



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo
con análisis de eficiencia energética en un centro comercial.**

AUTOR:

Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TUTOR:

Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre de 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Crespo Castillo Alejandra Elizabeth**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

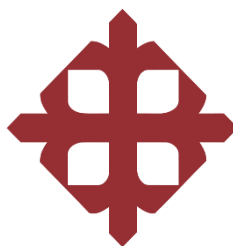
TUTOR

Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M. Sc.

DIRECTOR DE CARRERA

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

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial**, previo a la obtención del Título de **Ingeniera en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**, 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 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth

REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the URKUND interface with the following details:

- Documento:** [lita@cespoo2021.pdf](#) (D111998250)
- Presentado:** 2021-09-02 21:07 (-05:00)
- Presentado por:** al.crespo@live.com
- Recibido:** luis.vallejo.ucsg@analysis.urkund.com
- Resumen:** 3% de estas 59 páginas, se componen de texto presente en 22 fuentes.
- Lista de fuentes:** A list of 8 external sources with checkboxes, including URLs from UCSG, CENACE, and various university repositories.
- Detalle de coincidencias:** A comparison between the document text and a source. The document text includes:
 - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
 - FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA
 - DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD MECÁNICA
 - TEMA: "Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial". AUTOR: Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth
 - Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de INGENIERA EN ELECTRICIDAD MECÁNICA TUTOR: Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M.Sc. Guayaquil, Ecuador 28 de agosto de 2021
 - UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD MECÁNICA CERTIFICACION Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Crespo Castillo Alejandra Elizabeth, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniera en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial. TUTOR _____ Ing. Vallejo Samaniego, Luis Vicente, M.Sc. DIRECTOR DE CARRERA _____ Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M.Sc. Guayaquil.

Conclusión: La revisión de coincidencias del resultado de la revisión, considera la desactivación de la información de texto de los formatos de presentación de trabajos de titulación en la UCSG. Se adjunta documento de Reporte URKUND de la Revisión Final en medio digital. Porcentaje de coincidencia final del 3%.

Atentamente,

Ing. Luis Vallejo Samaniego, M.Sc.

DOCENTE-TUTOR

AGRADECIMIENTO

Mi gran agradecimiento es a Dios, aquel ser que lo mantengo siempre presente, a quien lo observo a través de aquellas personas especiales que me han ofrecido de su tiempo y afecto, haciéndome saber de cuán bendecida soy, quien se manifiesta hasta el día de hoy dándome salud, fortaleza y sabiduría para avanzar en cada paso del trayecto llamado vida.

Me faltará una vida entera para otorgar mi total gratitud hacia mi madre, Elizabeth Castillo, quien desde que tengo uso de razón ha estado siempre a mi lado, cuidándome, apoyándome, levantándome en cada descenso, ofreciéndome sus más sabios consejos, y amándome incondicionalmente, eres y siempre serás la mayor bendición que Dios me pudo haber dado. Te amo, gracias por dejarme volar tan alto y permitirme crecer a través del amor, responsabilidad y humildad, también a ser dueña de mi propio tren, y que todo peso que me impida continuar hacia el éxito no vale la pena en que disfrute de un buen viaje.

A mi padre, Alex Crespo, así nos falte mil momentos por compartir, gracias por permitirme disfrutar de una educación y salud consolidables, y no dejarme vencer por monstruos imaginarios; a mí tío Alberto Crespo, por su gran cariño, tiempo, y estar presente en todos mis logros desde la etapa de la secundaria.

Gracias a mis docentes por sus enseñanzas, consejos de magnitud personal y profesional proporcionados en todo el proceso universitario, la universidad me dejó buenos compañeros y amistades como ninguna, infinitas gracias a mi amiga Miriam Lucero por ayudarme a formar una familia en IEEE, una gran decisión que me permitió experimentar en un mundo de oportunidades, dándome mi actual ambiente laboral y amigos como Andrés Jacho, con quien cuento con su presencia desde hacer un tour de comida hasta reunirnos a las 7h00 por mi tesis y su aporte en cuanto a conocimientos, a Dario Bustamante y Margarita Sánchez por ofrecerme la más sincera y sana

amistad, por apoyarme en cualquier decisión que involucre mi felicidad, y a pesar de tener una amistad ausente sé que puedo contar con ustedes, ser mis oyentes y grandes consejeros en momentos difíciles, pero también celebrar mis triunfos.

A mi inefable compañía en mis tiempos claros, oscuros y pintorescos, Juan Carlos Alvarado, el vejestorio que me eleva a un viaje de galaxias cada vez al escucharlo hablar de sus sapiencias, quedando estupefacta ante una exquisitez de inteligencia, gracias por estar en mi vida como un ser de luz, que me brinda tranquilidad, una presencia placentera en mis prolongadas citas diurnas académicas y laborales, y por ese amor demostrado en cada despertar, en el accionar ante mi entorno de estrés, y en cada palabra que me motiva a permanecer en la lucha por más adversidad, te amo y amo compartir esta vida contigo.

A mis increíbles compañeros de trabajo, un infinito agradecimiento por su generosidad en la fase de estudio de mi proyecto de titulación, gracias a Jorge Niola, Jorge Varela, José Luis Villalba, Jonathan Ceballos, Geovanny Salazar y Ricardo Prado, por ser aquellos profesionales que me brindaron un apropiado aporte técnico en la línea fotovoltaica.

Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth

DEDICATORIA

A mis padres, que mediante sus sacrificios me brindaron una mejor vida, educación y valores, que hoy en día es el perfecto y acertado regalo cuyos frutos están demostrados conforme a mis progresos alcanzados con base en la constancia, pasión y dedicación; y ambos por ser ese soporte que con su inmensurable amor y sabias palabras reconfortan la situación más cumbre.

A mi compañero de aventuras, Juan Carlos, por creer en mi capacidad de lograr cada uno de mis propósitos, por los consejos idóneos en las varias situaciones donde la ansiedad, el cansancio físico y mental entraban en una guerra apoderándose y dejando sin valor mis ganas de continuar en esta ardua fase, perenemente de tu parte se sitúa un cálido abrazo o una sólida palabra, que me permite reconocer la existencia de personas donde parte de su alegría es verme triunfar.

A cada una de esas personas que se arriesgan a intentar algo nuevo, mi mayor anhelo es que se coman el mundo, dándolo absolutamente todo por conseguirlo, es digno reconocer a aquellos que estudian y trabajan a la vez, y los que no también, o padres de familia que retoman sus estudios, cada situación es merecedora de aplaudir por el hecho de aspirar hacia un futuro crecimiento. Les recuerdo que todo lo que conlleve al éxito no carece de complejidad, será una completa montaña rusa, pero jamás piensen que no tienen la capacidad de cumplir sus metas, ustedes son y serán la única limitante en tocar el cielo con las manos.

Crespo Castillo, Alejandra Elizabeth



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

ING. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS | XIV |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XV |
| ÍNDICE DE ANEXOS | XVII |
| RESUMEN | XVIII |
| ABSTRACT | XIX |
| CAPÍTULO 1 | 2 |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1. Justificación y alcance | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general | 3 |
| 1.3.2. Objetivos específicos | 3 |
| 1.4. Hipótesis de investigación | 4 |
| 1.5. Tipo de investigación | 4 |
| 1.6. Metodología de investigación | 5 |
| PARTE I MARCO TEÓRICO | 6 |
| CAPÍTULO 2 | 6 |
| FUNDAMENTOS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA | 6 |
| 2.1. Generación de energía solar a eléctrica | 7 |
| 2.1.1. Radiación solar | 8 |
| 2.1.2. Efecto fotovoltaico | 11 |
| 2.2. Medición de energía solar | 13 |
| 2.2.1. Instrumentos de medición solar | 14 |
| 2.2.2. Unidades de medida en energía fotovoltaica | 17 |
| 2.3. Tipos de sistemas fotovoltaicos | 17 |
| 2.3.1. Sistema fotovoltaico aislado | 18 |
| 2.3.2. Sistema fotovoltaico conectado a la red | 21 |
| 2.3.3. Sistema fotovoltaico híbrido | 22 |
| 2.4. Sistema de generación distribuida en el contexto nacional | 23 |
| 2.4.1. Generación fotovoltaica para autoabastecimiento | 25 |
| 2.4.2. Balance neto | 27 |
| CAPÍTULO 3 | 30 |
| COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO | 30 |
| 3.1. Panel solar | 31 |
| 3.1.1. Parámetros eléctricos de un panel solar | 33 |

| | | |
|---|---|----|
| 3.1.2. | Tipo de paneles fotovoltaicos..... | 35 |
| 3.2. | Baterías o acumuladores..... | 38 |
| 3.2.1. | Parámetros para selección de una batería..... | 40 |
| 3.2.2. | Tipos de baterías..... | 42 |
| 3.3. | Regulador de carga..... | 45 |
| 3.3.1. | Características técnicas de un regulador..... | 46 |
| 3.3.2. | Tipos de reguladores de carga..... | 47 |
| 3.4. | Inversor..... | 50 |
| 3.4.1. | Parámetros eléctricos de un inversor..... | 51 |
| 3.4.2. | Clasificación de un inversor..... | 52 |
| CAPÍTULO 4..... | | 54 |
| DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO..... | | 54 |
| 4.1. | Cálculo del consumo energético..... | 54 |
| 4.2. | Orientación, inclinación y sombras..... | 55 |
| 4.3. | Cálculo de componentes..... | 60 |
| 4.3.1. | Paneles fotovoltaicos..... | 61 |
| 4.3.2. | Baterías..... | 63 |
| 4.3.3. | Regulador de carga..... | 64 |
| 4.3.4. | Inversor..... | 65 |
| 4.4. | Cableado del sistema fotovoltaico..... | 65 |
| 4.5. | Protección eléctrica..... | 67 |
| 4.5.1. | Protecciones en corriente continua y alterna..... | 68 |
| 4.5.2. | Protección para el usuario..... | 70 |
| 4.5.3. | Puesta a tierra..... | 71 |
| CAPÍTULO 5..... | | 72 |
| NORMATIVIDAD PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS..... | | 72 |
| 5.1. | Generación fotovoltaica para consumidores regulados..... | 72 |
| 5.1.1. | Requisitos para la instalación de un SGDA..... | 73 |
| 5.1.2. | Instalación y conexión de un SGDA..... | 75 |
| 5.2. | Participación en generación distribuida por empresas..... | 77 |
| 5.2.1. | Requisitos para montaje y operación de una CDG..... | 77 |
| 5.2.2. | Condiciones de despacho de una CDG..... | 80 |
| 5.3. | Grandes consumidores..... | 81 |
| 5.3.1. | Derechos y obligaciones de los grandes consumidores..... | 81 |
| 5.3.2. | Pliegos tarifarios..... | 83 |
| 5.4. | Eficiencia energética..... | 84 |
| 5.4.1. | Uso eficiente de energía en tecnología fotovoltaica..... | 84 |

| | |
|---|-----|
| 5.4.2. Etiqueta de eficiencia energética..... | 86 |
| PARTE II APORTACIONES..... | 89 |
| CAPÍTULO 6..... | 89 |
| DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA..... | 89 |
| 6.1. Caracterización del proyecto | 89 |
| 6.2. Topología del proyecto | 90 |
| 6.3. Consumo de energía eléctrica..... | 91 |
| 6.4. Criterios para la selección de los componentes | 94 |
| CAPÍTULO 7..... | 96 |
| CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES FOTOVOLTAICOS | 96 |
| 7.1. Parámetros climáticos de la zona | 96 |
| 7.1.1. Temperatura..... | 97 |
| 7.1.2. Cálculo de irradiación solar | 98 |
| 7.2. Selección de los componentes | 99 |
| 7.2.1. Paneles fotovoltaicos | 100 |
| 7.2.2. Inversor | 101 |
| 7.2.3. String box y seccionadores | 104 |
| 7.2.4. Protección eléctrica de corriente alterna | 104 |
| 7.2.5. Conductores..... | 105 |
| 7.2.6. Medidor bidireccional | 105 |
| 7.3. Rendimiento del sistema fotovoltaico | 106 |
| 7.3.1. Pérdidas por temperatura..... | 106 |
| 7.3.2. Pérdidas por cableado | 107 |
| 7.3.3. Pérdidas por polución..... | 107 |
| 7.3.4. Pérdidas por efecto Mismatch..... | 108 |
| 7.3.5. Pérdidas por rendimiento del punto de máxima potencia..... | 109 |
| 7.3.6. Pérdidas en el inversor..... | 110 |
| CAPÍTULO 8..... | 112 |
| DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA | 112 |
| 8.1. Descripción del sistema fotovoltaico..... | 112 |
| 8.2. Estimación de la producción del SFV | 119 |
| 8.3. Contribución al desarrollo sostenible | 121 |
| CAPÍTULO 9..... | 123 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 123 |
| 9.1. Conclusiones | 123 |
| 9.2. Recomendaciones..... | 124 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 125 |

| | |
|----------------|-----|
| GLOSARIO | 129 |
| ANEXOS | 131 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1 Instrumentos para medición de radiación solar..... | 14 |
| Tabla 2 Unidades de energía fotovoltaica..... | 17 |
| Tabla 3 Eficiencias de celdas solares | 38 |
| Tabla 4 Estado de carga y descarga de baterías..... | 42 |
| Tabla 5 Tipos de baterías de plomo-ácido..... | 43 |
| Tabla 6 Propiedades de los tipos de baterías | 45 |
| Tabla 7 Cálculo de consumo total de energía E_T | 55 |
| Tabla 8 Funciones trigonométricas de un ángulo α y β | 60 |
| Tabla 9 Niveles de corrosión..... | 62 |
| Tabla 10 Tiempo de humectación anual en zonas..... | 63 |
| Tabla 11 Sección de un conductor en AWG | 67 |
| Tabla 12 Niveles de potencia de una generación distribuida..... | 73 |
| Tabla 13 Parámetros eléctricos de la central de aire | 91 |
| Tabla 14 Consumo de energía de la carga..... | 92 |
| Tabla 15 Dimensionamiento de la planta fotovoltaica..... | 95 |
| Tabla 16 Temperatura anual del sector | 97 |
| Tabla 17 Cálculo de hora solar pico al día..... | 99 |
| Tabla 18 Características del panel fotovoltaico..... | 100 |
| Tabla 19 Características del inversor..... | 102 |
| Tabla 20 Distribución de paneles fotovoltaicos..... | 103 |
| Tabla 21 Rendimiento mensual de temperatura | 106 |
| Tabla 22 Rendimiento del cableado..... | 107 |
| Tabla 23 Pérdidas por polución | 108 |
| Tabla 24 Rendimiento por dispersión | 109 |
| Tabla 25 Rendimiento punto de máxima potencia | 109 |
| Tabla 26 Rendimiento del inversor | 110 |
| Tabla 27 Rendimiento del sistema fotovoltaico..... | 110 |
| Tabla 28 Características de los componentes fotovoltaicos | 111 |
| Tabla 29 Cálculo de producción energética..... | 119 |
| Tabla 30 Beneficio económico de la planta fotovoltaica | 120 |
| Tabla 31 Emisiones ambientales de la planta fotovoltaica..... | 122 |
| Tabla 32 Parámetros de diseño de la planta fotovoltaica | 122 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Mapa global de irradiación solar | 9 |
| Figura 2 Captación de tipos de radiación solar a través del panel..... | 10 |
| Figura 3 Efecto fotoeléctrico | 12 |
| Figura 4 Generación de electricidad en efecto fotovoltaico | 13 |
| Figura 5 Piranómetro | 15 |
| Figura 6 Pirheliómetro..... | 16 |
| Figura 7 Heliógrafo | 16 |
| Figura 8 Sistema fotovoltaico aislado de una vivienda | 19 |
| Figura 9 Esquema de instalación centralizada..... | 20 |
| Figura 10 Esquema de instalación descentralizada..... | 20 |
| Figura 11 Sistema fotovoltaico con conexión a una red..... | 21 |
| Figura 12 Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido | 23 |
| Figura 13 Producción de energía eléctrica del 2020..... | 24 |
| Figura 14 Sistema fotovoltaico de autoabastecimiento residencial..... | 26 |
| Figura 15 Balance neto en un sistema fotovoltaico de autoconsumo | 27 |
| Figura 16 Componentes de un sistema fotovoltaico | 31 |
| Figura 17 Configuración de una celda solar | 32 |
| Figura 18 Composición de un panel solar..... | 32 |
| Figura 19 Tipos de conexión de celdas solares | 34 |
| Figura 20 Celda de silicio monocristalino..... | 35 |
| Figura 21 Celda de silicio policristalino | 36 |
| Figura 22 Tejado con panel solar amorfo | 37 |
| Figura 23 Composición de una batería | 38 |
| Figura 24 Conexión de baterías en serie | 39 |
| Figura 25 Conexión de baterías en paralelo | 40 |
| Figura 26 Conexión de un regulador de carga..... | 46 |
| Figura 27 Conexión de un regulador de carga tipo shunt | 48 |
| Figura 28 Esquema de un regulador serie..... | 49 |
| Figura 29 Conversión de CC-CA en un inversor..... | 50 |
| Figura 30 Instalación fotovoltaica autónoma de una vivienda..... | 51 |
| Figura 31 Generación de onda en inversor PWM..... | 53 |
| Figura 32 Ángulo acimutal | 56 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33 Ángulo de inclinación | 56 |
| Figura 34 Distancia entre paneles solares | 59 |
| Figura 35 Fusible de cuchilla | 69 |
| Figura 36 Interruptor magnetotérmico..... | 69 |
| Figura 37 Interruptor diferencial | 70 |
| Figura 38 Conexión a tierra de módulos fotovoltaicos | 71 |
| Figura 39 Etiqueta energética en equipos | 87 |
| Figura 40 Nivel de consumo de etiqueta energética | 88 |
| Figura 41 Operación de la planta fotovoltaica..... | 89 |
| Figura 42 Plano arquitectónico del área comunal..... | 90 |
| Figura 43 Funcionamiento de la central de aire | 91 |
| Figura 44 Análisis del consumo eléctrico en un rango de horario..... | 93 |
| Figura 45 Información de la planta en Meteonorm..... | 96 |
| Figura 46 Temperatura ambiente mensual del sector..... | 98 |
| Figura 47 Registro del ángulo α y β en Meteonorm | 98 |
| Figura 48 Diseño de una planta fotovoltaica de 300 kWp..... | 112 |
| Figura 49 Panel HiDM CS1U de 410 W | 113 |
| Figura 50 Inversor CORE1-US de 62 kW | 114 |
| Figura 51 Diagrama unifilar de la planta fotovoltaica | 116 |
| Figura 52 Sombreado del generador fotovoltaico | 117 |
| Figura 53 Topología de la planta fotovoltaica | 118 |
| Figura 54 Ahorro mensual de la planta de 300 kWp..... | 121 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| Anexo 1 Solicitud de conexión del SGDA para consumidores..... | 132 |
| Anexo 2 Solicitud de conexión de una CGD | 133 |
| Anexo 3 Conductores para sistemas fotovoltaicos | 135 |
| Anexo 4 Ficha técnica del panel CS1U de 410 W | 137 |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación propone el diseño de una planta solar fotovoltaica, proveniente de una de las fuentes principales de recursos naturales disponibles en el Ecuador, y a la vez, desempeña un funcionamiento sostenible con el medioambiente, en este estudio se lleva a cabo el diseño y dimensionado de una planta fotovoltaica con capacidad de 300 kWp conectada a la red de distribución para el autoabastecimiento del consumo energético de una central de aire en un centro comercial ubicado en la ciudad de Guayaquil. Este proyecto está enfocado en la viabilidad técnica y la rentabilidad del generador fotovoltaico; donde en el apartado de cálculo y diseño se analiza las condiciones climáticas de la zona de estudio con el software Meteonorm, posteriormente del análisis, son aplicados los criterios teóricos para la selección de los componentes que conforman el sistema fotovoltaico mediante el dimensionamiento proporcionado por la herramienta informática Solergo para proceder con el diseño de la planta fotovoltaica en el software HelioScope; y en el análisis económico se estudia la viabilidad de los resultados de la producción de energía eléctrica, y dependiendo de la energía consumida y vertida a la red es reflejado el ahorro mensual en la planilla de facturación del servicio eléctrico.

