documento: Trabajo de Titulación-Leonel Lino Veas (j) (.docx) (D129105288)

Presentado: 2022-02-28 23:08 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco07@gmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.urkund.com

Mensaje: Fwd: Trabajo de titulación Leonel Lino [Mostrar el mensaje completo](#)
19% de estas 66 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	Trabajo de Titulación Final- Alejandra Crespo.pdf
	TESIS LINDAO FINAL 14 FEB.pdf
	mettcriollo18082021.pdf
	utasacrespo20082021.pdf

0 Advertencias. Reiniciar. Compartir.

Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo Carrera de Ingeniería en Eléctrico Mecánica

TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED PARA LA ALIMENTACIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE UNA VIVIENDA RESIDENCIAL AUTOR:

100% # 2 Activo **Archivo de registro Urkund:** Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Trab... **100%**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERA EN ELÉCTRICO MECÁNICA
TUTOR: Ing.

Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Mgs. Guayaquil, Ecuador 11 de febrero del 2022

INCLUDEPICTURE
"http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo_UCSG.svg/2000px-Logo_UCSG.svg.png" /* MERGEFORMATINET

AGRADECIMIENTO

Agradezco a DIOS por mantenerme saludable, Él ha sido parte fundamental de mi crecimiento personal y estudiantil, agradezco que me haya permitido llegar hasta estas instancias y poder culminar con éxito mi carrera universitaria.

A las autoridades y docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por brindarme la oportunidad de formar parte de la comunidad estudiantil.

A mis Padres y Hermana por su inmenso apoyo, cariño y ejemplo para superarme.

A mi tutor Ing. Bayardo Bohórquez Escobar, por su valiosa guía y acertados consejos para culminar el presente trabajo de titulación.

Lino Veas, Leonel Alexander

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a DIOS, por haberme brindado la sabiduría, entendiendo y fuerzas necesarias para poder alcanzar esta meta que hoy estoy cumpliendo.

Para mi Padre Leonery Lino y Madre Adelaida Veas por ser la inspiración y motivación que necesita mi vida, se merecen todos mis logros.

A mi querida Hermana Pamela Lino por su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera universitaria.

También quiero dedicar este trabajo a aquellas personas que fueron parte de este proceso y me brindaron su apoyo incondicional durante todo este tiempo.

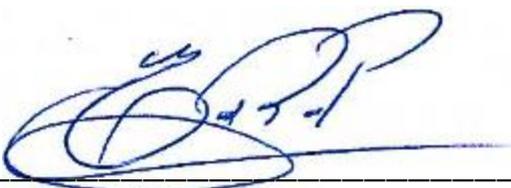
Lino Veas, Leonel Alexander



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Romero Paz Manuel de Jesús M. Sc
DECANO

f. 

Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M. Sc.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M. Sc.
OPONENTE

ÍNDICE

REPORTE DE URKUND.....	v
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT.....	XXI
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO I.....	4
GENERALIDADES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	4
1.1 Justificación y alcance	4
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 Metodología de la investigación.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Estado del arte	7
2.2 Las Energías renovables	9

2.2.1 Tipos de fuentes de energías renovables	10
2.2.1.1 Energía solar	11
2.2.1.2 Energía eólica	12
2.2.1.3 Energía hidroeléctrica	12
2.2.1.4 Energía de biomasa	13
2.2.1.5 Energía geotérmica.....	14
2.2.1.6 Energía oceánica	15
2.2.2 Ventajas y desventajas de las energías renovables	16
2.2.2.1 Ventajas	16
2.2.2.2 Desventajas.....	18
2.3 Energía solar fotovoltaica	20
2.3.1 Efecto fotoeléctrico	22
2.4 Radiación solar	23
2.4.1 Tipos de radiación solar	27
2.4.1.1 Radiación directa	29
2.4.1.2 Radiación difusa	29
2.4.1.3 Radiación reflejada.....	29
2.4.2 Medición de la radiación solar	29
2.4.2.1 Equipos de medición de la radiación solar.....	29
2.4.2.2 Unidades de medida en energía solar	33
2.5 Inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos	34
2.5.1 Inclinación.....	35

2.5.2 Orientación.....	37
2.5.3 Horas sol pico.....	38
2.6 Componentes del sistema fotovoltaico	40
2.6.1 Panel solar o módulo fotovoltaico	41
2.6.1.1 Características eléctricas de los paneles solares.....	41
2.6.1.2 Tipos de paneles solares	45
Panel solar monocristalinos.....	46
Panel solar policristalinos.....	47
Panel solar de silicio amorfo	48
2.6.1.3 Estructura de los paneles fotovoltaicos	50
Marco de aluminio extruido	51
Vidrio templado muy transparente	51
Encapsulación - capas de película EVA.....	52
Célula solar fotovoltaica.....	53
Lámina trasera de polímero	54
Caja de conexiones	54
2.6.2 Baterías o acumuladores	56
2.6.2.1 Parámetros técnicos de las baterías	57
2.6.2.2 Tipos de baterías.....	59
Baterías de plomo-ácido inundadas (FLA)	59
Baterías selladas de fibra de vidrio absorbente (AGM)	60
Baterías de celda de gel selladas (GEL)	60

Baterías de iones de litio (LFP).....	61
2.6.3 Regulador o controlador de carga	62
2.6.3.1 Parámetros técnicos de un regulador de carga	63
2.6.3.2 Tipos de reguladores de cargas	66
Reguladores de carga solar PWM simples	66
Reguladores de carga solar MPPT	67
2.6.4 Inversor	68
2.6.4.1 Parámetros técnicos de los inversores solares.....	69
2.6.4.2 Tipos de inversores solares	71
Inversores de cadena	72
Inversores centrales	72
Microinversores.....	73
Inversores/cargadores a base de baterías.....	74
2.6.5 Atroz.....	74
2.6.6 Balance de sistemas	75
2.6.7 Alambrado.....	76
2.7 Tipos de sistemas fotovoltaicos	76
2.7.1 Sistema fotovoltaico aislado	76
2.7.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	77
2.7.3 Sistema fotovoltaico híbrido	78
2.8 Sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento	79
CAPÍTULO III	80

APORTACIONES Y RESULTADOS DEL PROYECTO.....	80
3.1 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico interconectado a la red	80
3.1.1 Ubicación.....	80
3.1.2 Reconocimiento del área de la residencia	81
3.1.3 Análisis de la radiación solar en la ciudad de Guayaquil	82
3.1.4 Cálculo de las horas solares pico (HSP)	84
3.1.5 Análisis de la inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos	86
Orientación.....	86
Inclinación.....	87
3.1.6 Levantamiento de cargas eléctricas de la residencia	89
3.1.7 Cálculos del factor de rendimiento (Performance Ratio)	91
3.1.8 Cálculo de la Potencia a generar por el sistema fotovoltaico	92
3.1.9 Tipo de módulo solar a utilizar	93
3.1.10 Cálculo del número de paneles solares a instalar.....	96
3.1.11 Cálculo de la distribución de los paneles fotovoltaicos	97
3.1.12 Dimensionamiento del Inversor	100
3.1.13 Batería	103
3.1.14 Controlador de carga.....	104
3.1.15 Conductores	105
3.1.16 Protecciones	107
3.1.17 Puesta a tierra.....	107
3.1.18 Distancia entre las filas de los paneles solares.....	108

3.1.19 Estructura soporte del sistema fotovoltaico	110
3.2 Análisis económico del proyecto.....	110
3.2.1 Planteamiento de los costos del sistema fotovoltaico	111
3.2.2 Costo de la mano de obra	112
3.2.3 Costo total de la inversión.....	112
Conclusiones.....	113
Recomendaciones	114
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
GLOSARIO.....	126
ANEXOS.....	128
Anexo 1: Diagrama de un sistema fotovoltaico de una vivienda residencial.....	129
Anexo 2: Ficha técnica del módulo solar A-400M GS ATERSA.....	130
Anexo 3: Ficha técnica del inversor	132
Anexo 4: Tabla del amperaje soportado por los cables de cobre	134
Anexo 5: Medidas de los cables eléctricos	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Energías Renovables	10
Figura 2.2 Energía Solar.....	11
Figura 2.3 Energía Eólica	12
Figura 2.4 Energía Hidroeléctrica	13
Figura 2.5 Energía de Biomasa	14
Figura 2.6 Energía Geotérmica	15
Figura 2.7 Energía de las Mareas	16
Figura 2.8 Energía Solar Fotovoltaica.....	20
Figura 2.9 Estructura de una Celda Solar.....	22
Figura 2.10 Efecto Fotovoltaico.....	23
Figura 2.11 Reflectividad de la Radiación.....	24
Figura 2.12 Mapa de la Energía Solar en el Mundo.....	25
Figura 2.13 Movimientos de la Tierra.....	27
Figura 2.14 Radiación Global	28
Figura 2.15 Piranómetro.....	31
Figura 2.16 Piranómetro Digital.....	31
Figura 2.17 Pirheliómetros	32
Figura 2.18 Sensores Cuánticos	33
Figura 2.19 Panel Solar Orientado	35
Figura 2.20 Inclinación y Orientación de un Panel Solar	36
Figura 2.21 Orientación de un Panel Solar	38

Figura 2.22 Horas de Sol Pico	39
Figura 2.23 Esquema de un Sistema Solar	40
Figura 2.24 Panel Fotovoltaico	41
Figura 2.25 Curva Característica de un Módulo Fotovoltaico	44
Figura 2.26 Conexión de Paneles Solares	45
Figura 2.27 Panel Solar de Silicio Monocristalino	47
Figura 2.28 Panel solar policristalino (Multi-Silicio)	48
Figura 2.29 Panel Solar de Silicio Amorfo	49
Figura 2.30 Células Solares de Película Fina	50
Figura 2.31 Estructura de un Panel Solar	50
Figura 2.32 Marco de Aluminio de un panel solar	51
Figura 2.33 Vidrio Templado de un Panel Solar	52
Figura 2.34 Película EVA de un Panel Solar	53
Figura 2.35 Célula solar fotovoltaica	53
Figura 2.36 Caja de Conexiones de un Panel Solar	54
Figura 2.37 Diodos de Derivación	55
Figura 2.38 Conectores solares MC4	56
Figura 2.39 Baterías Utilizadas en Paneles Solares	57
Figura 2.40 Baterías de Plomo-Ácido Inundadas	59
Figura 2.41 Baterías AGM Selladas	60
Figura 2.42 Baterías de Celda De Gel Selladas	61
Figura 2.43 Baterías de Litio	62

Figura 2.44 Controlador de Carga.....	63
Figura 2.45 Reguladores de carga solar PWM.....	66
Figura 2.46 Reguladores de carga solar MPPT.....	67
Figura 2.47 Inversores de un Sistema Fotovoltaico	69
Figura 2.48 Inversor de Cadena	72
Figura 2.49 Inversor Central	73
Figura 2.50 Microinversor.....	73
Figura 2.51 Inversor/cargador a base de batería	74
Figura 2.52 Atroz	75
Figura 2.53 Balance de Sistemas.....	75
Figura 2.54 Alambrado	76
Figura 2.55 Sistema Fotovoltaico Aislado	77
Figura 2.56 Sistema fotovoltaico conectado a la red	78
Figura 2.57 Sistema fotovoltaico híbrido	78
Figura 3.1 Ubicación de la Residencia	80
Figura 3.2 Plano Eléctrico de la Vivienda.....	81
Figura 3.3 Insolación Global Promedio del Ecuador	82
Figura 3.4 Orientación con una Brújula	86
Figura 3.5 Estructura del panel solar A-400M GS Monocristalino	94
Figura 3.6 Distancia entre módulos solares	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Instrumentos para la medición de la radiación solar	30
Tabla 2.2 Conversiones útiles para la Radiación	34
Tabla 2.3 Porcentajes del Beneficio en el Ajuste de Ángulo de un Panel Solar	37
Tabla 2.4 Características Eléctricas de un Panel Solar	42
Tabla 2.5 Eficiencia de los Tipos de Células Solares	46
Tabla 2.6 Especificaciones Técnicas de un Controlador de Carga	65
Tabla 2.7 Pros y Contras de los Reguladores de carga PWM-MPPT	68
Tabla 2.8 Hoja de Datos Técnicos de un Inversor	71
Tabla 3.1 Valores de la Insolación Anual del Ecuador	83
Tabla 3.2 Datos de Irradiación de la ciudad de Guayaquil	83
Tabla 3.3 Valores de las Horas Solares Pico Mensual.....	85
Tabla 3.4 Número de Horas Solar Pico Diarias/Anual	85
Tabla 3.5 Datos Meteorológicos de la ciudad de Guayaquil.....	87
Tabla 3.6 Valores del Factor “k” de Corrección de Irradiación.....	88
Tabla 3.7 Irradiación & HSP con un ángulo de inclinación de 10°	89
Tabla 3.8 Consumo diario de la energía eléctrica en la Vivienda Residencial	90
Tabla 3.9 Características eléctricas del módulo solar escogido	95
Tabla 3.10 Especificaciones mecánicas	95
Tabla 3.11 Materiales de construcción.....	96
Tabla 3.12 Características de Temperatura	96
Tabla 3.13 Datos técnicos del inversor	101

Tabla 3.14 Potencia total producida por los electrodomésticos	102
Tabla 3.15 Costos del sistema fotovoltaico.....	111
Tabla 3.16 Costo de mano de obra	112
Tabla 3.17 Costo total de la inversión.....	112

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se presenta el diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial, el proyecto tiene como finalidad presentar información básica para su fácil entendimiento sobre el funcionamiento de la energía solar fotovoltaica y de la instalación de un sistema solar fotovoltaica. Se realizó un adecuado dimensionamiento, donde se incluyó el levantamiento de carga o consumo eléctrico de la vivienda residencial, donde logra determinar el número de módulos solares, inversores y protecciones eléctricas como el interruptor automático, su sistema de puesta a tierra y el cableado. También se analizó la rentabilidad del sistema solar fotovoltaico con relación a la vida útil del mismo y su inversión económica. La implementación de estos sistemas a base de energía renovable, favorece la lucha contra el cambio climático, disminuyendo así el uso de energías a base de combustibles fósiles.

Palabras claves: Sistema Fotovoltaico, Paneles Solares, Rentabilidad, Dimensionamiento, Consumo Eléctrico, Energía Renovable, Vivienda Residencial.

ABSTRACT

The present titling work presents the design of a photovoltaic system interconnected to the network for feeding the electrical installation of a residential house, the project aims to present basic information for easy understanding about the operation of a photovoltaic installation. An adequate dimensioning was carried out, where the load lifting or electrical consumption of the residential house was included, the number of solar modules, inverters, electrical protections where wiring, breaker and its ground system were included were determined. The profitability of the photovoltaic system was also analyzed in relation to its useful life and its economic investment. The implementation of these systems based on renewable energy favors the fight against climate change, thus reducing the use of energy based on fossil fuels.

Keywords: Photovoltaic System, Solar Panels, Profitability, Sizing, Electrical Consumption, Renewable Energy, Residential Housing.

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía renovables evolucionan y mejoran constantemente, impulsadas por la creciente demanda de energía, la necesidad de reducir la contaminación y el aumento de las inversiones y las políticas a nivel nacional e internacional. La energía solar fotovoltaica se ha convertido recientemente en un pilar importante de las fuentes de energía renovables para lograr los objetivos mundiales y europeos de participación en la electricidad renovable (Cotfas et al, 2019, p. 1). Uno de los objetivos para la energía generada por sistemas fotovoltaicos es el 10% de la producción total de electricidad en Europa para 2020, y para 2050, el 60% de la electricidad debe generarse a partir de energía solar fotovoltaica y eólica.

El sol es un recurso increíble y renovable que puede alimentar la vida en la Tierra y proporcionar a todos sus habitantes energía limpia y sostenible. De hecho, a nuestro planeta llega más energía del sol en una hora, de la que utiliza toda la población mundial en un año (Remote Energy, 2021). La energía solar se puede convertir en electricidad utilizando módulos solares fotovoltaicos (foto = luz, galvanoplastia = electricidad).

Un sistema fotovoltaico (PV) consta de uno o más paneles solares combinados con un inversor y otros equipos eléctricos y mecánicos que aprovechan la energía del sol para generar electricidad. Los sistemas fotovoltaicos pueden variar mucho en tamaño, desde pequeños sistemas portátiles o de techo hasta plantas industriales de producción masiva (Afework et al, 2020).

Los módulos fotovoltaicos absorben la luz solar y convierten la energía en una forma utilizable de corriente eléctrica. El sol brilla en todo el mundo, haciendo que la electricidad solar esté disponible en todas partes. Debido a que la energía solar se puede combinar con baterías para almacenar energía, los sistemas de energía solar pueden ser independientes de la red pública, lo que los hace rentables para ubicaciones remotas. Los módulos solares no tienen partes móviles, lo que reduce los costos de mantenimiento y es altamente confiable y tiene una larga vida útil de más de 25 años de electricidad garantizada (Remote Energy, 2021). La electricidad solar depende del sol como fuente de combustible, por lo que no es necesario perforar en busca de

combustibles derivados del petróleo, refinarlos o enviarlos al lugar. Como puede ver, la energía solar tiene muchos beneficios.

Con el presente trabajo de titulación, se podrá ratificar cuán importante son los sistemas fotovoltaicos de energía solar en la actualidad, el primer punto a tener en cuenta sobre estos sistemas, es que nos permite alejarnos de otras fuentes de energía contaminantes e insostenibles, otro punto a destacar es que el ahorro del consumo de energía eléctrica es inminente, por ende, los valores a pagar de la planilla eléctrica se verán disminuidos. El uso de paneles fotovoltaicos en la ciudad de Guayaquil es un proyecto muy viable, ya que la radiación solar en el Ecuador es mucho más alta que otros países que son pioneros en este tipo de sistemas de energía renovable.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Justificación y alcance

Según (Kemp, 2021) explica que para 2050, es probable que el consumo mundial de energía crezca entre un 50% y un 100% con respecto a los niveles actuales, lo que pone de relieve lo difícil que será satisfacer la creciente demanda de energía mientras se reducen las emisiones netas a cero. El crecimiento de la población, la urbanización, el aumento de los ingresos y la enorme demanda insatisfecha de servicios energéticos impulsarán el consumo de energía durante las próximas tres décadas, especialmente en las economías en desarrollo de rápido crecimiento.

De acuerdo a un nuevo informe de la Iea (2021) o más conocida como Agencia Internacional de Energía, que para ese año se tendrá un aumento del 5% en la demanda de electricidad, con casi la mitad del aumento satisfecho por los combustibles fósiles, en particular el carbón, que amenazan con impulsar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del sector energético a niveles récord en 2022. Según la configuración de políticas y las tendencias económicas actuales, la generación de electricidad a partir de energías renovables, incluidas la energía hidroeléctrica, la eólica y la solar fotovoltaica, está en camino de crecer con fuerza en todo el mundo durante los próximos dos años: un 8% en 2021 y más del 6% en 2022. Pero incluso con este fuerte crecimiento, las energías renovables solo podrán satisfacer alrededor de la mitad del aumento proyectado de la demanda mundial de electricidad durante esos dos años. La generación de electricidad basada en combustibles fósiles cubrirá el 45% de la demanda adicional en 2021 y el 40% en 2022, y la energía nuclear representará el resto. Como resultado, se prevé que las emisiones de carbono del sector eléctrico, que cayeron tanto en 2019 como en 2020, aumentarán un 3,5% en 2021 y un 2,5% en 2022, lo que las llevará a un máximo histórico.

Por lo tanto, el objetivo de este proyecto de método teórico, es fomentar la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica conectados a la red, la cual ayudaría a la lucha con el cambio climático, disminuyendo así el uso de

energías a base de combustibles fósiles. Implementar este tipo de proyectos en nuestras residencias sería muy factible por su rentabilidad económica, ya que en las últimas dos décadas los avances tecnológicos en los sistemas fotovoltaicos han permitido que se reduzcan los costes de estos, por lo que en la actualidad la inversión para este tipo de sistema es mucho menor a la de algunos años atrás. Es importante destacar, que para un buen rendimiento de un sistema fotovoltaico es imprescindible considerar las condiciones climáticas de la zona, este no sería un problema, ya que de acuerdo a Climate-Data (2021) las temperaturas promedio anual en la ciudad de Guayaquil rondan de los 31 °C hasta los 24.1 °C y comprende de una alta radiación solar en todo el año, siendo muy beneficioso el uso de paneles solares.

1.2 Planteamiento del problema

De acuerdo a Solar Impulse (2021) el consumo mundial de energía está aumentando y enfrentaremos una escasez de combustibles fósiles en las próximas décadas. Por lo tanto, la disponibilidad de reservas es una fuente importante de preocupación.

En la actualidad, los costos de las tecnologías de energía renovable han disminuido de manera constante y se prevé que disminuyan aún más (UCSUSA, 2017).

¿Por qué apostar por la energía solar?

Ecuador es parte del grupo de países que no han apostado por la energía fotovoltaica, sea por su elevado costo de inversión inicial o por desconocimiento, el objetivo de este trabajo será el de informar a las personas los beneficios que tiene la energía solar. Como ya se mencionó, en la actualidad los costos en la tecnología de la energía solar se han visto disminuida severamente, con lo que incentivaría a las personas y empresas a implementar un sistema fotovoltaico, dado que antes el elevado costo de inversión inicial era uno de los motivos para que no se apostara por dicho sistema.

Uno de los principales beneficios que tendría implementar un sistema fotovoltaico, sería el de reducir los elevados costos que ocasionan la energía

convencional, hay que destacar que esta energía renovable contribuye con el medio ambiente ya que no genera ninguna emisión de calentamiento global.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de diversos circuitos de una vivienda residencial en guayaquil.

1.3.2 Objetivos específicos

- Estudiar las principales características y conceptos básicos para poder comprender el funcionamiento de un sistema fotovoltaico.
- Realizar el consumo eléctrico o levantamiento de carga de la residencia y el dimensionamiento de los componentes requeridos para el sistema fotovoltaico.
- Analizar la rentabilidad del sistema fotovoltaico conectado a la red con relación a su vida útil, costo de inversión inicial y su aporte a la lucha contra el cambio climático.

1.4 Metodología de la investigación

El presente trabajo, será llevado a cabo con los métodos de investigación descriptiva y analítica, la información que se empleará en este trabajo de investigación será basada en tesis, artículos científicos y libros.

Se utilizará el método de investigación descriptiva, que se basará en toda la información concerniente al diseño de un sistema fotovoltaico, se recopilará solo información útil, para así proporcionar un trabajo que resulte de fácil entendimiento.

También se aplicará una metodología analítica, que se enfocara en parámetros y datos técnicos, como valores reales de las capacidades de los equipos y materiales eléctricos que se emplean en un sistema eléctrico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

El rápido aumento del consumo de energía particularmente en las últimas décadas ha suscitado temores de agotamiento en las reservas mundiales de petróleo y otros recursos en un futuro próximo. Muchas naciones han buscado por años, alternativas de energías renovables, para no depender de los combustibles fósiles tradicionales y la energía solar sería una muy buena alternativa por su sustentabilidad. En esta sección se llevará a cabo el estado del arte, el cual es fundamental para cualquier trabajo de investigación, tal como lo menciona Trojahn dos Santos (2019) en los trabajos de investigación científica, el estado del arte describe el conocimiento actual sobre el tema estudiado a través del análisis de trabajos publicados similares o relacionados. Por esa razón, se presentará algunos análisis que corresponden a diferentes informes, pero con un tema en común, que en este caso es la energía solar.

De acuerdo a un estudio de la Evolución De La Industria Solar Fotovoltaica IRENA (2019) afirma que las Crecientes preocupaciones sobre el cambio climático, la salud efectos de la contaminación del aire, la seguridad energética y acceso a la energía, junto con precios volátiles del petróleo en las últimas décadas, han llevado a la necesidad de producir y utilizar tecnología alternativa de bajas emisiones de carbono opciones como las renovables. La energía solar fotovoltaica ha sido una de las tecnologías renovables pioneras en las décadas. La capacidad instalada total de energía solar PV alcanzó 480 GW a nivel mundial (excluyendo CSP) por finales de 2018, lo que representa el segundo mayor fuente de electricidad renovable después del viento. El año pasado, La energía solar fotovoltaica volvió a dominar la energía y las energías renovables totales. adiciones de capacidad, agregando el doble de capacidad como el viento y más que todos los combustibles fósiles y nucleares en conjunto, las adiciones de energía solar fotovoltaica alcanzan alrededor de 94 GW (p. 19).

De igual manera Nelson et al., (2014) realizaron una investigación denominada Energía solar para mitigación de CO₂, la cual habla detalla que la energía solar representa un gran recurso que, en principio, podría satisfacer muchas veces las necesidades mundiales de generación de energía con bajas emisiones de carbono. La

tecnología para generar energía solar mediante la conversión de luz en electricidad (FV) y la conversión de luz en energía a través del calor (solar térmica) ya está probada y ampliamente desplegado. Las reducciones de costes en la energía solar fotovoltaica durante los últimos diez años, ha logrado hacerlo competitivo con la energía de la red convencional basada en combustibles fósiles. La energía Solar es particularmente relevante para el mundo en desarrollo donde los recursos solares son altos y es probable que la energía solar con almacenamiento se convierta pronto en una opción más rentable que los generadores diésel (p. 1).

Un estudio realizado por Harrington (2015) habla sobre el poco uso de la energía solar, siendo esta tan poderosa, gran parte del problema se reduce a las baterías. No se han desarrollado baterías que puedan almacenar suficiente energía producida por la energía solar de manera eficiente como para que pueda proporcionar energía confiable. Esencialmente, necesitamos baterías que sean lo suficientemente buenas para almacenar las increíbles cantidades de energía solar que golpean constantemente la Tierra para que podamos usarlas cuando no hace sol.

Por otro lado, McFadden (2017) en un artículo científico realizado por el, habla sobre los países con mejor desempeño en energía solar, Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), 23 países tienen al menos 1 GW de capacidad fotovoltaica acumulada para fines de 2015 y 7 países instalaron al menos 1 GW en 2015. La independencia energética se está volviendo cada vez más deseable para las naciones soberanas y la energía fotovoltaica parece estar empezando a ganar peso. De acuerdo al Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica (PVPS) de la IEA, los países con mejor desempeño en energía solar son: China, Alemania, Japón, EE. UU, Italia, Reino Unido, Francia, España, Australia y la India.

Según un estudio realizado por REN21 (2020) sobre la eficiencia energética de las energías renovables, donde destaca que la intensidad energética global ha seguido cayendo en los últimos años, y un enfoque integrado para avanzar tanto las energías renovables y la eficiencia energética siguen siendo cruciales. Tanto las energías renovables como la eficiencia pueden contribuir beneficios significativos que incluyen menores costos de energía a nivel nacional, nivel corporativo o doméstico, mayor confiabilidad de la red, reducción de impactos ambientales y climáticos, una mejora

de la calidad del aire y salud pública, un aumento de empleos y crecimiento económico.

La energía solar juega un papel muy importante, si queremos reducir las emisiones de CO₂, sin dejar de lado, la problemática del agotamiento de las reservas mundiales de petróleo y otros recursos en un futuro próximo. El mercado fotovoltaico se ve bastante prometedor, dado a que muchos gobiernos están comprometidos a mantener el crecimiento de las instalaciones fotovoltaicas en el futuro.

2.2 Las Energías renovables

De acuerdo (Shinn, 2018) la energía renovable está en auge, ya que la innovación reduce los costos y comienza a cumplir la promesa de un futuro de energía limpia. Esto significa que las energías renovables están desplazando cada vez más a los combustibles fósiles “sucios” en el sector energético, ofreciendo el beneficio de menores emisiones de carbono y otros tipos de contaminación. Pero no todas las fuentes de energía comercializadas como “renovables” son beneficiosas para el medio ambiente. La biomasa y las grandes represas hidroeléctricas crean compensaciones difíciles cuando se considera el impacto en la vida silvestre, el cambio climático y otros problemas.

La energía renovable, a menudo denominada energía limpia, proviene de fuentes o procesos naturales que se reponen constantemente. Por ejemplo, la luz del sol o el viento siguen brillando y soplando, incluso si su disponibilidad depende del tiempo y el clima. Si bien la energía renovable a menudo se considera una nueva tecnología, el aprovechamiento de la energía de la naturaleza se ha utilizado durante mucho tiempo para la calefacción, el transporte, la iluminación y más. El viento ha impulsado barcos para surcar los mares y molinos de viento para moler cereales. El sol ha proporcionado calor durante el día y ha ayudado a encender fuegos que duran hasta la noche. Pero durante los últimos 500 años más o menos, los seres humanos recurrieron cada vez más a fuentes de energía más baratas y sucias, como el carbón y el gas extraído mediante fractura hidráulica.

Figura 2.1

Energías Renovables



Nota. Las energías renovables con mayor potencialidad en el mundo. Adaptado de España, uno de los sitios más baratos del planeta para instalar energía fotovoltaica. Energía murcia, por ALEM, 2021.

2.2.1 Tipos de fuentes de energías renovables

Desde la perspectiva de Karami Lakeh (2021) la energía renovable es cualquier forma de energía disponible en el entorno natural y puede reponerse repetidamente. Por ejemplo, la energía solar está naturalmente disponible y no podemos quedarnos sin ella consumiéndola. Por el contrario, como estamos quemando combustibles fósiles como el petróleo y el carbón, sus recursos disminuyen constantemente. Los científicos han estimado que los recursos petroleros restantes totales podrían durar alrededor de 190 años. Esta estimación es de hasta 230 años para los recursos de gas natural. Desafortunadamente, la energía renovable suministra menos del 16% de la energía total que consumimos actualmente en el mundo. Sin embargo, esta proporción aumenta constantemente, especialmente en países avanzados que tienen políticas de apoyo. Por ejemplo, el Reino Unido ha planeado aumentar su capacidad renovable de 47,16 GW en 2019 a 86,21 GW para 2026.

2.2.1.1 Energía solar

(Shinn, 2018) habla sobre que los seres humanos han estado aprovechando la energía solar durante miles de años para mantenerse calientes, sembrar y secar alimentos. De acuerdo a lo planteado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, “en una hora cae sobre la tierra más energía del sol que la que utilizan todos en el mundo en un año”. Las células solares o fotovoltaicas (PV) están hechas de silicio u otros materiales que transforman la luz solar directamente en electricidad. Los sistemas solares distribuidos generan electricidad localmente para hogares y negocios, ya sea a través de paneles en los techos o proyectos comunitarios que alimentan vecindarios enteros. Las granjas solares pueden generar energía para miles de hogares, usando espejos para concentrar la luz solar en acres de celdas solares. Los parques solares flotantes, o "floatovoltaicos", pueden ser un uso eficaz de las instalaciones de aguas residuales y cuerpos de agua que no son ecológicamente sensibles. Los sistemas de energía solar no producen contaminantes del aire ni gases de efecto invernadero y, siempre que se ubiquen de manera responsable, la mayoría de los paneles solares tienen pocos impactos ambientales más allá del proceso de fabricación.

Figura 2.2

Energía Solar



Nota. Paneles solares instalados en los techados del este de Austin, Texas. Adaptado de Energía renovable los hechos limpios. Be a force for the future, por Shinn, 2018.

2.2.1.2 Energía eólica

El viento es una fuente inagotable de energía limpia. Hemos recorrido un largo camino desde los molinos de viento antiguos. Hoy en día, turbinas tan altas como rascacielos, con turbinas de diámetro casi tan ancho, llaman la atención en todo el mundo. La energía eólica hace girar las aspas de una turbina, que alimenta un generador eléctrico y produce electricidad.

Figura 2.3

Energía Eólica



Nota. Turbinas de viento utilizadas para generar energía eólica y un gran panel solar en Palm springs, California. Adaptado de *Energía renovable los hechos limpios*. Be a force for the future, por Shinn, 2018.

2.2.1.3 Energía hidroeléctrica

La energía hidroeléctrica es la mayor fuente de energía renovable para la electricidad en varios países, aunque se espera que la energía eólica pronto asuma el liderazgo. La energía hidroeléctrica se basa en el agua, generalmente agua que se mueve rápidamente en un río grande o agua que desciende rápidamente desde un punto alto, y convierte la fuerza de esa agua en electricidad al hacer girar las aspas de la turbina de un generador. A nivel nacional e internacional, las grandes plantas hidroeléctricas, o mega represas, a menudo se consideran energía no renovable. Las mega represas desvían y reducen los flujos naturales, restringiendo el acceso de las poblaciones animales y humanas que dependen de los ríos. Las pequeñas centrales

hidroeléctricas (una capacidad instalada por debajo de los 40 megavatios), administradas cuidadosamente, no tienden a causar tanto daño ambiental, ya que desvían solo una fracción del flujo.

Figura 2.4

Energía Hidroeléctrica



Nota. Funcionamiento de una Hidroeléctrico en su estado natural. Adaptado de Types of renewable energy. EDF energy, por (EDF Energy, 2021)

2.2.1.4 Energía de biomasa

La biomasa es material orgánico que proviene de plantas y animales, e incluye cultivos, desechos de madera y árboles. Cuando se quema biomasa, la energía química se libera en forma de calor y puede generar electricidad con una turbina de vapor. La biomasa a menudo se describe erróneamente como un combustible limpio y renovable y una alternativa más ecológica al carbón y otros combustibles fósiles para producir electricidad. Sin embargo, la ciencia reciente muestra que muchas formas de biomasa, especialmente de los bosques, producen emisiones de carbono más altas que los combustibles fósiles. También hay consecuencias negativas para la biodiversidad. Aun así, algunas formas de energía de biomasa podrían servir como una opción baja en carbono en las circunstancias adecuadas. Por ejemplo, el aserrín y las astillas de los

aserraderos que, de otro modo, se descompondrían rápidamente y liberarían carbono, pueden ser una fuente de energía baja en carbono.

Figura 2.5

Energía de Biomasa



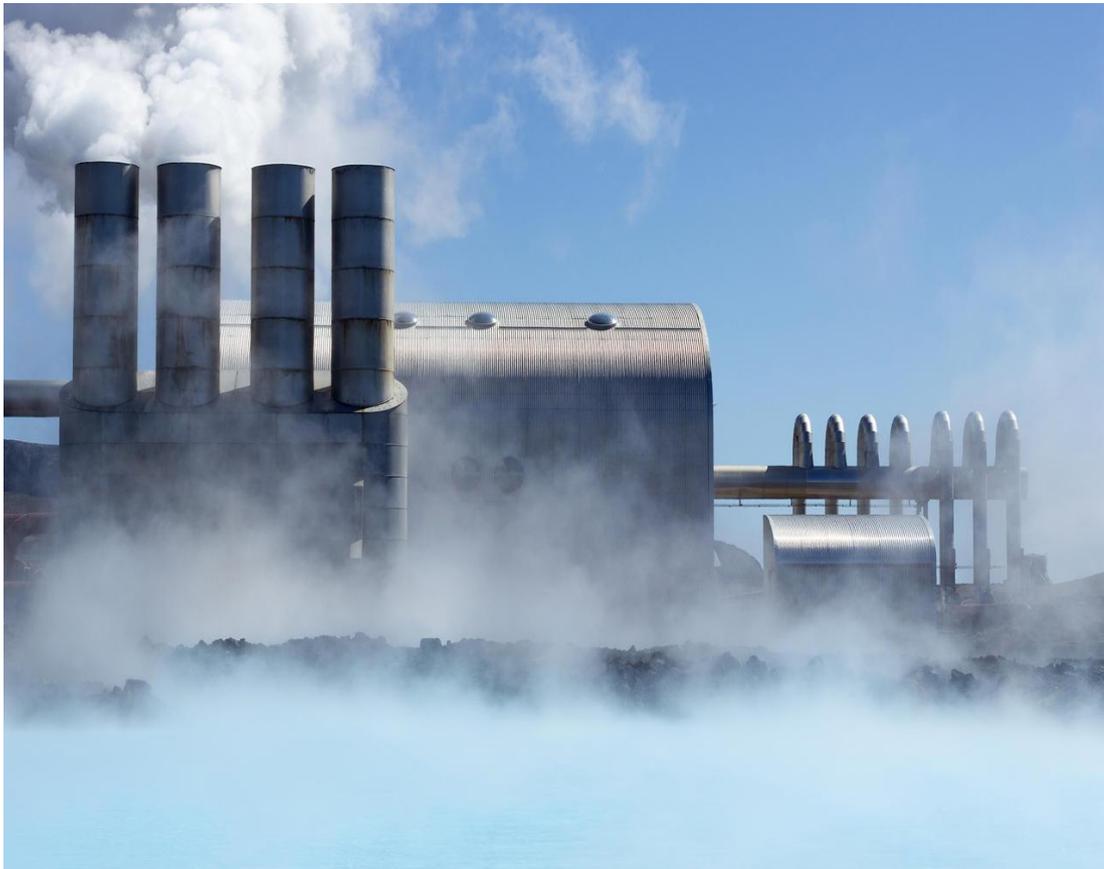
Nota. Material vegetal que puede ser convertido en combustible sólido, líquido o gaseoso por medio de la energía de biomasa. Adaptado de Types of renewable energy. EDF energy, por EDF Energy, 2021.

2.2.1.5 Energía geotérmica

Si alguna vez te has relajado en una fuente termal, has usado energía geotérmica. El núcleo de la tierra es tan caliente como la superficie del sol, debido a la lenta descomposición de las partículas radiactivas en las rocas del centro del planeta. La perforación de pozos profundos trae agua subterránea muy caliente a la superficie como recurso hidrotermal, que luego se bombea a través de una turbina para generar electricidad. Las plantas geotérmicas suelen tener bajas emisiones si bombean el vapor y el agua que utilizan de vuelta al depósito. Hay formas de crear plantas geotérmicas donde no hay depósitos subterráneos, pero existe la preocupación de que puedan aumentar el riesgo de un terremoto en áreas que ya se consideran puntos geológicos calientes.

Figura 2.6

Energía Geotérmica



Nota. Planta de energía geotérmica de Svartsengi cerca de Grindavík, Islandia. Adaptado de Energía renovable los hechos limpios. Be a force for the future, por Shinn, 2018.

2.2.1.6 Energía oceánica

La energía de las mareas y las olas aún se encuentra en una fase de desarrollo, pero el océano siempre estará gobernado por la gravedad de la luna, lo que hace que aprovechar su poder sea una opción atractiva. Algunos enfoques de energía de las mareas pueden dañar la vida silvestre, como las presas de mareas, que funcionan de manera muy similar a las represas y están ubicadas en una bahía o laguna oceánica. Al igual que la energía de las mareas, la energía de las olas se basa en estructuras similares a represas o dispositivos anclados en el fondo del océano sobre la superficie del agua o justo debajo de ella.

Figura 2.7

Energía de las Mareas



Nota. La energía oceánica utiliza la corriente de la marea para impulsar a los generadores de turbinas y así generar energía. Adaptado de Types of renewable energy. EDF energy, por (EDF Energy, 2021).

2.2.2 Ventajas y desventajas de las energías renovables

2.2.2.1 Ventajas

Desde la perspectiva de Karami Lakeh (2021) es bueno ver las ventajas de usar fuentes de energía renovables en lugar de quemar combustibles fósiles. Aquí hay varios beneficios importantes del uso de energía renovable:

1. Las fuentes de energía renovable no se agotarán

Como viene del nombre, una fuente de energía renovable es sostenible, lo que significa que no se agotará pronto. Por ejemplo, se espera que el sol brille todas las mañanas durante al menos 4500 a 5500 millones de años, por lo que podemos considerarlo una fuente de energía renovable. Esta podría ser la diferencia más importante entre las energías renovables y los combustibles fósiles.

2. La energía renovable es confiable

A pesar de los combustibles fósiles que siempre están sujetos a disputas y guerras entre países, podemos obtener fácil y pacíficamente el control de las fuentes de energía renovable. En otras palabras, las leyes comerciales, las inestabilidades políticas, los reclamos territoriales y la agitación de los mercados no pueden afectar el uso de fuentes de energía renovable

3. La energía renovable es respetuosa con el ambiente

Las fuentes de energía renovables son formas naturales de generación de energía y, por lo tanto, pueden considerarse limpias. Aunque las tecnologías de energía renovable pueden causar algunas emisiones, en general, se emitirá un mínimo de carbono y GEI (Gas de efecto invernadero) al medio ambiente al usarlas. Cuando los comparas con los combustibles fósiles, la diferencia es significativa.

4. La energía renovable puede mejorar la salud pública

Al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otras sustancias contaminantes, tendremos un aire y un suelo más sanos. Esto definitivamente mejorará la salud pública y, en consecuencia, las personas tendremos una vida más feliz. Además, tener una población más saludable provocará una reducción significativa en el presupuesto de salud que las personas y los gobiernos deben destinar cada año.

5. Las tecnologías renovables crean muchos puestos de trabajo

Además del impacto ambiental del uso de tecnologías renovables, pueden tener una influencia beneficiosa en la economía. Esto es especialmente importante en algunas regiones desfavorecidas. De hecho, este es un mercado laboral nuevo y estable que ha surgido recientemente y puede empoderar a las personas en áreas pobres. Con un esfuerzo concertado y una inversión prudente, los empleos renovables pueden reducir la pobreza en todo el mundo.

6. Las tecnologías renovables requieren menos costos de mantenimiento

Si observa las tecnologías de energía renovable y las compara con las centrales eléctricas de combustibles fósiles, verá menos piezas en movimiento o en combustión. Aunque se pueden ver turbinas en parques eólicos o centrales hidroeléctricas, los sistemas de energía solar no necesitan piezas giratorias. Esto hace que las tecnologías

de energía renovable sean más duraderas y, por lo tanto, gastará menos dinero en mantenimiento y reparación. En general, el costo operativo de las centrales de energía renovable es significativamente menor que el que vemos en las centrales eléctricas tradicionales.

7. La energía renovable puede reducir la agitación en los precios de la energía

Si suele seguir las noticias, debe haber oído hablar de los altibajos diarios en los precios del petróleo. La energía renovable puede ser de gran ayuda en este sentido y reducir estas turbulencias y hacer que el mercado energético global sea más estable. Porque usar energías renovables solo requiere una inversión inicial, y no necesitas combustibles. Por el contrario, el uso de tecnologías tradicionales exige un presupuesto importante para los precios de los combustibles fósiles, que está sujeto a las inflaciones siempre existentes. Cuando los países reduzcan su dependencia de los combustibles fósiles, los precios en este mercado cambiarán más suavemente.

8. La energía renovable puede aumentar la independencia económica de los países

Con una red distribuida de tecnologías de energía renovable, los países sin recursos de combustibles fósiles pueden reducir su dependencia energética. De hecho, la población local puede generar electricidad utilizando tecnologías renovables y ayudar a los gobiernos a reducir las importaciones de petróleo. Esto disminuirá el riesgo de crisis energética y tiene una influencia beneficiosa en el desarrollo sostenible de los países.

9. Las sobras se pueden usar en tecnologías renovables

Los vertederos se encuentran entre las principales crisis del mundo. Es bueno saber que algunos tipos de tecnologías de energía renovable pueden usar las sobras y reducir la cantidad de materiales de desecho que se acumulan en los vertederos. La energía de biomasa, por ejemplo, las calderas de biomasa, tiene este aspecto beneficioso que puede consumir productos orgánicos usados como combustible. Esta es una forma prometedora que nos permite matar dos pájaros de un tiro. Primero, reducir el tamaño de los vertederos, y segundo, generar energía sin pagar combustibles fósiles.

2.2.2.2 Desventajas

Ahora se analizará algunas desventajas de las energías renovables que dificultan su uso.

1. La energía renovable no está disponible las 24 horas del día

Las fuentes de energía renovables son fuerzas naturales que dependen en gran medida de las condiciones climáticas. Por lo tanto, cuando tenga malas condiciones climáticas, las tecnologías de energía renovable como las celdas solares serán de menor utilidad. Por ejemplo, cuando llueve, sus paneles fotovoltaicos no pueden generar electricidad y, como resultado, debe volver a las fuentes de energía tradicionales. Podemos considerar esta incertidumbre como el inconveniente más importante de confiar en tecnologías renovables.

2. La eficiencia de las tecnologías renovables es baja

Cada tipo de energía requiere de una tecnología específica para que podamos convertirla en electricidad. La eficiencia de los dispositivos de conversión de energía es de gran importancia a la hora de priorizar las fuentes de energía. Desafortunadamente, la eficiencia de las tecnologías renovables no es tan alta en comparación con los dispositivos tradicionales de conversión de energía. Por ejemplo, la eficiencia de los paneles solares, que están disponibles en el mercado, está entre el 15% y el 20%. Por otro lado, las tecnologías tradicionales que utilizan carbón o gas natural pueden alcanzar niveles de eficiencia de hasta el 40% y el 60%, respectivamente.

3. El costo inicial de la energía renovable es alto

Teniendo en cuenta la cantidad de energía que podemos obtener de las tecnologías renovables, su costo inicial es alto y, en ocasiones, inasequible. De hecho, los procesos de fabricación e instalación de dispositivos de energía renovable como los paneles fotovoltaicos son relativamente costosos.

4. Los sitios de energía renovable requieren mucho espacio

Para aprovechar las energías de la naturaleza, necesitamos mucho espacio. Esto causará muchos problemas para los sitios de energía renovable. En comparación con las centrales eléctricas tradicionales, tenemos que utilizar más tierra para establecer granjas de energía renovable.

5. Los dispositivos de energía renovable necesitan reciclaje

La generación de electricidad a partir de fuentes de energía renovables produce niveles mucho más bajos de contaminación. Pero los dispositivos renovables están sujetos a algunas preocupaciones porque su fabricación y también su proceso de eliminación pueden generar contaminación. Por ejemplo, las células solares no funcionarán bien después de un tiempo, por lo que debemos desecharlas. Pero estos dispositivos pueden ser tóxicos y, como resultado, debemos pensar en un proceso de reciclaje para ellos.

2.3 Energía solar fotovoltaica

Iberdrola (2021) afirma que la energía solar fotovoltaica se obtiene convirtiendo la luz solar en electricidad mediante una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Es un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que se puede producir en instalaciones que van desde pequeños generadores para autoconsumo hasta grandes plantas fotovoltaicas.

Figura 2.8

Energía Solar Fotovoltaica



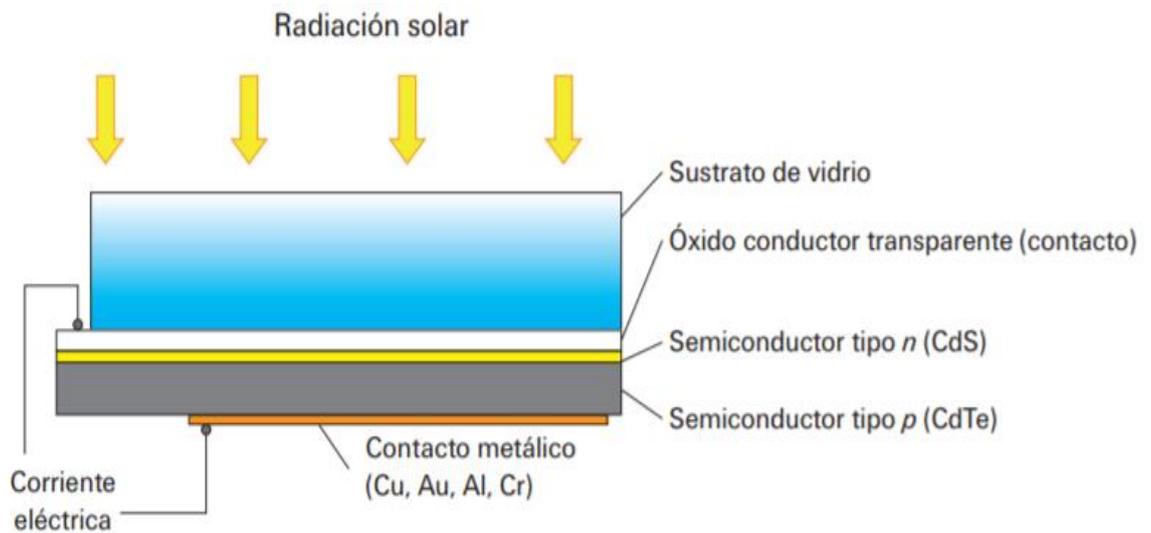
Nota. Proceso de como se genera la energía fotovoltaica. Adaptado de que es la energía fotovoltaica y como se genera. Ingeoexpert, por (Ingeoexpert, 2019).

De acuerdo con Renewable Energy World (2019) las celdas solares convierten la luz solar directamente en electricidad. Las celdas solares se utilizan a menudo para alimentar calculadoras y relojes. Están hechos de materiales semiconductores similares a los que se utilizan en los chips de computadora. Cuando estos materiales absorben la luz solar, la energía solar libera electrones de sus átomos, lo que permite que los electrones fluyan a través del material para producir electricidad. Este proceso de convertir la luz (fotones) en electricidad (voltaje) se denomina efecto fotovoltaico (PV). Las celdas solares generalmente se combinan en módulos que contienen hasta 72 celdas; varios de estos módulos están montados en conjuntos fotovoltaicos que pueden medir hasta varios metros de lado. Estos conjuntos fotovoltaicos de placa plana se pueden montar en un ángulo fijo orientado hacia el sur, o se pueden montar en un dispositivo de seguimiento que sigue al sol, lo que les permite capturar la mayor cantidad de luz solar en el transcurso de un día. Varios conjuntos fotovoltaicos conectados pueden proporcionar suficiente energía para un hogar; para grandes aplicaciones industriales o de servicios eléctricos, se pueden interconectar cientos de arreglos para formar un solo sistema fotovoltaico grande.

El rendimiento de una celda solar se mide en términos de su eficiencia para convertir la luz solar en electricidad. Solo la luz solar de ciertas energías funcionará de manera eficiente para crear electricidad, y gran parte de ella es reflejada o absorbida por el material que compone la celda. Debido a esto, una celda solar comercial típica en 2021 tiene una eficiencia de alrededor del 19-23 por ciento, lo que significa que aproximadamente una quinta parte de la luz solar que incide en la celda genera electricidad. Las bajas eficiencias significan que se necesitan arreglos más grandes y eso significa un costo más alto. Mejorar la eficiencia de las celdas solares mientras se mantiene bajo el costo por celda es un objetivo importante de la industria fotovoltaica, los investigadores del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) y otros laboratorios del Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), y han logrado un progreso significativo. Las primeras celdas solares, construidas en la década de 1950, tenían eficiencias de menos del 4%.

Figura 2.9

Estructura de una Celda Solar



Nota. Estructura básica de una celda solar. Adaptado de Energía solar fotovoltaica. Revista ciencia, por (Rodríguez et al., 2020, p. 3).

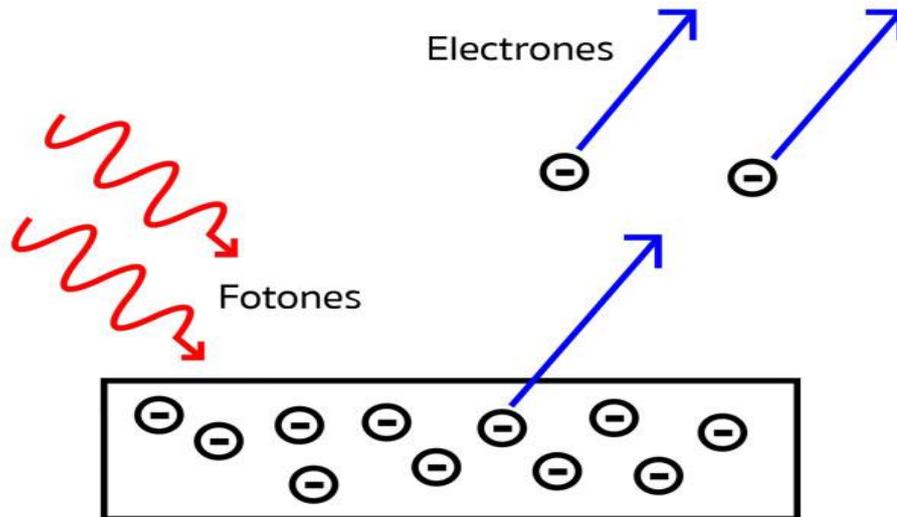
2.3.1 Efecto fotoeléctrico

Según Zhang & Wang (2019) este efecto fotovoltaico, que fue el principio de producir electricidad a partir de la radiación solar, fue observado por primera vez en 1839 por Alexandre Edmund Becquerel, un científico francés. El efecto fotovoltaico es un proceso en el que, cuando la luz del sol incide sobre la capa límite de los materiales semiconductores, se puede generar corriente eléctrica. Desde entonces, muchos científicos intentaron desarrollar tecnologías de generación de electricidad basadas en este efecto. En 1870, se estudió el efecto fotovoltaico en el selenio y los resultados indicaron que la eficiencia energética del selenio sólido era solo del 1 % al 2 %, muy por debajo del valor aceptable para los convertidores de energía potencial. En 1950, el silicio cristalino con alta pureza fue desarrollado; en 1954, Bell Labs desarrolló una célula fotovoltaica de silicio con una eficiencia de conversión del 4 %; más tarde, la eficiencia se mejoró aún más al 11%. En este momento, el efecto fotovoltaico creó una nueva era en la generación de energía solar. La Fig. 2.10 ilustra el principio del efecto fotovoltaico en una celda fotovoltaica. Esencialmente, la luz solar está compuesta de fotones, que pueden considerarse como unidades discretas de la energía almacenada en la luz. Una celda fotovoltaica está hecha de materiales semiconductores con una unión pn. Cuando la radiación solar golpea una celda solar,

parte de los fotones pueden ser absorbidos por la celda, lo que resulta en la producción de pares de huecos de electrones en la celda. Si se forma un circuito externo, la diferencia de voltaje conduce los electrones del lado n al lado p de la unión. En consecuencia, la corriente eléctrica se forma en el circuito externo.

Figura 2.10

Efecto Fotovoltaico



Nota. Esquema del efecto fotovoltaico. Adaptado de implementación de funcionamiento de las celdas fotovoltaicas. Iluminet, por (iluminet, 2016).

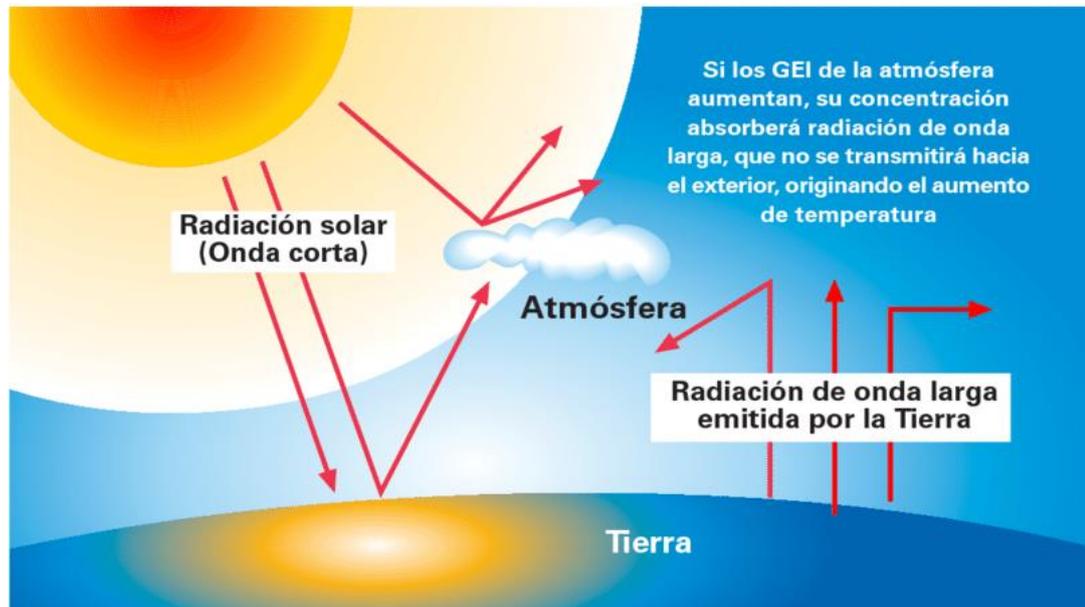
2.4 Radiación solar

Iberdrola (2021) expone que, sin la radiación solar, no habría vida en la Tierra; además, actualmente nos permite producir energía fotovoltaica, fundamental en la lucha contra el cambio climático. La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se envía en todas las direcciones a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Emitida por la superficie del Sol, esta energía influye en los procesos atmosféricos y climatológicos. También es, directa e indirectamente, responsable de fenómenos comunes, como la fotosíntesis de las plantas, mantener el planeta a una temperatura compatible con la vida y la formación del viento, que es fundamental para generar energía eólica. El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta, que se debilita en la atmósfera por la presencia de nubes y es absorbida por moléculas de gas o partículas en suspensión. Después de atravesar la atmósfera, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental y es reflejada o

absorbida. Finalmente, la superficie lo devuelve al espacio exterior en forma de radiación de onda larga.

Figura 2.11

Reflectividad de la Radiación



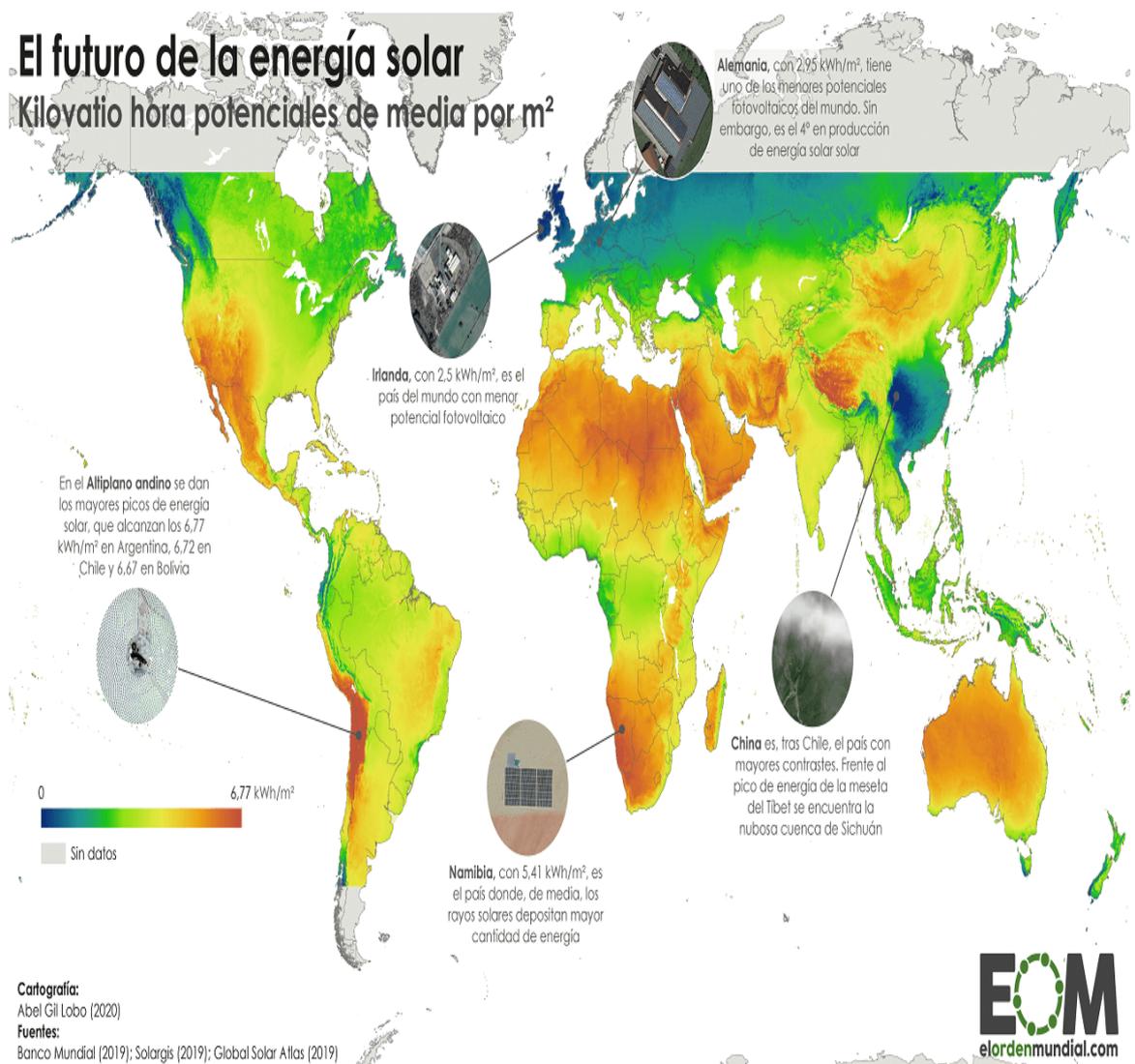
Nota. Reflexión y absorción de la energía solar. Adaptado de el ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. Researchgate, por (Gallardo Lancho, 2021).

Ashok (2021) afirma que el potencial de la energía solar es enorme, ya que la Tierra recibe cada día en forma de energía solar unas 200.000 veces la capacidad total diaria de generación de electricidad del mundo. Desafortunadamente, aunque la energía solar en sí misma es gratuita, el alto costo de su recolección, conversión y almacenamiento aún limita su explotación en muchos lugares. La radiación solar se puede convertir en energía térmica (calor) o en energía eléctrica, aunque la primera es más fácil de lograr.

Gil Lobo (2020) plantea que, aunque todas las regiones de la tierra reciben las mismas horas de luz al año ya que teóricamente la tierra es redonda, no sucede lo mismo con los rayos del sol, ya que estos no llegan con la misma energía a todas las regiones, creando diferencias en el potencial fotovoltaico de unas zonas y otras. En la Figura 2.12 se muestra el mapa del potencial de energía solar en el mundo.

Figura 2.12

Mapa de la Energía Solar en el Mundo



Nota. Mapa del potencial de la energía solar en el mundo. Adaptado de potencial de la energía solar del mundo. El orden mundial, por (Gil Lobo, 2020).

Según EERE (2021) o también conocida como Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable, todos los lugares de la Tierra reciben luz solar al menos una parte del año. La cantidad de radiación solar que llega a cualquier punto de la superficie terrestre varía según:

- Ubicación geográfica
- Hora del día
- Temporada

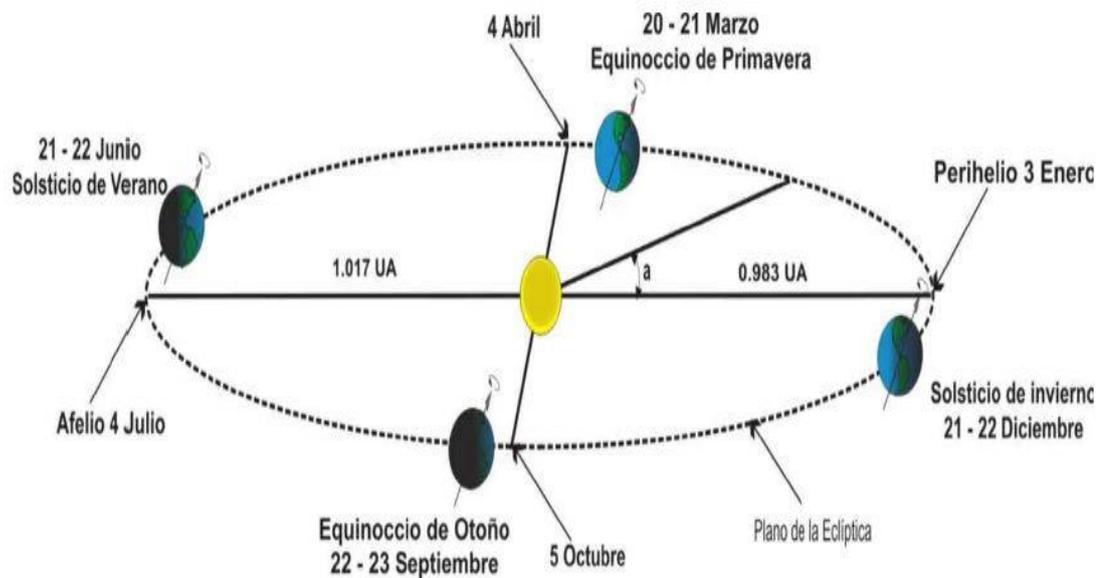
- Paisaje local
- Clima local

Debido a que la Tierra es redonda, el sol incide sobre la superficie en diferentes ángulos, que van desde 0° (justo sobre el horizonte) hasta 90° (directamente sobre la cabeza). Cuando los rayos del sol son verticales, la superficie de la Tierra recibe toda la energía posible. Cuanto más inclinados están los rayos del sol, más tiempo viajan a través de la atmósfera, volviéndose más dispersos y difusos. Debido a que la Tierra es redonda, las gélidas regiones polares nunca reciben un sol alto, y debido al eje de rotación inclinado, estas áreas no reciben sol durante parte del año. La Tierra gira alrededor del sol en una órbita elíptica y está más cerca del sol durante parte del año. Cuando el sol está más cerca de la Tierra, la superficie terrestre recibe un poco más de energía solar. La Tierra está más cerca del sol cuando es verano en el hemisferio sur e invierno en el hemisferio norte. Sin embargo, la presencia de vastos océanos modera los veranos más calurosos y los inviernos más fríos que uno esperaría ver en el hemisferio sur como resultado de esta diferencia. La inclinación de $23,5^\circ$ en el eje de rotación de la Tierra es un factor más importante para determinar la cantidad de luz solar que incide sobre la Tierra en un lugar determinado.