Palabras claves: Sostenible, Autoabastecimiento, Viabilidad, Rentabilidad, Generador Fotovoltaico, Energía Eléctrica, Ahorro.

ABSTRACT

This project proposes the design of a photovoltaic solar plant, from one of the main sources of natural resources available in Ecuador, and at the same time, performs a sustainable operation with the environment, this study carries out the design and dimensioning of a photovoltaic plant with a capacity of 300 kWp connected to the distribution network to self-supply the energy consumption of a central air conditioning system in a shopping center located in the city of Guayaquil. This project is focused on the technical feasibility and profitability of the photovoltaic generator, where in the calculation and design section the climatic conditions of the study area are analyzed with the Meteonorm software, after the analysis, the theoretical criteria are applied for the selection of the components that make up the photovoltaic system through the sizing provided by the Solergo computer tool to proceed with the design of the photovoltaic plant in the HelioScope software, and in the economic analysis, the feasibility of the results of electrical energy production is studied, and depending on the energy consumed and discharged into the grid, the monthly savings are reflected in the electric service billing.

Keywords: Sustainable, Self-sufficiency, Viability, Profitability, Photovoltaic Generator, Electric Energy, Savings.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación y alcance

Actualmente la tendencia tecnológica para los sistemas de distribución y sus cargas de tipo residencial, comercial e industrial tienen por objeto mejorar el consumo de energía eléctrica con la finalidad de evitar los elevados costes de facturación de la energía. Esta tecnología busca para los sistemas de distribución una generación de energía independiente de la red del servicio eléctrico, con relación a un sistema de generación distribuida, la cual contiene diferentes fuentes de producción energética, una de las primordiales y con mayor implementación en el Ecuador es la energía distribuida solar fotovoltaica, con un origen natural, limpio y renovable, a diferencia, de los sistemas convencionales que ocasionan un alto porcentual nocivo en el impacto medioambiental, en particular, cada uno de sus procedimientos implicados causan emisiones de dióxido de carbono convirtiéndose en una técnica despreciable.

En torno a las necesidades de lograr el suministro de la demanda eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía solar en la ciudad de Guayaquil, donde presenta un índice de radiación solar que favorece a la generación de energía eléctrica con el propósito de diseñar una planta fotovoltaica cuya potencia permita abastecer el autoconsumo. El presente proyecto es de método teórico, el cual evidencia la factibilidad de la energización de un sistema de climatización para el confort en las zonas de acceso de visitantes en el centro comercial, siendo la calidad de energía un punto muy relevante en este tipo de diseño, puesto que, se obtiene la presentación gráfica de los consumos eléctricos de una red de distribución versus a una generación distribuida del proyecto fotovoltaico, y determina aspectos como la rentabilidad ambiental y económica por medio del estudio de viabilidad de la cantidad de energía usada en los diferentes períodos.

1.2. Planteamiento del problema

En el centro comercial existen áreas comunales que incluyen un sistema de climatización conectado a una red de distribución eléctrica, tales permiten en el habitáculo regular las condiciones ambientales, por efecto a las elevadas temperaturas de la ciudad de Guayaquil comprendidas entre 31 °C hasta 24 °C, el motor del equipo de climatización ejerce un trabajo mayor para enfriar el ambiente, lo que resulta un incremento en el consumo energético, por lo que se busca mejorar la eficiencia energética por medio de la liberación de carga energizada en la red convencional, para aquello se emplea tecnologías renovables por medio de un análisis de generación distribuida con aplicación de sistemas integrales fotovoltaicos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una planta solar fotovoltaica de autoconsumo conectada a la red de distribución eléctrica para la eficiencia energética de un sistema de climatización en un área comunal de un centro comercial mediante el uso de herramientas computacionales que aporte al estudio de parámetros eléctricos del generador fotovoltaico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Dimensionar los parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico mediante los cálculos estimados de la operación de la central de aire y consumos de las planillas eléctricas.
- Calcular la carga para estimación de la energía requerida y selección de los componentes que intervienen en el sistema fotovoltaico.
- Diseñar una planta solar fotovoltaica en relación con las características del proceso focalizado para la garantía de eficiencia energética y regulación medioambiental.

1.4. Hipótesis de investigación

El diseño de la planta solar fotovoltaica instalada en el área comunal del centro comercial cumple con la función de generar energía eléctrica durante 12 horas que permitirá alcanzar el autoabastecimiento requerido para la energización de todos los equipos incluidos en el sistema de climatización, en el caso de que la energía producida por el generador fotovoltaico sea consumida en su totalidad, las cargas proceden a ser alimentadas con la energía suministrada por la Empresa Eléctrica, si existe la posibilidad de obtener un remanente, este será acumulado mensualmente por lo que se alcanza un rendimiento de eficiencia energética de clase A del 100% en la planilla mensual de electricidad con un consumo de \$0,00 netamente.

1.5. Tipo de investigación

El presente trabajo de estudio está basado en el tipo teórico con orientación analítica y documental, la investigación documental desempeña grandes aportes considerados en el transcurso investigativo con la recopilación de criterios, conocimientos y experiencia de profesionales y especialistas en la formación de energías renovables, lo cual es obtenido con el uso de fuentes bibliográficas como tesis, revistas, artículos científicos y técnicos, conferencias web, páginas web politécnicas, normas, leyes y reglamentos vigentes. En la investigación analítica se define los materiales y características fundamentales que compone un sistema fotovoltaico para el cumplimiento de los requisitos ante la potencia necesaria para la alimentación de las cargas, luego, determina una sustancial evaluación de la zona a ocupar sobre el alcance del proyecto, en cuanto a los recursos físicos, aspectos sociales, biológicos y culturales citados en la Resolución de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables en el Ecuador del presente año. En el enfoque complementario a la investigación se adiciona el método de estudio de caso que concatena netamente conocimientos con eventos reales, como el procedimiento de cálculos y estimaciones gráficas aplicadas al diseño de una planta fotovoltaica para el abastecimiento de energía eléctrica.

1.6. Metodología de investigación

La metodología en la investigación en primera parte está relacionada con el manejo de un software que muestra el proceder de las gráficas de los parámetros intervenidos en la función de una planta solar, donde actúan valores fluctuados debido a los consumos de electricidad en los correspondientes períodos, mediante la respectiva adaptación del área en el predio recurrido, y el estudio de las variables intercedidas propician el adecuado diseño de la planta solar, desde el tamaño y cantidad de las células solares, distribución y orientación del mismo en el sitio de montaje para la mayor captación de la luz solar conjuntamente con los equipos de un sistema fotovoltaico haciendo de este una posible eficiencia de producción eléctrica.

PARTE I MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La energía solar es obtenida por medio del calor y la captación de la luz producidos por el sol, el aprovechamiento de la radiación solar con trascendencia a la tierra es conseguida a través del calor que expone, y también se da por la absorción de radiación, de modo que, la energía solar es caracterizada como crucial por ser una opción del conjunto no contaminante de las energías renovables, identificada como energía limpia o verde.

La energía fotovoltaica no manifiesta sustancias contaminantes ni tóxicas para el aire, donde las sustancias tóxicas tienen a acedar los ecosistemas terrestres y marinos y la corrosión a edificios, y los contaminantes del aire pueden liberar enfermedades, lo cual resulta nocivo para el entorno natural y seres vivos, además, no emite residuos que contaminen el agua, siendo un factor muy relevante ante la exigüidad de esta, por ello, el impacto ambiental efectuado por una energía convencional para la generación de energía eléctrica es 31 veces mayor en comparación a una energía renovable.

En la actualidad las energías renovables, directamente la fotovoltaica, es más económica en comparación a las energías convencionales en la mayor parte del mundo, sus fundamentales medidas tecnológicas renovables están minimizando de modo drástico sus precios, encaminando una gran competitividad para las energías convencionales en un gran porcentaje de instalaciones. Los niveles de economía e innovación están logrando que la energía renovable se sitúe en la correcta elección más sostenible en factor económico y medioambiental para persuadir el mundo, asimismo, la energía fotovoltaica es autóctona, aprovechable en la generalidad del planeta, contribuyendo a la reducción de importación energética y generar empleos a nivel nacional, en consecuencia, la generación de electricidad por método fotovoltaico y la utilidad eficiente favorecen a un desarrollo sostenible.

2.1. Generación de energía solar a eléctrica

El sistema fotovoltaico (SFV) es una instalación agrupada de equipos electrónicos y eléctricos encargados de producir electricidad según el funcionamiento de celdas o células fotovoltaicas ajustadas en un panel solar, las celdas fotovoltaicas son caracterizadas por la conversión de la radiación solar en electricidad por medio del efecto fotovoltaico. La luz del sol está constituida por partículas de energía denominadas fotones, que a la vez contienen varios tipos de energía respectivos a distintas distancias del espectro de la radiación. (Perpiñán, 2020, p. 1)

La celda fotovoltaica atrae los fotones, los cuales conducen la energía hacia una célula atómica de un electrón, los rayos solares al influir en una celda solar permiten que los fotones de la radiación sean los encargados de transferir la energía hacia los electrones para su circulación en el interior del material, de tal manera, un sistema fotovoltaico produce que cierta fracción de electrones se dirijan a la exterioridad del semiconductor produciendo una corriente eléctrica para que atraviese por el circuito exterior.

En particular, es significativo señalar en que la energía fotovoltaica en la actualidad a pesar de la situación compleja provocada por la pandemia, el futuro energético simboliza un 10% del suministro de electricidad que mejora cada una de las carencias del consumo a nivel mundial, por lo que se dispone de un incremento rápido de la implementación mediante el avance de la tecnología y del acuerdo para la protección del medioambiente en los países desarrollados con el desafío de una pandemia ascendiendo frente a combustibles que tratan continuar. El considerable beneficio a través de las tecnologías fotovoltaicas implementadas en los sectores de gran demanda energética ha logrado optimizar la productividad de los módulos fotovoltaicos, reducir precios en inversión, con la obtención de nuevos puntos de montajes de plantas fotovoltaicas, hoy en día, los progresos tecnológicos alcanzados hacen de la energía solar como una fuente de energía con altas probabilidades de acaudillar la innovación energética en próximos tiempos, y liderar la opción óptima en energías renovables.

2.1.1. Radiación solar

La energía proveniente del sol en aspecto de ondas electromagnéticas es la radiación solar, que proviene desde la fuente esparciéndose hacia el exterior en cualquier dirección, las ondas electromagnéticas no requieren de un recurso material para su propagación ya que pueden desde el sol traspasar el espacio interplanetario hasta la tierra, a pesar de que, no toda radiación cuyas longitudes de las ondas distribuidas a partir del infrarrojo hasta el ultravioleta penetra en la superficie terrestre, como es el caso de la radiación ultravioleta con onda corta captada por el ozono.

La irradiancia del sol que ingresa a la superficie terrestre cumple un papel crucial en las fuentes de energía para consumo energético, accesible para cada uno de los habitantes con los aparatos correctos que puedan captar la energía, siendo esta de un $5,4 \cdot 10^{24}$ Joules, la unidad de la radiación del sol es la irradiación, que es medida en (W/m^2). La radiación solar cambia dependiendo de la zona, por lo tanto, en las regiones más desiertas, la radiación alcanza un promedio de $275 (W/m^2)$, en cuanto al ártico es poca la radiación, $75 (W/m^2)$, siendo así, la radiación promedia universal $170 (W/m^2)$.

La radiación producida por un cuerpo de acuerdo con la temperatura es representada por la ley de Stefan-Boltzman, manifestada por la continua ecuación.

$$M = \sigma \cdot T^4$$

M: Densidad de flujo radiante completa de un cuerpo en (W/m^2).

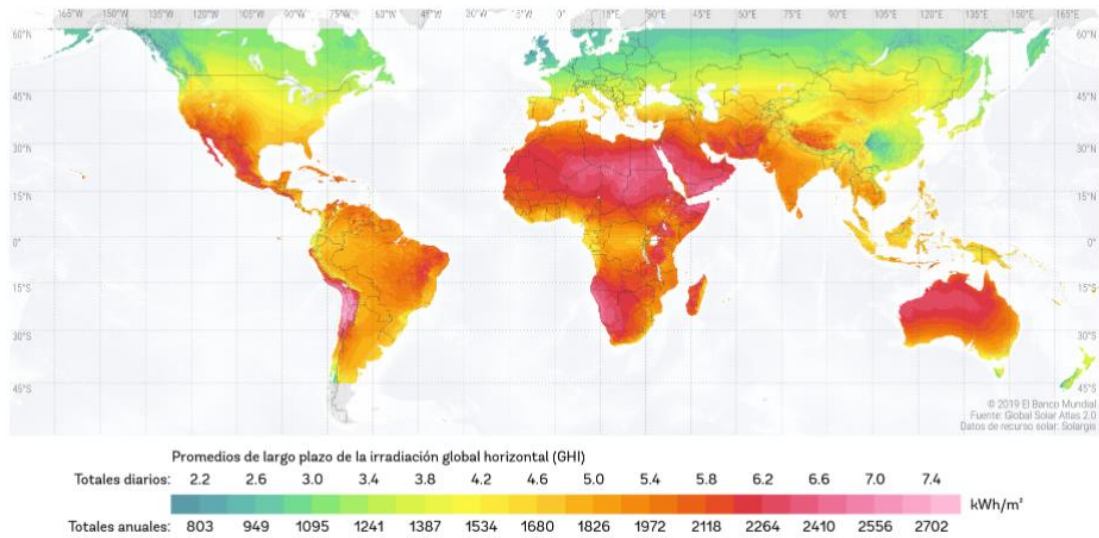
σ : Constante de Stefan Boltzman = $5,67 \times 10^{-8} (W/m^2 K^4)$.

T: Temperatura del cuerpo en grados Kelvin (K).

La Figura 1 muestra que la energía procedente del sol surge del interior donde se produce las reacciones nucleares, de tal forma, que en la cartografía se evidencia cómo el sol radia energía de modo global horizontal, y con datos

promedios de los niveles de radiación concurrencios en cada país por medio de la barra indicadora de valores de un lapso diario o anual, donde los altos rangos de radiación solar son representados desde el 3,8 en adelante por tonos cálidos, por lo contrario, las radiaciones bajas empiezan desde un valor de 2,2 figuradas por tonalidades frías.

Figura 1
Mapa global de irradiación solar



Nota: Adaptado de *Mapa de Recurso Solar Irradiación Global Horizontal*, por Global horizontal irradiation, 2021, Global Solar Atlas.

La irradiancia surge por medio de los efectos refracción y reflexión proporcionados por la luz que se sitúan en la atmósfera, la división de estos fenómenos es dependiente según cómo la irradiancia es efectuada sobre los objetos localizados en la superficie terrestre, y se identifica tres clases de radiación solar: difusa, directa y reflejada.

- Radiación directa

Es procedente del sol e ingresa a la Tierra con una dirección fija sin tender mínimo a un desvío al traspasar la atmósfera, fuera de efectos de refracción o reflexión intermedias, lo cual se puede figurar como una línea recta, esta radiación solar es caracterizada conforme en la proyección de una sombra directa en los objetos oscuros interceptados en ella, y su existencia se presentará exclusivamente cuando el sol es visible en el cuerpo que capta la luz solar.

- Radiación difusa

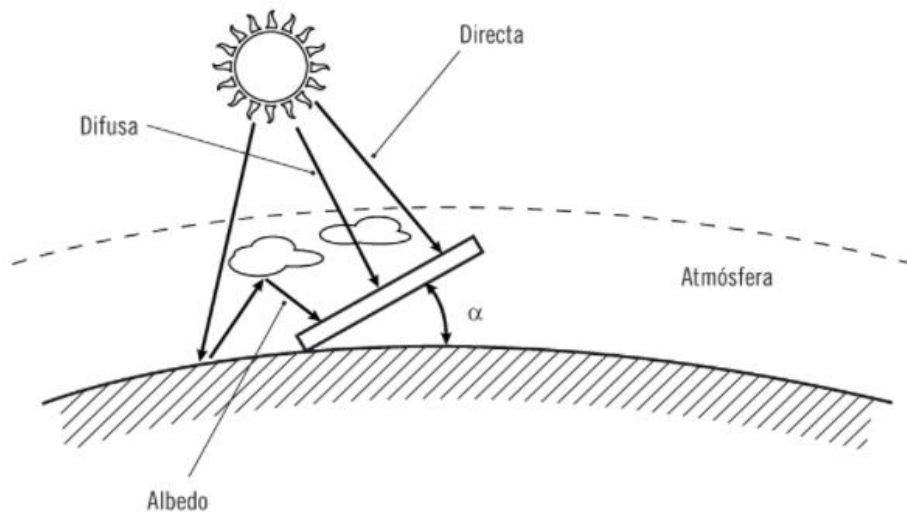
Conforma la fracción de radiación solar donde los choques continuos con moléculas y partículas incluidas en el aire son esparcidos al cruzar la atmósfera, aquella radiación es lo contrario a la directa, debido que esta varía de dirección, pero llega a un punto fijo de la superficie terrestre, es preciso enfatizar que las nubes emiten dispersión en la luz del sol, pero por su naturaleza no es de estado difuso, en la temporada del invierno, este tipo de radiación tiene un superior porcentaje siendo esto globalmente el 55%.

- Radiación reflejada

También conocida como radiación del albedo, está al ingresar en la superficie terrestre surgida desde el suelo, donde al posarse en un objeto la radiación solar es ejecutada lo más próxima al panel solar, la reflexión alcanzada por los módulos fotovoltaicos es netamente dependiente de la naturaleza de los objetos.

Figura 2

Captación de tipos de radiación solar a través del panel



Nota: Adaptado de Radiación solar, de Guerrero, R., 2017, IC Editorial.

La radiación solar al ser transmitida en la atmósfera experimenta ciertos procedimientos de extinción, cuando es reflejada por las nubes y retorna al espacio produce irradiación e intercambia de dirección por lo que el vapor de agua y aerosoles la absorbe, arribando directamente a la superficie

terrestre es difundida, por consiguiente, los fotones de elevada energía efectúan la tonalidad azul en el cielo, o es reflejada en la tierra como la demostración en la Figura 2.