La inclinación da como resultado días más largos en el hemisferio norte desde el equinoccio de primavera (vernal) hasta el equinoccio de otoño (otoño) y días más largos en el hemisferio sur durante los otros 6 meses. Los días y las noches duran exactamente 12 horas en los equinoccios, que ocurren cada año alrededor del 23 de marzo y el 22 de septiembre. Países como Estados Unidos, que se encuentran en latitudes medias, reciben más energía solar en el verano no solo porque los días son más largos, sino también porque el sol está casi arriba. Los rayos del sol son mucho más inclinados durante los días más cortos de los meses de invierno. Ciudades como Denver, Colorado (cerca de los 40° de latitud) reciben casi tres veces más energía solar en junio que en diciembre. La rotación de la Tierra también es responsable de las variaciones horarias de la luz solar. Temprano en la mañana y al final de la tarde, el sol está bajo en el cielo. Sus rayos viajan más lejos a través de la atmósfera que al mediodía, cuando el sol está en su punto más alto. En un día despejado, la mayor cantidad de energía solar llega a un colector solar alrededor del mediodía solar.

Figura 2.13

Movimientos de la Tierra



Nota. Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. Adaptado de Radiación solar. Protección civil, por (REMER, 2021).

2.4.1 Tipos de radiación solar

A medida que la luz del sol atraviesa la atmósfera, parte de ella es absorbida, dispersada y reflejada por:

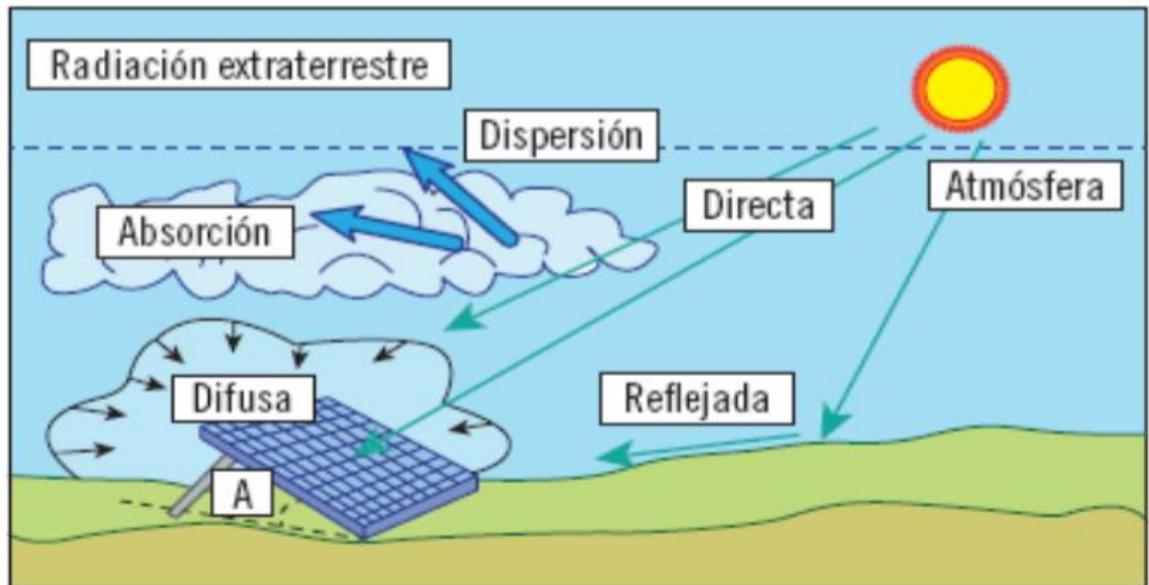
- Moléculas de aire
- Vapor de agua
- nubes
- Polvo
- Contaminantes
- incendios forestales
- volcanes

La radiación solar que llega a la superficie terrestre sin ser difundida se denomina radiación solar de haz directo. La suma de la radiación solar directa y difusa se denomina radiación solar global. Las condiciones atmosféricas pueden reducir la

radiación de haz directo en un 10 % en días claros y secos y en un 100 % durante días nublados y espesos.

Figura 2.14

Radiación Global



Nota. Esquema de los tipos de radiación solar que absorbe un panel fotovoltaico. Adaptado de instalación fotovoltaica conectada a la red. Docplayer, por (Tamara Martínez, 2019, p. 55).

Por otro lado, Iberdrola (2021) también hace énfasis en los tipos de luz emitidos por el sol.

Rayos infrarrojos (IR). De longitud de onda más larga que la luz visible, emiten calor y las desprende cualquier cuerpo cuya temperatura sea superior a 0° Kelvin.

Rayos visibles (VI). Emiten luz y son las que el ojo humano percibe en forma de colores (rojo, naranja, amarillo, verde, cian, azul y violeta).

Rayos ultravioletas (UV). Son invisibles al ojo humano y tienen el impacto más grave en la piel (quemaduras, manchas, arrugas). Se dividen en tres subcategorías:

- Ultravioleta A (UVA)
- Ultravioleta B (UVB).
- Ultravioleta C (UVC).

2.4.1.1 Radiación directa

Este tipo de radiación penetra en la atmósfera y llega a la superficie terrestre sin dispersarse en absoluto por el camino.

2.4.1.2 Radiación difusa

Es la radiación que llega a la superficie terrestre después de haber sufrido múltiples desviaciones en su trayectoria, por ejemplo, por los gases de la atmósfera.

2.4.1.3 Radiación reflejada

Esta es la fracción de la radiación solar que es reflejada por la propia superficie terrestre, en un fenómeno conocido como efecto albedo.

2.4.2 Medición de la radiación solar

La radiación solar se mide sobre una superficie horizontal mediante un sensor de radiación o piranómetro, que se coloca en un lugar orientado al sur y sin sombras. Los datos se recopilan en unidades de potencia, vatios por metro cuadrado (W/m^2), en todas las estaciones meteorológicas y suelen tomarse a intervalos de diez minutos o de 24 horas para establecer promedios. En el caso que se desee convertir la radiación solar de unidades de potencia a unidades de energía, se deberá multiplicar el dato en W/m^2 por el número de segundos que comprende diez minutos (600) o 24 horas (86.400) y se dará el resultado en julios por metro cuadrado (J/m^2).

2.4.2.1 Equipos de medición de la radiación solar

Hukseflux (2021) afirma que la radiación solar a menudo se define como la energía que llega a la tierra desde el sol. Una gran parte de esto es luz solar visible, pero el espectro solar se extiende tanto en la radiación ultravioleta (UV) como en los rayos infrarrojos cercanos. Nos llega de diferentes formas: directamente del sol (radiación solar directa), a través de la dispersión en la atmósfera (radiación solar difusa) a través de reflejos. Estas cantidades se pueden medir por separado, pero la mayoría de las veces la gente está interesada en la radiación total en la superficie: la radiación horizontal global. En el monitoreo de plantas de energía fotovoltaica, se requiere tanto la irradiancia horizontal global como la irradiancia en el plano de sus paneles. Esto se llama radiación solar inclinada. En los estudios de balance de energía, se combinan varios piranómetros para medir tanto la radiación solar incidente como la

reflejada. Esto se puede combinar con mediciones separadas de radiación neta de onda larga y otros flujos. En la Tabla 2.1 enumera los instrumentos que se utilizan para medir los tipos de radiación solar, tales como la radiación solar directa, difusa, reflejada entre otras.

Tabla 2.1

Instrumentos para la medición de la radiación solar

MEDIDA	INSTRUMENTO
irradiancia horizontal global	piranómetro
radiación solar en un plano inclinado	piranómetro
irradiancia en el 'plano de matriz'	piranómetro
radiación solar directa	pirheliómetro en un seguidor solar
radiación solar difusa	piranómetro, sombreado
radiación solar reflejada	piranómetro
albedo	2 x piranómetro
balance de energía superficial	2 x piranómetro + 2 x pirgeómetro

Nota. Instrumentos para medir los tipos radiación solar. Adaptado de como medir la radiación solar, por (Hukseflux, 2021). Elaborado por el Autor, 2022.

De acuerdo con Globalspec (2021) los instrumentos utilizados para medir los tipos de radiación solar son los siguientes:

Piranómetros

Los piranómetros miden la radiación solar hemisférica o radiación solar de banda ancha dentro de un campo de visión de 180 grados; esto puede considerarse la radiación solar global de un hemisferio dado. Un piranómetro analógico típico no requiere energía para funcionar y consta de un sensor de termopila debajo de una cúpula de vidrio. La termopila absorbe toda la radiación solar que le llega y genera una pequeña tensión de salida proporcional. Los piranómetros generalmente se usan en o cerca de paneles solares para facilitar el posicionamiento óptimo del panel.

Figura 2.15

Piranómetro

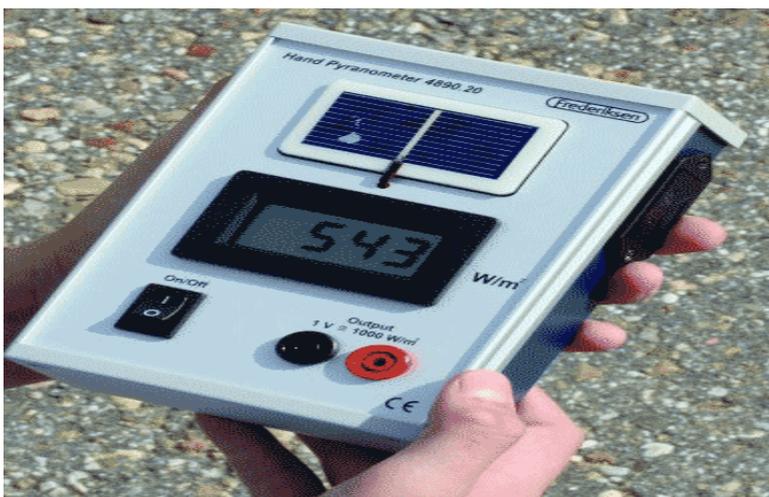


Nota. Piranómetro fotovoltaico. Adaptado de Piranómetro SR20-D1. Sensovant, por (Sensovant, 2014).

Los piranómetros digitales se utilizan para registrar y analizar los datos de irradiación. Por lo general, son capaces de generar datos en forma de serie. Como se muestra en la imagen a continuación, los piranómetros digitales pueden ser portátiles para tomar medidas de campo.

Figura 2.16

Piranómetro Digital



Nota. Piranómetro digital portátil. Adaptado de Información de instrumentos de radiación solar. Globalspe, por (Globalspe, 2021).

Pirheliómetros

Los pirheliómetros son similares a los piranómetros, pero están diseñados para medir solo la radiación solar directa. Con este fin, se utilizan ocasionalmente en aplicaciones de piranómetros idénticas, pero también se utilizan con sistemas de seguimiento solar para garantizar que el sistema apunte constantemente hacia el sol. El dispositivo en sí a menudo se monta directamente en el sistema de seguimiento para que siempre mida la luz solar directa. La luz del sol ingresa a los pirheliómetros a través de una lente integral, que proyecta la luz del sol sobre un termopar dentro del dispositivo. La mayoría de los pirheliómetros pueden convertir la salida de voltaje pequeño de una termopila en vatios por metro cuadrado y emitir o registrar estos datos.

Figura 2.17

Pirheliómetros



Nota. Pirheliómetro de alta precisión. Adaptado de Instrumentos de Medición Radiación Solar. Sensovant, por (Sensovant, 2014).

Sensores cuánticos

Los sensores cuánticos son dispositivos especializados que miden la cantidad de radiación fotosintéticamente activa, o la porción del espectro visible que pueden utilizar los organismos fotosintéticos, dentro de una banda de radiación solar. Específicamente, los sensores cuánticos miden la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) de la luz solar. Esta medida es útil en la agricultura para elegir

ubicaciones de tierras de cultivo productivas o mantener casas de cultivo, y también se usa en oceanografía para calcular los límites de la zona de luz solar de un océano. (Por esta última razón, los sensores cuánticos a menudo se construyen con una carcasa impermeable). Los sensores cuánticos suelen utilizar tecnología fotovoltaica para generar una salida potencial.

Figura 2.18

Sensores Cuánticos



Nota. Sensor cuántico conectado a un medidor de luz. Adaptado de Información de instrumentos de radiación solar. Globalspec, por (Globalspec, 2021).

2.4.2.2 Unidades de medida en energía solar

De Rooij (2021) afirma que, en el diseño de sistemas fotovoltaicos, es esencial conocer la cantidad de luz solar disponible en un lugar específico en un momento determinado. La radiación solar es la densidad de potencia instantánea en unidades de kilovatio por metro cuadrado. El rango de radiación solar varía a lo largo del día desde cero kW/m² por la noche hasta un máximo de casi 1 kW/m².

En la Tabla 2.2 se muestra a detalle las unidades de medida útiles para la medición de la radiación solar, como, por ejemplo, un Watt por hora es equivalente a 3600 joule.

Tabla 2.2**Conversiones útiles para la Radiación**

Unidad	Equivalencia
1 vatio (W)	1 Joule/segundo (J/s)
1 W * h	3.600 J
1 KW * h	3,6 MJ
1 W * h	3,412 Btu
1 Caloría	0.001163 W * h
1 Caloría	4,187 Joule
1 cal/c m ²	11,63 W * h/m ²
1 MJ/ m ²	0,27778 kW * h/ m ²
1 MJ/ m ²	277,78 W*h/ m ²
1 MJ/ m ²	23,88 cal/c m ²
1 BTU	252 calorías

Nota. Unidades de medida útiles para la medición de la radiación solar. Adaptado de Radiación solar, por (REMER, 2021). Elaborado por el Autor, 2022.

2.5 Inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos

Amin et al., (2018) Destaca que la ubicación y orientación de los paneles solares es tan importante como el tipo de panel solar que se utiliza en una situación determinada. Un panel solar aprovechará la mayor cantidad de energía cuando los rayos del sol golpeen su superficie perpendicularmente. Asegurarse de que los paneles solares estén orientados en la dirección correcta y tengan una inclinación adecuada ayudará a garantizar que produzcan la máxima energía ya que están expuestos a la mayor intensidad de luz solar durante el mayor período de tiempo. Algunos paneles solares siguen al Sol mediante sistemas de seguimiento solar que aumentan significativamente la producción de energía. En los siguientes conceptos se refieren únicamente a sistemas 'fijos' o sin seguimiento.

Figura 2.19

Panel Solar Orientado



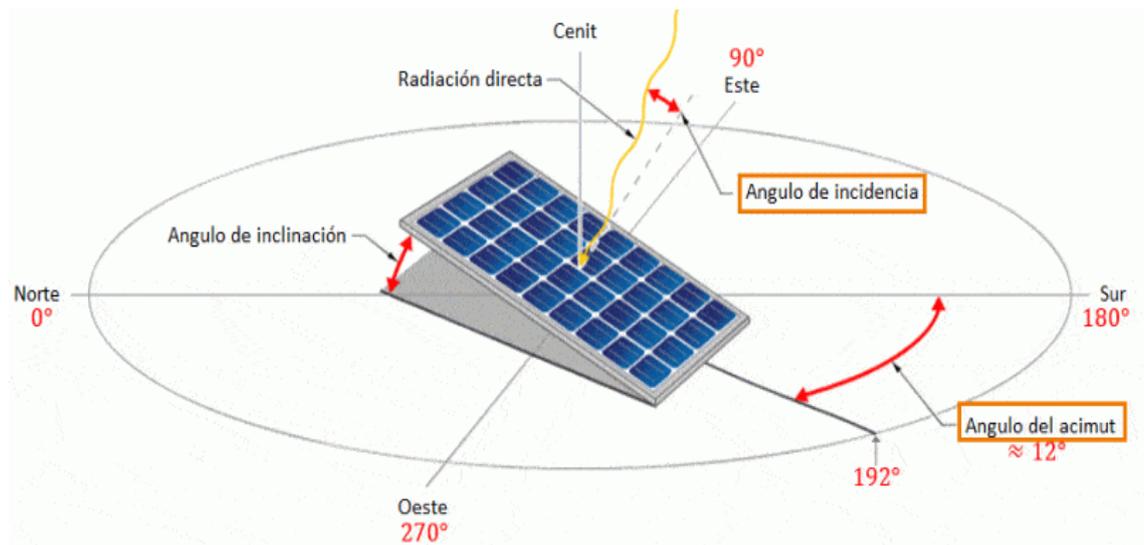
Nota. La orientación de un panel solar, cumple una función muy importante para garantizar que se maximice la potencia de salida del Panel solar. Adaptado de Solar panel orientation. Energy education, por (Amin et al., 2018).

2.5.1 Inclinación

El ángulo o la inclinación de un panel solar también es una consideración importante. El ángulo en el que debe colocarse un panel solar para producir la mayor cantidad de energía en un año determinado está determinado por la latitud geográfica. Una regla general para la producción anual óptima de energía es establecer el ángulo de inclinación del panel solar igual a la latitud geográfica. Por ejemplo, si la ubicación del panel solar está a 50 ° de latitud, el ángulo de inclinación óptimo también es de 50°. Esencialmente, cuanto más cerca se encuentra un panel solar del ecuador, más debe apuntar el panel hacia arriba. Cuando más cerca esté el panel de los polos, más deben inclinarse hacia el ecuador. El ángulo de los paneles solares también puede influir en la potencia de salida debido a factores climáticos y ambientales. En los climas del norte, la acumulación de nieve en los paneles de baja inclinación puede reducir o bloquear completamente los rayos del sol para que no lleguen al panel solar durante los meses de invierno. Aunque este efecto variará para cada ubicación, un estudio en Edmonton, Alberta, Canadá concluyó que la pérdida anual de energía debido a la acumulación de nieve oscila entre el 1,6 % con una inclinación óptima (53°) y el 5,3 % con una inclinación baja (15°). Además, los paneles solares de baja inclinación son más susceptibles a "ensuciarse" con suciedad y escombros que también pueden bloquear parcialmente los rayos del sol.

Figura 2.20

Inclinación y Orientación de un Panel Solar



Nota. Posición y orientación esquemática de un panel solar fijo. Adaptado de Productividad de paneles solares monocristalinos. Somim, por (Somim, 2017, p. 77).

Por otro lado, Solar Reviews (2022) respalda que, el ángulo de inclinación aumenta con la latitud: cuanto más lejos esté su casa del ecuador, mayor debería ser su ángulo de inclinación. Por ejemplo, Ecuador se coloca directamente sobre el Ecuador, por esa razón su latitud es de 2° , por ende, su ángulo de inclinación sería muy bajo. La latitud de la capital de Ecuador, Quito, es de 0° y la otra ciudad muy importante del Ecuador que también es su capital comercial, Guayaquil tiene una latitud de 02° (MapsOfWorld, 2021).

Hay una regla general simple para calcular el mejor ángulo de inclinación para los paneles solares de montaje fijo. Reste 15 grados de la latitud en su ubicación durante el verano y agregue 15 grados a su latitud durante el invierno. Sin embargo, ajustar sus paneles solares cuatro veces al año (o incluso dos veces) no es una tarea sencilla. Después de todo, la mayoría de los paneles solares están montados en el ángulo fijo del techo y no se pueden ajustar. La única forma de ajustar fácilmente los paneles solares es utilizar un sistema de montaje en tierra e instalar paneles solares con seguimiento de ejes. Sin embargo, hay una gran desventaja en este enfoque: si bien aumenta la producción solar, aumenta mucho más sus costos. Como resultado, los seguidores del eje solar actualmente no valen la inversión.

Tabla 2.3

Porcentajes del Beneficio en el Ajuste de Ángulo de un Panel Solar

	Instalación fija	Ajustado 2 temporadas	4 temporadas ajustadas
Salida como % del óptimo	71,1%	75,2%	75,7%

Nota. Cómo afecta el cambio de ángulo a la salida del panel solar. Adaptado de el mejor ángulo del panel solar, por (Solar Reviews, 2022). Elaborado por el Autor.

Si compara la producción producida por los paneles solares durante un año, encontrará que hay una diferencia relativamente pequeña entre los paneles instalados en un techo poco profundo (15 grados) y uno empinado (45 grados). Esto se debe a que los diferentes lanzamientos se equilibrarán a lo largo de las temporadas. Los paneles solares en un techo poco profundo capturan más luz solar durante la temporada de verano, mientras que los paneles solares en un techo empinado producirán más energía durante el invierno. Por lo tanto, en estados amigables con la energía solar como California, la mayoría de los propietarios encuentran que vale la pena invertir en sistemas solares, sin importar el ángulo en el que estén instalados. El rendimiento de los paneles solares se ve afectado por su ángulo de inclinación, para extraer la máxima potencia de un sistema fotovoltaico, tendría que ajustar el ángulo según la latitud y la estación. En situaciones reales, a menudo tiene que lidiar con ángulos de techo fijos donde no hay opción para ajustar o inclinar los sistemas solares, por ende, se obtendría como resultado final que el ángulo óptimo del panel solar puede aumentar la producción, pero no lograrlo no es un factor decisivo.

2.5.2 Orientación

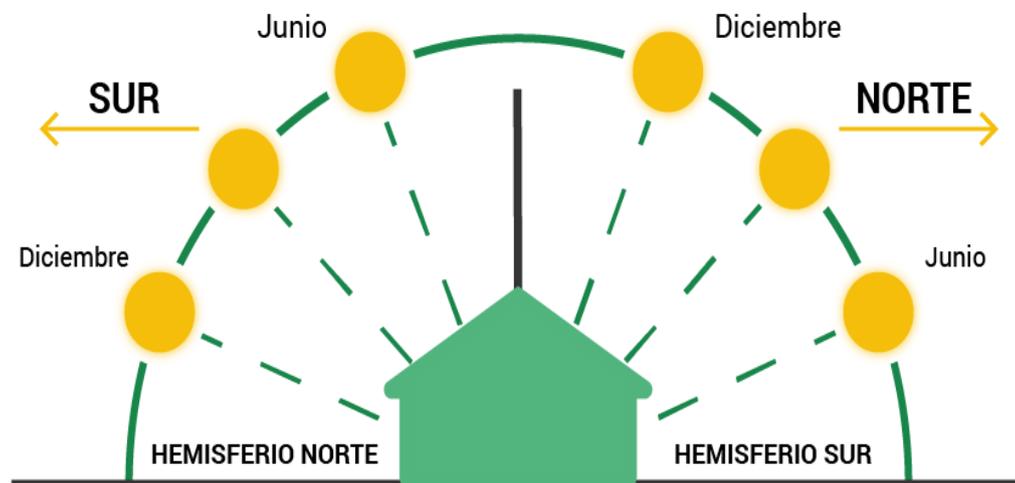
Según, Amin et al. (2018) en el hemisferio norte, la regla general para la colocación de paneles solares es que los paneles solares deben mirar hacia el sur verdadero (y en el sur, el norte verdadero). Por lo general, esta es la mejor dirección porque los paneles solares recibirán luz directa durante todo el día. Sin embargo, hay una diferencia entre el sur magnético y el sur verdadero que debe ser considerada. El sur magnético es el "sur" que se muestra cuando se usa una brújula, y este sur apunta al polo sur magnético de la Tierra. Los paneles solares, sin embargo, deben estar

orientados hacia el sur solar o geográfico, que es la dirección hacia el Polo Sur. Por el mismo razonamiento, si el panel solar está ubicado en el hemisferio sur, el panel debe orientarse en la dirección del norte verdadero.

Dependiendo de cómo se utilicen los paneles solares, también puede ser beneficioso tener una ligera rotación alejándose del sur. Por ejemplo, según el uso que se les dé a los paneles solares de una casa, deben orientarse ligeramente hacia el suroeste. Estos paneles recolectan más energía cuando miran hacia el sur, pero la energía es más útil si llega más tarde en el día. Este giro permite que los paneles solares produzcan más electricidad en las horas en que se necesita. Apuntar los paneles ligeramente hacia el suroeste, en la dirección de la puesta del sol, permitiría que los paneles produzcan más energía por la noche, cuando las personas están en casa y usan más electrodomésticos. La disminución de la producción total se equilibra con la electricidad disponible cuando más se necesita.

Figura 2.21

Orientación de un Panel Solar



Nota. Esquema de la orientación óptima de un panel solar. Adaptado de cómo calcular la inclinación de un panel solar. Auto solar, por (AutoSolar, 2021).

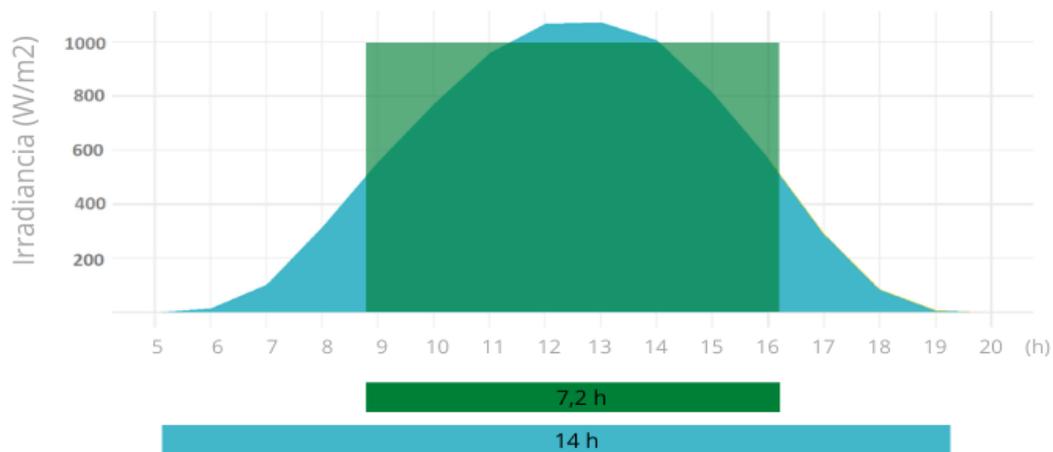
2.5.3 Horas sol pico

Solar Reviews (2022) expone que una hora pico de sol se define como una hora en la que la intensidad de la radiación solar (luz solar) alcanza un promedio de 1000 vatios (W) de energía por metro cuadrado (aproximadamente 10,5 pies). Otra forma de decirlo: 1 hora pico de sol = 1000 W/m² de luz solar por hora. Una hora pico de sol

representa una gran cantidad de luz solar. Es probable que los paneles solares solo reciban esa cantidad de luz solar cuando están orientados directamente hacia el sol cuando el sol está en su punto más fuerte, al mediodía. Esa cantidad de luz solar, 1000 W/m² durante una hora, también resulta ser la cantidad exacta de luz solar utilizada para probar y calificar los paneles solares en el laboratorio. En otras palabras, antes de las pérdidas del sistema, durante una hora pico de sol, puede esperar que un panel solar de 300 vatios produzca aproximadamente 300 vatios-hora de electricidad y un sistema de 6 kilovatios produzca aproximadamente 6 kilovatios-hora de electricidad. Por eso se ha desarrollado el concepto de 'horas pico de sol'. Le permite medir con precisión la cantidad de irradiación (luz solar) que llegará a los paneles solares instalados en un lugar determinado. Por ejemplo, si una ubicación determinada recibe un total de 6650 Wh/m² de radiación solar en el transcurso de un día, esa ubicación recibe 6,65 horas de sol pico.

Figura 2.22

Horas de Sol Pico



Nota. Gráfica de las horas de sol pico en un día. Adaptado de horas de sol pico. Helio Esfera, por (Helio Esfera, 2020).

Conocer el promedio de horas de sol pico de su región puede ser un indicador útil del potencial solar de su hogar. Usando el siguiente ejemplo, veamos cómo puede usar las horas pico de sol para calcular cuánta electricidad necesita que genere su sistema de paneles solares:

- Horas pico de sol = 7
- Su casa utilizó 25.000 kWh de electricidad el año pasado

- $25.000 \text{ kWh} / 365 \text{ días} = 68,49 \text{ kWh por día}$
- $68,49 \text{ kWh por día} / 7 \text{ horas pico de sol por día} = 9,78 \text{ kWh}$
- Debe instalar un sistema solar fotovoltaico de 10kW

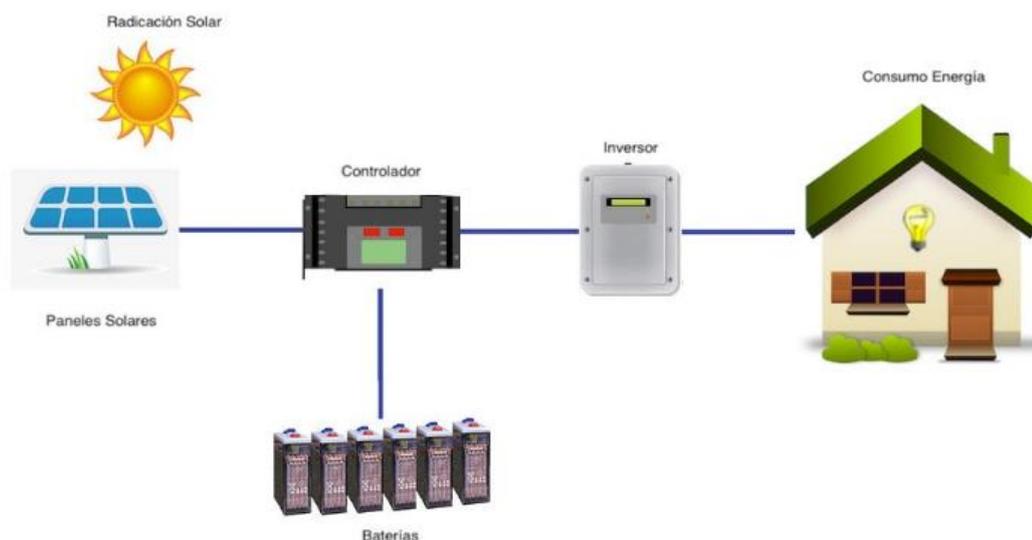
Sus paneles solares necesitan la luz solar directa de las horas pico de sol para generar la máxima electricidad posible para su hogar (Palmetto, 2021).

2.6 Componentes del sistema fotovoltaico

Según Laetitia (2018) de acuerdo al tipo de sistema fotovoltaico o los requisitos de diseño, una serie de componentes están conectados entre sí para constituir el sistema fotovoltaico. Estos componentes son celdas solares cuadradas, controlador de carga, inversor y unidad de almacenamiento (batería). Bombas de agua solares diseñadas para los propósitos de riego no requieren inversores porque la bomba usa energía de corriente continua (CC). Además, el sistema fotovoltaico comercial o conectado a la red requerirá otros componentes como transformadores, etc. Los componentes mencionados anteriormente son aplicables a sistemas fotovoltaicos independientes que proveen energía eléctrica para viviendas y pequeñas oficinas.

Figura 2.23

Esquema de un Sistema Solar



Nota. Esquema de un Sistema Solar Fotovoltaico autónomo clásico. Adaptado de Energía Solar Fotovoltaica en Mallorca. Comercial mascaró, por (Mascaró, 2014).

2.6.1 Panel solar o módulo fotovoltaico

Según Colleen Spiegel (2018) los paneles fotovoltaicos (PV) se componen de celdas individuales conocidas como celdas solares. Cada celda solar genera una pequeña cantidad de electricidad. Cuando conecta muchas celdas solares juntas, se crea un panel solar que genera una cantidad sustancial de electricidad. Los sistemas fotovoltaicos varían en tamaño, según la aplicación: pueden variar desde sistemas pequeños, montados en techos o integrados en edificios con capacidades de decenas de kilovatios hasta grandes estaciones basadas en servicios públicos que generan cientos de megavatios de energía eléctrica. Hay sistemas fotovoltaicos que están conectados a la red eléctrica (sistemas grid-direct o grid-hybrid), y hay sistemas que permiten que un usuario se desconecte de la red (sistemas fuera de la red (o autónomos)).

Figura 2.24

Panel Fotovoltaico



Nota. Panel solar encargado de generar electricidad. Adaptado de componentes de un sistema fotovoltaico. Fuelcellstore, por (Colleen Spiegel, 2018).

2.6.1.1 Características eléctricas de los paneles solares

De acuerdo a Alternative Energy Tutorials (2021) las principales características eléctricas de una celda o módulo fotovoltaico se resumen en la relación entre la corriente de salida y el voltaje producido en una curva típica de características IV de celda solar. La cantidad e intensidad de la insolación solar (irradiación solar) controla la cantidad de corriente de salida (I), y la temperatura de funcionamiento de las células

solares afecta el voltaje de salida (V) del conjunto fotovoltaico. Las células solares producen electricidad de corriente continua (CC) y la corriente multiplicada por el voltaje es igual a la potencia, por lo que podemos crear curvas IV de células solares que representen la corriente frente al voltaje para un dispositivo fotovoltaico.

Tabla 2.4

Características Eléctricas de un Panel Solar

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	A-135P
Potencia (W en prueba ± 5 %)	135 W
Número de células en serie	36
Eficiencia del módulo	13,88 %
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	7,58 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	17,82 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,23 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	22,38 V
Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,08 %/°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32 %/°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ) β	-0,38%/°C
Máxima Tensión del Sistema	1000 V

Nota. Características eléctricas de un módulo fotovoltaico (modelo a-135P de ATERSA). Adaptado de componentes de una instalación fotovoltaica, por (ceen, 2015). Elaborado por el Autor, 2022.

Las curvas de características de la celda solar IV son básicamente una representación gráfica del funcionamiento de una celda o módulo solar que resume la relación entre la corriente y el voltaje en las condiciones existentes de irradiancia y temperatura. Las curvas IV proporcionan la información necesaria para configurar un sistema solar de modo que pueda funcionar lo más cerca posible de su punto de máxima potencia (MPP) óptimo. Generalmente las proporciona el fabricante de los paneles y se dan como:

Parámetros de paneles solares

V OC = Voltaje de circuito abierto: Este es el voltaje máximo que proporciona la matriz cuando los terminales no están conectados a ninguna carga (una condición de circuito abierto). Este valor es mucho más alto que Vmp, que se relaciona

con la operación de la matriz fotovoltaica que está fijada por la carga. Por lo general, el voltaje de circuito abierto de la celda solar es casi igual a 0,5 a 0,6 voltios.

I SC = Corriente de cortocircuito: La corriente máxima proporcionada por el conjunto de elementos fotovoltaicos cuando los conectores de salida se cortocircuitan entre sí (una condición de cortocircuito). Este valor es mucho más alto que I_{mp} , que se relaciona con la corriente del circuito de operación normal.

MPP = Punto de máxima potencia: Corresponde al punto donde la potencia suministrada por el arreglo que está conectado a la carga (baterías, inversores) está en su valor máximo, donde $MPP = I_{mp} \times V_{mp}$. El punto de máxima potencia de un conjunto fotovoltaico se mide en Watts (W) o Watts pico (Wp).

FF = Factor de llenado: El factor de llenado es la relación entre la potencia máxima que el arreglo puede proporcionar en condiciones normales de funcionamiento y el producto del voltaje de circuito abierto multiplicado por la corriente de cortocircuito ($V_{OC} \times I_{SC}$). El valor del factor de relleno da una idea de la calidad de la matriz y cuanto más cerca esté el factor de relleno de 1 (unidad), más potencia puede proporcionar la matriz. Los valores típicos están entre 0,7 y 0,8. Comienza a ver pérdidas de eficiencia en el equipo cuando se da valores menores a los típicos.

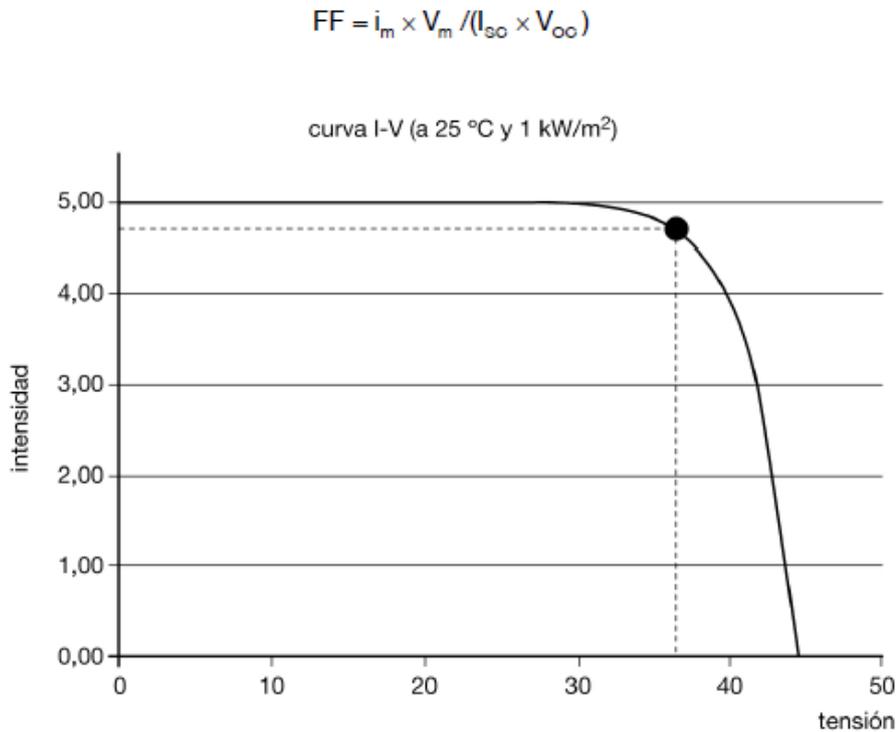
$$P_{m\acute{a}x} = I_{SC} \cdot V_{OC} \cdot F_F$$
$$F_F = \frac{P_{m\acute{a}x}}{I_{SC} \cdot V_{OC}}$$

%eff = Eficiencia porcentual: La eficiencia de un conjunto fotovoltaico es la relación entre la potencia eléctrica máxima que el conjunto puede producir en comparación con la cantidad de radiación solar que incide sobre el conjunto. La eficiencia de un panel solar típico es normalmente baja, alrededor del 10-12 %, según el tipo de celda fotovoltaica (monocristalina, policristalina, amorfa o de película delgada) que se utilice.

En la Figura 2.25 se muestra la curva característica de un módulo fotovoltaico, el cual indica el punto de máxima potencia, que corresponde a un voltaje de máxima potencia de unos 37 V, en cambio la intensidad de máxima potencia nos indica un valor de 4,8 V. También recalando que el voltaje de circuito abierto sería de 45 V y la corriente de cortocircuito sería de 5 A.

Figura 2.25

Curva Característica de un Módulo Fotovoltaico



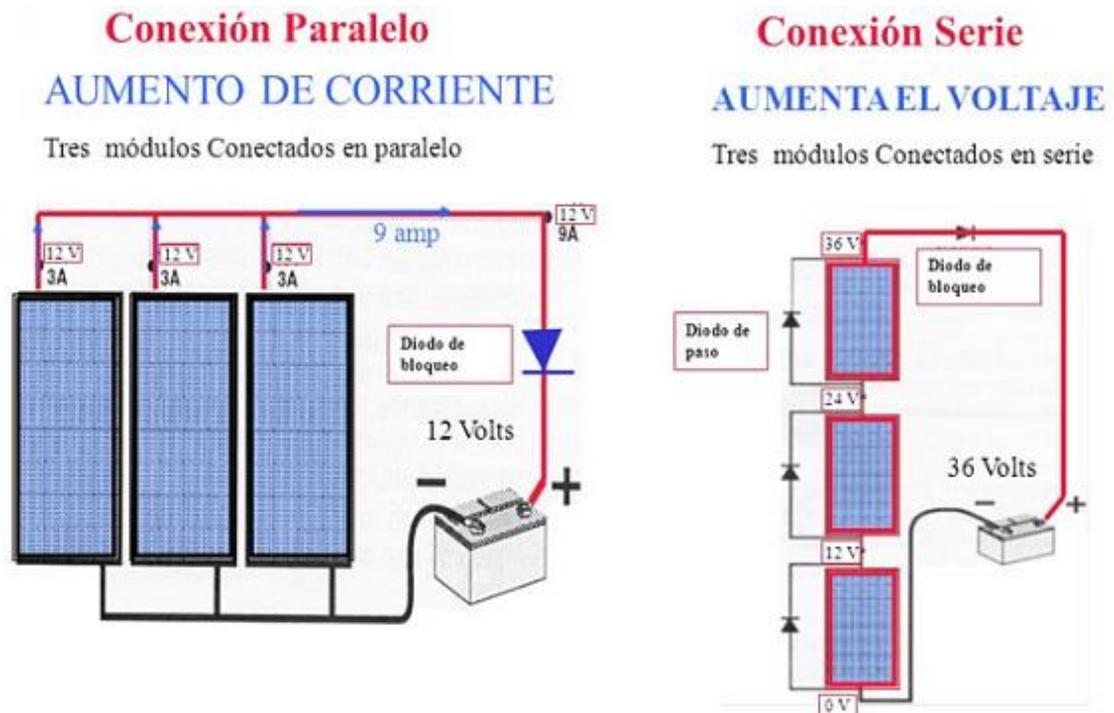
Nota. Curva característica de un módulo fotovoltaico. Adaptado de componentes de una instalación fotovoltaica. Certificación energética, por (ceen, 2015).

Alternative Energy Tutorials (2021) afirma que los paneles solares fotovoltaicos se pueden conectar eléctricamente en serie para aumentar la salida de voltaje, o se pueden conectar en paralelo para aumentar el amperaje de salida. Los paneles solares fotovoltaicos también se pueden conectar juntos en combinaciones en serie y en paralelo para aumentar tanto el voltaje de salida como la corriente para producir una matriz de mayor vataje. Conectar paneles solares para formar matrices más grandes no es tan complicado. La cantidad de series o cadenas paralelas de paneles que componen por matriz depende de la cantidad de voltaje y corriente que esté buscando. Si está diseñando un sistema de carga de batería de 12 voltios, el cableado en paralelo es perfecto. Si está buscando un sistema conectado a la red de mayor voltaje, entonces probablemente querrá ir con una combinación en serie o en serie-paralelo dependiendo de la cantidad de paneles solares que tenga. Para tener una referencia simple con respecto a cómo conectar los paneles solares en configuraciones de cableado en paralelo o en serie, solo recuerde que el cableado en paralelo = más amperios y el cableado en serie = más voltaje, y con el tipo y combinación correctos

de paneles solares puede alimentar casi cualquier dispositivo eléctrico que pueda tener en su hogar.

Figura 2.26

Conexión de Paneles Solares



Nota. Sistema de conexión de Paneles Solares en serie y paralelo. Adaptado de componentes de una instalación fotovoltaica, por (ceen, 2015). Elaborado por el Autor, 2022.

2.6.1.2 Tipos de paneles solares

Desde la perspectiva de Wang & Lu (2016) como una de las parte más importante del sistema solar fotovoltaico, la matriz de células solares tiene un papel fundamental en la transformación luz en electricidad. Según las materias primas, se puede dividir en tres tipos, solo células solares de silicio cristalino, células solares de silicio policristalino y células solares de silicio amorfo. En los sistemas solares fotovoltaicos de China, monocristal y batería máxima policristalina son los principales tipos actualmente. Del análisis anterior, el desarrollo del silicio cristalino está estrechamente relacionado con la industria fotovoltaica y las industrias manufactureras. El desarrollo de la industria fotovoltaica promoverá directamente el desarrollo de la industria de producción de silicio cristalino (p. 25).

La siguiente tabla 2.5 muestra una lista amplia de variedad de celdas solares disponibles en el mercado y el rango de valores de sus parámetros. El nombre de la tecnología utilizada en la celda solar, depende del material utilizado en esa tecnología.

Tabla 2.5

Eficiencia de los Tipos de Células Solares

Tipo de célula	Eficiencia (%)	Voltaje de circuito abierto (V)	Densidad de corriente (mA/cm²)	Área de la celda (cm²)	Factor de relleno (FF)
Silicio monocristalino	14 – 17	0,55 – 0,68	30 – 38	5 – 156	70 – 78
Silicio multicristalino	14 – 16	0,55 – 0,65	30 – 35	5 – 156	70 – 76
Silicio amorfo	6 – 9	0,70 – 1,1	8 – 15	5 – 200	60 – 70
Teluro de cadmio	8 – 11	0,80 – 1,0	15 – 25	5 – 200	60 – 70
Seleniuro de cobre-indio-galio	8 – 11	0,50 – 0,7	20 – 30	5 – 200	60 – 70
Arseniuro de galio	30 – 35	1.0 – 2.5	15 – 35	1 – 4	70 – 85

Nota. Porcentaje de eficiencia de los tipos de células solares. Adaptado de parámetros de una celda solar, por (Electrical Technology, 2020). Elaborado por el Autor, 2022.

Panel solar monocristalinos

Laetitia (2018) afirma que la eficiencia del panel solar depende del contenido de silicio, cuanto más silicio se incluye, la eficiencia será mayor. Es la célula solar fotovoltaica comercial más eficaz y comúnmente utilizada debido a su poderosa eficiencia de conversión del 15%. Requiere un área pequeña para producir mucha energía cuando en comparación con otras células, su magnitud de producción de energía es cuatro veces mayor que la de una celda de película delgada, teniendo la misma área celular y bajo las mismas condiciones climáticas. Además, tiene una vida útil más larga de entre 25 – 30 años, pero tiene la desventaja de ser mucho más caro.

Figura 2.27

Panel Solar de Silicio Monocristalino



Nota. Panel solar monocristalino (Mono-SI) de silicio único. Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 26).

Panel solar policristalinos

Yousef (2021) plantea que las células de silicio policristalino tienen otros nombres como poli-Si o polisilicio, multicristalino. Tiene una eficiencia menor del 13%, más económico de fabricar en comparación con el monocristalino, también requiere más espacio para una menor producción de energía. La celda de silicio policristalino produce 130W de energía eléctrica usando un área de m^2 y $1000W/m^2$ de la irradiancia solar. Tiene una vida más corta ciclo de 20 – 25 años. Los paneles solares policristalinos tienen un aspecto único que otros paneles. Este tipo de panel solar tiene cuadrados y sus ángulos no están recortados. La apariencia de este panel tiene un aspecto azul y moteado. Sin embargo, la diferencia entre los tipos de paneles solares monocristalinos y policristalinos no es tan importante y la elección de utilizar paneles solares adecuados dependerá de su situación específica. Esto proporciona un poco más de eficiencia de espacio a un costo más alto, pero las salidas de potencia son las mismas.

Figura 2.28

Panel solar policristalino (Multi-Silicio)



Nota. Panel solar policristalino (Poly-SI) de Multi-Silicio. Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 27).

Panel solar de silicio amorfo

Según Wang & Lu (2016) las celdas solares de silicio amorfo (A-Si) son las nuevas celdas solares de película delgada que aparecieron en 1976. El método de producción es bastante diferente con las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino. El proceso se simplifica mucho, ya que el consumo de silicio se reduce demasiado y el consumo de electricidad es menor. Su principal ventaja es en condiciones de poca luz donde también puede generar electricidad. El principal problema es que la eficiencia de conversión de células solares de silicio amorfo es baja. La eficiencia típica es de alrededor del 7%, lo que la convierte en la menos eficiente.

Figura 2.29

Panel Solar de Silicio Amorfo

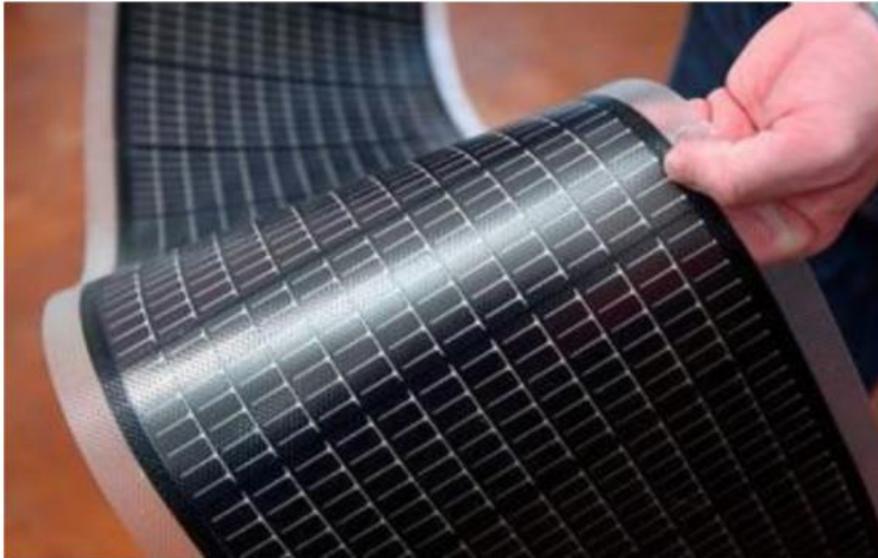


Nota. Células solares de silicio amorfo, abreviadas como (A-Si). Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 28).

En las Figura 2.29, hay un nuevo tipo de celdas solares de silicio amorfo, las celdas solares flexibles, una celda solar de película delgada. Son tecnológicamente avanzados, de alto rendimiento, bajo costo y amplia gama de usos. Se puede aplicar a mochilas solares, convertibles solares, linternas solares, automóviles solares, velas solares e incluso aviones con energía solar. Un área de aplicación importante es la flexibilidad solar BIPV (Building Integrated Photovoltaic) Edificio Fotovoltaico Integrado. Se puede integrar en la ventana o techo, pared o dentro de la pared.

Figura 2.30

Células Solares de Película Fina

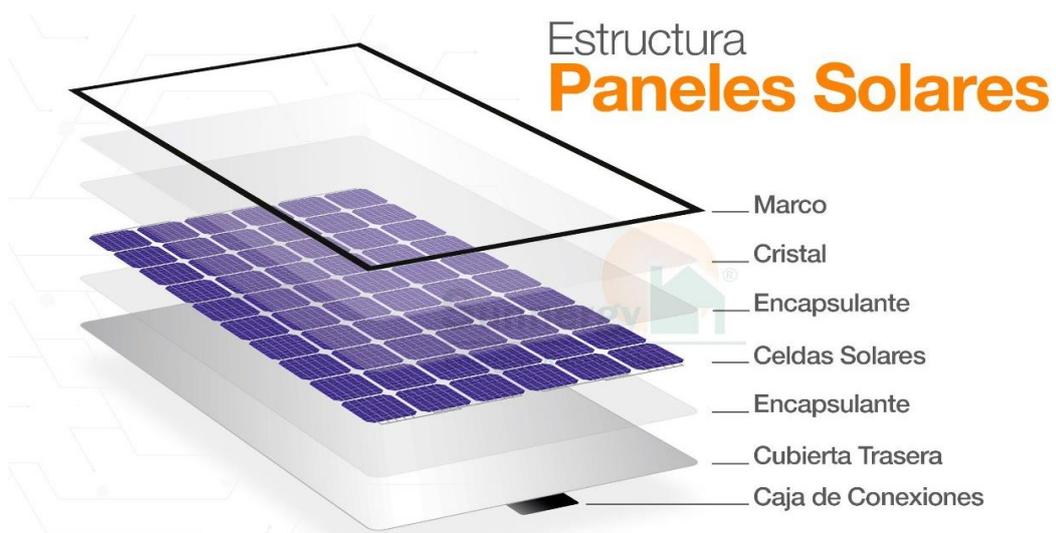


Nota. Células solares de película fina, abreviadas como (TFSC). Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 28).

2.6.1.3 Estructura de los paneles fotovoltaicos

Figura 2.31

Estructura de un Panel Solar



Nota. Estructura de las partes que conforman un panel solar. Adaptado de Estructuras paneles solares. Energía solar México, por (webmaster, 2019).

Marco de aluminio extruido

Como afirma Svarc, (2020) el marco de aluminio juega un papel fundamental al proteger el borde de la sección laminada que alberga las celdas y al proporcionar una estructura sólida para montar el panel solar en su posición. Las secciones de aluminio extruido están diseñadas para ser extremadamente livianas, rígidas y capaces de soportar tensiones y cargas extremas de fuertes vientos y fuerzas externas. El marco de aluminio puede ser plateado o negro anodizado y, según el fabricante del panel, las secciones de las esquinas se pueden atornillar, presionar o sujetar entre sí, proporcionando diferentes niveles de resistencia y rigidez.

Figura 2.32

Marco de Aluminio de un panel solar



Nota. Marco de Aluminio extruido de un panel solar. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

Vidrio templado muy transparente

La hoja de vidrio frontal protege las células fotovoltaicas del clima y del impacto del granizo o los desechos en el aire. El vidrio es típicamente vidrio templado de alta resistencia que tiene un grosor de 3,0 a 4,0 mm y está diseñado para resistir cargas mecánicas y cambios de temperatura extremos. La prueba de impacto estándar mínimo de IEC requiere que los paneles solares resistan el impacto de piedras de granizo de 1 pulgada de diámetro que viajan hasta 27 m/s. En caso de accidente o impacto severo, el vidrio templado también es mucho más seguro que el vidrio

estándar, ya que se rompe en pequeños fragmentos en lugar de secciones afiladas e irregulares. Para mejorar la eficiencia y el rendimiento, la mayoría de los fabricantes utilizan vidrio de alta transmisión que tiene un contenido de hierro muy bajo y un revestimiento antirreflectante en la parte posterior para reducir las pérdidas y mejorar la transmisión de la luz.

Figura 2.33

Vidrio Templado de un Panel Solar



Nota. Vidrio Templado de un Panel Solar - 3 a 3,5 mm de espesor. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

Encapsulación - capas de película EVA

EVA significa 'etilenvinilacetato', que es una capa (plástica) de polímero altamente transparente especialmente diseñada que se utiliza para encapsular las células y mantenerlas en posición durante la fabricación. El material EVA debe ser extremadamente duradero y tolerante a la temperatura y la humedad extremas, juega un papel importante en el rendimiento a largo plazo al evitar la entrada de humedad y suciedad. La laminación a ambos lados de las células fotovoltaicas proporciona algo de absorción de impactos y ayuda a proteger las células y los cables de interconexión de las vibraciones y los impactos repentinos de granizo y otros objetos. Una película de EVA de alta calidad con un alto grado de lo que se conoce como "entrecruzamiento" puede ser la diferencia entre una larga vida útil o una falla del panel debido a la entrada de agua.

Figura 2.34

Película EVA de un Panel Solar



Nota. Capas de película EVA (etilenvinilacetato) es una capa (plástica) de polímero. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

Célula solar fotovoltaica

Las células solares fotovoltaicas o células fotovoltaicas convierten la luz solar directamente en energía eléctrica de CC. El rendimiento del panel solar está determinado por el tipo de celda y las características del silicio utilizado, siendo los dos tipos principales de silicio monocristalino y policristalino. La base de la celda fotovoltaica es una oblea muy delgada, típicamente de 0,1 mm de espesor, y está hecha de silicio tipo p positivo o silicio tipo n negativo.

Figura 2.35

Célula solar fotovoltaica



Nota. Célula solar monocristalina típica con 5 barras colectoras. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

Lámina trasera de polímero

La lámina posterior es la capa más trasera de los paneles solares comunes que actúa como una barrera contra la humedad y una capa externa final para brindar protección mecánica y aislamiento eléctrico. El material de la lámina posterior está hecho de varios polímeros o plásticos, incluidos PP, PET y PVF, que ofrecen diferentes niveles de protección, estabilidad térmica y resistencia a los rayos UV a largo plazo. El material PVF 'Tedlar' de Dupont es conocido como una de las principales láminas traseras de alto rendimiento para la fabricación de módulos fotovoltaicos.

Caja de conexiones

La caja de conexiones es un pequeño recinto resistente a la intemperie ubicado en la parte posterior del panel. Es necesario conectar de forma segura los cables necesarios para interconectar los paneles. La caja de conexiones es importante ya que es el punto central donde se interconectan todos los conjuntos de celdas y debe protegerse de la humedad y la suciedad.

Figura 2.36

Caja de Conexiones de un Panel Solar



Nota. Caja de conexiones y conectores de un panel solar. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

- **Diodos de derivación**

La caja de conexiones también alberga los diodos de derivación que se necesitan para evitar la contracorriente que se produce cuando las celdas están sombreadas o sucias. Los diodos solo permiten que la corriente fluya en una dirección y un panel típico de 60 celdas se divide en 3 grupos de 20 celdas fotovoltaicas, cada una con un diodo de derivación para evitar la corriente inversa. Desafortunadamente, los diodos de derivación pueden fallar con el tiempo y es posible que deban reemplazarse, por lo que la tapa de la caja de conexiones generalmente se puede quitar para realizar el mantenimiento, aunque muchos paneles solares modernos ahora usan diodos de larga duración más avanzados y cajas de conexiones que no se pueden reparar.

Figura 2.37

Diodos de Derivación



Nota. Dentro de una caja de conexiones de un panel solar típico de 60 celdas que muestra los 3 diodos de derivación. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

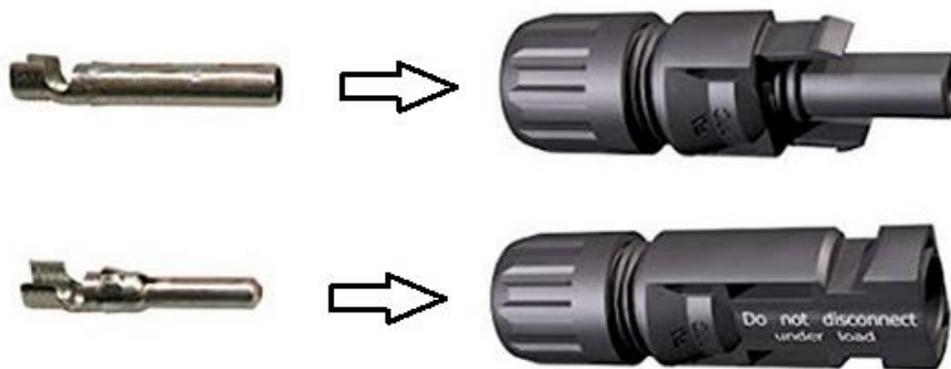
- **Conectores solares MC4**

Casi todos los paneles solares están conectados entre sí mediante enchufes y tomas especiales resistentes a la intemperie llamados conectores MC4. El término

MC4 significa conector multicontacto de 4 mm de diámetro. Debido a las condiciones climáticas extremas, los conectores deben ser muy robustos, seguros, resistentes a los rayos UV y mantener una buena conexión con una resistencia mínima tanto en voltajes bajos como altos hasta 1000V. Los conectores están diseñados para usarse con el cable de CC solar de doble aislamiento estándar de 4 mm o 6 mm con núcleo de múltiples hilos de cobre estañado para una resistencia mínima y una mayor durabilidad.

Figura 2.38

Conectores solares MC4



Nota. Conectores solares MC4 - Macho y hembra con terminales internos crimpados. Adaptado de construcción de paneles solares. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

2.6.2 Baterías o acumuladores

Como señala Solaris (2021) las baterías permiten la capacidad de almacenar energía solar para su uso en una fecha posterior. Se utilizan dentro de conjuntos eléctricos solares híbridos o fuera de la red, que requieren que se use energía en caso de falta de luz solar disponible (durante la noche), distribución de energía inestable de una empresa de servicios públicos o falta de acceso a un proveedor de servicios públicos. Los sistemas fuera de la red e híbridos a menudo utilizarán una batería (o una serie de baterías) para almacenar la energía recolectada entregada por un controlador de carga, un inversor o ambos, y luego prepararán la energía resultante para su extracción a pedido cuando un operador del sistema lo requiera. Las baterías utilizarán diferentes tipos de tecnologías y materiales para habilitar la capacidad de almacenamiento de energía. Por lo general, hay cuatro tipos de baterías; ácido de plomo inundado (FLA), ácido de plomo sellado con malla de vidrio absorbente (AGM) y ácido de plomo sellado con electrolito gelificado (GEL) y las de iones de litio o

también conocidas como baterías de fosfato de hierro y litio (LFP). Cada prototipo utiliza diferentes fluidos y ácidos que pueden retener la energía durante un período prolongado, con un agotamiento lento de la energía. Cada tipo de batería requerirá diferentes cantidades de mantenimiento por tecnología, y la vida útil esperada para cada tecnología se verá afectada por la forma en que el operador del sistema carga, almacena y toma energía de las baterías.

Figura 2.39

Baterías Utilizadas en Paneles Solares



Nota. Baterías o acumuladores utilizados en paneles solares. Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 14).

2.6.2.1 Parámetros técnicos de las baterías

Desde el punto de vista de Manimekalai et al. (2013) es primordial tener en cuenta los parámetros técnicos de las baterías, al momento de elegir una para un sistema fotovoltaico, entre los cuales debe tener en cuenta:

Capacidad de la batería

La capacidad de almacenamiento de la batería se representa en Amperio hora o Ah. Si V es el voltaje de la batería, entonces el almacenamiento de energía la capacidad de la batería puede ser $Ah \times V = \text{Vatio-hora}$. Por lo general la capacidad de la batería, se especificará para una descarga/carga determinada, clasificación o calificación C. La capacidad real depende de la operación condiciones tales como carga, temperatura, etc.

Voltaje de la batería

El voltaje terminal durante la condición de operación se conoce como voltaje nominal o voltaje de trabajo. Este voltaje será especificado por los fabricantes. Puede ser 3V, 6V, 12V, 24V, etc.

Profundidad de descarga (DOD)

Da una medida de la energía extraída de una batería como porcentaje de su capacidad total. El estado de carga de una batería, es la diferencia entre la carga completa y la profundidad de descarga de la batería en porcentaje. Si el DOD es 25% entonces el estado de carga es $(100 - 25) = 75\%$.

Ciclo de vida de la batería

Es el número de ciclos completos de carga – descarga a la batería, puede funcionar antes de que la capacidad nominal disminuya menos del 80% de su capacidad nominal inicial. Después de la vida especificada ciclo, la batería funcionará con capacidad reducida. Puede ser usado pero la capacidad será menor.

Tasa de descarga/carga

La calificación C es el valor obtenido al dar la relación de la capacidad de la batería a la cantidad de horas de carga completa o descarga representada como C/X , donde X es el tiempo en horas para carga completa o descarga. Si $X = 10$ h, entonces la clasificación C es $C/10$ o $0.1C$. La corriente de carga o descarga para una clasificación C- puede ser calculado dividiendo la capacidad Ah por el total de horas de carga y descarga. Para una batería de 50 Ah de capacidad si la clasificación C es $0.1 C$ entonces la corriente de carga o descarga será $50/10 = 5A$.

Autodescarga

Es la capacidad eléctrica perdida cuando una batería no está siendo utilizado debido al proceso electroquímico interno con la batería. La autodescarga aumenta con el aumento de la temperatura. Las baterías se pueden almacenar a temperaturas más bajas para reducir el auto descarga.

2.6.2.2 Tipos de baterías

Alte (2020) menciona que las baterías almacenan químicamente energía eléctrica en sistemas de energía renovable. Vienen en muchos voltajes, desde 2V hasta 48V. Los cuatro tipos de baterías que son más comunes en los sistemas fotovoltaicos son:

Baterías de plomo-ácido inundadas (FLA)

Las baterías de ácido de plomo inundadas (FLA) tienen el historial más largo en el uso de energía solar y todavía se usan en la mayoría de los sistemas de energía alternativa independientes. Tienen la vida más larga y el costo más bajo por amperio-hora de cualquier opción. Por otro lado, para poder disfrutar de estas ventajas requieren un mantenimiento regular en forma de riego, igualación de cargas y mantenimiento de la parte superior y terminales limpios. Algunos ejemplos de baterías de plomo-ácido inundadas utilizadas en sistemas eléctricos solares y eólicos son baterías de carrito de golf de 6 voltios, L-16 de 6 voltios y celdas industriales de 2 voltios para sistemas grandes.

Figurea 2.40

Baterías de Plomo-Ácido Inundadas



Nota. Baterías de ácido de plomo inundadas o abreviada como (FLA). Adaptado de Baterías de ciclo profundo. Alte store, por (Alte, 2021).

Baterías selladas de fibra de vidrio absorbente (AGM)

Las baterías Absorbed Glass Mat (AGM) se utilizan cada vez más en los sistemas eléctricos solares a medida que baja su precio y se instalan más sistemas que necesitan estar libres de mantenimiento. Esto los hace ideales para su uso en sistemas solares conectados a la red con respaldo de batería. Debido a que las baterías solares AGM selladas están completamente selladas, ellas:

- no se puede derramar.
- no necesita riego periódico.
- no emite humos corrosivos.
- el electrolito no se estratificará.
- no requiere carga de ecualización.

Figura 2.41

Baterías AGM Selladas



Nota. Baterías selladas de fibra de vidrio absorbente o abreviada como (AGM). Adaptado de Baterías de ciclo profundo. Alte store, por (Alte, 2021).

Baterías de celda de gel selladas (GEL)

Las baterías de plomo ácido gelificadas en realidad son anteriores al tipo AGM, pero están perdiendo cuota de mercado frente a ellas. Tienen muchas de las mismas ventajas que las baterías AGM sobre las baterías de ácido de plomo inundado (FLA),

incluida la facilidad de transporte. La principal excepción es que el electrolito gelificado de las baterías de celdas de gel selladas es muy viscoso y la recombinación de los gases generados durante la carga se produce a un ritmo mucho más lento. Esto significa que, por lo general, deben cargarse más lentamente que las baterías FLA o AGM. Tenga en cuenta: en un sistema eléctrico solar, tiene una cantidad fija de horas de sol todos los días y necesita almacenar cada vatio solar que pueda antes de que se ponga el sol.

Figura 2.42

Baterías de Celda De Gel Selladas



Nota. Baterías de celda de gel selladas o abreviada como (GEL). Adaptado de Baterías de ciclo profundo. Alte store, por (Alte, 2021).

Baterías de iones de litio (LFP)

Alte (2021) afirma que por el costo más bajo por ciclo de kWh y la densidad de energía más alta, las baterías solares de litio son la mejor opción para los sistemas de energía renovable con necesidades de almacenamiento. Las baterías solares de litio se denominan más específicamente baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄ o LFP), y ofrecen numerosas ventajas sobre las baterías de ácido de plomo inundadas y selladas cuando se utilizan en sistemas de energía renovable. Una vida útil más larga, un rango de temperatura más amplio, un verdadero ciclo profundo y la seguridad son solo el comienzo.

Figura 2.43

Baterías de Litio



Nota. Baterías de fosfato de hierro y litio o abreviada como (LFP). Adaptado de Baterías de ciclo profundo. Alte store, por (Alte, 2021).