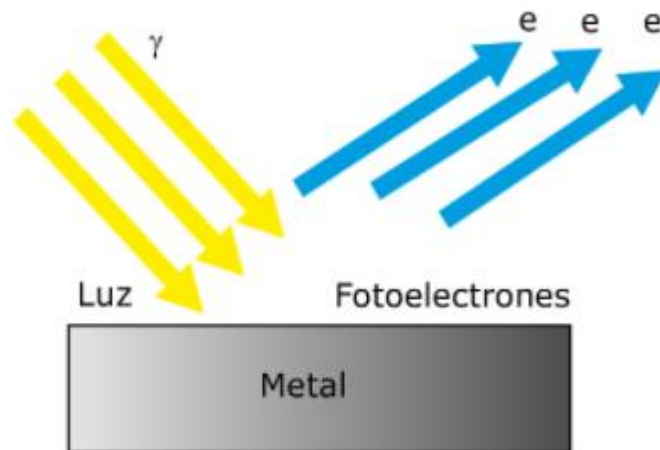
2.1.2. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico fue expuesto desde su primera aparición a partir de 1839, cuyo autor principal era un físico de nacionalidad francesa, que fue Becquerel, aunque la inicial celda fotovoltaica no fue construida hasta 1883, siendo su inventor el filósofo Charles Fritts, quien envolvió una prueba de selenio semiconductor con pan de oro con el objetivo de crear el empalme, aquel primigenio dispositivo mostraba una eficiencia de tan sólo 1%. Albert Einstein en 1905 realizó la explicación teórica sobre el efecto fotoeléctrico, estableció que este fenómeno acontece cuando es iluminada la superficie por un metal de alguna intensidad luminosa logra producir una corriente eléctrica sobre la superficie que focaliza el metal; Russell Ohl en 1946 creó una célula fotoeléctrica moderna, a pesar de que, anteriormente Sven Ason Berglund patentó un método dedicado a las células fotosensibles para que ellas incrementen su capacidad. (Delpin & Moreno, 2017, p. 15)

Albert Einstein en 1905 publicó un artículo sobre una perspectiva heurística relativa a la producción y transformación de la luz con destacables bases para la explicación de un efecto fotovoltaico, con el aporte de la definición de un fotón o conocido como “cuanto de luz”, para el claro conocimiento del efecto fotovoltaico aconteciendo como un escueto choque formado por un fotón y electrón ubicados en la superficie de un metal.

La Figura 3 presenta el proceso de la energía solar basada en el efecto fotoeléctrico, donde los fotones al caer en el metal colisionan con los electrones como si se tratara de bolas de brillar sobre las capas superiores del metal, así, si poseen bastante energía la atracción atómica proveniente del metal tiende a romperse, por efecto, los átomos se disparan por la superficie, y estos al estar en movimiento ocasionan corriente eléctrica.

Figura 3
Efecto fotoeléctrico



Nota: Adaptado de *Teoría del efecto fotoeléctrico*, de Tobajas, C., 2015, Ediciones de la U.

Los fundamentos del efecto fotoeléctrico están demostrados por la siguiente ecuación, en que el fotón puede transportar una cantidad de energía que se mide por:

$$E = h \cdot f$$

$$hf = \Phi + E_c \geq hf = hf_0 + 1/2 mv^2$$

hf: Energía de un fotón en (eV), (1 eV) = $1,602 \times 10^{-19}$ (Joules).

h: Constante de Planck = $6,624 \times 10^{-34}$ (J/s).

f: Frecuencia de la luz ocurrente en Hertz o ciclos/segundo.

$\Phi = hf_0$: Función de la operación del metal.

f_0 : Frecuencia umbral particular del metal.

$E_c = 1/2 mv^2$: Energía cinética de electrones.

La energía con la que cuenta un fotón (hf), es transportada a los electrones a lo largo de un choque, tales la transforman en:

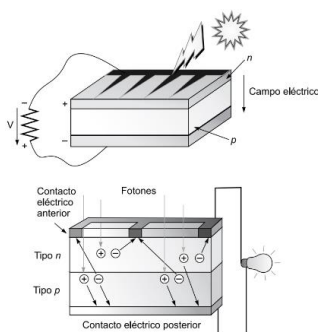
- Sobrepasar la energía que los sujeta a la estructura cristalina de un metal ($\Phi = hf_0$), que simboliza la vinculación núcleo – electrón atómico.

- Si la energía que tiene un fotón es alta, se procede a la inversión para obtener energía cinética, con el desplazamiento de la superficie del metal se forma la requerida corriente eléctrica.

El efecto fotovoltaico produce una fuerza electromotriz, concerniente a la presencia de luminosidad o radiación electromagnética que provoca una generación de corriente eléctrica a través de dos materiales distintos en contacto, la fuerza electromotriz en las células fotovoltaicas crea un trayecto de corriente eléctrica proporcionada al flujo luminoso recibido para el paso de la conversión de energía solar en electricidad.

La generación de la corriente eléctrica basada en el efecto fotovoltaico como lo muestra en la Figura 4, empieza por el vínculo de dos materiales semiconductores (uno de tipo n y el otro tipo p), lo que efectúa la diferencia de potencial, luego los fotones entregan la energía proveniente de la radiación solar a los electrones del semiconductor, una cierta cantidad de electrones logran traspasar la diferencia de potencial quedando externo al semiconductor por medio de un circuito exterior que producirá una corriente eléctrica, la célula fotovoltaica generará siempre una corriente eléctrica si hay radiación.

Figura 4
Generación de electricidad en efecto fotovoltaico



Nota: Adaptado de *Efecto fotovoltaico*, por Carta et al., 2012, Pearson Educación.

2.2. Medición de energía solar

El tamaño de una planta solar fotovoltaica no es determinado sólo con base a la medición de la radiación solar, puesto que esos valores promedios están presentes en cualquier parte del mundo, aquellos datos pueden ser

utilizados exclusivamente para estudios de factibilidad, pero también aporta para conocimiento acerca de que el lugar sea el idóneo para un máximo aprovechamiento de energía solar en el arreglo fotovoltaico, para ello es de uso el atlas solar que ayuda en cuanto a una principal aproximación con el sector aplicado u optar por el uso de instrumentos de medición; consecuentemente, en el requerimiento de valores que faciliten un adecuado diseño del sistema fotovoltaico se deberá considerar las mediciones en el sitio y las unidades sobre las que actúan los cálculos para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

2.2.1. Instrumentos de medición solar

La medición de la radiación solar en la tierra indica un relevante dato frente a los estudios para un apropiado planteamiento, diseño y aplicación, las cuales son etapas que involucra un proyecto de sistema solar fotovoltaico, estas mediciones permiten conocer las condiciones del clima, y con lo cual puede efectuarse el montaje de una planta solar, con el objetivo fundamental que es la garantía de un mayor empleo en el transcurso de los años de acuerdo con la vida útil del panel solar, donde la intensidad de la radiación solar no sufra de constante variación que pueda significar una estimada pérdida en el aprovechamiento de la energía renovable.

La Tabla 1 muestra los instrumentos que cumplen con la función de medir la energía solar, existen tipos de instrumentos que cubren un respectivo parámetro de medida, algunos son utilizados para la captación de valores de la radiación directa, difusa, reflejada o global, y uno esencialmente para el brillo solar, por lo tanto, se deberá comprender en primera parte qué se requiere medir y posteriormente la elección del instrumento.

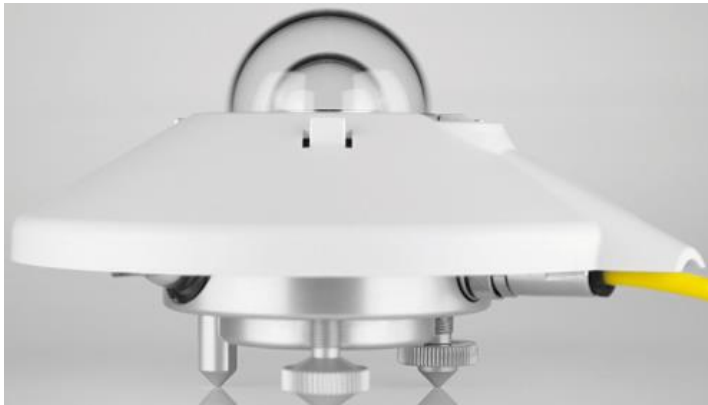
Tabla 1
Instrumentos para medición de radiación solar

| Tipo de instrumento | Parámetro de medida |
|---------------------|---|
| Piranómetro | Radiación solar global, directa, difusa y reflejada |
| Pirheliómetro | Radiación directa |
| Heliógrafo | Brillo solar |

- Piranómetro

También conocido con el nombre de solarímetro, son instrumentos diseñados para cuantificar las distintas clases de radiación solar, como es apreciado en la Figura 5, está compuesto por un sensor plano que mensura la radiación de onda corta en un alcance hemisférico con orientación superior, tiene una plancha metálica diminuta de color negro unida a una termocupla, a medida del calentamiento del sol la termocupla mide el acrecentamiento de la temperatura. (Vaca, 2018, p. 5)

Figura 5
SMP11 Piranómetro



Nota: Adaptado de *Solarímetro*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

- Pirheliómetro

Llamados también como actinómetro, diseñados para cuantificar la radiación solar directa incididos normalmente o sin supervisión con una vista media angular de 5 grados, debe considerar un mecanismo de rastreo solar debido que el territorio de visión está dirigido de forma directa hacia el sol con variación en el tiempo, la Figura 6 muestra que el elemento tiene una lámina de metal que es calentada mediante los rayos del sol y una corriente eléctrica. (Vaca, 2018, p. 5)

Figura 6
Pirheliómetro



Nota: Adaptado de *Pirheliómetro DR02*, de Vaca, D., 2018, Escuela Politécnica Nacional.

- Heliógrafo

Este instrumento meteorológico conocido como heliofanógrafo, es encargado de realizar la medición del intervalo de tiempo de la luz solar, que establece los períodos diarios donde la intensidad de la radiación solar directa es mayor a un nivel de umbral, el valor frecuentado a nivel mundial es de 12 W/m^2 , la sumatoria de los períodos equivale a la insolación producida en un día. El heliógrafo consta de una esfera de vidrio compacto, cuyo rol es el de un lente y reúne los rayos solares encima de una banda de registro sujeta a una base con la esfera e incluye una escala en presentación de las horas como puede ser observado en la Figura 7. (Innovación y Cualificación S. L., 2017, p. 163)

Figura 7
Heliógrafo



Nota: Adaptado de *Heliofanógrafo*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

2.2.2. Unidades de medida en energía fotovoltaica

Tanto la radiación como la potencia medida en la energía solar y demás variables que pueden ser evaluadas por diferentes unidades de medición, en la Tabla 2 es mostrado un detalle genérico de los múltiples valores estandarizados utilizados en cálculos con los relativos factores de conversión empleados en la energía solar y su incidencia en el panel fotovoltaico.

Tabla 2

Unidades de energía fotovoltaica

| Unidad | Explicación | Conversión |
|-----------------------|---|----------------------------|
| Potencia solar | | |
| Wp | Watt pico | |
| W | Watt | |
| kW | Kilovatio (1000 W) | |
| W/m ² | Watt por metro cuadrado | |
| Energía solar | | A kWh/m² |
| kWh/m ² | Kilovatio hora por metro cuadrado | 1 |
| kJ/cm ² | Kilojulios por centímetro cuadrado | 2,778 |
| MJ/m ² | Mega julios por metro cuadrado | 0,2778 |
| kcal/cm ² | 1000 calorías por centímetro cuadrado | 11,67 |
| BTU/ft ² | Unidades térmicas británicas por pie cuadrado | 0,0428 |
| Langley | Caloría por centímetro cuadrado | 0,0116 |

Nota: Adaptado de *Unidades de medida*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

2.3. Tipos de sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico se caracteriza por la conversión de la energía del sol a electricidad, que es aprovechada por aquellos usuarios alejados o con conexión directa a una red eléctrica, los sistemas fotovoltaicos debido por las múltiples aplicaciones en relación con los requerimientos y localizaciones a instalarse una planta fotovoltaica son clasificados en: sistemas fotovoltaicos aislados (SFVA) y sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFVC), pero ambos corresponden a un sistema de autoconsumo, que es aquel que cumple con la finalidad de generar energía eléctrica para consumo propio dirigido a uno o varios usuarios que comparten la energía generada distribuida.

Los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo son empleados como medida de ahorro en torno al consumo energético, que permite alcanzar un ahorro en la factura emitida mensualmente de la planilla del servicio eléctrico,

correspondiente al precio del kWh en Ecuador ligado al costo de adquisición de una planta solar fotovoltaica el autoconsumo resulta una alternativa de grado interesante para el cliente.

2.3.1. Sistema fotovoltaico aislado

Los sistemas fotovoltaicos aislados conocidos como Off Grid, son aquellas instalaciones donde no existe el alcance de una red eléctrica, específicamente en las zonas rurales, como en viviendas, sectores agrícola y ganadero, estaciones de alumbrado, señalizaciones, telecomunicaciones y bombeo de agua, que por medio de la aplicación de los paneles solares se garantiza el fluido eléctrico para la alimentación de las cargas in situ.

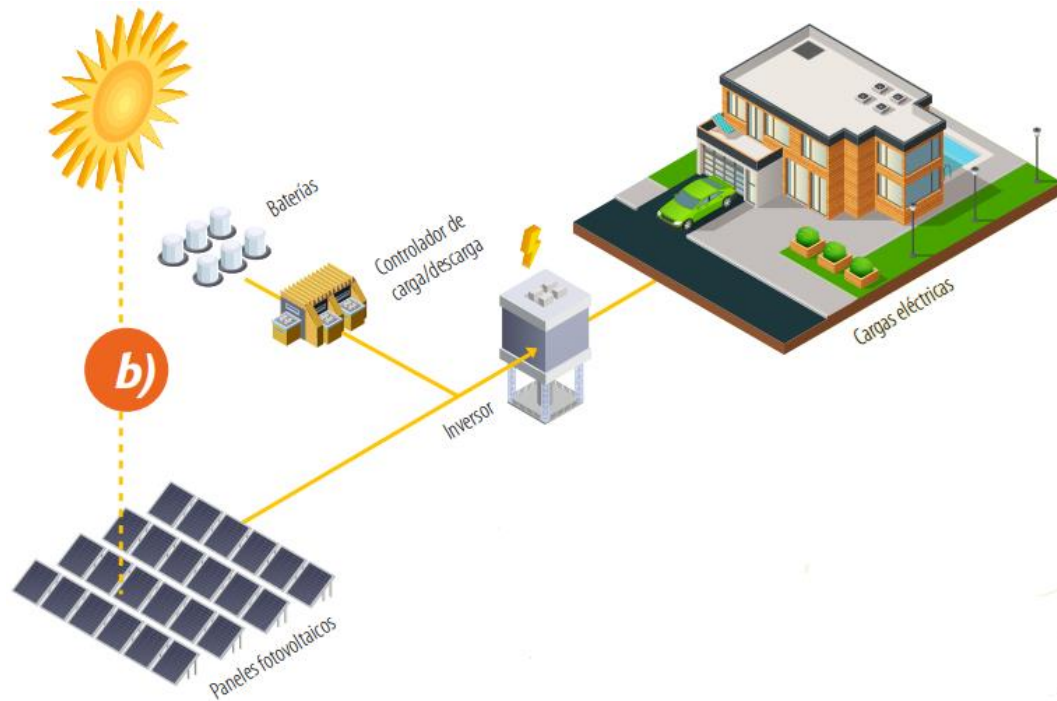
El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) establece que los sistemas fotovoltaicos aislados se subclasifican en:

- SFVAR para residencias o domicilios, que cuentan con cargas en corriente continua, alterna o mixtas.
- SFVAC para aplicación comunitaria como escuelas, iglesias, centros de salud, casas comunales, entre otros.
- SFVAE para utilidad especial como bombeo de agua, alumbrado público, telecomunicaciones, sistemas de seguridad, entre otros.
- SFVAM para microrredes, que son incorporadas las redes de distribución.

La Figura 8 presenta el esquema de un sistema aislado, que comienza por captar la radiación solar a través del panel fotovoltaico que transforma la energía solar en electricidad, la corriente producida es acumulada por un banco de baterías mediante un regulador de carga que ayuda al control de la corriente y el voltaje del sistema, para las cargas con alimentación continua la conexión es de forma directa, mientras aquellas que necesitan de corriente alterna se conecta un inversor que transforma la corriente continua en alterna,

y al final con la energía acumulada se alimentan las cargas de la vivienda cuando esté ausente el recurso solar.

Figura 8
Sistema fotovoltaico aislado de una vivienda



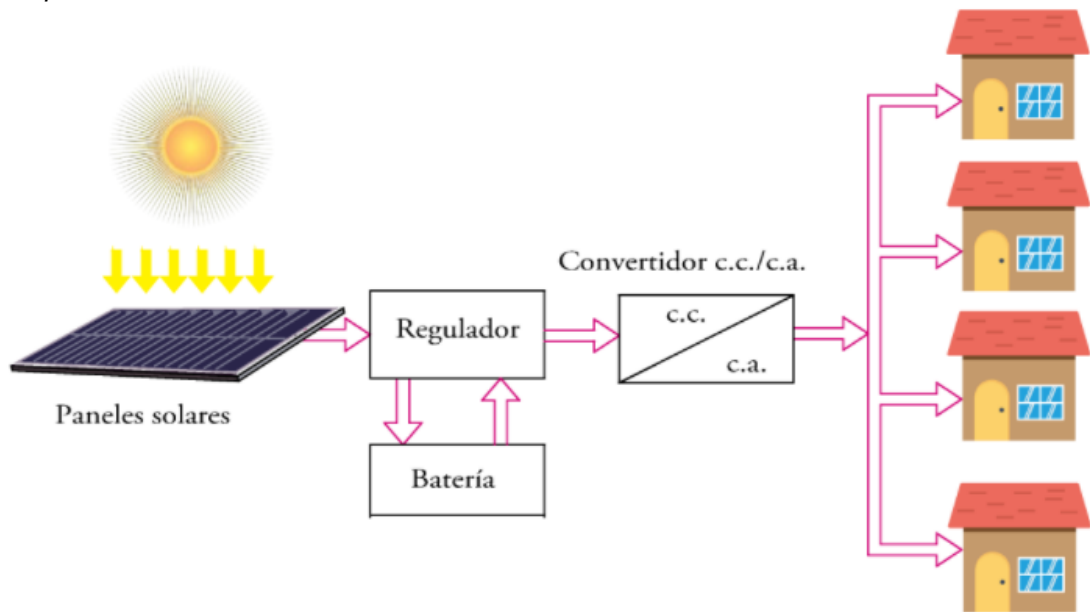
Nota: Adaptado de *Aislado con almacenamiento de energía*, por González, M., 2019, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Dentro de esta configuración en derivación al uso del montaje de la planta solar en las viviendas, el sistema fotovoltaico aislado puede identificarse en dos clases fundamentales de instalaciones:

- Instalación aislada centralizada

Esta instalación cuenta con un único generador solar fotovoltaico encargado de suministrar la energía eléctrica a un grupo de viviendas, el esquema de esta instalación como lo muestra la Figura 9 está constituido a partir de un módulo fotovoltaico acompañado del regulador de carga y su elemento de almacenamiento que es la batería, y el convertidor o inversor capaz de transformar el tipo de corriente, cada uno de esos componentes deben ser apropiados frente a la demanda solicitada por todas las viviendas, y las necesidades características que requieren cada una en este sistema centralizado que beneficia a múltiples usuarios.