2.6.3 Regulador o controlador de carga

De acuerdo a Solaris (2021) los controladores de carga funcionan para regular la carga eléctrica y limitan la velocidad a la que se agrega o extrae corriente eléctrica de las baterías. Trabajan para controlar el voltaje y los vatios de los Paneles Solares; por lo tanto, pasa a través de energía más estable, evita la sobrecarga y protege contra sobrevoltaje, lo que puede obstaculizar y reducir el rendimiento o la vida útil de la batería. Los controladores de carga vienen con varios tipos de tamaños y tecnologías que generalmente permiten que un sistema fuera de la red (banco de baterías) funcione correctamente. Estos dos tipos de tecnologías son MPPT (seguimiento del punto de máxima potencia) y PWM (modulación de ancho de pulso). Los controladores de carga a menudo se usan dentro de un sistema de energía solar híbrido o fuera de la red con respaldo de batería. Una serie de controladores de carga son importantes para mantener la integridad de la batería con un sistema que los utiliza. Debido a la naturaleza sensible de los componentes de almacenamiento de energía, es vital regular su actividad continua para obtener la máxima vida útil posible y ayudar a reducir los costos de mantenimiento y mantenimiento futuros.

Figura 2.44

Controlador de Carga



Nota. Regulador o controlador de carga de un sistema fotovoltaico. Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 14).

2.6.3.1 Parámetros técnicos de un regulador de carga

Citando a SRNE Solar (2021) describe que un controlador de carga solar es un dispositivo que gestiona la energía transmitida al banco de baterías desde los paneles solares. Un controlador de carga solar juega un papel vital en una instalación solar ya que se asegura de que las baterías conectadas al inversor no se sobrecarguen. También, se debe tener en consideración los parámetros técnicos de un controlador de carga, ya que es fundamental al momento de adquirir uno, entre los que debe tener están los siguientes:

Voltaje del sistema

El voltaje del sistema también se denomina voltaje operativo nominal, que se refiere al voltaje operativo de corriente continua del sistema de energía solar. Generalmente, el valor del voltaje del sistema es de 12V o 24V. El valor de voltaje del sistema del controlador de carga de mediana o gran escala puede ser de 48 V, 110 V y 220 V.

Corriente de carga máxima

La corriente de carga máxima se refiere a la corriente de salida máxima de los paneles solares o la matriz solar.

Pérdida sin carga

La pérdida del propio circuito del controlador también es uno de sus principales parámetros técnicos, también llamada pérdida sin carga (corriente de reposo) o corriente máxima de autoconsumo. Para reducir la pérdida del controlador y mejorar la eficiencia de conversión de la energía fotovoltaica, la pérdida del circuito del controlador debe ser lo más baja posible. La pérdida máxima sin carga no debe exceder el 1% de su corriente de carga nominal. La pérdida sin carga es generalmente 5~20ma.

Voltaje de protección contra sobrecarga de la batería

El voltaje de protección de sobrecarga de la batería también se denomina voltaje de corte de carga completa o voltaje de corte de sobretensión. El valor del voltaje debe ajustarse de acuerdo con el tipo de batería. El rango de valores de voltaje es de 14,1 V a 14,5 V para un sistema de 12 V, de 28,2 V a 29 V para un sistema de 24 V y de 56,4 V a 58 V para un sistema de 48 V. El valor típico es 14,4 V, 28,8 V y 57,6 V.

Voltaje de carga flotante de la batería

El voltaje de flotación es el voltaje al que se mantiene una batería después de estar completamente cargada para mantener esa capacidad compensando la autodescarga de la batería. Generalmente, el voltaje de carga flotante de la batería es de 13,7 V para el sistema de 12 V, 27,4 V para el sistema de 24 V y 54,8 V para el sistema de 48 V.

Compensación de temperatura

Generalmente, el controlador de carga tiene la función de compensación de temperatura para adaptarse a diferentes temperaturas ambientales de trabajo. Con el fin de establecer un voltaje de carga más razonable para la batería de almacenamiento, el coeficiente de compensación de temperatura debe cumplir con los requisitos técnicos.

Temperatura de funcionamiento

La temperatura de funcionamiento del controlador de carga suele oscilar entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Funciones de protección

- Función de protección contra cortocircuitos: El circuito de entrada y salida del controlador estará protegido contra daños por cortocircuito.
- El controlador debe tener esta función para proteger el panel solar de la carga inversa de la batería.
- Si el panel solar o la batería de almacenamiento no están correctamente conectados al controlador, el controlador debe tener la función de proteger el circuito.
- Función de protección contra picos de tensión y picos de corriente.

Tabla 2.6

Especificaciones Técnicas de un Controlador de Carga

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Voltaje nominal del sistema	12/24 VCC (reconocimiento automático del voltaje del sistema)
Rango de voltaje de la batería	6-36V
Corriente nominal de la batería	10 ^a /5 ^a /20 ^a según el modelo seleccionado
Caída de voltaje del circuito de carga	$\leq 0.26\text{V}$
Autoconsumo	$\leq 6\text{mA}$
Coefficiente de compensación de temperatura	$-30\text{mV}/^{\circ}\text{C}/12\text{V}(25^{\circ}\text{ref})$
Voltaje de desconexión por sobretensión	16V/32V
Voltaje límite de carga	15.5 V/31 V
Igualar el voltaje de carga	14.6 V/29.2 V
Tensión de carga flotante	13.8/27.2 V
Temperatura de funcionamiento	-35°C a $+55^{\circ}\text{C}$
Dimensiones totales	135 x 70 x 35 mm

Nota. Especificaciones técnicas de un controlador o regulador de carga. Adaptado de Solar Charge Controller, por (Solar technology, 2021). Elaborado por el Autor, 2022.

2.6.3.2 Tipos de reguladores de cargas

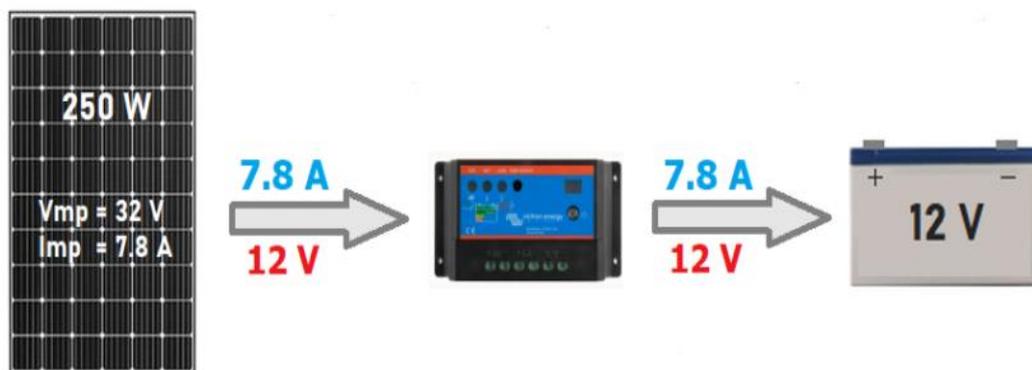
Según Svarc (2020) hay dos tipos principales de controladores de carga solar, Controladores de carga solar de modulación de ancho de pulso (PWM) y Controladores de carga solar con seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), siendo este último el de mayor eficiencia de carga, el rendimiento mejorado y otras ventajas que se explican a continuación.

Reguladores de carga solar PWM simples

Los controladores de carga solar PWM simples, o "modulación de ancho de pulso", tienen una conexión directa desde el panel solar a la batería y utilizan un "interruptor rápido" básico para modular o controlar la carga de la batería. El interruptor (transistor) está abierto hasta que la batería alcanza el voltaje de carga de absorción. Luego, el interruptor comienza a abrirse y cerrarse rápidamente (cientos de veces por segundo) para modular la corriente y mantener constante el voltaje de la batería. Esto funciona bien, pero el problema es que el voltaje del panel solar se reduce para que coincida con el voltaje de la batería. Los controladores de carga solar PWM son una excelente opción de bajo costo para sistemas pequeños de 12 V cuando se usan uno o dos paneles solares, como aplicaciones simples como iluminación solar, campamentos y cosas básicas como cargadores de teléfono/USB. Tenga en cuenta que, si se utiliza más de un panel, deben conectarse en paralelo, no en serie.

Figura 2.45

Reguladores de carga solar PWM



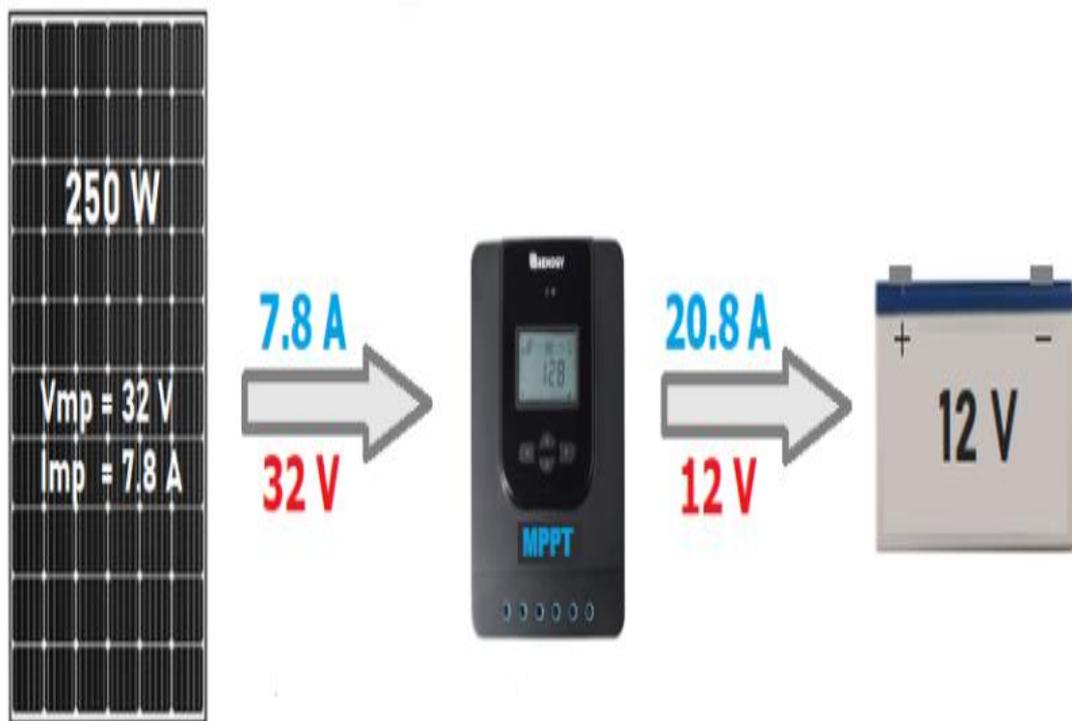
Nota. Controlador de cargador solar PWM, el voltaje del panel solar cae para coincidir con el voltaje de la batería. Adaptado de clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

Reguladores de carga solar MPPT

Los MPPT o "seguidores del punto de máxima potencia" son mucho más avanzados que los controladores PWM y permiten que el panel solar funcione en su punto de máxima potencia o, para ser más precisos, en el voltaje óptimo para la máxima potencia de salida. Con esta tecnología inteligente, los controladores de carga solar MPPT pueden ser hasta un 30 % más eficientes, según el voltaje de la batería y el voltaje de funcionamiento (V_{mp}) del panel solar. Las razones de la mayor eficiencia y cómo dimensionar correctamente un controlador de carga MPPT se explican en detalle a continuación. Como guía general, los controladores de carga MPPT deben usarse en todos los sistemas de mayor potencia que usan dos o más paneles solares, o siempre que el voltaje del panel (V_{mp}) sea de 8 V o más que el voltaje de la batería; consulte la explicación completa a continuación.

Figura 2.46

Reguladores de carga solar MPPT



Nota. Controlador de cargador solar MPPT, el panel solar opera cerca del voltaje MPPT del punto de máxima potencia. Adaptado de explicación de Los controladores de carga solar. Clean energy reviews, por (Svarc, 2020).

Tabla 2.7

Pros y Contras de los Reguladores de carga PWM-MPPT

	PWM	MPPT
Pros	1/3 – 1/2 del costo de un MPPT controlador	Máxima eficiencia de carga (especialmente en climas fríos)
	Vida útil esperada más larga debido a menos componentes electrónicos y menor estrés térmico.	Se puede utilizar con paneles de 60 celdas.
	Tamaño más pequeño	Posibilidad de sobredimensionar la matriz para garantizar una carga suficiente en meses de invierno.
Cons	Los arreglos fotovoltaicos y los bancos de baterías deben dimensionarse con más cuidado y requieren más experiencia en diseño.	2-3 veces más caro que un controlador PWM comparable.
	No se puede utilizar de manera eficiente con 60-paneles de celdas.	Vida útil esperada más corta debido a más componentes electrónicos y mayor estrés térmico.

Nota. Comparación de los controladores de carga PWM y MPPT. Adaptado de diferencias entre PWM y MPPT, por (Phocos, 2015, p. 5). Elaborado por el Autor, 2022.

2.6.4 Inversor

Solaris (2021) menciona que los inversores (o convertidores) toman energía de CC generada por un panel solar y procesan esa energía convirtiéndola en energía de CA; la energía resultante puede luego enviarse a un interruptor o balance del componente del sistema y está disponible para uso estándar. Los inversores pueden estar ubicados después de un controlador de carga y un banco de baterías en ciertos sistemas de energía fuera de la red. Los inversores vienen en diferentes tipos de tamaños y usan varias tecnologías para permitir la eficiencia en la función de producir energía de CA. Los inversores más comunes son; Inversores de cadena, inversores centrales, microinversores e inversores basados en batería.

Figura 2.47

Inversores de un Sistema Fotovoltaico



Nota. Inversores o convertidores utilizados en los sistemas fotovoltaicos. Adaptado de solar photovoltaic. Theseus, por (Wang & Lu, 2016, p. 16)

2.6.4.1 Parámetros técnicos de los inversores solares

Electrical Academia (2018) considera que las especificaciones proporcionan los valores de los parámetros operativos para un inversor determinado. Las especificaciones comunes se analizan a continuación. Algunas o todas las especificaciones suelen aparecer en la hoja de datos del inversor.

Potencia máxima de salida de CA

Esta es la potencia máxima que el inversor puede suministrar a una carga de manera constante a un voltaje de salida específico. El valor se expresa en vatios o kilovatios.

Potencia máxima de salida

Esto también se conoce como potencia de sobretensión; es la potencia máxima que puede suministrar un inversor durante un breve periodo de tiempo. Por ejemplo, algunos electrodomésticos con motores eléctricos requieren una potencia mucho mayor en el arranque que cuando funcionan de forma continua. Ejemplos comunes son refrigeradores, unidades de aire acondicionado y bombas.

Voltaje de salida de CA

Este valor indica a qué voltajes de red se puede conectar el inversor. Para inversores diseñados para uso residencial, el voltaje de salida es de 120 V o 240 V a 60 Hz para Norteamérica. Es de 230 V a 50 Hz para muchos otros países.

Eficiencia máxima

La eficiencia máxima es la eficiencia más alta que puede alcanzar el inversor. La mayoría de los inversores conectados a la red tienen eficiencias máximas superiores al 90 %. La energía perdida durante la inversión se convierte, en su mayor parte, en calor. Es importante tener en cuenta lo que esto significa: para que un inversor produzca la cantidad nominal de energía, deberá tener una entrada de energía que exceda la salida. Por ejemplo, un inversor con una potencia nominal de salida de 5000 W y una eficiencia máxima del 95 % requiere una potencia de entrada de 5263 W para funcionar a plena potencia.

Corriente de entrada máxima

Esta es la corriente directa máxima que el inversor puede utilizar. Si un panel solar o una turbina eólica produce una corriente que excede esta corriente de entrada máxima, el inversor no utiliza el exceso de corriente.

Corriente máxima de salida

Esta es la CA continua máxima que suministra el inversor. Este valor se utiliza normalmente para determinar la clasificación de corriente mínima de los dispositivos de protección (disyuntores y fusibles) y las desconexiones requeridas para el circuito de salida.

Voltaje de seguimiento de potencia máxima

Este es el rango de voltaje de CC en el que opera el rastreador del punto de máxima potencia del inversor.

Voltaje de inicio

Este valor es el voltaje de CC mínimo requerido para que el inversor se encienda y comience a funcionar.

Tabla 2.8**Hoja de Datos Técnicos de un Inversor**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	Modelo: ReGen 2000
Rango de voltaje MPPT	400-1000 VCC
Voltaje sin carga	1120 V/CC máx.
Corriente de entrada de CC máxima	3555ADC
Potencia aparente de salida	2220kVA
Potencia activa de salida	2000KW nominal
Diferencia de fase	±0,8
Corriente nominal de salida	3x1875A CA
Resistencia a cortocircuito del interruptor principal (ACB)	45kA
Tensión de alimentación	620 V/CA 50/60 Hz
Grado de eficiencia (Euro)	98%
Voltaje soportado (50Hz)	1,6 kV
Grado de protección	IP 44
Interfaz	ModbusTCP
Visualización	Pantalla de 8,4"
Sistema de enfriamiento del convertidor	Enfriado hidráulicamente
Temperatura ambiente de funcionamiento	-20°C hasta 50°C (Hasta 55°C disponible)
control inversor	basado en PLC
Peso	10 toneladas

Nota. Hoja de datos técnicos de un inversor modelo ReGen 2000. Adaptado de Inversor solar, por (ReGen powertech, 2021). Elaborado por el Autor, 2022.

2.6.4.2 Tipos de inversores solares

Citando a Zipp (2016) estos componentes importantes están asumiendo cada vez más funciones de control y toma de decisiones para ayudar a mejorar la estabilidad y la eficiencia de la red. Con el crecimiento del almacenamiento solar, los inversores también están asumiendo la responsabilidad de la gestión de la batería. A continuación, se habla de los diferentes tipos de inversores solares.

Inversores de cadena

Los inversores de cadena existen desde hace mucho tiempo y son buenos para instalaciones sin problemas de sombra y en las que los paneles se colocan en un solo plano para que no estén orientados en diferentes direcciones. Si una instalación utiliza inversores de cadena e incluso un panel está sombreado durante una parte del día, lo que reduce su rendimiento, la salida de cada panel de la cadena se reduce al nivel de los paneles con problemas. Aunque los inversores de cadena no pueden lidiar con los problemas de sombreado, la tecnología es confiable y probada y son menos costosos que los sistemas con microinversores.

Figura 2.48

Inversor de Cadena



Nota. Inversor de cadena delta. Adaptado de tipos de inversores solares. Solar power world online, por (Zipp, 2016).

Inversores centrales

Los inversores centrales son similares a los inversores de cadena, pero son mucho más grandes y pueden admitir más cadenas de paneles. En lugar de cadenas conectadas directamente al inversor, como ocurre con los modelos de cadena, las cadenas se conectan entre sí en una caja combinadora común que lleva la alimentación de CC al inversor central, donde se convierte en alimentación de CA.

Figura 2.49

Inversor Central



Nota. Inversor central TMEiC. Adaptado de tipos de inversores solares. Solar power world online, por (Zipp, 2016).

Microinversores

Los microinversores también se están convirtiendo en una opción popular para instalaciones residenciales y comerciales. Al igual que los optimizadores de energía, los microinversores son componentes electrónicos a nivel de módulo, por lo que se instala uno en cada panel.

Figura 2.50

Microinversor



Nota. Microinversor Darfon. Adaptado de tipos de inversores solares. Solar power world online, por (Zipp, 2016).

Inversores/cargadores a base de baterías

Los inversores/cargadores basados en baterías son de naturaleza bidireccional e incluyen tanto un cargador de batería como un inversor. Requieren una batería para funcionar. También pueden ser interactivos en la red, independientes conectados a la red o fuera de la red, según su clasificación y diseño de UL. El principal beneficio de los inversores/cargadores es que permiten el funcionamiento continuo de las cargas críticas, independientemente de la presencia o el estado de la red.

Figura 2.51

Inversor/cargador a base de batería



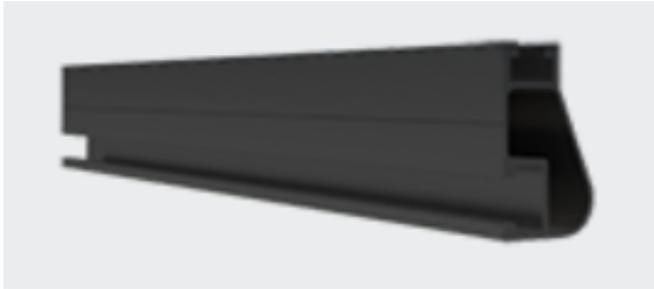
Nota. Inversor/cargador a base de batería (Magnum Energy). Adaptado de tipos de inversores solares. Solar power world online, por (Zipp, 2016).

2.6.5 Atroz

Solaris (2021) afirma que los componentes de estanterías y montaje funcionan para garantizar que un conjunto fotovoltaico esté conectado al suelo o al techo y está compuesto por varios productos clave que abarcan un sistema de estanterías completo. La mayoría de los sistemas de estanterías utilizarán una combinación de: rieles, tapajuntas, orejetas, soportes de montaje, abrazaderas de alambre, juegos de empalmes, abrazaderas, tapas de extremos, accesorios, patas inclinables y otros componentes para completar un sistema completo de estanterías y montaje. Los sistemas de montaje en suelo requerirán tuberías de hormigón y acero, además de un kit completo de estanterías para colocar en tierra.

Figura 2.52

Atroz



Nota. Atroz o trasiego. Adaptado de componentes solares. Solaris shop, por (Solaris, 2021).

2.6.6 Balance de sistemas

Los componentes de Balance de sistemas trabajan para combinar otros productos eléctricos dentro del sistema, luego combinan y entregan una serie de opciones de control y distribución de energía para cualquier matriz fotovoltaica. Por lo general, la mayoría de los artículos que componen un balance de sistemas incluyen: DC / AC se desconecta, cajas de conexiones, cajas de conexiones, interruptores automáticos, fusibles, los centros de carga, rápido paradas, estabilizadores de dispositivos, entre otros componentes que pueden variar de un sistema a otro.

Figura 2.53

Balance de Sistemas



Nota. Balance de sistemas. Adaptado de componentes solares. Solaris shop, por (Solaris, 2021).

2.6.7 Alambrado

El cableado actúa para garantizar que otros componentes de energía solar estén interconectados y puedan pasar energía de un dispositivo a otro. El cable fotovoltaico se usa comúnmente para mover la energía de los módulos solares a los inversores y luego se transforma para enviarla a otro producto dentro de la cadena de suministro de la matriz fotovoltaica. Los cables generalmente estarán hechos de aluminio o cobre, serán sólidos o estándar, estarán aislados y estarán destinados a pasar a través de corriente continua o corriente alterna.

Figura 2.54

Alambrado



Nota. Alambrado o cableado, utilizados para la interconexión de los componentes del sistema solar. Adaptado de componentes solares. Solaris shop, por (Solaris, 2021).

2.7 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Citando a Zipp (2015) señala que hay tres tipos principales en los sistemas de energía solar fotovoltaica: conectados a la red (sistema On-Grid), conectados a la red con respaldo/híbridos y fuera de la red (sistema Of-Grid). Todos tienen sus ventajas y desventajas y todo se reduce al suministro de energía actual del cliente y lo que quiere obtener del sistema.

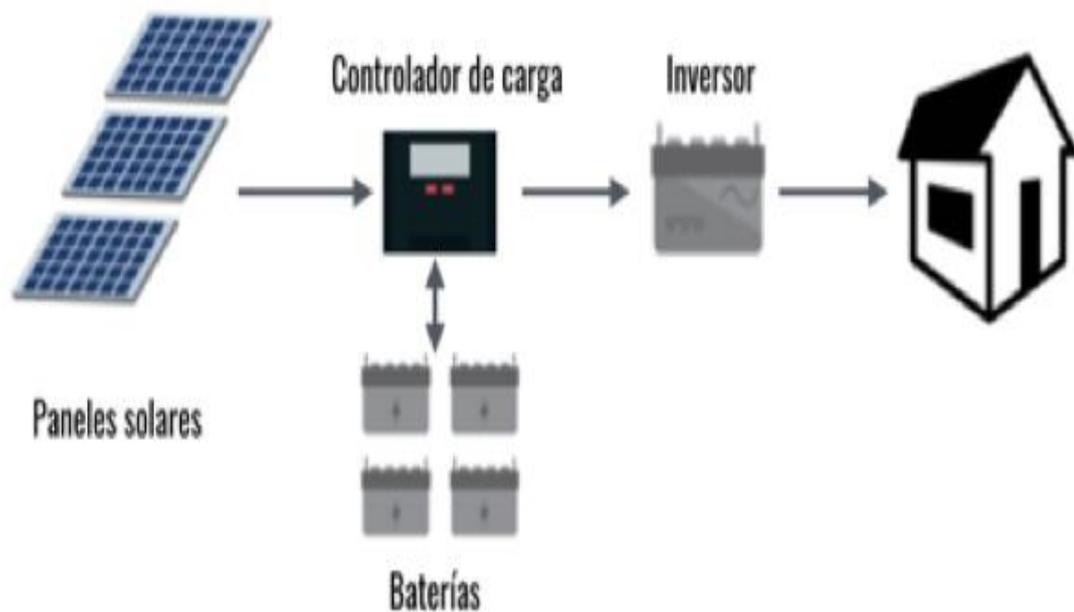
2.7.1 Sistema fotovoltaico aislado

Los sistemas fuera de la red son excelentes para las personas que no pueden conectarse fácilmente a la red. Esto puede deberse a la ubicación geográfica o al alto costo de traer el suministro de energía. Los beneficios de un sistema fuera de la red es

que una persona puede volverse autosuficiente en energía y puede alimentar lugares remotos lejos de la red, debido a que el sistema es su única fuente de energía, muchos sistemas fuera de la red contienen múltiples fuentes de carga, como energía solar, eólica y generadores. Los sistemas fuera de la red tienen más componentes y también son más caros que un sistema conectado a la red estándar.

Figura 2.55

Sistema Fotovoltaico Aislado



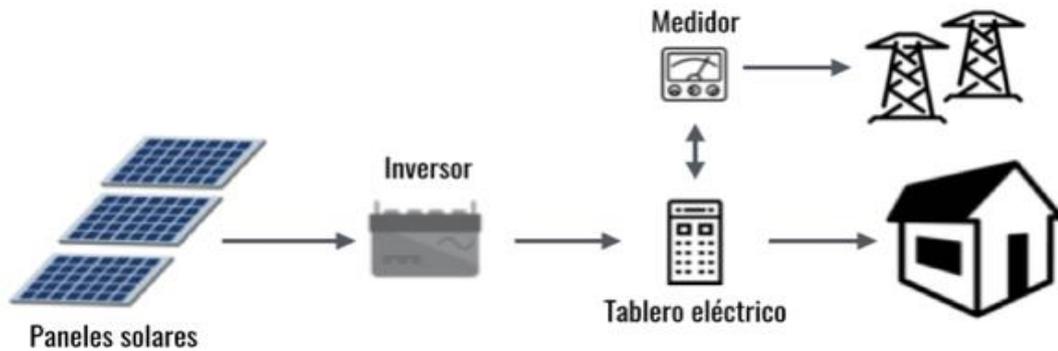
Nota. Sistema fotovoltaico fuera de la red o (sistema Of-Grid). Adaptado de diferentes tipos de sistemas solares fotovoltaicos. Sun supplyco, por (Sun Supply, 2021).

2.7.2 Sistema fotovoltaico conectado a la red

Un sistema conectado a la red es una instalación solar básica que utiliza un inversor conectado a la red estándar y no tiene almacenamiento de batería. Esto es perfecto para las personas que ya están conectados a la red y quieren agregar energía solar a su casa. Los sistemas conectados a la red son simples de diseñar y muy rentables porque tienen relativamente pocos componentes y el objetivo principal es reducir su factura de energía y beneficiarse de los incentivos solares. Una desventaja de este tipo de sistema es que cuando se corta la energía, también lo hace su sistema, esto significa que no puede proporcionar energía durante un apagón o una emergencia y no puede almacenar energía para su uso posterior.

Figura 2.56

Sistema fotovoltaico conectado a la red



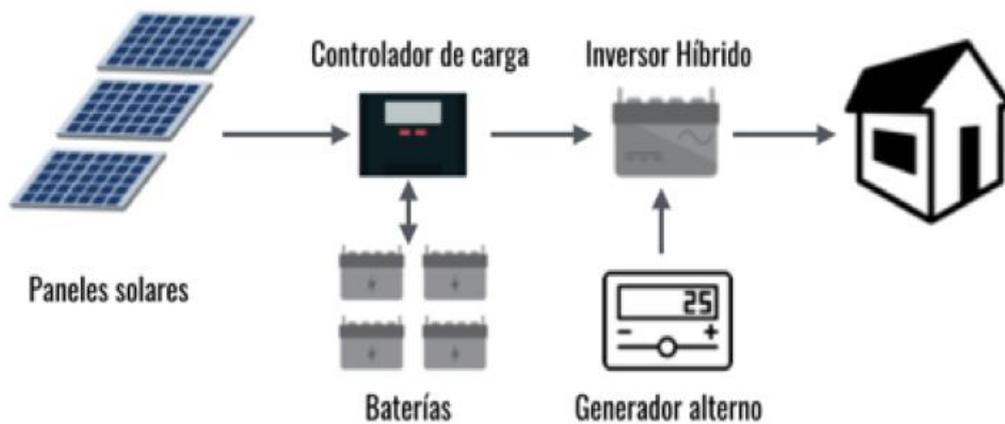
Nota. Sistema fotovoltaico conectado a la red o (sistema On-Grid). Adaptado de diferentes tipos de sistemas solares fotovoltaicos. Sun supplyco, por (Sun Supply, 2021).

2.7.3 Sistema fotovoltaico híbrido

El siguiente tipo de sistema es un sistema conectado a la red con respaldo de batería, también conocido como sistema híbrido de red. Este tipo de sistema es ideal para personas que ya están conectados a la red y saben que quieren tener una batería de respaldo. Las personas que suelen optar por este tipo de sistema son los que están propensos a los cortes de energía en su área o, en general.

Figura 2.57

Sistema fotovoltaico híbrido



Nota. Sistema fotovoltaico conectado a la red o (sistema On-Grid). Adaptado de diferentes tipos de sistemas solares fotovoltaicos. Sun supplyco, por (Sun Supply, 2021).

2.8 Sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento

De acuerdo con CNEL EP (2019) La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) con respecto a lo que se dispuso en la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica de promover las energías renovables no convencionales; se vio aprobada la Regulación para micro generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica. En esta regulación también se especifica los parámetros que se deben cumplir para implementar un sistema de microgeneración fotovoltaica por parte de los consumidores. Uno de los parámetros a cumplir, es que el consumidor dueño de la propiedad, tendrá un solo sistema fotovoltaico, que se encargará de la disminución del consumo de la red de distribución, por ende, habrá una reducción en la factura eléctrica. Por otro lado, se debe tener en cuenta las condiciones de capacidad nominal que dispone el (ARCONEL), para usuarios del sector residencial la capacidad máxima a instalar es de 300 KW, y en cambio para el sector industrial es de 500 KW, el sistema fotovoltaico tendrá un plazo de operación de 20 años.

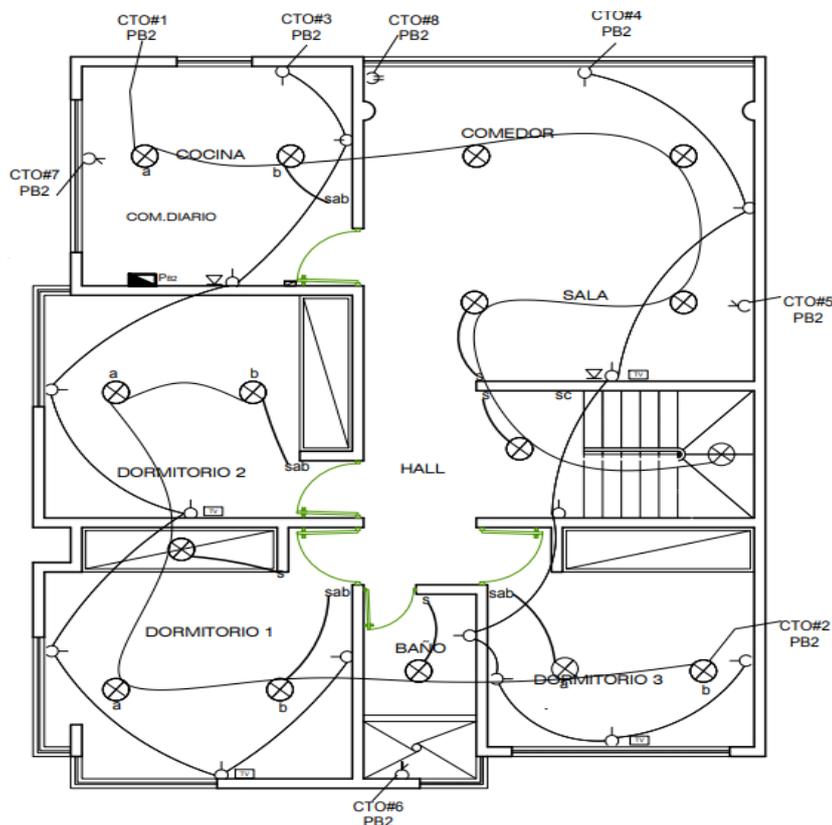
Por otro lado, el Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC) estipula en la Regulación 009/08 que las instalaciones fotovoltaicas residenciales cuyas capacidades sean inferiores a 1 MW, y el principal uso de la energía sea el de autoconsumo, no hay alguna ley vigente que se permita que estas instalaciones estén conectadas ni que inyecten algún excedente a la red de distribución, por ende, no se podrá liquidar mensualmente la producción de energía por parte de este tipo de instalaciones. También se debe considerar lo que estipula el Artículo 54 del Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias para la prestación del Servicio de Energía Eléctrica, que todo proyecto o instalación que se llegue a instalar en algún futuro y su capacidad sea menor a 1 MW, no necesitaran de un permiso, solo se deberá conseguir el registro del CONELEC.