Figura 9
Esquema de instalación centralizada

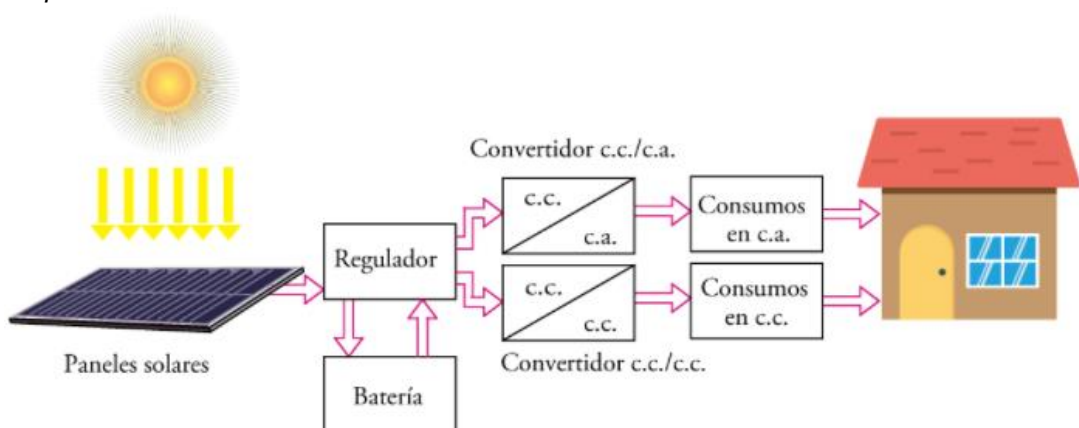


Nota: Adaptado de *Instalación solar fotovoltaica centralizada*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

- Instalación aislada descentralizada

En esta instalación cada vivienda posee su correspondiente generación fotovoltaica para la alimentación de los presentes aparatos y equipos sólo de ese predio, y las baterías que aportan el suministro en períodos de baja radiación solar o en condición nocturna, la composición del sistema fotovoltaico es el mismo que un tipo aislado genérico como puede ser visualizado el esquema en la Figura 10.

Figura 10
Esquema de instalación descentralizada



Nota: Adaptado de *Instalación solar fotovoltaica descentralizada*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

2.3.2. Sistema fotovoltaico conectado a la red

Este tipo de sistema fotovoltaico conocido como On Grid, genera electricidad en circunstancias apropiadas, la cual procede a inyectarse en una red convencional y a cambio adquirir beneficios financieros, es una instalación modular, autónoma de la energía eléctrica procedente a ser consumida, sin riesgos de no contar con corriente eléctrica por motivos de avería o agotamiento de las baterías. (Innovación y Cualificación S. L., 2017, p. 121)

El esquema en la Figura 11 está conformado por un inversor que ajusta las propiedades de la energía en corriente continua generada por el panel en una corriente alterna que es transportada hacia la red de distribución, donde el medidor bidireccional mide el flujo en los dos sentidos, la energía entregada por el generador fotovoltaico y la energía suministrada por la red, equipo que calcula los kWh consumidos en el inmueble para la facturación, y también deberá agregar elementos de protección que garantice la desconexión en caso de fallas conforme a situaciones internas del montaje fotovoltaico o la red eléctrica, este sistema no incluye regulador ni baterías.

Figura 11
Sistema fotovoltaico con conexión a una red



Nota: Adaptado de *Interconectado a la red*, por González, M., 2019, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

En el Ecuador los sistemas fotovoltaicos conectados a la red operan con corriente alterna y voltajes monofásicos y trifásicos con una frecuencia de 60 Hz, el INEN los subclasifica en:

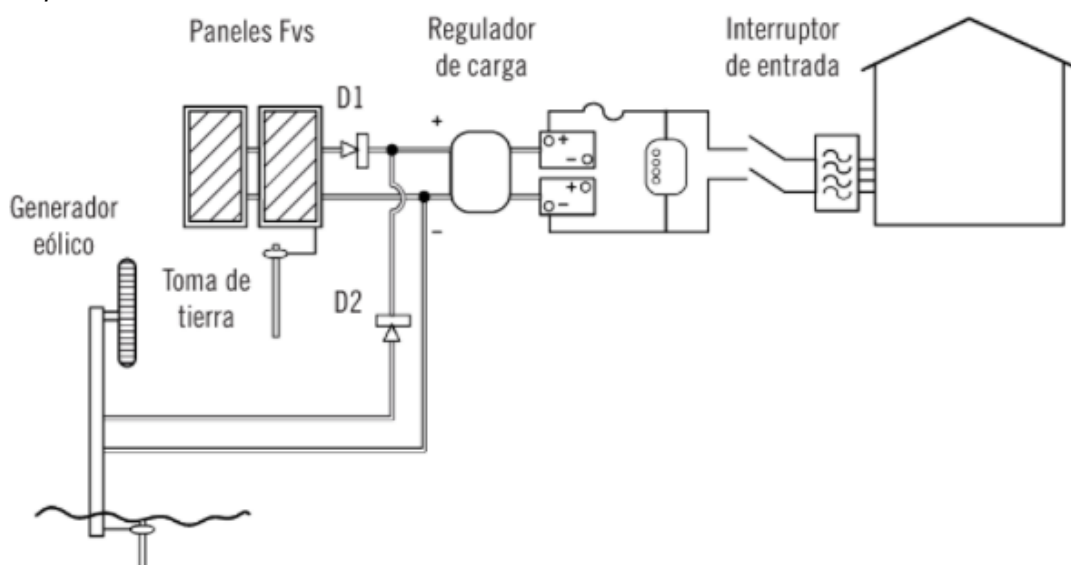
- SFVCS, sistemas que no cuentan con un respaldo de baterías.
- SFVCB, sistemas que cuentan con un respaldo de baterías.
- SFVCM, sistemas que tienen microinversores.

2.3.3. Sistema fotovoltaico híbrido

Un sistema fotovoltaico híbrido corresponde a un sistema grande que cuenta con el respaldo de energía pertenecientes de fuentes renovables o energías adicionales como una hidroeléctrica, generador de biomasa, microcentral, grupo diésel, entre otros, este sistema puede ser aislado o con conexión a la red. Si la electricidad generada por los paneles solares basta para el consumo de los electrodomésticos o equipos, el inversor transfiere la energía, y si hay algún excedente este abastece las baterías o es entregado a la red eléctrica, por ello el inversor también es denominado como cargador, si el consumo energético demanda más que la energía producida por el panel, el inversor adquiere la energía carente de la red eléctrica o de alguna fuente disponible. Un sistema fotovoltaico híbrido es recomendado cuando se desea incorporar diferentes fuentes de energía, y se necesite de un sistema variable en cuanto a la administración de los recursos de energía, aparte de que garanticen superior confiabilidad de energía disponible según los usos.

La Figura 12 explica un sistema híbrido con dos fuentes de generación en conexión paralela, no tienen cargas en estado de corriente alterna, posee un mismo voltaje nominal en el generador fotovoltaico y eólico, la fuente eólica al estar conectada con el regulador debe considerar que el voltaje máximo de entrada supere al máximo de salida, los módulos fotovoltaicos jamás consiguen un voltaje de salida superior en un circuito abierto, de lo contrario el generador eólico frecuentan valores mayores para la salida del voltaje, y los diodos realizan un bloqueo eléctrico entre generadores.

Figura 12
Esquema de un sistema fotovoltaico híbrido



Nota: Adaptado de *Sistema híbrido*, por Innovación y Cualificación S. L., 2017, IC Editorial.

2.4. Sistema de generación distribuida en el contexto nacional

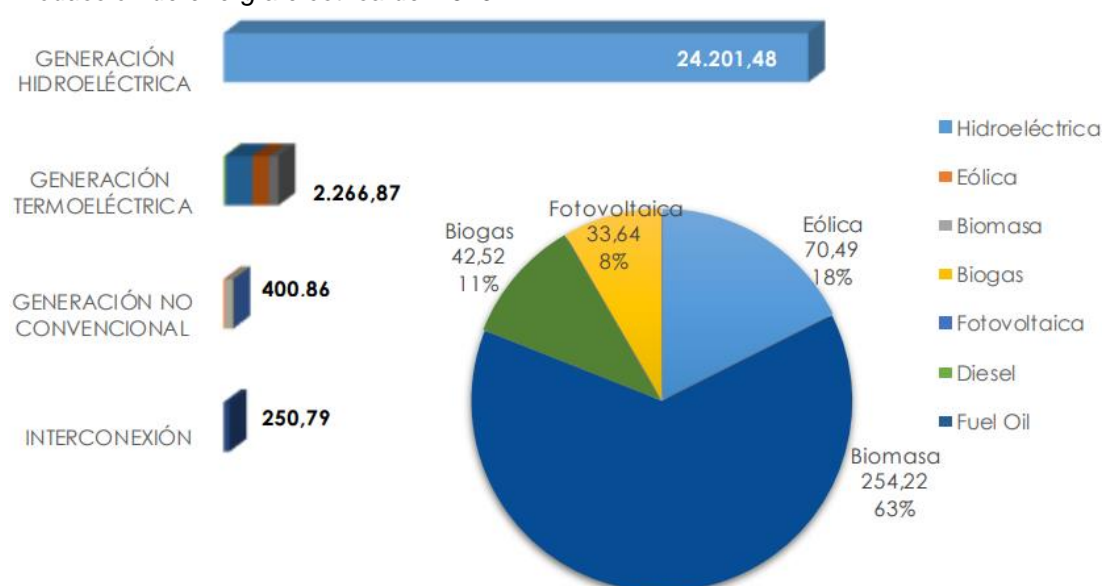
La energía fotovoltaica que abarca en Ecuador tuvo su origen en 1982, luego de ser aprobada por la Ley de Fomento de Energías No Convencionales, donde el Estado contrató profesionales en la ciencia para el Instituto Nacional de Energía, los encargados de investigar acerca de la energía fotovoltaica y otras adaptaciones de energías renovables. Durante la década de 1990 se formó el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), que es el Organismo Gubernamental de Regulación y Control, encargado del desarrollo para la instalación de los principales sistemas fotovoltaicos aislados, en 2000 fue aprobada la Regulación 0906, donde indicaba un costo de 52 centavos por kWh generado por la energía solar, no obstante, ese régimen no se encontraba respaldado por algún marco legal que comprometiera a realizar esos pagos, como consecuencia el Gobierno no procedió con los pagos a las empresas públicas y aquellas no consideraron el pago a los productores.

En 2003 el Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) produjo los recursos precisos para que tanto Organizaciones no Gubernamentales como pequeñas empresas dedicadas a la energía

fotovoltaica procedan con la ejecución de montajes de SFVA en diferentes comunidades distantes, siendo una energía de carácter eficaz, sencillo, inagotable y amigable con el medioambiente. A partir del 2007 se dio papel al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) enfocado en el Programa de Energía Eléctrica en el área rural para viviendas de la región amazónica, cuyo propósito fue la instalación de aproximadamente 15.000 sistemas fotovoltaicos hasta plazo del año 2012.

Hoy en día el sector eléctrico ecuatoriano está compuesto por la generación de electricidad interna y de sus importaciones, en la Figura 13 se aprecia los valores a nivel nacional de la producción energética según el tipo de fuente de generación, durante el año 2020 el país alcanzó una producción bruta de energía de 27.120 GWh, distribuida en: generación hidroeléctrica con un 24.201,48 GWh, por parte de la generación térmica con un 2.266,87 GWh, en la generación no convencional se consiguió 400,86 GWh donde la energía fotovoltaica representa un 8%, y una importación de 250,79 GWh en Colombia, en ese período no se produjo importación desde Perú, en cuanto al análisis del diagrama se aporta un ahorro considerable en la aplicación de combustible fósiles con el efecto de la disminución de impactos ambientales.

Figura 13
Producción de energía eléctrica del 2020



Nota: Adaptado de *Producción bruta energética por tipo de generación (GWh)*, del Informe Anual 2020 Parte 1, 2020, CENACE.

2.4.1. Generación fotovoltaica para autoabastecimiento

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad en la Regulación ARCONEL-003/18 dispone las condiciones de capacidad nominal que el consumidor deberá considerar para la instalación de un sistema fotovoltaico con producción de autoconsumo y aportación de remanentes a la red eléctrica, para el sector residencial la potencia máxima a instalar es de 300 kW, y en el sector comercial e industrial la potencia instalada máxima es de 1000 kW. (p. 16)

Para realizar el dimensionamiento de la potencia nominal de una planta fotovoltaica es necesario un estudio técnico de las cargas eléctricas a ser alimentadas y la demanda requerida para la energización de las mismas, con la finalidad de abastecer la demanda energética anual del usuario, la Regulación plantea la siguiente ecuación:

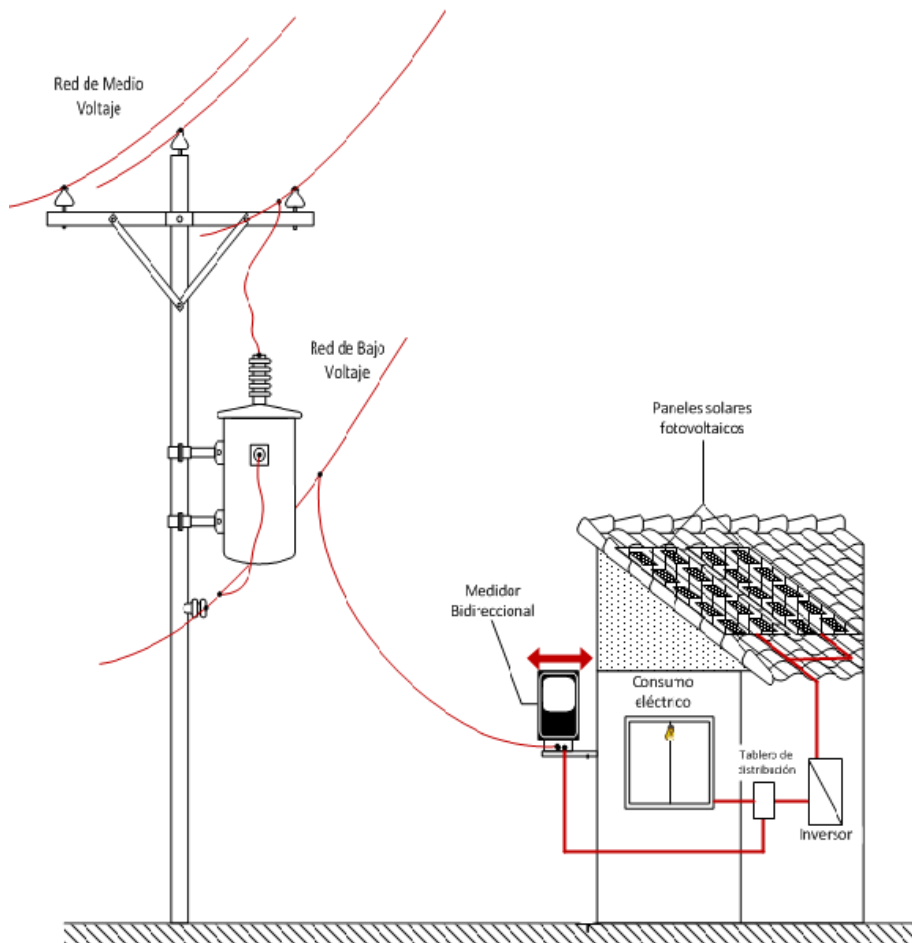
$$\text{Capacidad nominal instalada} = \frac{\sum_{i=\text{mes } 1}^{\text{mes } 12} \text{Emensual}_i \text{ (kWh)}}{\text{Factor}_{\text{planta de diseño}} \cdot 8760 \text{ (h)}} \text{ (kW)}$$

- Emensual_i : Sumatoria de energía anual facturada al usuario, si no cuenta con este registro deberá hacer una proyección de la demanda energética según la vida útil del sistema de generación distribuida.
- $\text{Factor}_{\text{planta de diseño}}$: El factor de la planta depende de la hora solar pico de la zona a utilizar el SGDA.

La generación anual de la energía eléctrica efectuada por el sistema fotovoltaico de autoconsumo deberá ser menor o igual que la demanda energética consumida anualmente por el usuario, en el caso de necesitar un incremento de la potencia instalada hasta 1 MW deberá ser solicitado y autorizado por la Empresa Eléctrica, puntualizar en que los sistemas fotovoltaicos aislados no están sujetos a las circunstancias determinadas por la presente Regulación, y el período de vigencia de la tecnología fotovoltaica es igual al tiempo de su vida útil, conexo a 25 años de operatividad.

De acuerdo con el siguiente esquema presente en la Figura 14 deberá ser instalada la tecnología de generación distribuida cuyo fin es el ahorro energético, para la implementación del sistema fotovoltaico, este es conectado en sincronía con las redes de distribución de baja o media tensión. La Empresa Eléctrica adquiere, calibra e instala un medidor bidireccional para el predio, situado en el punto de entrega de energía por parte del generador fotovoltaico y la red de distribución con el objetivo de registrar la energía neta consumida por el usuario, el costo del equipo de medición será cobrado en el primer consumo de la planilla eléctrica; además, la planta fotovoltaica no necesariamente tiene que estar ubicada en el mismo inmueble o lugar de consumo energético, puede ser instalada en un sitio diferente y cruzar los consumos de energía con la generación de la planta fotovoltaica mediante la disponibilidad de puntos de conectividad y sistemas de medición.

Figura 14
Sistema fotovoltaico de autoabastecimiento residencial



Nota: Adaptado de *Esquema de instalación del μ SFV*, de la Regulación ARCONEL-003/18, 2018, ARCONEL.

2.4.2. Balance neto

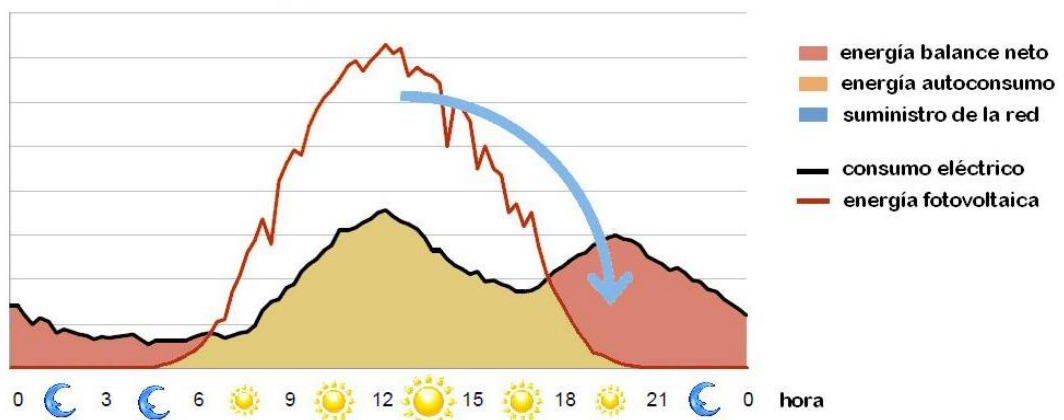
El balance neto es determinado como un acuerdo comercial que autoriza a una persona o empresa inyectar la energía eléctrica generada por tecnologías renovables a las redes de la empresa de suministro, imagine la red de distribución como si corresponde a una batería donde es vertido todo el excedente de energía eléctrica de la instalación de autoconsumo, y recibir una compensación en la factura mensual por dicha energía.

La Figura 15 muestra que la energía balance neto es el consumo producido por las cargas del inmueble en cierta parte cubierto con la electricidad distribuida por la red, la línea roja simboliza el momento que empieza a producir el generador fotovoltaico desde las 06h00 hasta las 18h00, donde no toda la energía generada es utilizada, por lo que se ocupa cierto consumo de la electricidad del SFV considerado como la energía autoconsumo, y por último, la energía sobrante es suministrada en la red del consumo eléctrico perteneciente también a la energía del balance neto.

Figura 15

Balance neto en un sistema fotovoltaico de autoconsumo

kW



Nota: Adaptado de *Balance neto*, por Balance neto y autoconsumo fotovoltaico, 2019, Consumo Energético.

La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables en la Regulación ARCERNR-001/2021 señala que la energía producida a partir de un Sistema de Generación Distribuida para el Autoabastecimiento (SGDA) tiene por objetivo primordial abastecer la

demanda eléctrica requerida por el usuario, por motivos de operación de la generación distribuida o por variedad en el consumo que presenten excesos de energía, aquello será inyectado a la red de distribución. (p. 14)

La Empresa Eléctrica instalará un sistema de medición como el medidor bidireccional que permita medir el consumo de energía y la inyección de energía a la red eléctrica, los excesos de energía suministrados a la red pueden ser descontados en las próximas planillas eléctricas por medio del continuo cálculo de la energía neta:

$$ENET_i = ERED_i - EINY_i$$

$ENET_i$: Energía neta de consumo mensual (kWh).

$ERED_i$: Energía consumida desde la red de distribución (kWh).

$EINY_i$: Energía inyectada por el sistema fotovoltaico (kWh).

- Si $ENET_i \leq 0$, la Empresa Eléctrica emite al consumidor una factura de consumo energético a un valor de cero, entonces, EF_i es igual a cero; por lo tanto, el crédito energético pendiente para el próximo mes será el cálculo de la energía neta, quedando la energía neta a cero.

$$CEM_i = |ENET_i|$$

CEM_i : Crédito de energía mensual a beneficio del usuario (kWh).

EF_i : Energía facturable en el respectivo mes.

$$ENET_i = 500 - 1.800 = -1.300 \text{ kWh}$$

$$CEM_i = 1.300 \text{ kWh}$$

- Si $ENET_i > 0$, el CEM_i equivale a cero, debido a que no cuenta con un saldo a favor de energía inyectada de ese correspondiente mes, por el motivo de que se ha consumido más energía proveniente de la red y la generación fotovoltaica ha cubierto todo el autoconsumo.

$$\text{ENET}_i = 2.500 - 500 = 2.000 \text{ kWh}$$

$$\text{CEM}_i = 0$$

La Empresa Eléctrica comprueba si el usuario de la generación distribuida fotovoltaica dispone de algún saldo acumulado de energía favorable en el anterior mes $\text{SEA}_{(i-1)}$ en unidad de kWh, si el caso es asertivo se debita el total o una parte del $\text{SEA}_{(i-1)}$ con el propósito de abastecer la energía neta del presente mes, si el $\text{SEA}_{(i-1)}$ alcanza el total de la energía neta en el consumo eléctrico del mes actual, la factura es de valor cero, en su defecto al importe de la energía restante se le aplica el coste proporcionado por el Pliego Tarifario.

Desde el inicio operativo del sistema fotovoltaico cada que cumpla los 24 meses, el saldo acumulado de energía remanente a favor del consumidor es reseteado a cero, donde la Empresa Eléctrica no considerará ni tendrá obligación de ceder cualquier compensación por la energía excedente acumulada una vez alcanzado el año.

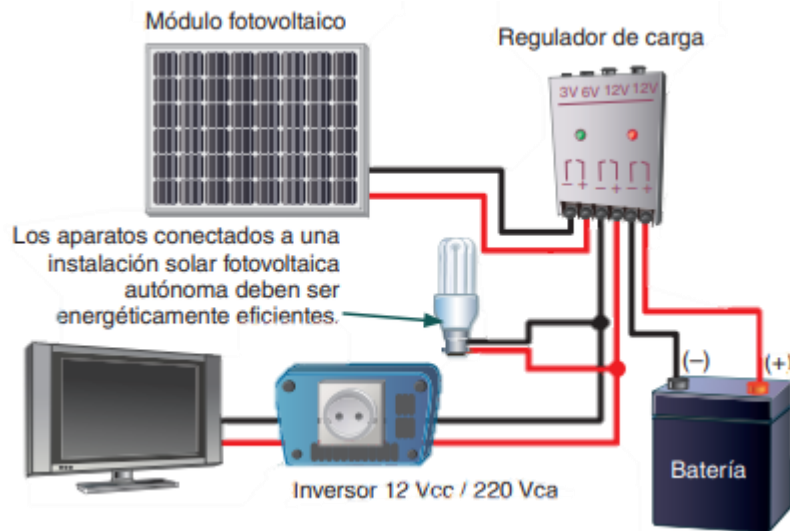
CAPÍTULO 3

COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO

Los elementos que conforman una planta solar dependen de la magnitud o el tipo de sistema fotovoltaico a instalar, por lo tanto, de acuerdo con los requerimientos del usuario se contará con menos o más componentes, un sistema está constituido básicamente por un panel solar, baterías, regulador de carga e inversor, en un sistema conectado a la red debe ser instalado un medidor bidireccional que llevará el registro de la energía consumida por la red eléctrica y la energía fotovoltaica inyectada a la red, para un sistema aislado no es obligatorio ese componente.

Una instalación fotovoltaica es configurada acorde al esquema presentado en la Figura 16, el cual contiene cuatro partes fundamentales que son la radiación, producción, acumulador y utilización, que permiten generar electricidad mediante la captación de la radiación solar a través del módulo fotovoltaico, proporcionando una corriente continua con un voltaje a 12 V, o también a 24 V o 48 V dependiendo del ajuste del sistema fotovoltaico, la electricidad producida es almacenada en un acumulador o baterías para ser utilizada en casos de no contar con luz solar o energía eléctrica proveniente de la red, con la ayuda de un regulador de carga se controla la correcta operación del sistema fotovoltaico impidiendo descargas o sobrecargas de la batería, caso contrario, surgirá averías en el sistema, este componente cumple con la función de que la planta solar opere a una máxima eficiencia, y por último, el inversor que permite la transformación de una corriente continua a alterna para electrificar aquellas cargas presentes en el área que lo requieran, en esa situación, las luminarias son conectadas directamente desde el regulador al ser alimentadas por una corriente continua que es la originada desde el panel solar, en cambio un televisor cuenta con una corriente alterna por lo que figura en ese evento el inversor, la instalación fotovoltaica concluye con la alimentación de los equipos, dispositivos, máquinas o electrodomésticos de una residencia, edificio comercial o industria.

Figura 16
Componentes de un sistema fotovoltaico



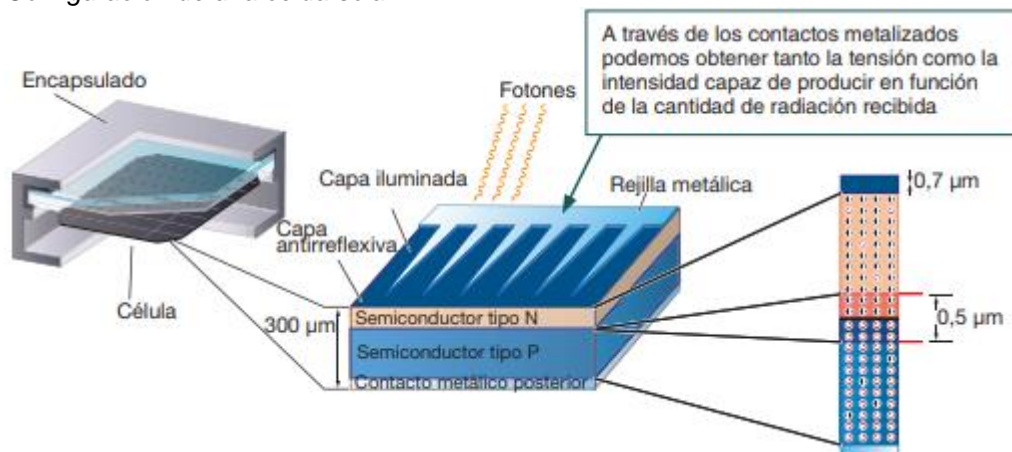
Nota: Adaptado de *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*, de Díaz, T. y Carmona, G., 2018, McGraw Hill.

3.1. Panel solar

El panel solar o también conocido como módulo o arreglo fotovoltaico, es el primordial elemento de la tecnología fotovoltaica, el cual recibe y transforma la radiación solar en energía de corriente continua, es un equipo fijo conformado por una cantidad variable de celdas solares conectadas eléctricamente de forma serial, y el voltaje de salida corresponde al número de celdas, tienen dos cubiertas semiconductoras de unión P-N basadas en el efecto fotovoltaico para la conversión de las energías solar a eléctrica.

La celda solar o célula fotovoltaica tiene el comportamiento de un diodo con partes importantes que son las capas semiconductoras, donde el semiconductor tipo N es expuesto a la radiación solar, mientras que el tipo P está ubicado en la región de oscuridad. Los terminales de conectividad pertenecientes a la célula se encuentran sobre estos segmentos del diodo: el lado del semiconductor tipo N es metalizado en molde de peine con el diseño de que la radiación solar llegue hasta el semiconductor, en tanto que, el lado de la P está completamente metalizado porque no debe recibir luz solar como lo representa la Figura 17. (Díaz & Carmona, 2018, p. 12)

Figura 17
Configuración de una celda solar



Nota: Adaptado de *Estructura de la célula solar*, de Díaz, T. y Carmona, G., 2018, McGraw Hill.

Un panel está constituido por un conjunto de celdas solares que están acopladas en estado eléctrico, encapsuladas e instaladas encima de un marco o esqueleto de soporte, en la Figura 18 se puede observar la composición de un panel solar, permitiendo que el vidrio proteja a la celda ante cualquier daño o fenómeno atmosférico. Una célula fotovoltaica proporciona una potencia de 1,5 W, pero esta cantidad no es la adecuada para aplicaciones habituales de esta tecnología, por ello, es conectada a otras células para alcanzar las nivelaciones útiles de voltaje y potencia, la mayor parte de paneles solares cuentan aproximadamente con 36 y 96 células.

Figura 18
Composición de un panel solar



Nota: Adaptado de *Características físicas panel solar fotovoltaico*, de Tobajas, C., 2015, Ediciones de la U.

3.1.1. Parámetros eléctricos de un panel solar

Las celdas solares de los módulos fotovoltaicos durante su conexión a una carga exterior trabajan como generador de energía donde se efectúa valores de corriente y voltaje que varían acorde a la radiación y la temperatura en ese instante y lo requerido en la operación para energizar la carga. Un ejemplo es, si el panel fotovoltaico está enlazado con una batería de un voltaje de 12 V, delimitará al panel con un voltaje de salida de 12 V, por ello, es relevante la información de los parámetros elementales que tiene un panel fotovoltaico, lo cual ayudará a conocer el estado de su marcha y utilización para una aplicación viable, los cuales son:

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): Es la corriente obtenida de la celda cuando la salida se encuentra cortocircuitada, en ese caso el voltaje en las terminales es 0 V, es la máxima corriente que se obtiene del módulo fotovoltaico cuando opera como generador.
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): Es el voltaje en los terminales cuando no existen cargas conectadas en el sistema fotovoltaico, la tensión donde los procedimientos de recombinación son nivelados con los de generación, por lo que la corriente extraída es nula, y la máxima tensión extraída de una celda es alrededor de 0,5 a 1 voltio.
- Potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$): En una célula solar la potencia es igual a voltaje por corriente ($P = V \cdot I$), pero al ser un voltaje en circuito abierto la máxima corriente es 0, y en una corriente de cortocircuito el máximo voltaje es 0, por lo tanto, en ambas situaciones la potencia es 0; en los valores nominales de la corriente y voltaje se tiene que en el punto de su máxima potencia es:

$$P_{m\acute{a}x} = I_{m\acute{a}x} \cdot V_{m\acute{a}x}$$

- Factor de forma (F_F): Correspondencia entre la potencia máxima y el resultado de una corriente de cortocircuito y un voltaje en circuito abierto, el valor del F_F aumenta mientras es mejor la celda solar, una celda es buena a partir del 0,70 en adelante, aunque el valor típico de las células fotovoltaicas es entre 0,7 y 0,8, el máximo valor del factor

de potencia es 1, cuando se da un bajo valor se debe a las pérdidas de eficiencia en el equipo.

$$P_{\text{máx}} = I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OC}} \cdot F_F$$

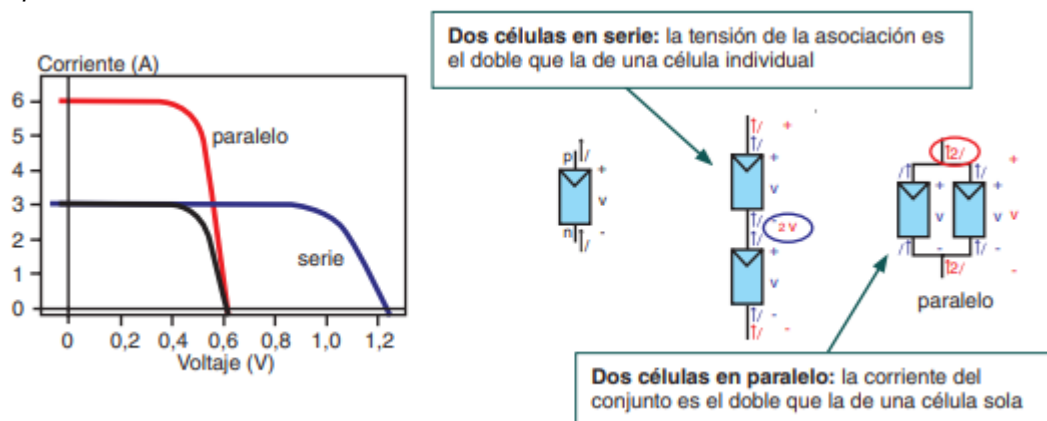
$$F_F = \frac{P_{\text{máx}}}{I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OC}}}$$

- Eficiencia (η): Es expresada con un porcentaje (%), este parámetro eléctrico determina la excelencia del funcionamiento de la celda solar, constituye la relación entre la potencia de la celda y la potencia luminosa recibida en fotones que cae sobre el área de la celda.

$$\eta = \frac{I_{\text{SC}} \cdot V_{\text{OC}} \cdot F_F}{A \cdot P_{\text{sol}}}$$

Una celda solar con dimensiones de 10 x 10 cm contiene una potencia demasiado pequeña alrededor de 1 o 2 Watts, por lo tanto, se agrupa algunas de estas celdas solares para que suministre la potencia que se requiere en la instalación del sistema fotovoltaico. De acuerdo con la conexión eléctrica en una celda solar existen dos tipologías, una en serie y la otra en paralelo, la Figura 19 indica que los elementos empalmados con una conexión en serie tienen igual corriente, mientras los conectados en forma paralela tienen igual tensión, las células solares con conexión en serie aumentan el voltaje de salida en cada uno de los extremos de esta, y en una conexión paralela aumenta la corriente total del grupo de las células solares. (Díaz & Carmona, 2018, p. 15)

Figura 19
Tipos de conexión de celdas solares



Nota: Adaptado de *Asociación de células solares*, de Díaz, T. y Carmona, G., 2018, McGraw Hill.

3.1.2. Tipo de paneles fotovoltaicos

En la actualidad el mercado de la tecnología fotovoltaica presenta tres principales variedades de paneles fotovoltaicos que tienen como elemento base el silicio, sólo los diferencian el proceso de fabricación que conlleva cada uno, lo cual les proporciona un funcionamiento y propiedades técnicas varias, como son el monocristalino, policristalino y amorfo, al mismo tiempo, entre los otros materiales que se utilizan para la fabricación de un panel fotovoltaico se encuentra el telurio de cadmio, arsénico de galio, sulfuro de cobre, e híbridos desarrollados por la mezcla de diversos elementos, pero que poseen carencia irrelevancia en el mercado.

- Panel monocristalino

Este tipo de panel es fabricado con células sólo de un cristal del material silicio con un corte transversal, la celda fotovoltaica con ese material es una de las tecnologías más eficientes, por lo que transforma aproximadamente un 16% hasta un 24% de energía fotovoltaica a energía eléctrica, la Figura 20 muestra el color uniforme de la celda solar con tonalidad de un azul oscuro o negro, la elaboración de este tipo de celda es compleja, resultado que se muestra en sus precios elevados en comparación a distintas tecnologías. (Párraga, 2020, p. 8)

Figura 20

Celda de silicio monocristalino



Nota: Adaptado de *Panel solar monocristalino de 300 W*, de Acevedo, F., 2020, Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Panel policristalino

Estas celdas también se las conocen con el nombre de multicristalino, son formadas desde partículas cortadas de una barra de silicio disuelto y recristalizado, las barras resultantes son seccionadas en obleas demasiado finas y acopladas en las celdas solares, se caracterizan por ser económicas en su fabricación acorde a los paneles monocristalinos, siendo un procedimiento de elaboración sumamente sencillo; sin embargo, tienen menos eficiencia con un promedio del 14% y 18%. (Tobajas, 2018, p. 11)

La Figura 21 en cuanto al panel solar enseña la parte cristalina de la celda que está compuesta por granos de tamaño pequeño (1 – 100 mm) con impurezas presentes en los bordes, los topes entre los granos con propiedades híbridas establecen un bajo rendimiento en la celda a diferencia de la monocristalina, y son reconocidas visualmente por su superficie granulada y visos de tonalidad azul.

Figura 21

Celda de silicio policristalino



Nota: Adaptado de Panel solar policristalino de 275 W, de Acevedo, F., 2020, Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

- Panel amorfo

Las celdas solares son fabricadas con el depósito de silicio en una cobertura fina homogénea sobre una base como está representado en la Figura 22, en vez de construir una estructura de cristal resistente, debido a que el silicio amorfo capta la luz de forma más eficaz que el silicio cristalino, las celdas tienden a ser más finas, por ello, también es reconocido como

película delgada, el silicio amorfo puede ser depositado encima de una vasta escala de sustratos ya sean flexibles o rígidos, lo cual es excelente para áreas curvas o enlace directo de materiales para techos y cubiertas. Esta tecnología es de baja eficacia que el de silicio cristalino, siendo una eficiencia tradicional de 6%, pero su elaboración es más sencilla y barata, en el caso de tener una extensa amplitud disponible en la cubierta, este tipo de panel puede formar parte de una idónea opción, si se desea el máximo rendimiento en m², los encargados del diseño seleccionan una tecnología cristalina. (Tobajas, 2018, p. 11)

Figura 22

Tejado con panel solar amorfo



Nota: Adaptado de *Módulos superpuestos tejado*, de Martínez, A., 2016, Universidad de la Rioja.