3.1.2 Reconocimiento del área de la residencia

La vivienda de este proyecto cuenta con una **superficie total** de (130,75 m²), mientras que la **distancia total** es de (46,94 m), cuyos datos han sido tomados de Google Maps tal como lo muestra la Figura 3.1. Hay que tener en cuenta que las dimensiones del lugar, donde se vaya a llevar a cabo la instalación del sistema fotovoltaico es muy fundamental, dado a que, el área de la cubierta del lugar a instalar los paneles solares debe ser mayor al área que cubrirán los Pv. Según Tecnosolab (2016) en algunas ocasiones por falta de espacio hay que disponer de varias filas de paneles o, debido a algún obstáculo, hay que dejar una distancia mínima para evitar la pérdida de producción por el efecto del sombreado. Por lo tanto, los datos que se obtuvieron en este proyecto coinciden con lo planteado. En la Figura 3.2 se muestra el plano eléctrico de la vivienda, el cual representa los circuitos que componen una instalación eléctrica.

Figura 3.2

Plano Eléctrico de la Vivienda



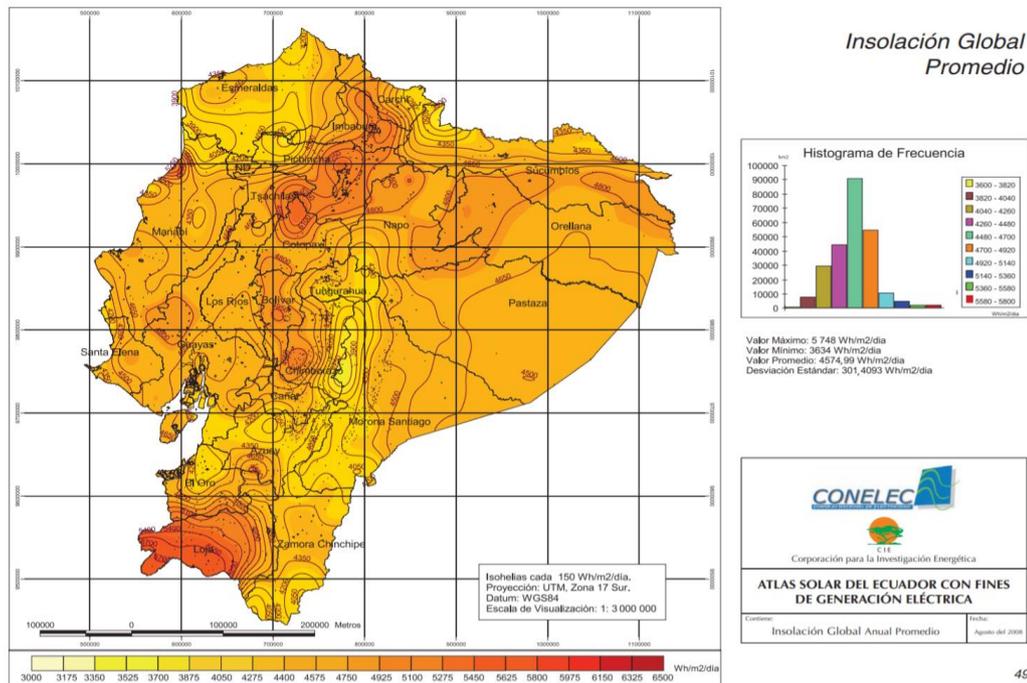
Nota. Plano eléctrico de la vivienda residencial. Elaborado por el autor, 2022.

3.1.3 Análisis de la radiación solar en la ciudad de Guayaquil

Como señala Franklin (2019) en la industria de la energía solar, los cálculos se realizan utilizando la cantidad de energía solar proporcionada por el sol durante el período de un día. La intensidad (brillo) del sol se refiere a insolación. Cuando el sol está en su punto más brillante durante el día se mide la intensidad de la luz con un medidor de irradiancia (o piranómetro) y medido en vatios por metro cuadrado (W/m^2). El valor objetivo es de $1.000 W/m^2$. Este valor es típico de la intensidad de la luz solar a las 12:00 del mediodía, cuando el sol está más alto en el cielo. Las horas pico de sol es igual al número de horas que el valor de la insolación es de $1.000 W/m^2$. De acuerdo a la Figura 3.3 se muestra un mapa que representa, la insolación global anual promedio del Ecuador, el cual fue obtenido por medio del Atlas Solar del Ecuador.

Figura 3.3

Insolación Global Promedio del Ecuador



Nota. Representación de la insolación global anual promedio del Ecuador. Adaptado de Atlas solar del Ecuador. Biblioteca olade, por (CONELEC, 2008, p. 49).

En la siguiente tabla se muestra los valores máximos, mínimo y promedio de la insolación global anual promedio del Ecuador, dichos datos fueron publicados por el Atlas Solar del Ecuador.

Tabla 3.1**Valores de la Insolación Anual del Ecuador**

Valores de Insolación Anuales			
Valores	Difusa	Global	Directa
Valor Máximo (Wh/ m ² /día)	3105	5748	5119
Valor mínimo (Wh/ m ² /día)	2032	3634	1147
Valor Promedio (Wh/ m ² /día)	2737	4574	2543,01
Desviación Estándar (Wh/ m ² /día)	196,84	301,40	64 3,18

Nota. Valores de la insolación anual promedio del Ecuador, obtenido del Atlas solar del Ecuador. Adaptado de (CONELEC, 2008, p. 49). Elaborado por el Autor, 2022.

En la siguiente Tabla se muestra los valores de irradiación solar promedio en la ciudad de Guayaquil. Estos datos son obtenidos por medio del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Tabla 3.2**Datos de Irradiación de la ciudad de Guayaquil**

MES	IRRADIACION
Enero	3393
Febrero	4373
Marzo	3476
Abril	4231
Mayo	4212
Junio	3370
Julio	4124
Agosto	3926
Septiembre	5186
Octubre	4072
Noviembre	3827
Diciembre	4576
PROMEDIO	4063

Nota. Valores de irradiación solar promedio de la ciudad de Guayaquil, obtenidos por el INAMHI. Adaptado de (Lata, 2015, p. 15). Elaborado por el Autor, 2022.

Como resultado, se obtuvo que los niveles de irradiación solar más bajos se dan en el mes de junio, a diferencia del mes de septiembre, los niveles de irradiación solar son los más altos en todo el año.

- Valor mínimo (Wh/2/mes) = **3370**
- Valor máximo (Wh/2/mes) = **5186**
- Valor promedio (Wh/2/mes) = **4063**

3.1.4 Cálculo de las horas solares pico (HSP)

En la numeración 2.5.3 del marco teórico de este trabajo, se profundizó más sobre las horas solares pico, por ende, ya se tiene una idea sobre las HSP.

Por otro lado, Solar Reviews (2022) indica que el concepto de 'horas pico de sol' es el que permite medir con precisión la cantidad de irradiación (luz solar) que llegará a los paneles solares instalados en un lugar determinado. Por lo tanto, se plantea que 1 hora pico de sol = 1000 W/m² de luz solar por hora. Por ejemplo, si una ubicación determinada recibe un total de 6650 Wh/m² de radiación solar en el transcurso de un día, esa ubicación recibe 6,65 horas de sol pico.

Usando el siguiente ejemplo, veamos cómo puede usar las horas pico de sol para calcular cuánta electricidad necesita que genere su sistema de paneles solares:

- Horas pico de sol = 7
- Su casa utilizó 25.000 kWh de electricidad el año pasado
- 25.000 kWh / 365 días = 68,49 kWh por día
- 68,49 kWh por día / 7 horas pico de sol por día = 9,78 kWh
- Debe instalar un sistema solar fotovoltaico de 10kW

Para poder hacer más entendible el tema de las HSP, en la siguiente Tabla se muestra las Horas Solares Pico de cada mes del año de la ciudad de Guayaquil.

Tabla 3.3**Valores de las Horas Solares Pico Mensual**

MES	IRRADIACION	HSP
Enero	3393	3,393
Febrero	4373	4,373
Marzo	3476	3,476
Abril	4231	4,231
Mayo	4212	4,212
Junio	3370	3,370
Julio	4124	4,124
Agosto	3926	3,926
Septiembre	5186	5,186
Octubre	4072	4,072
Noviembre	3827	3,827
Diciembre	4576	4,576
PROMEDIO	4063	4,063

Nota. Valores de las Horas Solares Pico mensual de la ciudad de Guayaquil, obtenidos por el INAMHI. Adaptado de (Lata, 2015, p. 16). Elaborado por el Autor, 2022.

Como resultado, se obtuvo el promedio diario de las Horas Solares Pico de la ciudad de Guayaquil, y en caso de querer obtener el promedio anual, se pasaría a multiplicar el promedio diario de las HSP por el número de días del año ($4,063 \times 365 = 1482$). En la siguiente Tabla quedan estipulados los valores.

Tabla 3.4**Número de Horas Solar Pico Diarias/Anual**

Horas Solar Pico	
HSP diario	4,063
HSP anual	1482

Nota. Valores del número de Horas Solares Pico diario/anual de la ciudad de Guayaquil, obtenidos por el INAMHI. Adaptado de (Lata, 2015, p. 17). Elaborado por el Autor, 2022.

Por lo tanto, se obtuvo que la irradiación solar promedio en Guayaquil es de 4063 Wh/m^2 , por otro lado, las horas pico de sol las podemos conseguir dividiendo la radiación solar promedio entre 1000 Wh/m^2 , llegando a obtener 4.1 horas picos del sol promedio en la ciudad de Guayaquil.

3.1.5 Análisis de la inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos

La orientación y la inclinación de los paneles solares es muy importante para favorecer una mayor producción de electricidad. Para usos de invierno y anuales las placas se deberán poner con poca inclinación para optimizar la poca altura del sol en los meses de menor radiación solar. Por el contrario, en verano se deberán situar muy inclinadas para que el sol incida de forma más perpendicular posible. La orientación deberá ser siempre hacia el sur geográfico (Damia Solar, 2015). Para obtener cálculos más exactos del número de paneles fotovoltaicos, se debe analizar estos factores indispensables, como la orientación, inclinación y la separación mínima entre paneles solares.

Orientación

La orientación más adecuada será colocando los módulos hacia el sur geográfico. Para determinar de forma exacta esta posición se puede utilizar una brújula o bien determinarla según la hora del día, ya que el sur corresponde con las 12 del mediodía hora solar.

Figura 3.4

Orientación con una Brújula



Nota. Brújula utilizada para la orientación de un sistema fotovoltaico. Adaptado de brújula en panel solar. 123rf, por (Tepsuttinun, 2021).

Inclinación

Solar Reviews (2022) respalda que, el ángulo de inclinación aumenta con la latitud: cuanto más lejos esté su casa del ecuador, mayor debería ser su ángulo de inclinación. En este caso Ecuador se coloca directamente sobre el Ecuador, por esa razón su latitud es de 2° , por ende, su ángulo de inclinación sería muy bajo. La latitud de la capital de Ecuador, Quito, es de 0° y la otra ciudad muy importante del Ecuador que también es su capital comercial, Guayaquil tiene una latitud de 02° .

El ángulo de inclinación de un panel solar, es un punto fundamental para no llegar a obtener pérdidas de eficiencia. De tal manera que, para obtener cálculos acertados del ángulo de inclinación de un PV, se debe contar con información básica pero fundamental del lugar donde se va a instalar el sistema fotovoltaico, información como, los datos meteorológicos de las temperaturas máximas registradas en Guayaquil, Latitud, Longitud, entre otros. En la siguiente tabla se muestra de manera detalla lo mencionado.

Tabla 3.5

Datos Meteorológicos de la ciudad de Guayaquil

DATOS METEOROLÓGICOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL											
Lugar: GUAYAQUIL - Aeropuerto Internacional JJO											
PERIODO: 2014 - 2021 LATITUD: 2G 10' 50" S LONGITUD: 79G 53' 59" W ELEVACION: 6.00											
Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
35,6	35	35,4	35,1	34,7	34,6	34	34,4	35,7	35	35	36,1

Nota. Datos meteorológicos de las temperaturas máximas registradas, longitud, latitud, entre otros datos de la ciudad de Guayaquil, obtenidos por el INAMHI. Adaptado de (Lata, 2015, p. 17). Elaborado por el Autor, 2022.

Para poder obtener el ángulo de inclinación de un panel solar, se debe considerar el factor “k” de corrección de irradiación para superficies inclinadas, por medio de la siguiente Tabla 3.6 se nos facilitará saber cuál es el factor “k” de corrección de irradiación. Se debe tener en cuenta que la tabla se basará según la latitud del lugar, inclinaciones y los meses del año.

Tabla 3.6**Valores del Factor “k” de Corrección de Irradiación**

Latitud: 2°												
Inclinación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96	0.97	0.98	1	1.01	1	1.03
10	1.04	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92	0.93	0.96	0.99	1.02	1	1.05
15	1.05	1.02	0.98	0.93	0.89	0.87	0.89	0.93	0.98	1.02	1.1	1.06
20	1.05	1.01	0.96	0.89	0.84	0.82	0.84	0.89	0.96	1.02	1.1	1.07
25	1.04	1	0.93	0.85	0.79	0.76	0.78	0.84	0.93	1.01	1.1	1.07
30	1.03	0.98	0.9	0.8	0.73	0.69	0.72	0.8	0.89	0.99	1.1	1.06
35	1.02	0.95	0.86	0.75	0.66	0.62	0.65	0.74	0.85	0.96	1	1.05
40	0.99	0.92	0.81	0.69	0.59	0.55	0.58	0.68	0.81	0.93	1	1.03
45	0.96	0.88	0.77	0.63	0.52	0.47	0.51	0.62	0.75	0.89	1	1

Nota. Valores del factor “k” de corrección de irradiación para superficies inclinadas, obtenido de Norma Ecuatoriana de Construcción. Adaptado de (NEC, 2011, p. 80). Elaborado por el Autor, 2022.

Después de analizar la tabla del factor “k”, el ángulo de inclinación seleccionado sería el de **10°**, ya que, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de Construcción se recomienda que la inclinación de los paneles fotovoltaicos, oscile entre los 5° y 10° para poder prevenir la acumulación de suciedad y polvo en los PV.

Por otro lado, Censolar afirma que para calcular las Hsp y la Irradiación netas de un PV, debe ser de la siguiente manera:

$$\mathbf{HSP= H*k}$$

H = irradiación diaria sobre el horizontal.

k = factor de corrección.

$$\mathbf{HSP= 4063*1.04= 4225\div 1000= 4,22 HSP}$$

Tabla 3.7**Irradiación & HSP con un ángulo de inclinación de 10°**

MES	RADIACIÓN Wh/m ² /mes (0°)	FACTOR "K" (10°)	RADIACIÓN Wh/m ² /mes (10°)	HSP
Enero	3393	1.04	3,528	3,53
Febrero	4373	1.02	4,460	4,46
Marzo	3476	0.99	3,441	3,44
Abril	4231	0.96	4,061	4,06
Mayo	4212	0.93	3,917	3,91
Junio	3370	0.92	3,100	3,10
Julio	4124	0.93	3,835	3,83
Agosto	3926	0.96	3,768	3,76
Septiembre	5186	0.99	5,134	5,13
Octubre	4072	1.02	4,153	4,15
Noviembre	3827	1	3,827	3,82
Diciembre	4576	1.05	4,804	4,80
PROMEDIO			4,002	4

Nota. Irradiación solar y las horas solares pico con un ángulo de inclinación de 10°. Elaborado por el Autor, 2022.

La irradiación solar promedio que recibirá nuestro sistema fotovoltaico será de 4.002 Wh/ m², por ende, las horas solares pico promedio que recibirá de energía nuestro sistema son de 4 horas, estos valores se darán si nuestros módulos fotovoltaicos tienen una inclinación de 10° y que estén orientados hacia el Norte.

3.1.6 Levantamiento de cargas eléctricas de la residencia

El levantamiento de cargas eléctricas en la residencia consiste en hacer un cálculo de todas las cargas eléctricas producidas por los equipos eléctricos pertenecientes a la vivienda. Este paso es muy importante, ya que el cálculo de las cargas utilizadas en la residencia pasara a ser manejada por el sistema fotovoltaico. En la siguiente tabla, se mostrará una lista con todos los aparatos y dispositivos eléctricos que son utilizados en la vivienda.

Tabla 3.8**Consumo diario de la energía eléctrica en la Vivienda Residencial**

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Factor de Simultaneidad	Potencia Total (W)	Horas de Uso Diario (h/d)	Consumo de Energía por Día (kWh/d)
TV Led	1	270	0,4	108	4	432
Microondas	1	1200	0,9	1080	1	1080
Refrigeradora	1	400	0,4	160	24	3840
PC Portátil	2	90	0,3	54	10	540
Lavadora	1	500	0,6	300	1	300
Licuadaora	1	450	0,5	225	0,25	56,25
Horno Eléctrico	1	1200	0,9	1080	0,25	270
Freidora de Aire	1	1000	0,9	900	1	900
A/C 12000 BTU	1	560	0,9	504	6	3024
Plancha	1	1000	0,9	900	0,25	225
Barra de Sonido	1	120	0,4	48	4	192
Focos Led	10	60	0,3	180	8	1440
Modem wifi	1	10	0,2	2	24	48
Tomacorrientes	8	180	0,3	432	24	10368
TOTAL	31			5973		22659

Nota. Cálculo del consumo diario de energía eléctrica de la Vivienda Residencial. Elaborado por el Autor, 2022.

El procedimiento para poder calcular el consumo diario de nuestra vivienda es el siguiente:

Tener una lista de los equipos o dispositivos eléctricos que entran en el consumo diario de energía, la cantidad de cada equipo eléctrico, la potencia en watts y el factor de simultaneidad, donde se multiplican esos dos valores y poder obtener la potencia total de nuestros equipos. El factor de simultaneidad de acuerdo a Quintela & Redondo (2022) no es más que la fracción o cociente de la potencia eléctrica máxima que entrega una instalación eléctrica, más las potencias nominales de todos los equipos

eléctricos o receptores que se puedan conectar a ella. Se considera que el coeficiente de simultaneidad es un valor real positivo menor que 1. Después de haber obtenido la potencia total de los equipos, se debe tener las horas de uso diario de cada dispositivo eléctrico y multiplicar estos valores entre sí, y de esa manera se obtendrá el consumo de energía por día de nuestra vivienda. Para conseguir el total del consumo diario de energía, se debe sumar todos los valores obtenidos en esa columna de acuerdo a la tabla y así alcanzar un valor neto de nuestro consumo diario.

El valor total del consumo de energía por día es de 22659 kWh/d, a este valor se le debe agregar entre un 10 y 25% más para compensar las pérdidas en el sistema o algún equipo eléctrico que no esté contabilizado, quedando de la siguiente manera:

$$22659 \text{ kWh/d} \times 1,25 \text{ (25 \% extra)} = \mathbf{28\ 323 \text{ kWh/d}}$$

3.1.7 Cálculos del factor de rendimiento (Performance Ratio)

El índice de rendimiento (PR) es una medida de la calidad de una planta solar fotovoltaica independiente de la ubicación y orientación, a menudo se describe como un factor de calidad. El PR se expresa como un porcentaje y describe la relación entre las salidas de energía reales y teóricas de la planta fotovoltaica (Steenberg, 2021).

Surya (2020) plantea que es posible calcular la eficiencia de nuestro sistema fotovoltaico, multiplicando la eficiencia de todos sus componentes. En este caso, el sistema fotovoltaico aún se encuentra en etapa de diseño, por ende, algunos datos que necesitaremos para calcular el PR no estarán disponibles, como las pérdidas por polvo o suciedad, porque esta información solo está disponible después de que nuestro sistema esté operativo, de tal manera que será basado en las normativas.

$$\mathbf{PR = N (inv) * N (temp) * N (cables) * N (suciedad) * N (mismatch)}$$

La ecuación planteada se lee de la siguiente manera: PR es igual a la eficiencia del inversor, multiplicado por la eficiencia de la temperatura de los módulos fotovoltaicos, multiplicado por la eficiencia de los cables, por la eficiencia de los parámetros de suciedad del módulo solar y multiplicado por la eficiencia del mismatch. El mismatch es conocido como el desajuste que suele haber entre la energía producida por los paneles solares dentro de un sistema fotovoltaico.

Siendo:

PR: Performance Ratio.

N (inv): Eficiencia del Inversor.

N (temp): Eficiencia de la Temperatura del Módulo Solar.

N (cables): Eficiencia de los Cables.

N (suciedad): Eficiencia de los Parámetros de Suciedad del Módulo Solar.

N (mismatch): Eficiencia del Mismatch.

Los porcentajes de eficiencias que serán utilizados, se encuentran en la ficha técnica de cada componente. Se usará un inversor de 97.1% de eficiencia, una eficiencia de la temperatura del 92.10%, la eficiencia de los cables del 98,50%, esto debido a que se utilizara el valor de pérdida máxima de 1,5% para el circuito de D/C Y A/C que es el permitido por la normativa, las pérdidas por suciedad ocasionadas por el polvo pueden oscilar entre 0 y 8 % durante las lluvias, aunque las pérdidas anuales promedio son inferiores al 4 %, lo que implica una eficiencia del 96 %. Por último, pero no menos importante, las pérdidas por desajuste resultantes de las interconexiones entre módulos suelen estar en el rango del 4 %, lo que implica una eficiencia del 96 %. Reemplazando los valores de la ecuación dada, quedaría de la siguiente manera:

$$PR = 97,1\% * 92,1\% * 98,5\% * 98,5\% * 96\% * 96\%$$

$$RP = 79,96\%$$

El resultado del factor de rendimiento es de 79,96%. Normalmente los valores promedios del Performance Ratio oscilan entre los 70% y 80% cada año, que los valores estén por encima del 80% indica valores de eficiencia optimistas a lo contrario de valores por debajo del 70% que indicaría un error en los cálculos, lo cual provocaría un nuevo análisis del factor de rendimiento.

3.1.8 Cálculo de la Potencia a generar por el sistema fotovoltaico

Para poder determinar la Energía Real de un sistema fotovoltaico, se debe tener en cuenta, que no es suficiente con analizar las cargas de la vivienda, también se debe calcular las pérdidas ocasionadas por los componentes.

$$Efv = \frac{\text{kWh/d}}{\text{RP}}$$

$$Efv = \frac{28323 \text{ Wh}}{79,96}$$

$$Efv = 35.421 \text{ kWh}$$

Donde:

Efv = Energía del Campo Fotovoltaico.

RP = Factor de Rendimiento (Performance Ratio).

Después de haber obtenido la Energía Real del sistema fotovoltaico, el paso a seguir, es el de obtener el cálculo de la potencia que generara el campo fotovoltaico, por ese motivo los pasos a seguir quedan planteados de la siguiente manera.

$$Pfv = \frac{Efv}{\text{HSP}}$$

$$Pfv = \frac{35421 \text{ Wh}}{4}$$

$$Pfv = 8.855 \text{ kWh}$$

Donde:

Pfv = Potencia del Campo Fotovoltaico.

HSP = Horas Sol Pico.

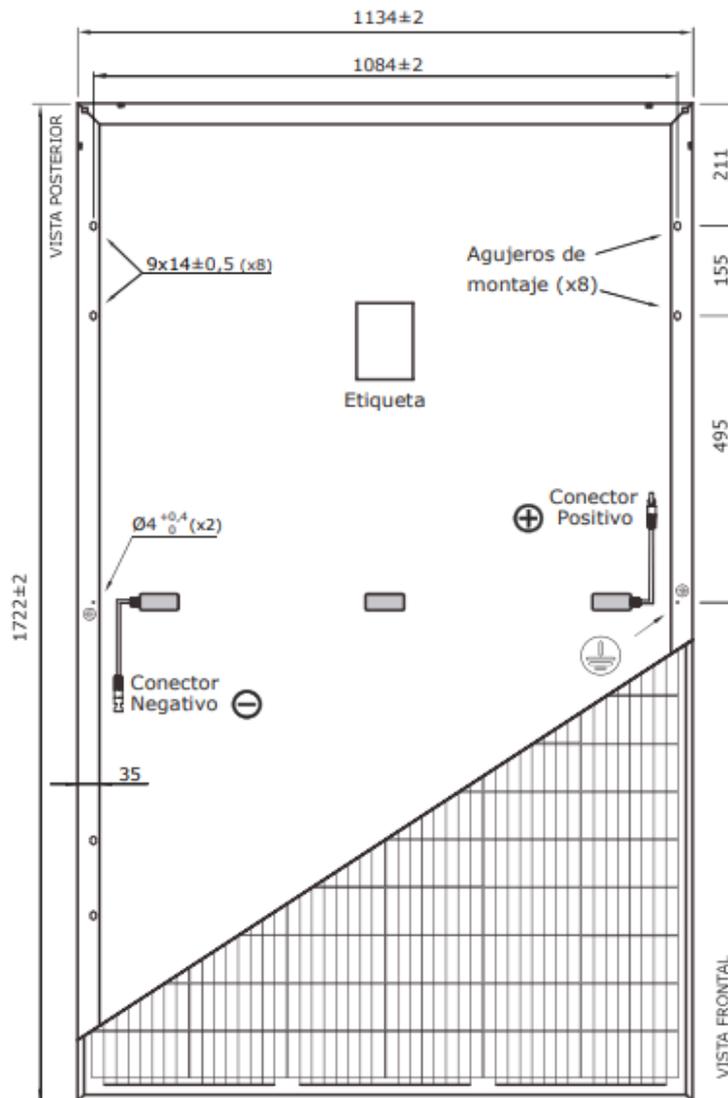
3.1.9 Tipo de módulo solar a utilizar

En este proyecto se optó por utilizar módulos fotovoltaicos monocristalinos que son (23 %) más eficientes que los policristalinos (18 %). El modelo del panel solar a utilizar en el sistema fotovoltaico será el de A-400M GS Monocristalino de la empresa Atersa. Cuenta con una potencia de 400 W, está formado por 108 medias células, compuestas de silicio monocristalino, estos paneles aprovechan satisfactoriamente toda la luz proyectada por el sol, ya que cuenta con unas células que

están encapsuladas entre un cristal de alta transmisividad. Pertenece a la familia de paneles más potentes y es el más utilizado para instalaciones de alto rendimiento. Se puede utilizar tanto para instalaciones interconectadas a la red como independientes (Atersa, 2019).

Figura 3.5

Estructura del panel solar A-400M GS Monocristalino



Nota. Vista de la estructura del panel solar A-400M GS Monocristalino. Adaptado de (Atersa, 2019). Elaborado por el Autor, 2022.

En las siguientes Tablas se muestra los datos técnicos más relevantes del módulo solar a implementar en el sistema fotovoltaico.

Tabla 3.9**Características eléctricas del módulo solar escogido**

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
ATERSA A-400M GS Monocristalino	
Potencia Máxima (Pmax)	400 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	40.35 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	9.92 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	48.42 V
Corriente en Corto Circuito (Isc)	10.77 A
Eficiencia del Módulo (%)	19.88
Clasificación de Potencia (W)	0/+5
Máxima Serie de Fusibles (A)	15
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1000 V / DC 1500 V
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula	45±2

Nota. Características eléctricas del módulo solar escogido para el sistema fotovoltaico del presente trabajo. Adaptado de (Atersa, 2019). Elaborado por el Autor, 2022.

Tabla 3.10**Especificaciones mecánicas**

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
Dimensiones (± 2.0 mm.)	2008x1002x40 mm.
Peso (± 0.5 kg)	21.5 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa
Máx. impacto granizo (diámetro/velocidad)	25 mm / 23 m/s

Nota. Especificaciones mecánicas del módulo solar escogido para el sistema fotovoltaico del presente trabajo. Adaptado de (Atersa, 2019). Elaborado por el Autor, 2022.

Tabla 3.11**Materiales de construcción**

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	
Cubierta frontal (material/tipo/espesor)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm 144 células (6x24) / Mono PERC/ 158.75x79.38 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (protección/n diodos)	IP67/3 diodos 1.200 mm. (or customizad)/4 mm ² /Compatible
Cable (longitud/sección) / conector	MC4

Nota. Materiales de construcción del módulo solar escogido para el sistema fotovoltaico del presente trabajo. Adaptado de (Atersa, 2019). Elaborado por el Autor, 2022.

Tabla 3.12**Características de Temperatura**

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA	
Coef. Temp. de I _{sc} (TK I _{sc})	0.048% /°C
Coef. Temp. de V _{oc} (TK V _{oc})	-0.28% /°C
Coef. Temp. de P _{max} (TK P _{max})	-0.36% /°C
Reducción eficiencia (200w/m ² 25°C)	< 5%
Temperatura de Funcionamiento	-40 to+85 °C

Nota. Características de la temperatura del módulo solar escogido para el sistema fotovoltaico del presente trabajo. Adaptado de Adaptado de (Atersa, 2019). Elaborado por el Autor, 2022.

3.1.10 Cálculo del número de paneles solares a instalar

El conocer el número de paneles fotovoltaicos que necesitamos para nuestro sistema fotovoltaico, dependerá de la capacidad de potencia del panel que se vaya a implementar. El número de paneles solares se puede calcular de una manera sencilla con la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{Pfv}{P \text{ panel}}$$

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = \frac{8855 \text{ Wh}}{400 \text{ W}}$$

$$N^{\circ} \text{ Paneles} = 22.14$$

$$\mathbf{N^{\circ} \text{ Paneles} = 23}$$

Donde:

P panel = Potencia máxima del panel solar.

N° Paneles = Número de paneles.

3.1.11 Cálculo de la distribución de los paneles fotovoltaicos

Ahora, se procederá a realizar los cálculos para establecer la cantidad máxima y mínima de paneles solares conectados en serie y en paralelo, de acuerdo a Arévalo Morales (2016) será fundamental los datos técnicos del panel y el inversor que se utilizarán en este sistema fotovoltaico.

Datos del panel:

Potencia Máxima (Pmax) = 400 W

Tensión Máxima Potencia (Vmp) = 40.35 V

Corriente Máxima Potencia (Imp) = 9.92 A

Tensión de Circuito Abierto (Voc) = 48.42 V

Corriente en Corto Circuito (Isc) = 10.77 A

Eficiencia del Módulo (%) = 19.88

Datos del inversor:

Potencia Máxima de Salida = 5000 W

Rango de Tensión MPP = 250 - 850 V

Tensión Máxima Potencia = 720 - 900 V

Tensión Mínima Potencia = 225 - 250 V

Corriente Máxima = 21 A

Voltaje Nominal de Salida = 220 V

Eficiencia Máxima (%) = 96

Primero se calculará el número máximo de paneles en serie, para ese paso se debe tener en cuenta la ecuación de la temperatura mínima de la zona.

$$Voc(Tmin) = Voc(25^{\circ}C) + Voc(25^{\circ}C) * \beta Voc(Tmin - 25^{\circ}C)$$

$$Voc(22^{\circ}C) = 48,42 + 48,42 * (-0,28 \%/^{\circ}C) (22^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Voc(22^{\circ}C) = 48,42 (1 + 0,0084)$$

$$Voc(22^{\circ}C) = 48.50 \text{ V}$$

$$N^{\circ} \text{ max - serie} = \frac{VmaxInv}{Voc(Tmin)}$$

$$N^{\circ} \text{ max - serie} = \frac{900 \text{ V}}{48.50 \text{ V}}$$

$$N^{\circ} \text{ max - serie} = 19$$

Donde:

$Vmax-Inv$ = Voltaje máximo del inversor.

Voc = Voltaje de circuito abierto.

$Tmin$ = Temperatura mínima.

βVoc = Coeficiente de temperatura de Voc.

También se debe calcular el número mínimo de paneles en serie, por lo que se debe considerar la temperatura máxima de la zona, a continuación, se detallara el proceso a seguir.

$$V_{mp}(T_{max}) = V_{mp}(25^{\circ}\text{C}) + V_{mp}(25^{\circ}\text{C}) * \beta V_{pm}(T_{max} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{mp}(34^{\circ}\text{C}) = 40,35 + 40,35 * (-0,36 \text{ \%/}^{\circ}\text{C})(34^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{mp}(34^{\circ}\text{C}) = 40,35 (1 - 0.0324)$$

$$V_{mp}(34^{\circ}\text{C}) = 40,32 \text{ V}$$

$$N^{\circ} \text{ min - serie} = \frac{V_{min \text{ mpp Inv}}}{V_{mp}(T_{max})}$$

$$N^{\circ} \text{ min - serie} = \frac{250 \text{ V}}{40.32 \text{ V}}$$

$$N^{\circ} \text{ min - serie} = 7$$

Donde:

$V_{min-mpp-Inv}$ = Tensión mínima del punto de máxima potencia del inversor.

V_{mp} = Voltaje máxima potencia.

T_{max} = Temperatura máxima.

βV_{pm} = Coeficiente de temperatura del voltaje de máxima potencia.

Por último, se debe calcular el número de paneles en serie, se debe considerar la temperatura máxima de la zona, con el siguiente procedimiento se detalla lo estipulado.

$$I_{sc}(T_{max}) = I_{sc}(25^{\circ}\text{C}) + I_{sc}(25^{\circ}\text{C}) * \alpha I_{sc}(T_{max} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{sc}(34^{\circ}\text{C}) = 10.77 + 10.77 * (0.048 \text{ \%/}^{\circ}\text{C})(34^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{sc}(34^{\circ}\text{C}) = 10.77 (1 + 0.432)$$

$$I_{sc}(34^{\circ}\text{C}) = 11,20 \text{ A}$$

$$N^{\circ} \text{ max} - \text{Paralelo} = \frac{I \text{ ent inv}}{Isc (T_{\text{max}})}$$

$$N^{\circ} \text{ max} - \text{Paralelo} = \frac{21 \text{ A}}{11.20 \text{ A}}$$

$$N^{\circ} \text{ max} - \text{Paralelo} = 2$$

Donde:

$I\text{-ent-inv}$ = Corriente de entrada del inversor.

Isc = Corriente en cortocircuito.

αIsc = Coeficiente de temperatura de Isc .

Después de realizar los cálculos para obtener la cantidad máxima y mínima de paneles solares conectados en serie y en paralelo, se podrá establecer la manera que serán ordenados los módulos solares del sistema fotovoltaico. De la siguiente manera quedaran agrupados los paneles solares.

Número de paneles solares en serie: 21 – una fila de 10 y una fila de 11

Número de paneles solares en paralelo: 2

Número total de paneles solares: 23

3.1.12 Dimensionamiento del Inversor

Para la elección de un inversor que se acople a lo requerido por el sistema fotovoltaico, se debe tener en cuenta algunos factores. Primero, se debe elegir un inversor que la potencia máxima no sea inferior a las cargas eléctricas producidas por los equipos eléctricos pertenecientes a la vivienda. Otro factor primordial es que la tensión de entrada y salida deben coincidir con el sistema fotovoltaico. En la siguiente Tabla se muestra los datos técnicos del inversor a emplear.

Tabla 3.13**Datos técnicos del inversor**

DATOS TÉCNICOS	
Inversor Híbrido Trifásico 5kW InfiniSolar	
Potencia Máxima de Salida	5000 W
Rango de Tensión MPP	250 – 850 V
Tensión Máxima Potencia	720 – 900 V
Tensión Mínima Potencia	225 – 250 V
Corriente Máxima	21 A
Voltaje Inversor (DC)	48 V
Voltaje Nominal de Salida (AC)	220 V
Eficiencia Máxima (%)	96
Peso	33 kg
Dimensiones	30 × 71 × 56 cm

Nota. Inversor Híbrido Trifásico 5kVA InfiniSolar de la empresa VOLTRONIC. Adaptado de (Atersa, 2019).

La potencia del inversor por lo general debe ser un 25% más grande que el total de vatios producidos por los electrodomésticos, esto debido a los picos de corrientes elevados producidos por los aparatos eléctricos con motores, esto podría ocasionar que el inversor se quemara. Para calcular la potencia del inversor se deberá seguir el siguiente procedimiento.

Primero se debe conocer la potencia de consumo, producida por los electrodomésticos, para detallar se utilizará la tabla 3.8 la cual fue utilizada en el levantamiento de carga de la residencia.

Tabla 3.14

Potencia total producida por los electrodomésticos

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Factor de Simultaneidad	Potencia Total (W)	Horas de Uso Diario (h/d)	Consumo de Energía por Día (kWh/d)
TV Led	1	270	0,4	108	4	432
Microondas	1	1200	0,9	1080	1	1080
Refrigeradora	1	400	0,4	160	24	3840
PC Portátil	2	90	0,3	54	10	540
Lavadora	1	500	0,6	300	1	300
Licuadaora	1	450	0,5	225	0,25	56,25
Horno Eléctrico	1	1200	0,9	1080	0,25	270
Freidora de Aire	1	1000	0,9	900	1	900
A/C 12000 BTU	1	560	0,9	504	6	3024
Plancha	1	1000	0,9	900	0,25	225
Barra de Sonido	1	120	0,4	48	4	192
Focos Led	10	60	0,3	180	8	1440
Modem wifi	1	10	0,2	2	24	48
Tomacorrientes	8	180	0,3	432	24	10368
TOTAL	31			5973		22659

Nota. Potencia total producida por los electrodomésticos. Elaborado por el Autor, 2022.

Después se deberá reemplazar valores en la siguiente ecuación:

$$P_{inv} = F_s \times \left(\frac{P_{Total} W/h}{FP \times Eff_{inv}} \right)$$

$$P_{inv} = 1.25 \times \left(\frac{5973}{0.8 \times 0.96} \right)$$

$$P_{inv} = 9.722 W$$

Donde:

P_{inv} = Potencia del inversor.

F_s = Factor de seguridad.

F_p = Factor de potencia.

$P_{Total\ W/h}$ = Potencia total producida por los electrodomésticos en 1 hora.

Eff_{-inv} = Eficiencia del inversor.

Como resultado se obtuvo que la potencia del inversor es de 9.722 W, se redondeó a 10.000 W para poder encontrar más opciones de inversores en el mercado. El número de inversores que se va a implementar en el sistema será de 2 inversores cada uno de 5kW para poder cubrir la potencia del inversor que es de 10 kW.

3.1.13 Batería

Se debe tener en cuenta varios factores para poder hallar un buen dimensionamiento de las baterías que se implementaran en el sistema. Uno de esos factores es que el banco de baterías del sistema fotovoltaico debe ser lo suficientemente grande para proporcionar el respaldo deseado. Los Amperios Horas (Ah) será la expresión para referirse a la capacidad de las baterías. También se debe establecer los días de autonomía en los que la energía suministrada a la instalación eléctrica será por medio de la energía almacenada en las baterías. Otro factor importante en el cálculo de la capacidad de la batería, es que se debe tener en cuenta las pérdidas de la batería que comúnmente es el 15 %, la profundidad de descarga (DOD) en las baterías pueden descargarse ocasionalmente hasta en un 80 % en un ciclo profundo, para una vida más larga es mejor mantener el límite de descarga de rutina en solo el 60 %.

Las baterías más utilizadas en los sistemas fotovoltaicos son las baterías estacionarias de Gel o Ácido con una duración aproximada de 15 años. Un dato a destacar es que la conexión de las baterías debe ser un proceso riguroso para no reducir drásticamente la vida útil de la batería. El procedimiento para el cálculo de la batería es el siguiente.

$$Capacidad = \frac{Wh/día \times días}{DOD \times V} \times Pp$$

$$Capacidad = \frac{22659 \times 2}{0,6 \times 48} \times 1.15$$

$$\mathbf{Capacidad = 1068 Ah}$$

Donde:

Wh/día = Consumo total de energía por día, producidas por los equipos conectados.

días = Días de autonomía de la batería.

DOD = Profundidad de descarga de la batería.

V = Tensión de la batería.

Pp = Porcentaje de pérdidas dadas por el rendimiento del equipo, temperatura.

Como resultado se obtuvo que la capacidad de la batería a instalar es de 1068 Ah, donde la mejor opción sería optar por un banco de baterías, compuesto por 8 unidades de baterías estacionarias de 600 Ah – 48 V modelo Ultracell UZS600, para poder llegar a la capacidad requerida se necesitara las 16 unidades de 1200 Ah – 48 V. Por tal motivo en este sistema fotovoltaico no se incluirán baterías, dado que adquirir estas 16 baterías rondaría los \$ 6.000,00 dólares, y el objetivo de este proyecto es diseñar un sistema fotovoltaico que no requiera de gastos tan elevados, por lo contrario se desea proyectar un diseño que cumpla con lo estipulado y no incurrir en gastos adicionales. Se debe recalcar que el sistema fotovoltaico funcionaria de manera óptima sin las baterías, ya que las baterías son un sistema de respaldo en caso de que la vivienda se quede sin energía de la red o se quiera tener un respaldo de energía para las noches, donde el sistema fotovoltaico es incapaz de generar electricidad.

3.1.14 Controlador de carga

El controlador de carga es fundamental para un sistema fotovoltaico, ya que es el encargado de la carga y descarga de la batería, prologando la vida de las mismas. Las recomendaciones al momento de instalar el sistema fotovoltaico, es que el inversor sea el que se conecte en a la salida de las baterías no el controlador de carga, la práctica

refutaría lo planteado sobre que el controlador es el encargado de la carga y descarga de la batería, siendo el inversor el que verdaderamente se encarga de que las baterías no se descarguen en exceso y el controlador será el encargado de controlar la carga de las baterías. Para el dimensionamiento del controlador de carga se debe tener varios datos, como la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del módulo solar, el número de paneles solares conectados en paralelo y a esos datos se le suma el factor de seguridad que por lo general se lo dimensiona en 1.25. En la siguiente ecuación se reemplazarán los datos estipulados para poder obtener la corriente de entrada del regulador.

$$I_c = I_{sc}Mod \times N^{\circ}Mod \ p \times F_s$$

$$I_c = 10,77 \times 2 \times 1.25$$

$$I_c = 27 \text{ A}$$

Donde:

$I_{sc}Mod$ = Corriente en cortocircuito del módulo solar.

$N^{\circ}Mod-p$ = Numero de módulos solares en paralelo.

F_s = Factor de seguridad.

La corriente del convertidor solar es de 27 A, el controlador que se elija debe ser tener una corriente de entrada similar o superior al valor obtenido. De acuerdo a que en este sistema fotovoltaico no se incluirán Baterías, no es necesario el controlador de carga ya que este tiene como función controlar las cargas de las baterías, por ende, tampoco se incluirá el costo del controlador en el análisis económico del proyecto.

3.1.15 Conductores

Después de haber diseñado nuestro sistema fotovoltaico, se necesita calcular los cables conductores que serán utilizados en la instalación. El tipo de cable que se usará será el tipo THHW compuesto por cobre de temple suave, aislado con material termoplástico, lo cual lo hace resistente a temperaturas de 90 °C. Para un buen dimensionamiento de los conductores se optó por agregar un factor de seguridad del 156% con la finalidad de que el cable conductor no llegue al 80% de su capacidad nominal. Con el siguiente procedimiento podemos obtener los cálculos requeridos.

$$Dc Total = (Isc Mod)(Fs)$$

$$Dc Total = (10.77)(1.56)$$

$$**Dc Total = 17 A**$$

Donde:

Dc Total = Corriente continua total.

Isc Mod = Corriente de corto circuito del módulo solar.

Fs = Factor de Seguridad.

Para obtener el voltaje máximo de la corriente continua total, se debe multiplicar el voltaje de operación del módulo solar por la cantidad de paneles instalados en el sistema.

$$VmaxDc Total = (VoMod)(N^{\circ}p)$$

$$VmaxDc Total = (40.35)(23)$$

$$**VmaxDc Total = 928 VDC**$$

Donde:

Vmax Dc Total = Voltaje máximo de la corriente continua total del módulo solar.

Vo Mod = Voltaje de operación del módulo solar.

N[°]p = Número de paneles instalados en el sistema fotovoltaico.

Para determinar el cableado en corriente alterna que se empleara en el sistema, se debe utilizar una tabla donde vienen establecidos los calibres de los cables dependiendo del amperaje, en el anexo 4 del presente trabajo se muestra dicha tabla. Se concluye que para el cableado DC se utilice un calibre del cable #12 AWG, tipo THHW aislado con material termoplástico, lo cual lo hace resistente a temperaturas de 90 °C.

Por otro lado, los cálculos para el cableado en AC serán basados en la corriente máxima del inversor y el factor de seguridad utilizados en los anteriores cálculos, quedando de la siguiente manera.

$$Ac\ Total = (I_{max\ Inv})(Fs)$$

$$Ac\ Total = (21)(1.56)$$

$$\mathbf{Ac\ Total = 33\ A}$$

Donde:

Ac Total = Corriente alterna total.

I max-Inv = Corriente máxima del inversor.

Fs = Factor de seguridad.

El cableado en Ac quedaría con un calibre del cable #10 AGW, tipo THHW aislado con material termoplástico, lo cual lo hace resistente a temperaturas de 90 °C.

3.1.16 Protecciones

Entre las protecciones que se utilizara en el sistema fotovoltaico, está el interruptor termomagnético o breaker, el cual tiene como función cortar o interrumpir la corriente de un circuito, cuando esta sobrepasa los valores máximos de protección. Los disyuntores deberán ir conectados en serie con la instalación fotovoltaica. El dimensionamiento de las protecciones del sistema fotovoltaico, estará conformado por dos interruptores termomagnéticos, tanto para la corriente en DC que en la AC. Un factor muy importante a tomar en cuenta para las protecciones del sistema, es que el interruptor que se vaya a instalar debe tener una capacidad eléctrica igual o menor a la del cable utilizado en el sistema fotovoltaico. Como resultado se obtiene un interruptor de 2 polos -17 A para las corrientes en DC y un interruptor de 2 polos – 33 A para las corrientes en AC.

3.1.17 Puesta a tierra

Otro tipo de protección fundamental y que se debe tomar en cuenta, es el sistema puesto a tierra, es el encargado de asegurarse que las protecciones estén

actuando de manera óptima, para que los componentes del sistema fotovoltaico no sufran alguna avería. Se utilizarán conductores de cobre de 50 mm² para la conexión de los paneles y las partes metálicas según lo recomendado para sistemas fotovoltaicos. Las picas que se utilizarán serán de aleación acero-cobre con un diámetro de 14 mm, y la profundidad mínima recomendada para las pilas es de 50 cm.

3.1.18 Distancia entre las filas de los paneles solares

La distancia entre paneles solares es algo primordial en este tipo de instalaciones, son varias las recomendaciones que se suelen dar antes de instalar un panel fotovoltaico, tales como que el panel no debe ir tan cerca del techo, debido a que, en los días muy calurosos, es donde más energía generara el PV, pero también se generara mucho calor, el cual puede filtrarse por su techo, los fabricantes recomiendan un espacio de 10 cm entre el techo y el panel. También recomiendan que la distancia entre paneles oscile entre 10 y 17 cm, en cambio el espacio que se recomienda entre las filas de los módulos solares debería rondar entre los 12 y 15 cm. Para poder obtener la distancia mínima entre las filas de los PV de este proyecto, se aplicará las siguientes ecuaciones.

$$d = d1 + d2 = \frac{Z}{\tan(Ho)} + \frac{Z}{\tan(\beta)}$$

$$d = l \times \left(\frac{\text{Sen}(\beta)}{\tan(Ho)} + \cos(\beta) \right)$$

$$\alpha = Ho$$

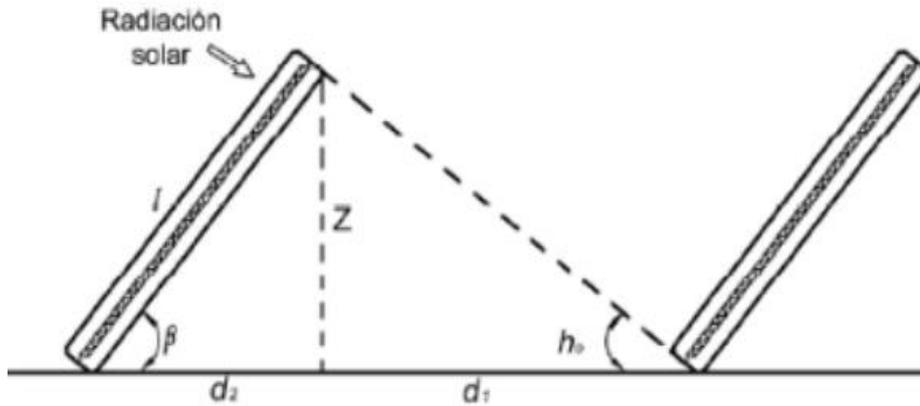
$$\alpha = 90^\circ - \text{Latitud del lugar} - \text{declinación solar}$$

$$\alpha = 90^\circ - 2.13^\circ - 25.62^\circ$$

$$\alpha = 62.25^\circ$$

Figura 3.6

Distancia entre módulos solares



Nota. Esquema de la distancia entre los módulos solares. Adaptado de dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación centralizada conectada a red para la venta de energía en la provincia del guayas y análisis de viabilidad técnica y económica. (p.91) por Prado Alarcón, 2015.

Ahora se prosigue con lo siguiente:

$$\beta = 10^\circ$$

$$l = 2 \times 1.662$$

$$l = 3.24 \text{ m}$$

Ahora se calcula Z :

$$Z = l \times \text{Sen}(\beta)$$

$$Z = 3.24 \text{ m} \times \text{Sen}(10^\circ)$$

$$Z = 0.557 \text{ m}$$

Ahora se procede a calcular d :

$$d = l \times \left(\frac{\text{Sen}(\beta)}{\tan(H_o)} + \cos(\beta) \right)$$

$$d = 3.3 \text{ m} \times \left(\frac{\text{Sen}(10^\circ)}{\tan(62.25)} + \cos(10^\circ) \right)$$

$$d = 3.57 \text{ m}$$

Por lo tanto, se obtuvo:

$$d1 = d - 2$$

$$d1 = d - \frac{Z}{\tan(\beta)}$$

$$d1 = 3.57 \text{ m} - \frac{0.557 \text{ m}}{\tan(10^\circ)}$$

$$d1 = 0.30 \text{ m}$$

Como resultado se obtuvo que la distancia mínima entre filas de los paneles solares es de 0.30 m, pero también se debe tener en cuenta el mantenimiento de los módulos solares, el cual se haría dificultoso por la poca distancia que hay entre filas, de tal manera que los fabricantes suelen recomendar una distancia de 1,3 m.

3.1.19 Estructura soporte del sistema fotovoltaico

Las estructuras soporte son fundamentales para una instalación fotovoltaica, por ende, se debe tener en cuenta varios aspectos. Se utilizará estructuras reforzadas y mayor número de fijaciones para lugares donde los vientos son más fuertes. Los materiales empleados en las estructuras de soporte para módulos fotovoltaicos, son el aluminio, hierro y acero inoxidable.

La estructura a utilizar en este proyecto será una coplanar continuo fijo de aluminio, para 6 placas solares y montaje sobre cubierta inclinada, esta estructura está diseñada para que pueda ser instalada sobre cubiertas metálicas. Las dimensiones son de 10x20x20, con un peso de 10 kg, para mayor información sobre la estructura utilizada revisar el anexo 6 del proyecto.

3.2 Análisis económico del proyecto

El análisis económico del proyecto tiene como finalidad evaluar si es viable económicamente el diseño fotovoltaico planteado. Este análisis estará compuesto por tres partes, la de los costos del sistema fotovoltaico, donde se incluirá todos los componentes utilizados en el sistema fotovoltaico y a base de eso se realizará un presupuesto de cada componente con valores del mercado actual. La otra parte consta de los gastos en mano de obra, por la contratación de los técnicos responsables en la instalación del sistema, por último, el gasto total de la inversión, donde se procederá a sumar los costos de los componentes más lo de la mano de obra.

3.2.1 Planteamiento de los costos del sistema fotovoltaico

En esta parte, se analizará los costos producidos por los componentes del sistema fotovoltaico, los componentes cuentan con valores actuales del mercado. También se agregará el costo por la importación de los equipos por medio del Servicio Nacional de Aduana del Ecuador (SENAE). Los componentes que se incluirán en el presupuesto son los siguientes:

- Módulos solares.
- Inversores.
- Sistema de cableado y protección del sistema fotovoltaico.
- Estructuras de soporte para los módulos solares.
- Sistema de puesta a tierra.

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto con los componentes mencionados y sus respectivos valores.

Tabla 3.15

Costos del sistema fotovoltaico

Descripción del equipo	Cantidad	Precio unitario	Total
Módulos Solares de 400 W-ATERSA.	23	\$ 176.00	\$ 4.048.00
Inversores de 5k-VOLTRONIC.	2	\$ 2.015.00	\$ 4.030.00
Interruptores termomagnéticos de 17-33 A/2p.	2	\$ 20.00	\$ 40.00
Cableado con calibres #12-10 AGW-tipo THHW.	2	\$ 18.00	\$ 36.00
Estructura soporte del PV - para 6 módulos.	4	\$ 176.00	\$ 704.00
Sistema de puesta a tierra.	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Importación de los equipos por medio del SENAE.	1	\$ 800.00	\$ 800.00
TOTAL			\$ 9.858.00

Nota. Costos de los equipos implementados en el sistema fotovoltaico. Elaborado por el Autor, 2022.

3.2.2 Costo de la mano de obra

Lo que concierne al costo de la mano de obra, son los servicios dados por alguna empresa especializada en instalaciones fotovoltaicas, ya que tienen mucha experiencia en ese campo. El personal que suelen incluir para este tipo de instalaciones son Técnicos eléctricos, un técnico responsable de la obra y ayudantes. El costo de los servicios de estas empresas suele oscilar del 15 al 20% del costo del sistema fotovoltaico.

Tabla 3.16

Costo de mano de obra

Descripción	Cantidad	Costo total
Técnico responsable de la obra.	1	-
Técnicos eléctricos.	2	-
Ayudantes.	2	-
TOTAL		\$ 1.400.00

Nota. Costos de la mano de obra. Elaborado por el Autor, 2022.

3.2.3 Costo total de la inversión

Por último, tenemos el costo total de la inversión del sistema fotovoltaico, donde se sumarán los costos del sistema fotovoltaico con los costos de mano de obra. Cabe recalcar que se agregara al presupuesto gastos imprevistos que no se tenía planificado.

Tabla 3.17

Costo total de la inversión

Descripción	Referencia	Valores obtenidos
Costo del sistema fotovoltaico	3.15	\$ 9.858.00
Costo de mano de obra	3.16	\$ 1.400.00
Costo de imprevisto	3.17	\$ 200.00
TOTAL		\$ 11.458.00

Nota. Costo total de la inversión. Elaborado por el Autor, 2022.

Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto, era realizar un diseño de un sistema fotovoltaico, el cual dio como resultado 8.855 kW generados, los cuales serán inyectados a los circuitos de la vivienda residencial, el sistema debe estar interconectado a la red de distribución, ya que el objetivo reducir el precio de la factura eléctrica no desconectarnos de la red. En el caso de los sistemas fotovoltaicos aislados, son una buena opción para casas que no tienen acceso a la red de distribución, el problema sería, que se necesitaría un banco de baterías para almacenar la energía, que será utilizada cuando los módulos solares dejen de recibir luz solar, y por lo general estos bancos de baterías suelen tener un costo bastante alto.

Los temas planteados en el marco teórico, son fundamentales para comprender el funcionamiento básico de un sistema fotovoltaico, donde se detalló los componentes que necesita un sistema fotovoltaico, las características eléctricas de cada componente para una buena elección de los mismos, las estructuras utilizadas en los paneles solares, entre otros.

Se realizó el levantamiento de carga de la vivienda residencial, para poder determinar el consumo eléctrico de la misma, como resultado, se obtuvo que el valor total del consumo de energía por día es de 22.659 kWh/d, a este valor se le agregó un 25% más para compensar las pérdidas en el sistema o algún equipo eléctrico que no esté contabilizado, quedando un total 28.323 kWh/d. El valor obtenido, del levantamiento de carga de la vivienda, es fundamental para el dimensionamiento de los componentes requeridos, dado que en los cálculos planteados para cada componente se necesita el valor del consumo eléctrico de la vivienda.

La rentabilidad del sistema fotovoltaico con respecto al análisis económico es muy buena, a pesar de que la inversión para este proyecto rondaría los \$11.458, un valor un poco alto, pero si se tiene en cuenta que el tiempo de recuperación del dinero invertido rondaría entre los 4 y 8 años, dependiendo de la tarifa eléctrica que tenga, en comparación con el tiempo de vida útil que suelen tener los sistemas fotovoltaicos, que oscila entre los 25 a 30 años, se puede concluir que el sistema fotovoltaico sería rentable.

También se debe recalcar que la implementación de estos sistemas a base de energía renovable, favorece la lucha contra el cambio climático, disminuyendo así el uso de energías a base de combustibles fósiles.

Recomendaciones

El mantenimiento en los paneles solares es fundamental para garantizar que el sistema funcione de manera eficiente y segura. Se suele recomendar una limpieza del panel solar cada 3 o 4 veces al año, ya que puede ir perdiendo eficiencia a causa del polvo.

Se recomienda realizar un buen dimensionamiento de los componentes utilizados en el sistema, por lo general a cada componente se le debe sumar un porcentaje de seguridad para proporcionar un buen respaldo, las consecuencias sería un sistema fotovoltaico ineficiente, que genere menos energía de la que se necesita.

El calibre de los conductores debe ser el óptimo para el sistema fotovoltaico, ya que es el encargado de asegurarse que las protecciones estén actuando de manera óptima, para que los componentes del sistema fotovoltaico no sufran alguna avería.

El sistema fotovoltaico fue dimensionado un 25% más grande, como factor de seguridad en caso de que se sumaran más cargas al sistema eléctrico de la vivienda, no se recomienda agregar demasiadas cargas, porque provocaría que el sistema fotovoltaico se sature, por ende, se daría un mal funcionamiento del mismo o que algún componente se quemara.

En caso de querer implementar un sistema fotovoltaico en una vivienda, se recomienda adquirir los servicios de alguna empresa especializada en instalaciones fotovoltaicas, por la experiencia que tienen en ese campo, además de que suelen contar con personal capacitado que desempeñan este tipo de trabajo.

REFERENCIAS

- Afework et al. (2020, abril 28). *Photovoltaic system—Energy Education*.
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_system
- ALEM. (2021, septiembre 6). España, uno de los sitios más baratos del planeta para instalar fotovoltaica: Es el país europeo con menor costo y supera ya a China. *Agencia Local Energía Murcia*. <https://www.energiamurcia.es/spain-instalacion-fotovoltaica/>
- Alte. (2020, septiembre 17). *Components for Your Solar Panel (Photovoltaic) System—DIY Solar*. DIY Solar & Renewable Energy Resources.
<https://www.altestore.com/diy-solar-resources/components-for-your-solar-panel-photovoltaic-system/>
- Alte. (2021). *Deep Cycle Batteries & Solar Batteries | altE*. AltEstore.Com.
<https://www.altestore.com/store/deep-cycle-batteries-c434/>
- Alternative Energy Tutorials. (2021a). *Connecting Solar Panels Together for Increased Power*. Alternative Energy Tutorials. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/connecting-solar-panels-together.html>
- Alternative Energy Tutorials. (2021b). *Solar Cell I-V Characteristic and the Solar Cell I-V Curve*. Alternative Energy Tutorials. <https://www.alternative-energy-tutorials.com/photovoltaics/solar-cell-i-v-characteristic.html>
- Amin, S., Hanania, J., Stenhouse, K., & Yelland, B. (2018). *Orientación de paneles solares—Educación Energética*.
https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_panel_orientation
- Arévalo Morales, J. (2016). *Para viviendas de la urbanización Cataluña*". 98.
- Ashok, S. (2021). *Energía solar | Definición, usos, ventajas y hechos | británica*. britannica. <https://www.britannica.com/science/solar-energy>

- Atersa. (2019). *Placa Solar Monocristalina 400W ATERSA GS y 108 medias células*.
<https://atersa.shop/panel-solar-a-330m-ultra>
- Atersa, 2019. (s/f). Recuperado el 10 de febrero de 2022, de
<https://atersa.shop/app/uploads/2021/12/MU-M6M-6x18-M7-10BB-GS-ES-A.pdf>
- AutoSolar. (2021). *¿Qué inclinación y orientación debe tener un panel solar en Lima?* | Blog AutoSolar. <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/como-calcular-la-inclinacion-de-un-panel-solar>
- Birtlh. (2020). 2.5.- *Instalación eléctrica en una instalación fotovoltaica autónoma en un proyecto*. | ISF06.- *Diseño, dimensionado y selección de componentes de instalaciones fotovoltaica...*
https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/ISF/ISF06/es_IEA_ISF06_Contenidos/website_25_instalacin_elctrica_en_una_instalacin_fotovoltaica_autnoma_en_un_proyecto.html
- ceen. (2015, enero 31). Componentes de una Instalación Fotovoltaica. *Eficiencia Energética*. <https://certificacionenergetica.info/componentes-de-una-instalacion-fotovoltaica/>
- Climate-Data. (2021). *Clima Guayaquil: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de Guayaquil—Climate-Data.org*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-del-guayas/guayaquil-2962/>
- CNEL EP. (2019, agosto 19). *Regulación para microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores*. CNEL EP.
<https://www.cnelep.gob.ec/regulacion-para-microgeneracion-fotovoltaica-para-autoabastecimiento-de-consumidores/>

- Colleen Spiegel. (2018). *Components of a Photovoltaic System*.
<https://www.fuelcellstore.com/blog-section/components-of-a-photovoltaic-system>
- CONELC, 2008. (s/f). Recuperado el 1 de febrero de 2022, de
<http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>
- Cotfas et al, D. (2019). Advancements in Photovoltaic Cell and System Technologies. *International Journal of Photoenergy*, 2019, e8129137.
<https://doi.org/10.1155/2019/8129137>
- Damia Solar. (2015). *Cual debe ser la orientación y la inclinación de las placas solares? - Damia Solar Electrosol Energia S.L.*
https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/orientacion-e-inclinacion-de-las-placas-solares_1
- De Rooij, D. (2021). *Medición de la Radiación Solar*.
<https://sinovoltaics.com/learning-center/basics/measurement-of-solar-radiation/>
- EDF Energy. (2021). *Types of renewable energy*. EDF.
<https://www.edfenergy.com/for-home/energywise/renewable-energy-sources>
- EERE. (2021). *Solar Radiation Basics (Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable)*. Energy.gov. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-radiation-basics>
- Electrical Academia. (2018, agosto 14). *Inverter Specifications and Data Sheet*.
 Electrical Academia. <https://electricalacademia.com/renewable-energy/inverter-specifications-data-sheet/>
- Electrical Technology. (2020, septiembre 20). *Parameters of a Solar Cell and Characteristics of a PV Panel*. ELECTRICAL TECHNOLOGY.

<https://www.electricaltechnology.org/2020/09/parameters-characteristics-solar-panel.html>

Franklin, D. E. (2019). *Calculations for a Grid-Connected Solar Energy System*. 8.

Gallardo Lancho, J. F. (2021). *Esquema del efecto invernadero en la atmósfera*.

ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Esquema-del-efecto-invernadero-en-la-atmosfera_fig1_285732513

Gil Lobo, A. (2020). *El potencial de la energía solar en el mundo*. El Orden Mundial - EOM. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/potencial-energia-solar-mundo/>

Globalspec. (2021). *Guía de selección de instrumentos de radiación solar: Tipos, características, aplicaciones | Ingeniería360*. globalspec.

https://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/weather_sensing/solar_radiation_instruments

Harrington, R. (2015). *This incredible fact should get you psyched about solar power*. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/this-is-the-potential-of-solar-power-2015-9>

Helio Esfera. (2020, agosto 19). *Horas de sol pico ¿Qué es y para qué sirve?*

HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/horas-de-sol-pico-que-es-y-para-que-sirve/>

Hukseflux. (2021). *Cómo medir la radiación solar | Hukseflux*.

<https://www.hukseflux.com/applications/solar-energy-pv-system-performance-monitoring/how-to-measure-solar-radiation>

Iberdrola. (2021a). *¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?* Iberdrola.

<https://www.iberdrola.com/sustainability/what-is-photovoltaic-energy>

Iberdrola. (2021b). *Solar radiation: What is its impact on the planet and on humans?*

Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/social-commitment/solar-radiation>

Iea. (2021, julio 15). *Global electricity demand is growing faster than renewables, driving strong increase in generation from fossil fuels—News*. IEA.

<https://www.iea.org/news/global-electricity-demand-is-growing-faster-than-renewables-driving-strong-increase-in-generation-from-fossil-fuels>

iluminet. (2016). *¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas? | Iluminet revista de iluminación*. [https://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-](https://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/)

[fotovoltaicos-energia-solar/](https://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/)

Ingeoexpert. (2019, marzo 29). *¿Qué es la energía solar fotovoltaica y cómo funciona? | Ingeoexpert ®. Ingeoexpert*.