La Tabla 3 indica los valores de eficiencia que se encuentran en una celda solar, donde el elemento utilizado para su construcción influye frente a un funcionamiento óptimo del sistema fotovoltaico, el silicio monocristalino al ser alto en pureza absorbe más radiación solar por lo que producirá más energía eléctrica, de tal modo, es relevante identificar qué tipo de panel fotovoltaico es el adecuado para aprovechar lo mejor posible la radiación solar que con base a esa energía captada por el generador fotovoltaico puede cumplir con su fundamental misión que es el autoabastecimiento de la demanda requerida por el consumidor en el respectivo inmueble.

Tabla 3
Eficiencias de celdas solares

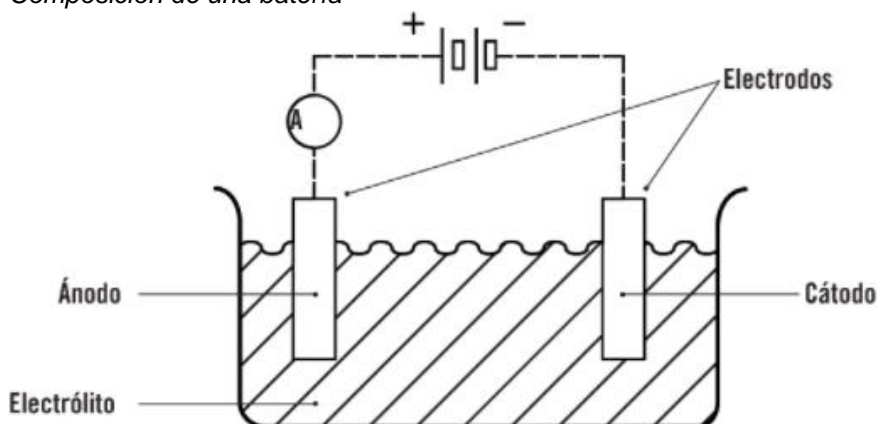
| Material | Eficiencia | Potencia |
|------------------------|--------------|----------|
| Silicio monocristalino | 16 – 24 % | 400 W |
| Silicio policristalino | 14 – 18 % | 340 W |
| Silicio amorfo | 4 – 10 % | 200 W |
| Teluro cadmio | 9,4 – 13,8 % | 225 W |
| CIGS | 11 – 18,7 % | 160 W |

Nota: Adaptado de *Tabla eficiencias materiales comerciales*, de Martínez, A., 2016, Universidad de la Rioja.

3.2. Baterías o acumuladores

La batería está constituida por uno o más elementos electroquímicos con la característica de reservar electricidad por medio de una conversión de energía química a eléctrica, cuando es irreversible una reacción química, sólo puede ser utilizado una vez el elemento tal como son las pilas, cuando es reversible como la batería este puede ser eléctricamente recargable. Una batería genérica está constituida por dos electrodos zambullidos en un electrolito, donde son efectuadas las reacciones propias a la carga y descarga como es apreciado en la Figura 23. (Guerrero, 2017, p. 94)

Figura 23
Composición de una batería



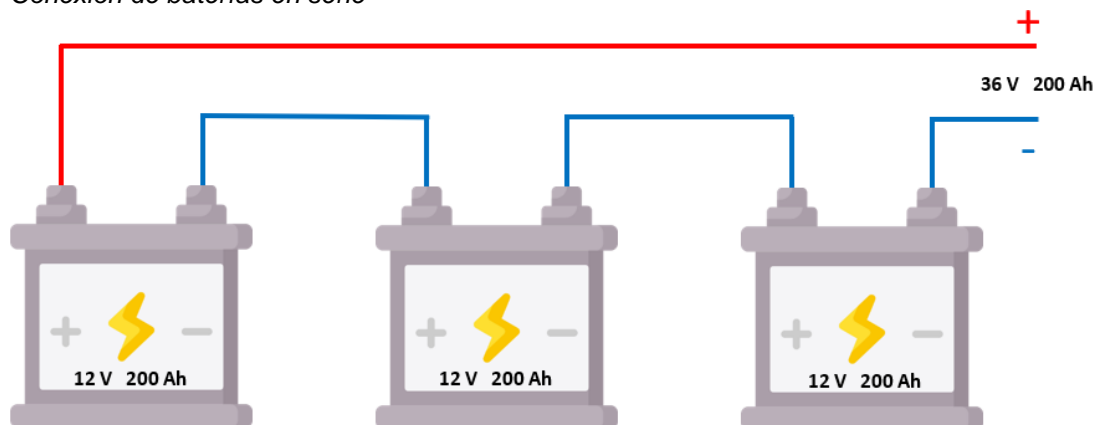
Nota: Adaptado de *Partes constitutivas de un acumulador*, de Guerrero, R., 2017, IC Editorial.

El destino de un sistema fotovoltaico es la generación de electricidad para energizar la demanda de cargas no alimentadas en una red de distribución en cuanto a los predios que se sitúan aislados de la red eléctrica

o esta no tiene un alcance en el lugar para electrificarlos. El montaje aislado maneja un sistema de depósito que acumula toda la energía obtenida por los fotones, y la sobrante producida, que es aquel extra no consumido por las cargas, y en casos de necesitarla es usada en tiempos donde la generación es mínima para proceder con el consumo de la remanente.

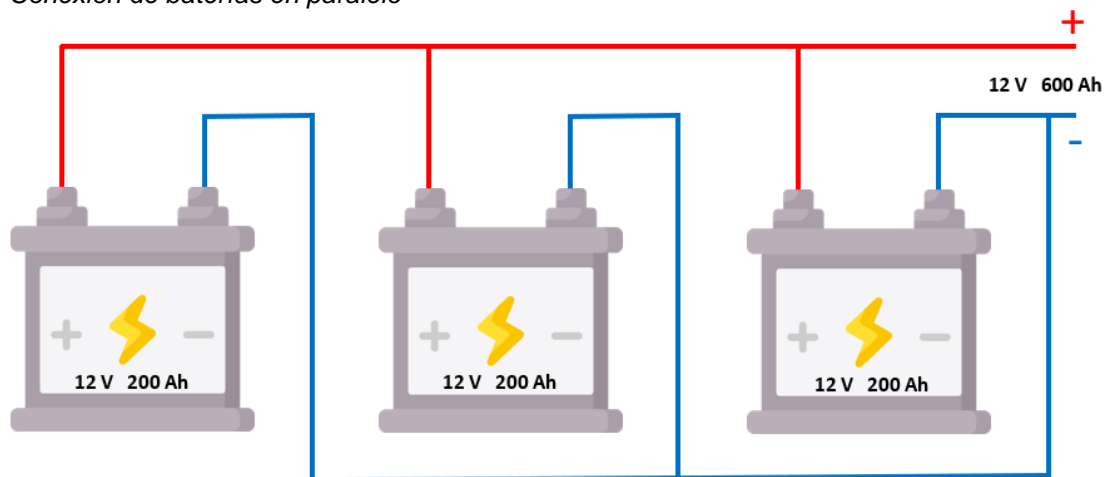
Una batería puede estar conectada en serie o paralelo, la conexión en serie radica en la unión del polo positivo de la batería con el polo negativo de la sucesiva y así continuamente como está indicado en la Figura 24, este tipo de conexión es muy frecuentado en el montaje de un sistema fotovoltaico, y consigue que los voltajes sean sumados mientras que la capacidad del banco de baterías se mantenga en el mismo valor.

Figura 24
Conexión de baterías en serie



Al conectar las baterías en forma paralela todos los polos positivos de la batería se unen en un punto y los polos negativos en otro, el modus operandi es lo opuesto a la conexión anterior, debido a que los voltajes se mantienen, pero la capacidad de cada una se suma según lo mostrado en la Figura 25. Para realizar este tipo de conexión hay que considerar que no es apropiado combinar baterías de diferentes tipos como una de plomo y otra de gel, ni de distintas capacidades, fabricantes, peor incluir una batería nueva con una de estado deteriorado, y la longitud como la sección de los cables utilizados en la unión de los polos positivos y negativos deberán ser de iguales características.

Figura 25
Conexión de baterías en paralelo



En un sistema fotovoltaico es importante poseer una batería de gran capacidad para el aprovechamiento máximo de la energía producida por el panel solar mediante la amplia carga del acumulador, pero al ser de mayor capacidad tiende a ser más costosa, por eso los usuarios instalan las baterías en forma paralela, pero desconocen el error de esta conexión que termina con la vida útil de la batería a partir de una sobrecarga, la más óptima instalación de las baterías es de forma serial, puesto que no imponen peligro ya que es efectuado el paso de la corriente únicamente cuando existe un consumo.

3.2.1. Parámetros para selección de una batería

En vista de la particularidad del proyecto es considerado el apropiado funcionamiento de las baterías para el suministro de electricidad, de tal modo, que no se posee una fuente extra alternativa, es importante tomar en consideración los parámetros técnicos al momento de la elección de la batería concerniente al campo fotovoltaico, entre los cuales se tiene:

- Capacidad nominal (C_{nom}): Es la medida de la cantidad de corriente que puede ser extraída de una batería en un tiempo definido, que se determina por la consecutiva ecuación dada en Amperios-hora (Ah), donde I es la corriente de descarga y t el tiempo medido en horas que tomará por descargar la batería.

$$C_{\text{nom}} = t \cdot I$$

- Capacidad útil ($C_{\text{útil}}$): Es la cantidad de corriente que la batería puede entregar sin ser afectada su vida útil. Cuando la capacidad nominal de la batería no logra almacenar un 80% se concluye la llegada a su etapa final de vida útil.

$$C_{\text{útil}} = C_{\text{nom}} \cdot PD_{\text{máx}}$$

- Profundidad de descarga ($PD_{\text{máx}}$): Es la cantidad de energía obtenida de la batería en el transcurso de la descarga, a partir de una batería cargada en su totalidad, y es expresada en porcentaje, si un ciclo de descarga es corto como un 10%, entonces la vida útil de la batería será mayor, sucedería lo opuesto en comparación a una descarga profunda como el 80%.

$$PD_{\text{máx}} = \frac{C_{\text{útil}}}{C_{\text{nom}}} = \frac{C_{\text{extraída}}}{C_{\text{nom}}}$$

- Eficiencia de carga: Es la relación entre la energía proporcionada para el recargo del acumulador y la energía que se encuentra almacenada, es de sumo interés que este valor sea lo más superior, aproximadamente el 100%, con el significado de que toda la energía empleada para el incremento es factible de ser usada en la alimentación de las cargas, si la eficiencia es inferior, es un dato clave para el aumento de paneles solares con el fin de alcanzar los resultados esperados.
- Voltaje nominal: Es el voltaje que funciona una batería o acumulador que domina a la resistencia opuesta por la batería al ser cargada.
- Corriente nominal: Es la cantidad de corriente constante con que se efectúa la descarga de la batería según el tiempo indicado por el fabricante.
- Máximo voltaje de carga: Es el superior voltaje aplicado a la batería en el momento de carga sin averiarla, y del voltaje nominal no debe superar el 5%.
- Mínimo voltaje de descarga: Es el menor voltaje en que la batería suministra energía sin averías, no debe ser mínimo del voltaje nominal con diferencia del 5%.

3.2.2. Tipos de baterías

En la actualidad existe en el mercado una diversa gama de baterías para los montajes fotovoltaicos, fundamentadas en conjunto de técnicas de plomo-ácido, níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico e iones de litio, la utilidad de baterías solicita el empleo de un regulador que inspeccione la fase de carga y descarga para la protección de la vida útil del componente.

- **Batería de plomo-ácido**

En su mayoría las baterías presentes en el mercado son las de plomo-ácido, que involucra una favorable adaptación operativa en los sistemas fotovoltaicos aislados debido a su bajo coste y ante el requisito de un mantenimiento, está constituida por dos electrodos del elemento plomo (Pb), y el electrolito con una composición de ácido sulfúrico, todo aquello sumergido en una disolución de agua alambicada, el electrodo en estado positivo comprende de un almacenamiento de dióxido de plomo, y acorde al electrodo negativo consta de plomo cuando la batería se encuentra cargada, al ocurrir la descarga, la placa positiva y negativa cuentan con un acopio de sulfato de plomo. Dependiente del estado de los electrolitos la batería muestra su condición en ácidos y solución acuosa en representación si la carga es alta o baja y correspondiente a ello qué cantidad de plomo o sulfato de plomo permite que el acumulador sea empleado para el suministro de energía de acuerdo con lo señalado en la Tabla 4. (Tobajas, 2018, p. 19)

Tabla 4

Estado de carga y descarga de baterías

| Electrolito | Placa positiva | Placa negativa | Resultado |
|---------------------------------------|---|--|-----------------------|
| Máximo ácido sulfúrico Mínimo agua | Plomo esponjoso | Dióxido de plomo | Batería cargada |
| Decrece el ácido Aumenta el agua | Decrece el plomo aumenta el sulfato de plomo | Crece el dióxido de plomo aumenta el sulfato de plomo | Batería descargándose |
| Mínimo ácido Máximo agua | Mínimo plomo Máximo sulfato de plomo | Mínimo de dióxido de plomo máximo sulfato de plomo | Batería descargada |
| Aumenta el ácido Decrece el agua | Aumentando el plomo decreciendo el sulfato | Aumentando dióxido decreciendo el sulfato | Batería cargándose |

Nota: Adaptado de *Secuencia de carga y descarga en acumuladores o baterías*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

Dentro de las baterías del plomo-ácido existen varios modelos que se presentan en la Tabla 5, estos dependen de la aplicación que se le dará al sistema fotovoltaico, el más destacado para amplias descargas y capacidades altas de un sistema autónomo es la batería tubular, si el sistema fotovoltaico es pequeño o de mantenimiento complejo están las baterías de gel.

Tabla 5
Tipos de baterías de plomo-ácido

| Tipo | Ventajas | Inconvenientes |
|---------------------------|---|---|
| Tubular estacionaria | Ciclado profundo. Tiempos de vida largos. Reserva de sedimentos. | Precio elevado. Disponibilidad escasa en determinados lugares. |
| Arranque (SLI, automóvil) | Precio. Disponibilidad. | Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes. Tiempo de vida corto. Escasa reserva de electrolito. |
| Solar | Fabricación similar a SLI. Amplia reserva de electrolito. Buen funcionamiento en ciclados medios. | Tiempos de vida medios. No recomendada para ciclados profundos y prolongados. |
| Gel | Escaso mantenimiento. | Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de V – I. |

Nota: Adaptado de *Secuencia de carga y descarga en acumuladores o baterías*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

- **Batería de níquel-cadmio**

El procedimiento electroquímico de la batería está compuesto por el hidróxido de níquel que conforma la placa positiva, y el hidróxido de cadmio en la placa negativa, ambas placas son impregnadas por un electrolito, siendo el compuesto químico principal el hidróxido potásico en estado de una solución acuosa en fusión con otros elementos, los elementos de las baterías están divididos por 1,2 V; en consecuencia, para conformar una batería de 12 V es necesario 10 elementos conectados en serie, estas baterías poseen las siguientes propiedades:

- Soportan altas descargas en comparación a las demás baterías.
- Ahorro notable en la capacidad de las baterías.
- Cada elemento mantiene un voltaje estable.
- Vida útil más prolongada.
- Resistencia a bajas temperaturas.

- No son deterioradas ante cortocircuitos esporádicos.
- Funcionamiento continuo por composición de agua.

- Batería de níquel-hidruro metálico

Está compuesto por un electrodo de níquel y otro electrodo aleado por una combinación de hidruro, es un bajo contaminante en relación con el cadmio por la ausencia de la toxicidad de metales, incluye una potencia elevada del 40%, pero tiene la desventaja de una autodescarga superior, el uso de este tipo de baterías es muy escaso en las instalaciones fotovoltaicas.

- Batería de ion litio

La batería al estar compuesta por un metal reactivo como el litio tiene una considerable energía potencial almacenada en los átomos, los cuales están comprendidos en espacios minúsculos lo que posiciona a una batería de menor peso y con una cantidad maximizada de carga, cada celda cuenta con un alto nivel de voltaje de 4 V, su rendimiento no es afectado por la variación de ciclos de carga y descarga, y es segura a través de la incorporación de un sensor de temperatura, monitoreo del estado de carga y la regulación del voltaje. (Meza & García, 2018, p. 69)

La Tabla 6 muestra la clasificación de las baterías existentes en el mercado comercial de acuerdo con la tecnología de fabricación y de los electrodos empleados, presentando una breve comparación de cada una de sus características, cuyo análisis es que las baterías de mayor uso en una instalación fotovoltaica son las de plomo-ácido por sus particularidades y mejor aún en el tiempo de recarga que resulta productivo en el depósito de energía, a pesar de que, la batería de ion de litio es la mejor elección para un sistema fotovoltaico por sus dimensiones reducidas y almacenamiento de mayor energía que cualquier otra batería, lo que la establece a una adquisición relativamente costosa, por lo que las baterías de plomo-ácido resultan la opción más económica de todos los tipos de baterías existentes, además, demandan un reducido mantenimiento, efectuando una garantía de gran alcance para el usuario.

Tabla 6*Propiedades de los tipos de baterías*

| Tipo de batería | Tensión por vaso (V) | Tiempo de recarga | Autodescarga por mes | Capacidad (por tamaño) | Precio |
|----------------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------------|--------|
| Plomo-ácido | 2 | 8-16 horas | < 5% | 30-50 Wh/kg | Bajo |
| Níquel-cadmio | 1,2 | 1 hora | 20% | 50-80 Wh/kg | Medio |
| Níquel-metal hydride | 1,2 | 2-4 horas | 20% | 60-120 Wh/kg | Medio |
| Ion litio | 3,6 | 2-4 horas | 6% | 110-160 Wh/kg | Alto |

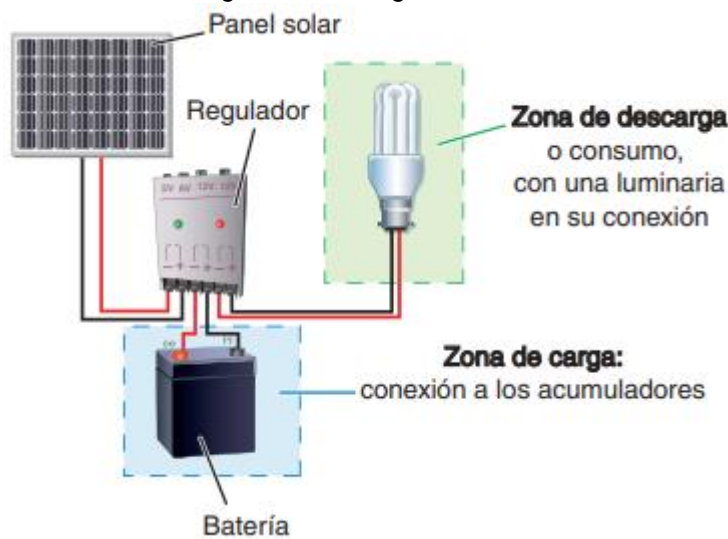
Nota: Adaptado de *Características de los principales tipos de baterías*, de Díaz, T. y Carmona, G., 2018, McGraw Hill.