<https://ingeoexpert.com/2019/03/29/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-como-se-genera/>

IRENA 2019. (s/f). Recuperado el 4 de enero de 2022, de <https://irena.org/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf](https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_2019.pdf)

Karami Lakeh, H. (2021, diciembre 17). *What are the Pros and Cons of Renewable Energy?* [https://www.greenmatch.co.uk/blog/2021/09/advantages-and-](https://www.greenmatch.co.uk/blog/2021/09/advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy)

[disadvantages-of-renewable-energy](https://www.greenmatch.co.uk/blog/2021/09/advantages-and-disadvantages-of-renewable-energy)

Kemp, J. (2021, julio 28). *Column: Rising global energy use complicates path to net zero: Kemp*. Reuters. [https://www.reuters.com/business/energy/rising-global-](https://www.reuters.com/business/energy/rising-global-energy-use-complicates-path-net-zero-kemp-2021-07-27/)

[energy-use-complicates-path-net-zero-kemp-2021-07-27/](https://www.reuters.com/business/energy/rising-global-energy-use-complicates-path-net-zero-kemp-2021-07-27/)

Laetitia, U. (2018). *NEAR EAST UNIVERSITY*. 95.

Lata, J. (2015, agosto 14). *Estimación del potencial urbano de sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Guayaquil*.

- Manimekalai, P., Raghavan, S., & Harikumar, R. (2013). *Electronics and Communication*. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887).
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.401.7780&rep=rep1&type=pdf>
- MapsOfWorld. (2021, diciembre 9). Latitud y longitud de Ecuador. *Espanol mapsofworld*. <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/sur-america/ecuador/latitud-y-longitud-de-ecuador.html>
- Mascaró. (2014, diciembre 14). *Energía Solar Fotovoltaica en Mallorca*.
<https://www.comercialmascaro.com/productos/energia-solar-mallorca-fotovoltaica>
- Masvoltaje. (2016). *¿Que tipos de cables eléctricos existen?*
<https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12>
- McFadden, C. (2017, marzo 13). *Top 10 Performing Countries for Solar Energy*.
<https://interestingengineering.com/top-10-performing-countries-for-solar-energy>
- NEC, 2011. (s/f). Recuperado el 4 de febrero de 2022, de
<https://inmobiliariadja.files.wordpress.com/2016/09/nec2011-cap-14-energic3adas-renovables-021412.pdf>
- Nelson, J., Gambhir, A., & Ekins-Daukes, N. (2014). *Solar power for CO2 mitigation*. 11, 16.
- Palmetto. (2021, junio 29). *What are Peak Sun Hours?*
<https://palmetto.com/learning-center/blog/what-are-peak-sun-hours>

- Phocos 2015. (s/f). Recuperado el 24 de enero de 2022, de <https://www.phocos.com/wp-content/uploads/2019/11/Guide-Comparing-PWM-MPPT-Charge-Controllers.pdf>
- Quintela, F. R., & Redondo, R. C. (2022). *coeficiente de simultaneidad—Diccionario de Ingeniería Eléctrica*. Diccionario de Ingeniería Eléctrica. <https://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Diccionario/Diccionario.php?b=id:405>
- ReGen powertech. (2021). *Inversor solar / Fecha técnica*. regenpowertech. <https://www.regenpowertech.com/101/technical-data>
- REMER. (2021). *Dirección General de Protección Civil y Emergencias—Ministerio del Interior—España. Red Radio de Emergencia—REMER. VADEMECUM REMER - Radiación solar*. <https://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum17/vdm052.htm>
- Remote Energy. (2021, julio 7). *What is solar energy? What are some advantages of solar energy?* Remote Energy. <https://remoteenergy.org/blog/what-is-solar-energy>
- REN21 2020. (s/f). Recuperado el 4 de enero de 2022, de https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf
- Renewable Energy World. (2019). *Photovoltaic systems*. Renewable Energy World. <https://www.renewableenergyworld.com/types-of-renewable-energy/what-is-solar-energy/photovoltaic-systems/>
- Rodríguez, K., de Moure Flores, F., & Quiñones, J. (2020, septiembre). *Energía solar fotovoltaica*. *revistaciencia*. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/ediciones->

anteriores/articulos-fuera-de-los-volumenes-publicados-online/798-energia-solar-fotovoltaica

Sensovant. (2014a). *Instrumentos de Medición de la Radiación Solar*. sensovant.

<https://www.sensovant.com/productos-aplicaciones/agricultura/luz-solar/instrumentos-medicion-medir-radiacion-solar.html>

Sensovant. (2014b). *Piranómetro Fotovoltaico con MODBUS*. sensovant.

<https://www.sensovant.com/productos/meteorologia/radiacion-solar/articulo/piranometro-estandar-secundario-secondary-standard-SR20-D1-MODBUS.html>

Shinn, L. (2018, junio 15). *Renewable Energy: The Clean Facts*. NRDC.

<https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>

Solar Impulse. (2021). *Solutions to the energy crisis: How to achieve sustainable energy?* <https://solarimpulse.com/energy-crisis-solutions>

Solar Reviews. (2022a). *Best solar panel angle: How do you find it — and does it matter?* Solar Reviews. <https://www.solarreviews.com/content/blog/best-solar-panel-angle>

Solar Reviews. (2022b). *What is a peak sun hour? What are peak sun hour numbers for your state?* Solar Reviews.

<https://www.solarreviews.com/content/blog/peak-sun-hours-explained>

Solar technology 2021. (s/f). Recuperado el 24 de enero de 2022, de <https://docs.rs-online.com/8bd2/0900766b8146fdd7.pdf>

Solaris. (2021). *Lista de componentes solares*. SOLARIS. <https://www.solaris-shop.com/solar-components/>

Somim 2017. (s/f). Recuperado el 20 de enero de 2022, de

http://somim.org.mx/memorias/memorias2017/articulos/A5_148.pdf

- SRNE Solar. (2021, agosto 6). *Solar Charge Controller Technical Parameters*.
SRNE Solar. <https://www.srnesolar.com/blog/free-guides/solar-charge-controller-technical-parameters>
- Steenberg, C. (2021, junio 17). *Why performance ratio metrics are a thing of the past*. PV Tech. <https://www.pv-tech.org/why-performance-ratio-metrics-are-a-thing-of-the-past/>
- Sun Supply. (2021, julio 2). *Diferentes tipos de sistemas solares fotovoltaicos*. Sun Supply. <https://www.sunsupplyco.com/diferentes-tipos-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>
- Surya. (2020). *Performance Ratio Solar | Energia Solar Surya*.
<https://cursovirtual.energiasolarsurya.com/performance-ratio-solar/>
- Svarc, J. (2020a). *MPPT Solar Charge Controllers Explained*. CLEAN ENERGY REVIEWS. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/mppt-solar-charge-controllers>
- Svarc, J. (2020b). *Solar Panel Construction*. CLEAN ENERGY REVIEWS.
<https://www.cleanenergyreviews.info/blog/solar-panel-components-construction>
- Tamara Martínez, A. (2019). *Instalación fotovoltaica conectada a red para el túnel de San Juan (Alicante) Grado en Ingeniería Eléctrica Trabajo final—PDF*.
<https://docplayer.es/155734588-Instalacion-fotovoltaica-conectada-a-red-para-el-tunel-de-san-juan-alicante-grado-en-ingenieria-electrica-trabajo-final.html>
- Tecnosolab. (2016, diciembre 5). *Distancia entre filas de paneles solares. Cómo evitar el sombreado | Tecnosol tienda online de Energía Solar*. BLOG

- Tecnosol. <https://tecnosolab.com/noticias/distancia-entre-filas-de-paneles-solares/>
- Tepsuttinun, W. (2021). *Mano que sostiene la brújula en el sistema Solar Rooftop*. *Importancia del concepto de dirección*. 123RF.
https://es.123rf.com/photo_93150392_mano-que-sostiene-la-brújula-en-el-sistema-solar-rooftop-importancia-del-concepto-de-dirección.html
- Trojahn dos Santos, C. (2019, julio 2). *How to write a good state of the art: Should it be the first step of your thesis ?* Rencontres des Jeunes Chercheurs en Intelligence Artificielle 2019. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02161403>
- ucsusa. (2017). *Beneficios del uso de energía renovable | Unión de científicos interesados*. <https://www.ucsusa.org/resources/benefits-renewable-energy-use>
- Wang, C., & Lu, Y. (2016). *Bachelor's Thesis Degree Programme in Industrial Management*. 35.
- webmaster. (2019, diciembre 13). *Estructura de panel solar | Energia Solar México*. <https://energiasolarmexico.mx/estructura-de-panel-solar/>
- Yousef. (2021, febrero 7). *Types of Solar Panels: Types, Working, Application with (PDF)*. The Engineers Post. <https://www.theengineerspost.com/solar-panel-types/>
- Zhang, T., & Wang, R. (2019). *Efecto fotovoltaico: Una descripción general | Temas de ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/photovoltaic-effect>
- Zipp, K. (2015, octubre 29). *What are some common types of solar PV and storage installations?* Solar Power World.
<https://www.solarpowerworldonline.com/2015/10/what-are-some-common-types-of-solar-pv-and-storage-installations/>

Zipp, K. (2016, mayo 25). *What are the different types of solar inverters and how do they work?* Solar Power World.

<https://www.solarpowerworldonline.com/2016/05/different-types-solar-inverters/>

GLOSARIO

PV: Paneles Fotovoltaicos.

HSP: Horas Sol Pico.

AIE: Agencia Internacional de Energía.

CC: Corriente Continua.

CA: Corriente Alterna.

CO₂: Dióxido de carbono.

kW.h: Kilovatio*hora.

V OC: Voltaje de circuito abierto.

I SC: Corriente de cortocircuito.

MPP: Punto de máxima potencia.

FF: Factor de llenado.

%eff: Eficiencia porcentual.

Mono-SI: Paneles solares monocristalinos.

Poly-SI: Paneles solares policristalinos.

TFSC: Celda solar de película fina.

A-SI: Células solares de silicio amorfo.

BIPV: (Building Integrated Photovoltaic) Edificio Fotovoltaico Integrado.

EVA: Significa 'etilenvinilacetato', que es una capa (plástica) de polímero.

MC4: Conector multicontacto de 4 mm de diámetro.

FLA: Ácido de plomo inundado.

AGM: Ácido de plomo sellado con malla de vidrio absorbente.

GEL: Ácido de plomo sellado con electrolito gelificado.

LFP: Fosfato de hierro y litio.

MPPT: Controladores de carga solar con seguimiento del punto de máxima potencia.

PWM: Controladores de carga solar de modulación de ancho de pulso.

VMP: Voltaje en máxima potencia.

IMP: Intensidad en máxima potencia.

SGDA: Sistemas de generación distribuida para autoabastecimiento.

ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

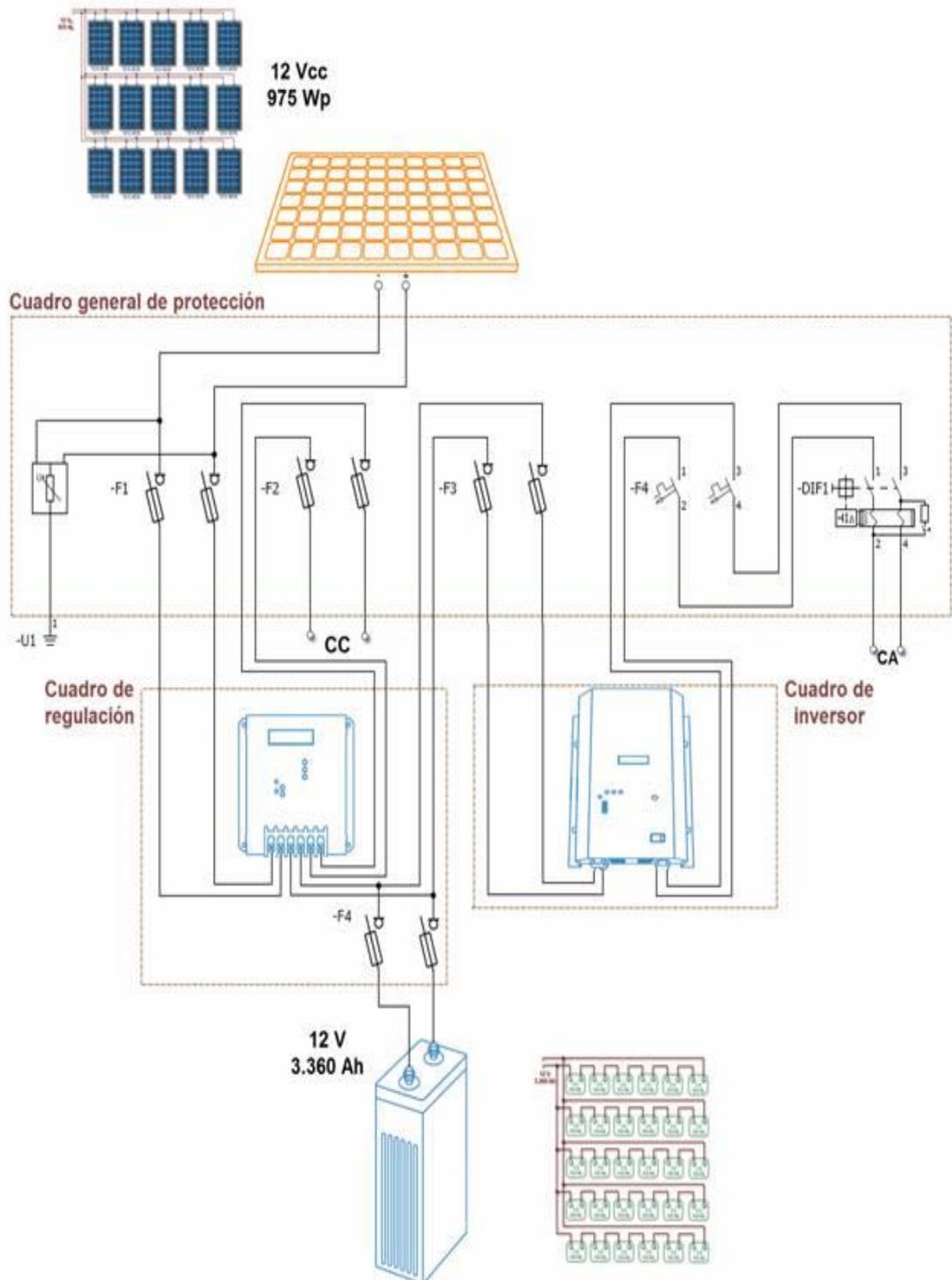
CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad.

NEC: Norma Ecuatoriana de Construcción.

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

ANEXOS

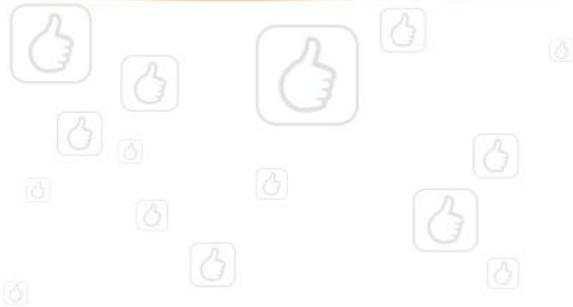
Anexo 1: Diagrama de un sistema fotovoltaico de una vivienda residencial



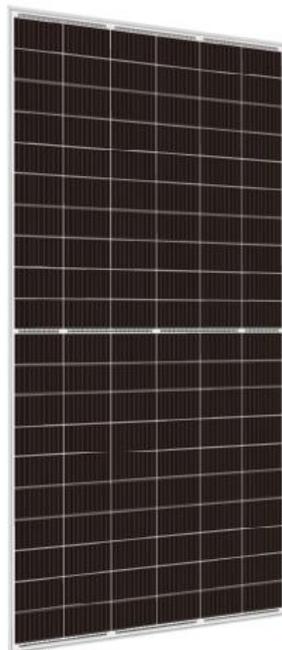
Nota. Diagrama de un sistema fotovoltaico de una vivienda residencial. Adaptado de (Birtlh, 2020).

Anexo 2: Ficha técnica del módulo solar A-400M GS ATERSA.

→ www.atersa.com



Optimum
nueva gama



Módulo solar fotovoltaico (120 ½ Mono PERC 6")
A-xxxM GS 108 HM7 10BB (390/395/400/405/410 W)

- **Optimice sus instalaciones.**
- **Alta eficiencia** del módulo y potencia de salida estable, basado en una tecnología de proceso innovadora.
- **Funcionamiento eléctrico excepcional** en condiciones de alta temperatura o baja irradiación.
- Facilidad de instalación gracias a un **diseño de ingeniería innovador.**
- **Riguroso control de calidad** que cumple con los más altos estándares internacionales.
- **Garantía, 10 años** contra defectos de fabricación y **25 años** en rendimiento.



Para una información más detallada de los términos de la garantía, consulte:

→ www.atersa.com

Módulos fotovoltaicos para el futuro 

A-xxxM GS 108 HM7 10BB (ES) (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-390M GS 108	A-395M GS 108	A-400M GS 108	A-405M GS 108	A-410M GS 108
Potencia Máxima (Pmax)	390 W	395 W	400 W	405 W	410 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	30.60 V	30.80 V	31.05 V	31.25 V	31.45 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	12.76 A	12.83 A	12.90 A	12.97 A	13.04 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	36.50 V	36.70 V	36.95 V	37.15 V	37.35 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	13.65 A	13.72 A	13.78 A	13.85 A	13.92 A
Eficiencia del Módulo (%)	19.97	20.23	20.48	20.74	21.00
Clasificación de Potencia (W)	0/+5				
Máxima Serie de Fusibles (A)	25				
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1.500V				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C. Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±2% (Voc, Vmp); ±4% (Isc, Imp). Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%

Especificaciones mecánicas

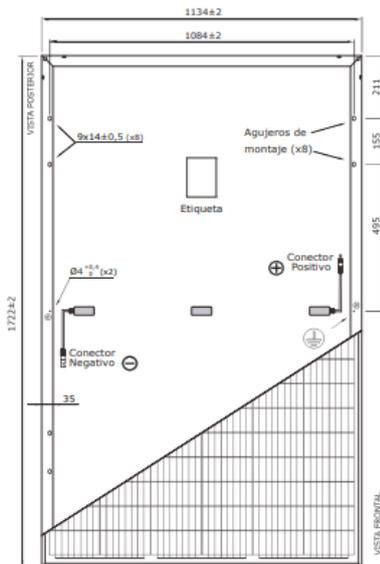
Dimensiones (± 2.0 mm.)	1722x1134x35 mm.
Peso (± 0.5 kg)	22.5 kg
Máx. carga estática, frontal (nieve y viento)	5400 Pa
Máx. carga estática, posterior (viento)	2400 Pa
Máx. impacto granizo (diámetro/velocidad)	25 mm / 23 m/s

Materiales de construcción

Cubierta frontal (material/tipo/espesor) (*)	Cristal templado/grado PV/3.2 mm
Células (cantidad/tipo/dimensiones)	108 células (6x18)/ Mono PERC 10BB/ 182 x 91 mm
Marco (material/color)	Aleación de aluminio anodizado/plata
Caja de conexiones (protección/nº diodos)	IP68/3 diodos
Cable (longitud/sección) / Connector	1.200 mm. (or customizad)/4 mm ² /Compatible MCA

(*) Con capa anti-reflectante

Vista genérica construcción módulo



El dibujo no está a escala

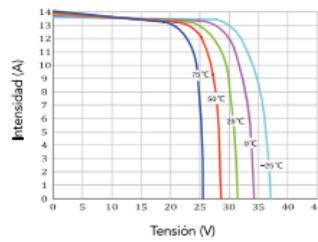
Características de temperatura

Coef. Temp. de Isc (TK Isc)	0.048% /°C
Coef. Temp. de Voc (TK Voc)	-0.270% /°C
Coef. Temp. de Pmax (TK Pmax)	-0.350% /°C
Temperatura de Funcionamiento	-40 to +85 °C

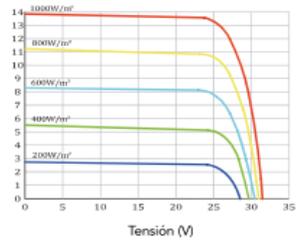
Embalaje

Módulos/palé	31 pzas
Palés/contenedor 40' HQ	26 palés
Módulos/contenedor 40' HQ	806 pzas
Palés/contenedor 20'	12 palés
Módulos/contenedor 20'	372 pzas

Temperatura Varía (A-410M GS 108)



Irradiación Varía (A-410M GS 108)



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com
Madrid (España) +34 915 178 452 • Valencia (España) +34 961 038 430

Revisado: 25/11/2021
Ref.: MU-M6M 6x18 M7 10BB GS (ES) -A
© Atersa SL, 2016



Nota. Ficha técnica del módulo solar A-400M GS de la empresa ATERSA. Adaptado de (Atersa, 2019).

Anexo 3: Ficha técnica del inversor

On-Grid Inverter with Energy Storage

InfiniSolar: On-Grid Inverter with Energy Storage

Innovative and Cost-effective Power Solution



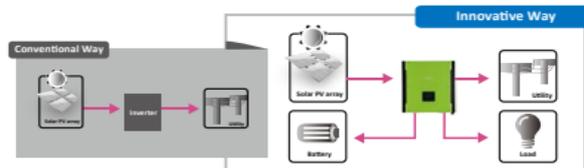
- Pure sine wave output
- Self-consumption and Feed-in to the grid
- Programmable supply priority for PV, Battery or Grid
- User-adjustable battery charging current suits different types of batteries
- Programmable multiple operation modes: Grid-tie, off-grid and grid-tie with backup
- Built-in timer for various mode of on/off operation
- Multiple communication for USB, RS-232, Modbus and SNMP
- Monitoring software for real-time status display and control
- Parallel operation up to 6 units for 5KW and 10KW

InfiniSolar is a flexible and intelligent hybrid inverter which utilizes solar power, AC utility, and battery power source to supply continuous power. It's a simple and smart solar power storage system for home users to either store energy into a battery and wait for night-time usage or use for self-consumption first depending on demands. Priority for power source can be programmed and set up through smart software. During night time or power failure, it will automatically extract power from the battery. In this way, it will reduce dependence on the utility.



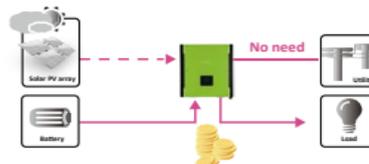
■ Feed-in is not only choice

In comparison with conventional grid-tie inverter, InfiniSolar is able to not only feed-in power to the grid but also store solar power to the battery for future usage and directly power to the loads.



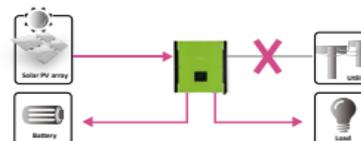
■ Save money by discharging battery for self-consumption first

InfiniSolar can save money by using battery energy first when PV energy is low. Until battery energy is low, InfiniSolar will extract AC power from the grid.



■ Power backup when AC failed

InfiniSolar can operate as an off-grid inverter to provide continuous power even without the grid. It's a perfect power solution for remote regions or temporary AC power source such as camping or night market.



InfiniSolar On-grid Inverter with Energy Storage Selection Guide

MODEL	InfiniSolar 2KW	InfiniSolar Plus 3KW	InfiniSolar Plus 5KW	InfiniSolar 3P 10KW
PHASE	1-phase in / 1-phase out			3-phase in / 3-phase out
MAXIMUM PV INPUT POWER	2250 W	4500 W	10000 W	14850 W
RATED OUTPUT POWER	2000 W	3000 W	5000 W	10000 W
MAXIMUM CHARGING POWER	1200 W		4800 W	9600 W
GRID-TIE OPERATION				
PV INPUT (DC)				
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	120 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10 A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)				
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	208/220/230/240 VAC		230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88 - 127 VAC*	184 - 265 VAC*		184 - 265 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	21 A	14.5A per phase
Power Factor	> 0.99			
EFFICIENCY				
Maximum Conversion Efficiency (DC/AC)	95%			96%
European Efficiency@ Vnominal	94%			95%
OFF-GRID OPERATION				
AC INPUT				
AC Start-up Voltage/Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC		120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC		170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A		40 A	
PV INPUT (DC)				
Maximum DC Voltage	350 VDC	500 VDC	900 VDC	900 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
BATTERY MODE OUTPUT (AC)				
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Waveform	Pure Sinewave			
Efficiency (DC to AC)	90%	93%		91%
HYBRID OPERATION				
PV INPUT (DC)				
Nominal DC Voltage / Maximum DC Voltage	300 VDC / 350 VDC	360 VDC / 500 VDC	720 VDC / 900 VDC	720 VDC / 900 VDC
Start-up Voltage / Initial Feeding Voltage	80 VDC / 120 VDC	116 VDC / 150 VDC	225 VDC / 250 VDC	320 VDC / 350 VDC
MPP Voltage Range	150 VDC ~ 320 VDC	250 VDC ~ 450 VDC	250 VDC ~ 850 VDC	400 VDC ~ 800 VDC
Number of MPP Trackers / Maximum Input Current	1 / 1 x 15 A	1 / 1 x 18 A	2 / 2 x 10A	2 / 2 x 18.6A
GRID OUTPUT (AC)				
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Output Voltage Range	88-127 VAC*	184 - 264.5 VAC*		184 - 264.5 VAC* per phase
Nominal Output Current	18 A	13 A	21 A	14.5 A per phase
AC INPUT				
AC Start-up Voltage / Auto Restart Voltage	60 - 70 VAC / 85 VAC	120 - 140 VAC / 180 VAC		120 - 140 VAC per phase / 180 VAC per phase
Acceptable Input Voltage Range	80 - 130 VAC	170 - 280 VAC		170 - 280 VAC per phase
Maximum AC Input Current	30 A		40 A	
BATTERY MODE OUTPUT (AC)				
Nominal Output Voltage	101/110/120/127 VAC	202/208/220/230/240 VAC	202/208/220/230/240 VAC	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Efficiency (DC to AC)	90%	93%		91%
BATTERY & CHARGER				
Nominal DC Voltage	48 VDC			
Maximum Charging Current	Default 25A, 5A - 25A (Adjustable)	Default 60A, 5A - 100A (Adjustable)	Default 60A, 10A - 200A (Adjustable)	
GENERAL				
PHYSICAL				
Dimension, D X W X H (mm)	107 x 438 x 480		204.2 x 460 x 600	167.5 x 500 x 622
Net Weight (kgs)	15.5		29	45
INTERFACE				
Communication Port	RS-232/USB		RS-232/USB and CAN Interface	
Intelligent Slot	Optional SNMP, Modbus and AS-400 cards available			
ENVIRONMENT				
Humidity	0 ~ 90% RH (No condensing)			
Operating Temperature	0 to 40°C		-10 to 55°C	
Altitude	0 ~ 1000 m**			

*These figures may vary depending on different AC voltage and country requirements.
 **Power derating 1% every 100 m when altitude is over 1000m.
 Product specifications are subject to change without further notice.



Nota. Ficha técnica del inversor híbrido trifásico 5kVA InfiniSolar. Adaptado de (Atersa, 2019).

Anexo 4: Tabla del amperaje soportado por los cables de cobre

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A	18 AWG	10 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A	16 AWG	13 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A	14 AWG	18 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A	12 AWG	25 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Nota. Tabla del amperaje soportado por los cables de cobre. Adaptado de (Masvoltaje, 2016).

Anexo 5: Medidas de los cables eléctricos

FOTO	CALIBRE / AWG	SECCIÓN EN MM2	CONSUMO DE CORRIENTE	EJEMPLOS
	4	25mm ²	Muy alto	Aires acondicionados centrales, equipos industriales (se requiere instalación especial de 240 volts).
	6	16mm ²	Alto	Aires acondicionados, estufas eléctricas y acometidas de energía eléctrica.
	8	10mm ²	Medio - alto	Secadoras de ropa, refrigeradores, aires acondicionados de ventana.
	10	6mm ²	Medio	Hornos de microondas, licuadoras, contactos de casas y oficinas, extensiones de uso rudo.
	12	4mm ²	Medio - bajo	Cableado de iluminación, contactos de casas, extensiones reforzadas.
	14	2.5mm ²	Bajo	Extensiones de bajo consumo, lámparas.
	16	1.5mm ²	Muy bajo	Productos electrónicos como termostatos, timbres o sistemas de seguridad.

Nota. Medidas de los cables eléctricos. Adaptado de (Masvoltaje, 2016).

Anexo 6: Ficha técnica de la estructura soporte del módulo solar

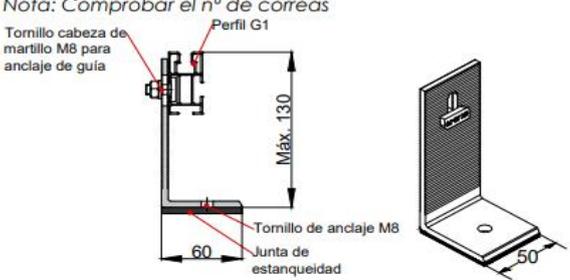
Ficha técnica

03V

Soporte coplanar continuo fijación a correas



Nota: Comprobar el nº de correas



- Soporte coplanar para anclaje a correas metálicas
- Valido para de cubiertas metálicas
- La fijación incluye junta de estanqueidad
- Disposición de los módulos: Vertical.
- Valido para espesores de módulos de 30 hasta 45 mm
- No recomendado para viguetas de hormigón pretensado.
- Kits disponibles de 1 a 6 módulos.

Viento: Hasta 150 Km/h (Ver documento de velocidades del viento)

Materiales: Perfilería de aluminio EN AW 6005A T6
Tornillería de acero inoxidable A2-70

Comprobar el buen estado y la capacidad portante de la cubierta antes de cualquier instalación.

Comprobar la Impermeabilidad de la fijación una vez colocada.




Perfil compatible G1

Dos opciones:

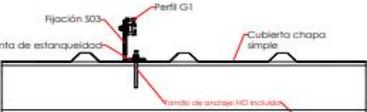
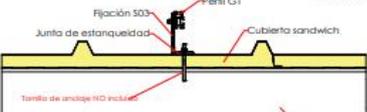
Para módulos de hasta **2279x1150 - Sistema Kit**

2279x1150 (Ver página 2)

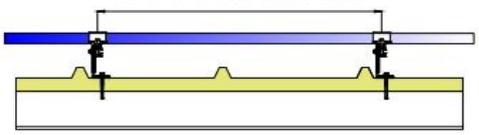
Para módulos de hasta **2400x1350 - Sistema PS**

2400x1350 (Ver página 3)

***Para anclaje, se recomienda usar un tornillo con arandela de sellado**

Para la distancia de anclajes de los módulos consultar ficha técnica del módulo



Par de apriete:

Tornillo Presor	7 Nm
Tornillo M8 Hexagonal	20 Nm
Tornillo M10 Hexagonal	40 Nm
Tornillo M6.3 Hexagonal	10 Nm

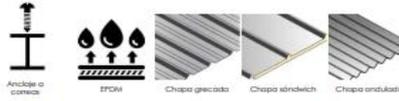
Perfiles perpendiculares a la cumbre

Herramientas necesarias:



Seguridad:





100% Reciclable

Marcado ES19/86524 CE

Nota. Ficha técnica de la estructura soporte del módulo solar. Adaptado de (Atersa, 2019).



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Lino Veas, Leonel Alexander**, con C.C: #**0950642884** autor del trabajo de titulación: **Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Eléctrico Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 10 de marzo de 2021

Lino Veas, Leonel Alexander

C.C: **0950642884**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial.		
AUTOR(ES)	Lino Veas, Leonel Alexander		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera en Eléctrico Mecánica con Gestión Empresarial		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	10 de marzo de 2022	No. DE PÁGINAS:	136
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía solar, Fuente renovable, Sistema fotovoltaico.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Paneles Solares, Rentabilidad, Dimensionamiento, Consumo Eléctrico, Energía Renovable, Vivienda Residencial, Sistema Fotovoltaico.		
RESUMEN/ABSTRACT			
<p>El presente trabajo de titulación presenta el diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de la instalación eléctrica de una vivienda residencial, el proyecto tiene como finalidad presentar información básica para su fácil entendimiento sobre el funcionamiento de una instalación fotovoltaica. Se realizó un adecuado dimensionamiento, donde se incluyó el levantamiento de carga o consumo eléctrico de la vivienda residencial, donde se determinó el número de módulos solares, inversores y protecciones eléctricas como el interruptor automático, su sistema a tierra y el cableado. También se analizó la rentabilidad del sistema fotovoltaico con relación a la vida útil del mismo y su inversión económica. La implementación de estos sistemas a base de energía renovable, favorece la lucha contra el cambio climático, disminuyendo así el uso de energías a base de combustibles fósiles.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 939423376	E-mail: linoveasleonel@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Melendez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593 96 274 5157		
	E-mail: Edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			