3.3. Regulador de carga

En un sistema fotovoltaico las baterías proveen electricidad al circuito en cualquier instante, cuyo proceso en la carga y descarga primero empieza por la adquisición de la energía eléctrica procedente del panel solar en el transcurso del día, luego esta es entregada al circuito de consumo en la noche o en períodos con bajos niveles de radiación solar, para el control de la carga y descarga se lo lleva a cabo con un dispositivo, que es el regulador de carga, que se encarga de proteger a la batería frente a una sobrecarga o descarga profunda con el propósito de extender su vida útil, todo el procedimiento que desarrolla el regulador inicia por un diodo que interrumpe el recorrido de la corriente de la batería hasta el generador fotovoltaico y con el interruptor que separa la batería, entonces, el interruptor es abierto cuando existe una sobrecarga o sobredescarga, y es cerrado para la conexión de la batería hacia el circuito de consumo. (Marín & Quintero, 2017, p. 28)

La Figura 26 muestra que el regulador opera en dos secciones, la zona con relación a la carga, donde se garantiza que esta sea suficiente para el acumulador sujeta siempre a su capacidad nominal y prevenir condiciones de sobrecarga donde si no es conectado un regulador la demasía de corriente provocada por la energía aportada desde los paneles solares debido a su duplicación que sobrepase los cálculos estimados puede provocar que el electrolito de la batería hierva, y en la zona conforme a la descarga es la encargada de asegurar el suficiente suministro energético diariamente para el autoconsumo de los aparatos eléctricos y electrónicos en las peores condiciones de radiación solar y prevenir en la batería una descarga excesiva que afecte al sistema fotovoltaico.

Figura 26
Conexión de un regulador de carga



Nota: Adaptado de *Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica*, de Díaz, T. y Carmona, G., 2018, McGraw Hill.

3.3.1. Características técnicas de un regulador

El funcionamiento de un regulador de carga depende tanto de los módulos fotovoltaicos como de la batería, para esto se deberá considerar las siguientes características técnicas que permitirá la selección correcta del componente con el objeto de que este opere de forma apropiada en un sistema fotovoltaico.

- Voltaje nominal: Es el voltaje que funciona el regulador en el sistema fotovoltaico, y pertenece al mismo voltaje nominal que posee las baterías, frecuente al diseño del regulador las tensiones están entre 12, 24 y 48 V.
- Corriente máxima en generación: Es la corriente recibida a partir de los paneles solares, el regulador es elegido de acuerdo con el desempeño del generador fotovoltaico, y es aplicado un factor de seguridad (1,25) para evitar días donde la radiación excede de 1000 W/m^2 .
- Corriente máxima de consumo: Es la corriente de salida del circuito que proporciona el regulador para la instalación fotovoltaica donde son conectadas todas las cargas a ser energizadas en el inmueble del usuario.

- Pérdida máxima generación/consumo: Es un valor medido en Watts en relación con las caídas internas de voltaje, presenta una cuantía de suma importancia porque puede realizar una modificación en los voltajes nominales del regulador que provocaría pérdidas en la generación de energía.
- Autoconsumo: Es la cantidad de corriente que requiere el regulador de carga para su propia operación, el valor mostrado en la placa de características del regulador debe ser considerado en el momento de realizar el dimensionamiento de la instalación para un apropiado funcionamiento.
- Sobrecarga: Valor porcentual sobre el valor nominal que soporta el regulador de carga sin romperse

3.3.2. Tipos de reguladores de carga

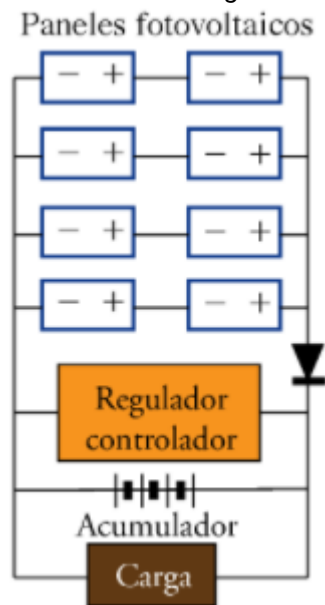
Existen diferentes tipos de reguladores, lo más fundamentales son el de tipo serie y paralelo de acuerdo con el funcionamiento, la variación de ciclos o las etapas de carga de los acumuladores idóneos para la mejora del rendimiento de la instalación fotovoltaica autónoma y la protección contra los cortocircuitos.

- Regulador shunt

El regulador de carga en paralelo disipa por calor el excedente de energía, donde si la batería al estar completamente cargada y el panel solar continúa produciendo electricidad, esta no puede almacenarse y por medio de una resistencia dotada por un diodo Zener en paralelo con la batería hace que sea disipada, en la noche cuando el panel solar no produce electricidad, pero la batería se encuentra cargada, para evitar que no ceda energía eléctrica al panel solar cuenta con un diodo de bloqueo que dispone de una resistencia al paso de la corriente inversa. Este regulador es aplicado para montajes fotovoltaicos pequeños, sin embargo, para los actuales sistemas de considerable magnitud es imprescindible disipadores térmicos que incluyen precios elevados, pérdida energética y de fiabilidad. (Tobajas, 2018, p. 24)

El esquema de la conexión de un regulador de carga de tipo paralelo es presentado en la Figura 27, en donde el diodo está en un sentido desde el panel solar hacia la batería que proporciona el paso de la corriente, y en el transcurso nocturno el diodo es bloqueado cuando la generación no resulta favorable y el voltaje de la batería es superior que la del panel solar, y la corriente de la batería sea dirigida al panel efectuando una descarga.

Figura 27
Conexión de un regulador de carga tipo shunt



Nota: Adaptado de Regulador paralelo, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

- Regulador serie

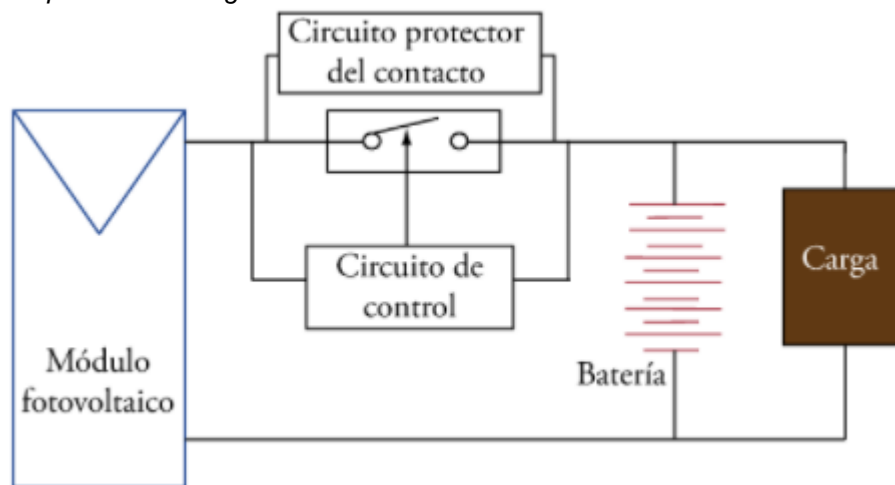
En este tipo de componente la regulación es efectuada mediante un sistema de desconexión automática en los paneles solares, que equivale a un interruptor automático de batería, cuando esta se encuentra cargando el interruptor entrega una baja resistencia, y cuando la batería está con carga completa pasa a un estado de circuito abierto; la ventaja de este tipo de regulador es que no está basado en la disipación de energía, de tal forma, que la única potencia consumida es a través del mando y el control. (Tobajas, 2018, p. 24)

La Figura 28 describe la relación de la composición del regulador de carga con el sistema fotovoltaico, que consta de un relé mecánico, circuitos

de detección y los circuitos de protección de los contactos del relé, en el momento que el voltaje alcanza el nivel correspondiente en los bornes durante la carga de la batería es abierto el interruptor por los circuitos de control del relé dejando desconectada la batería del panel solar, después que la batería esté descargada en un determinado nivel el relé cierra el interruptor para que proceda a cargarse nuevamente la batería, el relé está en sincronización con el voltaje del panel solar, si el panel no genera demasiada electricidad, el relé mantendrá los contactos normalmente abiertos.

Figura 28

Esquema de un regulador serie



Nota: Adaptado de Descripción de un regulador serie, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

- Regulador MPPT

Es un regulador de máxima potencia, encargado de aprovechar al máximo la luz solar captada durante el día, en las épocas del año e inclusive cuando existe nubosidad, es diseñado para la regulación del voltaje derivado de los paneles solares, de tal manera, que pueda inyectarse corriente alguna para en un mayor tiempo posible cargar las baterías; además, cumple con la función de un convertidor de corriente continua a continua para elevar o reducir el voltaje de entrada pero en la salida permanecerá constante, y obtiene un considerable aprovechamiento de la máxima potencia equivalente de los paneles solares sin importar un instante específico, estas funciones hacen que el regulador sea alto en complejidad que otros reguladores presentes en el mercado. (Acevedo, 2016, p. 55)

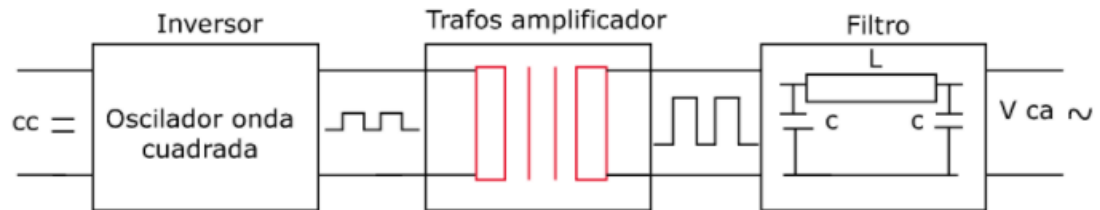
3.4. Inversor

En vista de que los paneles fotovoltaicos y las baterías operan con una corriente continua, la función del inversor es transformar ese tipo de corriente en una corriente alterna, ya sea en las frecuencias y voltajes que trabajen los electrodomésticos o equipos, esta corriente alterna es la que se encuentra inyectada en una red eléctrica de 220 V con una frecuencia de 60 Hz.

La Figura 29 indica los elementos del inversor, como son los tiristores, transistores y diodos que, mediante el corte constante por segundo de la corriente continua efectúa una cadena de impulsos que permite producir una onda cuadrada, luego la señal es incorporada en el transformador que amplifica la tensión, consecuentemente la señal de entrada es filtrada para obtener la señal de salida en una onda senoidal, característica de la corriente alterna. (Cáceres et al., 2018, p. 17)

Figura 29

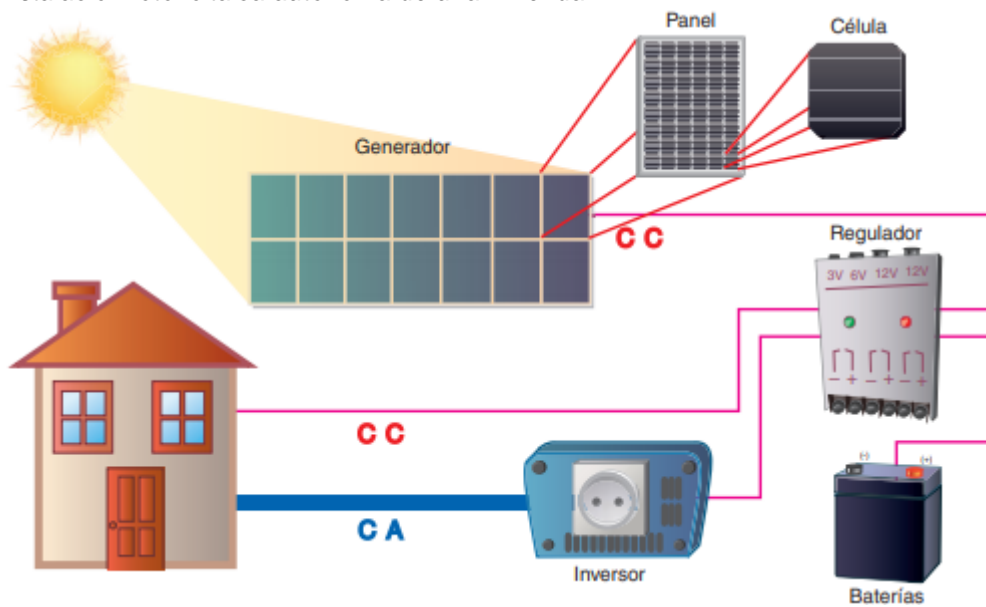
Conversión de CC-CA en un inversor



Nota: Adaptado de *Convertidor cc – ca para segregar tensión*, de Tobajas, C., 2015, Ediciones de la U.

Un inversor es un componente de carácter importante para los montajes con conexión a la red, la mayoría están involucrados en los sistemas autónomos, sobre todo en la aplicación destinada a la energización de una vivienda como está mostrado en la Figura 30 con el esquema genérico de una instalación fotovoltaica autónoma, donde la energía eléctrica producida por el panel solar es transmitida hacia las cargas de la residencia, los aparatos con propiedad de corriente continua pasan a ser energizados directamente luego del control de la carga, mientras que aquellos equipos que requieren de la alimentación de una corriente alterna es imprescindible el desempeño del inversor que permitirá el acceso de la conversión solicitada.

Figura 30
Instalación fotovoltaica autónoma de una vivienda



Nota: Adaptado de *Esquema general de una instalación autónoma con inversor*, de Díaz, T. y Carmona, G., 2018, McGraw Hill.

3.4.1. Parámetros eléctricos de un inversor

Los principales parámetros utilizados para un correcto dimensionado que caracterizan la operación deseable de un inversor son los siguientes:

- **Tensión nominal:** Es el voltaje aplicado entre las bornas de entrada de un inversor, y deberá establecer una adecuada operación en el margen absoluto de los voltajes de entrada admitidos por el sistema.
- **Potencia nominal:** Es el suministro de potencia de forma continua que entrega el inversor, ofrece una oscilación entre 100 y 5.000 W, además, es crucial considerar que la potencia producida por el inversor ofrezca la capacidad de arranque y operación de todas las cargas situadas en la instalación.
- **Capacidad de sobrecarga:** Es la capacidad que suministra el inversor de una potencia que consiste en ser superior a la potencia nominal y el lapso que pueda ser establecida.
- **Eficiencia:** Es la relación entre la potencia entregada por el regulador a la carga y la potencia consumida del generador fotovoltaico o de las baterías.

- Forma de onda: Es la representación de onda de la señal de salida que suministra el inversor, los mejores inversores son de onda senoidal, pero tienen un mayor costo, aunque sólo es esencial el de onda cuadrada porque carece de aplicaciones sofisticadas y sólo es usado puntualmente para cargas habituales.
- Frecuencia: Es la frecuencia de la señal de salida, que deberá coincidir con la frecuencia de la red de distribución y ser muy estable.
- Fases: El inversor incluye un número de fases, ya sea monofásico o trifásico.

3.4.2. Clasificación de un inversor

Los inversores están divididos en tres clases, diferenciándolos en su uso de acuerdo con los tipos de instalaciones fotovoltaicas, unos son idóneos para el sistema con conexión a la red eléctrica mientras que el otro es utilizado para los sistemas aislados, siendo el inversor de un sistema aislado capaz de generar una frecuencia interna para alcanzar la frecuencia saliente a 60 Hz, en el caso opuesto, el inversor deberá integrarse en términos de tensión y frecuencia con la energía suministrada por la red de distribución.

- Inversor de onda cuadrada

Es el inversor más simple y económico, manejan unos dispositivos electrónicos que se encuentran conectados como un interruptor con accionamiento exterior cuando el inversor está en sincronización con una fuente externa de corriente alterna, o un multivibrador astable para utilizarlo en un sistema aislado; están basados en una rectificación sencilla de la onda de entrada de corriente continua con un escaso filtrado, por lo que la onda resultante contiene una gran cantidad de armónicos no deseables, y al no desempeñar los requerimientos para la distorsión armónica por las corrientes parásitas y pérdidas por histéresis presentes en los materiales magnéticos provoca el incremento de la frecuencia y a su vez la excitación de la onda, que hace que la carga pase por un sobrecalentamiento, de tal modo, que el rendimiento se establezca en un aproximado de 50% o 60%.

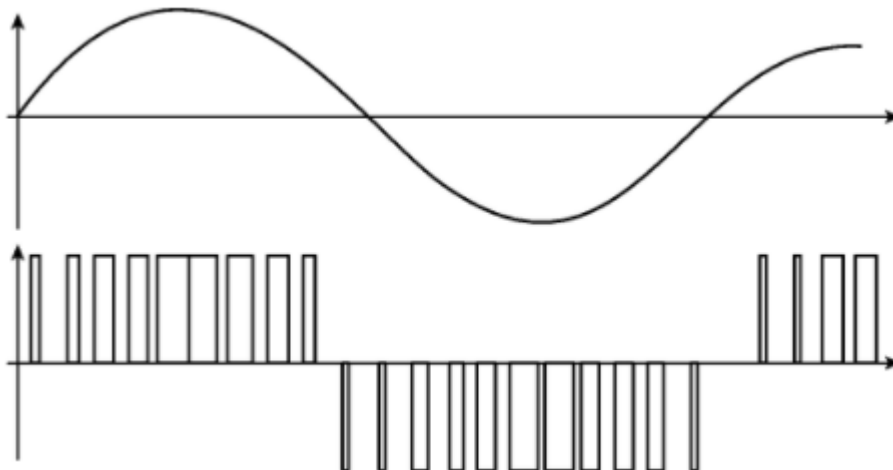
- Inversor de onda senoidal

Incluyen un minucioso filtrado de la señal a generar, por ende, resulta ser la mejor opción para alimentar las cargas en corriente alterna de potencias elevadas, su función es reproducir una forma de onda uniforme intervenida en los diferentes pulsos que son más segmentados y bruscos, logrando que la corriente que alimenta la carga sea igual que la recibida por la red de distribución, y así la repercusión de utilizar un inversor de onda senoidal extenderá la vida útil de los componentes del sistema fotovoltaico en comparación a un inversor de onda cuadrada.

- Inversor PWM

Este inversor es por medio de modulación de ancho de pulso, aplica un método versátil muy diferente que los anteriores inversores, que consiste en generar una señal senoidal a partir de una señal continua, en la Figura 31 aparece en la parte superior la forma de onda pretendida a obtener en la salida del inversor PWM, que es una senoidal, pero en la parte inferior muestra exactamente lo que es generado, en consecuencia, este método está fundamentado en producir una serie de pulsos de altitud constante con un ancho casi proporcionado a la amplitud de la onda. (Guerrero, 2017, p. 124)

Figura 31
Generación de onda en inversor PWM



Nota: Adaptado de *Inversores PWM*, de Guerrero, R., 2017, IC Editorial.

CAPÍTULO 4

DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO

El dimensionado de una instalación fotovoltaica consta en establecer su capacidad para compensar la demanda eléctrica de los usuarios, por lo que debe contar con una alta confiabilidad en zonas rurales donde no existe un sistema auxiliar de energía eléctrica; el sistema solar fotovoltaico al estar conformado por un grupo de componentes, cada uno debe ser confiable y sin exponer en peligro alguno al sistema.

El método del dimensionamiento fotovoltaico está basado en el balance de energía, siendo el punto de partida de la determinación de un proyecto fotovoltaico los requerimientos del usuario, pero en la situación de esta energía renovable interviene las condiciones climáticas, donde el inmueble deberá estar situado en un sector que disponga de un excelente recurso solar, y con el objeto de lograr un diseño que satisfaga las necesidades de los usuarios a un bajo costo.

4.1. Cálculo del consumo energético

El cálculo del consumo energético necesario diariamente medido en Wh/día representado por E_T , consiste en multiplicar la potencia (W) de cada una de las cargas disponibles por la cantidad de horas de su uso en dada en h/día, cabe indicar que en este parámetro eléctrico influye el número de usuarios y sus actividades cotidianas, la estación del año y el entorno socioeconómico, que son factores de compleja predicción, aunque deberán ser estimados basándose en la experiencia y la disponibilidad de datos. Para la estimación del consumo diario de la carga medido en Ah/día que es L_T , es dividido el consumo de energía diaria (Wh/día) por el voltaje nominal del sistema que corresponde a V_N , o mediante los anteriores cálculos conforme a la corriente de consumo de cada carga (A) en lugar de la potencia, un ejemplo claro de estos cálculos es presentado en la Tabla 7 con un voltaje nominal del sistema de 12 V.

Tabla 7
Cálculo de consumo total de energía E_T

| Estimación de carga | | | | | | |
|---------------------|----------|-----------------|-----------------|---------------|----------------------|--------------------|
| Equipo | Cantidad | Potencia AC (W) | Potencia DC (W) | Horas uso (h) | Energía/día (Wh/día) | Carga/día (Ah/día) |
| Luminaria | 3 | | 11 | 4 | 132 | 11 |
| Televisor LED | 1 | 20 | | 4 | 80 | 6,67 |
| Radio portátil | 1 | | 16 | 1 | 16 | 1,33 |
| Nevera | 1 | 300 | | 2 | 600 | 50 |
| Total de consumo | | | | | 828 | 69 |

Para el cálculo de la carga real necesaria suministrada por el generador fotovoltaico, L , se debe considerar las pérdidas y eficiencias de los varios subsistemas que interceden en la instalación fotovoltaica, establecido según la siguiente ecuación.

$$L = L_{dc} \frac{L_{ac}}{\eta_{inv}}$$

L : Carga real necesaria (Ah/día).

L_{dc} : Cargas de tipo de corriente continua (Ah/día).

L_{ac} : Cargas de tipo corriente alterna (Ah/día).

$\eta_{inv} = 85\%$: Eficiencia media de un inversor.

4.2. Orientación, inclinación y sombras

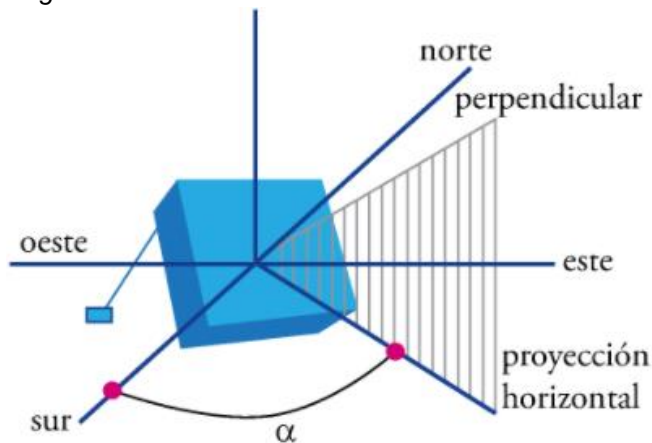
Para que el panel fotovoltaico logre captar la máxima luz solar es orientado de manera perpendicular hacia el sol, pero con vista desde la superficie terrestre, debido al movimiento de traslación de la tierra la radiación solar varía conforme al horario, por lo tanto, es establecida la orientación del panel fotovoltaico dada por los siguientes parámetros:

- Acimut u orientación (α)

Es el ángulo encargado de medir la desviación efectuada por el hemisferio sur, en la Figura 32 muestra el ángulo acimutal que es formado a

partir de la proyección horizontal a la perpendicular en la superficie del panel y los meridianos de la zona, la orientación del polo sur del panel fotovoltaico corresponde a 0°, oeste a 90°, norte a 180° y este a 270°. (Pérez, 2019, p. 5)

Figura 32
Ángulo acimutal

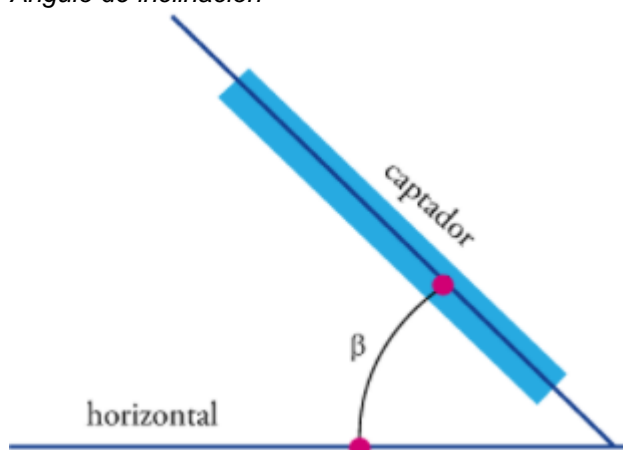


Nota: Adaptado de *Ángulo acimutal*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

- Inclinación o elevación (β)

Es el ángulo formado por el plano horizontal y la superficie del panel fotovoltaico indicado en la Figura 33, cuando el panel fotovoltaico está en posicionamiento horizontal el valor angular es 0°, mientras en un posicionamiento vertical es 90°, y el ángulo de inclinación en una instalación fija es establecido acorde a la latitud del sitio (Φ), tal posición óptima permita a los paneles solares absorber la mayor cuantía de energía.

Figura 33
Ángulo de inclinación



Nota: Adaptado de *Ángulo de inclinación o elevación*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

Cuando la instalación fotovoltaica debe maximizar la generación en el período de mayor demanda, la inclinación deberá ser calculada mediante esta ecuación:

$$\beta = \Phi - 10$$

Cuando la instalación fotovoltaica debe ofrecer garantía del suministro durante todo el año, la inclinación es calculada de la siguiente forma:

$$\beta = 3,7 + 0,69 \Phi$$

Cuando la instalación fotovoltaica debe ofrecer garantía del suministro en un mes bajo, la ecuación del ángulo de inclinación es:

$$\beta = \Phi + 10$$

Para calcular la inclinación máxima proporcionada a un panel solar es necesario tener en cuenta que el ángulo de inclinación es importante situarlo de tal modo que al comienzo del día sea encontrado en el lado derecho del panel solar y al término del día en el lado izquierdo, y así se consigue que en el mediodía el ángulo de inclinación esté en el centro del panel solar, debido a que es estimado el más alto punto de la radiación solar generada, puesto que se debe realizar el cálculo del ángulo acimut con un alcance del sol sobre el horizonte en determinado momento por medio del uso de las sucesivas ecuaciones:

$$\beta = 90 - \alpha$$

$$\alpha = 90 - \text{latitud} - \text{declinación solar}$$

El hecho de que Ecuador esté ubicado en el hemisferio sur es planteada la hipótesis sobre que los paneles solares deberían tener una orientación hacia al norte con el propósito de la obtención de su máxima

eficiencia, entonces, el ángulo acimutal del panel solar al dirigirlo hacia al norte permite maximizar la radiación solar directa a la superficie de la celda solar, como el país cuenta con dos estaciones durante el año, que es invierno y verano, es preciso realizar el dimensionamiento del acimut en el mediodía tanto para ambas épocas. (Rodas & Arévalo, 2016, p. 38)

- Determinación de sombras

La incidencia de sombras sobre los paneles solares puede afectar el máximo aprovechamiento del sistema fotovoltaico, tal es el caso cuando es montado un grupo de módulos fotovoltaicos existe la complicación que la distancia mínima entre las filas proyecte sombras en medio de estas, lo cual conlleva que la superficie de captación de energía solar reduzca, en la época de invierno es más notorio el efecto de las sombras que en verano, debido a que el trayecto solar es más bajo, en consecuencia, la determinación de sombras es calculada en derivación del recorrido del sol en invierno.

Los aspectos relevantes en el distanciamiento de los paneles solares son cuando el sol está en una ubicación más baja sobre el horizonte que se dan en el mes de enero, noviembre y diciembre, o en los días altamente desfavorables, por aquello la altura solar mínima es expresada bajo estas condiciones:

- El día más desfavorable en el año durante la época de invierno es el 21 de diciembre, y en el mediodía la altura solar mínima es igual:

$$H_{\text{mín}} = (90^\circ - \text{latitud}) - \text{declinación}$$

- El día más desfavorable en el año durante la época de verano es el 21 del mes de marzo o septiembre, en ambos días al mediodía la altura solar mínima será:

$$H_{\text{mín}} = 90^\circ - \text{latitud}$$

Para la determinación de la sombra es necesario conocer la distancia mínima entre los módulos fotovoltaicos, si hay una incidencia de un 15 o 10% efectúa una reducción desfavorable en la eficiencia del sistema fotovoltaico,

en los cálculos de la distancia mínima entre módulos fotovoltaicos se aplican las siguientes funciones trigonométricas:

$$\text{sen } \theta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}}$$

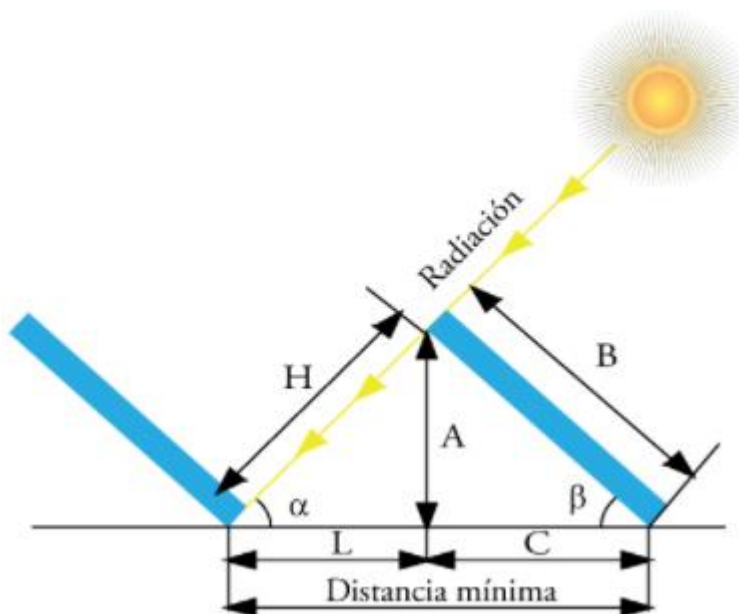
$$\text{cos } \theta = \frac{\text{cateto adyacente}}{\text{hipotenusa}}$$

$$\text{tan } \theta = \frac{\text{sen } \theta}{\text{cos } \theta}$$

$$\text{ángulo } \theta = \text{arco tan} = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{cateto adyacente}}$$

La Figura 34 indica la forma mínima en que debe separarse dos o más módulos fotovoltaicos para evitar un gran impacto del efecto de sombras, y cómo la distancia entre los paneles solares deberá formar un triángulo rectángulo conforme una vez estén realizadas las operaciones dependientes del valor de los ángulos y las longitudes, en el que para el ángulo α , A es el cateto opuesto, L el cateto adyacente y H la hipotenusa; mientras en el ángulo β , A es el cateto opuesto, C el cateto adyacente y B la hipotenusa.

Figura 34
Distancia entre paneles solares



Nota: Adaptado de *Distancia mínima entre placas solares*, de Tobajas, C., 2018, Cano Pina.

La Tabla 8 presenta la relación entre los lados del triángulo rectángulo dependiente del ángulo de orientación y el de inclinación, de esa manera se podrá situar los paneles solares para obtener un elevado rendimiento por mayor captación de energía evitando cualquier interferencia de las sombras relativas a un específico día.

Tabla 8
Funciones trigonométricas de un ángulo α y β

| α | | β | |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| $\text{sen } \alpha = \frac{A}{H}$ | $A = H \cdot \text{sen } \alpha$ | $\text{sen } \beta = \frac{A}{B}$ | $A = B \cdot \text{sen } \beta$ |
| $\text{cos } \alpha = \frac{L}{H}$ | $L = H \cdot \text{cos } \alpha$ | $\text{cos } \beta = \frac{C}{D}$ | $C = D \cdot \text{cos } \beta$ |
| $\text{tan } \alpha = \frac{A}{L}$ | $A = L \cdot \text{tan } \alpha$ | $\text{tan } \beta = \frac{A}{C}$ | $A = C \cdot \text{tan } \beta$ |

La distancia mínima entre los paneles solares permite que la fila anterior del arreglo fotovoltaico no efectúe sombras en la posterior fila, de lo contrario, los paneles solares no podrán recibir elevadas cantidades de la radiación solar por lo que la generación del conjunto de módulos fotovoltaicos será baja para el autoabastecimiento del consumo eléctrico de la instalación a energizar, la distancia mínima es desarrollada por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{distancia mínima} = B \cdot \text{cos } \beta + \frac{B \cdot \text{sen } \beta}{\text{tan } \alpha_{\text{mín}}}$$

4.3. Cálculo de componentes

Una vez determinada la estimación de la carga de la demanda y las posibles orientación e inclinación del panel solar, es sumamente crucial los cálculos del sistema fotovoltaico, cuyo dimensionado debe resultar fiable porque serán los encargados de suministrar la energía eléctrica para el correspondiente consumo del inmueble durante el tiempo de la vida útil de los componentes.

4.3.1. Paneles fotovoltaicos

Para el cálculo de la potencia nominal y el número de paneles solares necesarios para la generación de electricidad que demanda el predio, se comienza principalmente desde la hora solar pico (HSP) dada en la unidad de medida en horas (h), que es la radiación diaria, donde una hora pico equivale a 1000 W/m², por lo tanto, es aplicada esta ecuación:

$$HSP = \frac{\text{Irradiancia}_{\text{diaria prom}} \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2}$$

La energía consumida diaria por el panel fotovoltaico es determinada con la incidente irradiancia total diaria en horas pico y la potencia nominal del panel, para la selección de los paneles solares a usar en el montaje es utilizada una tecnología del mercado con un material más eficiente como el monocristalino y de mayor potencia, siendo ideal tener entre menos metros cuadrados más potencia en los paneles, encontrando la potencia máxima de salida en la ficha técnica del módulo fotovoltaico.

$$E_p = P_{MPP} \cdot HSP$$

E_p : Energía diaria de un panel (Wh).

P_{MPP} : Potencia máxima del panel solar (W).

$\eta_{inv} = 85\%$: Eficiencia media de un inversor.

La cantidad de paneles debe ser expresado en un valor entero porque es la cuantía neta para adquirir el componente, siendo un valor superior para el abastecimiento seguro, entonces, el número total de paneles solares que es requerido para satisfacer la energía diaria en la instalación será calculado mediante la capacidad de la planta y la potencia del panel.

$$N_{\text{paneles}} = \frac{E_T}{E_p}$$

El arreglo fotovoltaico puede ser conectado en forma de serie o paralela, este cálculo es definido por un valor de entrada del inversor y un valor de salida de cada panel, para la conexión en serie se procede a calcular con el parámetro voltaje que permite determinar el número de módulos fotovoltaicos conectados en serie al inversor.

$$N_{\text{módulos-serie}} = \frac{V_{\text{máx DC inv}}}{V_{\text{MPP}}}$$

Una vez realizado el cálculo del valor máximo y mínimo de los módulos fotovoltaicos en serie, después se procede con el cálculo del arreglo en unión paralela, esto depende de la corriente con la que opera el inversor y el panel, para el análisis se tiene:

$$N_{\text{módulos-paralelo}} = \frac{I_{\text{máx DC inv}}}{I_{\text{CC MPP}}}$$

La estructura de soporte de un panel solar debe cumplir la normativa ISO 9223 sobre el análisis de los niveles de corrosión y la protección de un material metálico para los sistemas fotovoltaicos instalados al aire libre especificados en la Tabla 9, que le permitirá asegurar una resistencia ante los cambios climáticos.

Tabla 9
Niveles de corrosión

| Categoría | Corrosividad |
|-----------|--------------|
| C1 | Muy baja |
| C2 | Baja |
| C3 | Media |
| C4 | Alta |
| C5 | Muy alta |

Nota: Adaptado de *Niveles de corrosividad ISO 9223*, de Rodas, A. y Arévalo, C., 2016, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

En consideración de las varias atmósferas que estudia la norma ISO 9223 mediante un análisis de los diversos sectores donde puede ejecutarse

una instalación fotovoltaica, en la Tabla 10 son establecidas las categorías relacionadas al tiempo de humectación que va a ser expuesto el material a lo largo de un año.

Tabla 10

Tiempo de humectación anual en zonas

| Categoría | Tiempo de humectación | | Ejemplos de aplicación |
|-----------|-----------------------|----------|--|
| | Horas/Año | % Año | |
| T1 | < 10 | < 0,1 | Atmósfera interior climatizada. |
| T2 | 10 – 250 | 0,1 – 3 | Atmósfera interna, excepto espacios interiores no aireados. |
| T3 | 250 – 2500 | mar – 30 | Atmósfera interior en regiones secas o muy frías. |
| T4 | 2500 – 5500 | 30 – 60 | Atmósferas exteriores en todas las zonas, excepto tropical seca y zonas frías. |
| T5 | > 5500 | > 60 | Lugares no ventilados en regiones no muy húmedas. |

Nota: Adaptado de *Tiempo de humectación según ubicación ISO 9223*, de Rodas, A. y Arévalo, C., 2016, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

4.3.2. Baterías

Uno de los cálculos básicos de un sistema fotovoltaico concierne al dimensionado de la capacidad de la batería en Ah o Wh para la instalación, la aplicación de este cálculo sólo es significativo sobre la valoración de un sistema fotovoltaico aislado, por lo contrario, en un sistema con conexión a la red de distribución no es necesario que disponga de un sistema de acumulación. (Guerrero, 2017, p. 175)

Para el cálculo de la batería es requerido el número de estimación de días de autonomía de la instalación, que corresponde al hecho de no contar un día con radiación, pero a pesar de ello, la batería proporcione al predio la corriente requerida para el funcionamiento de las horas previstas, la cantidad de días de autonomía es recomendable un mínimo de 3 días, y depende de dos factores, una instalación segura y la posible estadística de nubosidad constante, el sistema de acumulación es determinado mediante las siguientes expresiones:

$$C_n \text{ (Wh)} = \frac{E_T \cdot d}{\eta \cdot P_d}$$

$$C_n \text{ (Ah)} = \frac{L \cdot d}{P_d}$$

C_n : Capacidad nominal de la batería (Wh o Ah).

E_T : Consumo de energía diaria (Wh).

L : Carga real necesaria (Ah).

d : Número de días de autonomía.

η : Eficiencia de la batería.

P_d : Máxima profundidad de descarga.

4.3.3. Regulador de carga

Para dimensionar un regulador de carga, primero se debe calcular la corriente máxima que circula en la instalación, entonces, es determinada la corriente generada por el panel fotovoltaico y la corriente consumida por la carga, a su vez, la máxima de ambas corrientes es la que debe soportar en operación el regulador de carga, la corriente producida por el generador fotovoltaico es la sumatoria de las corrientes procedentes del funcionamiento de los paneles solares a mayor rendimiento indicado en la ecuación:

$$I_G = I_{MP} \cdot N_{MP}$$

I_G : Corriente producida por el generador fotovoltaico (A).

I_{MP} : Corriente producida por cada módulo en paralelo del generador (A).

N_{MP} : Número de módulos en paralelo del generador.

La corriente que consume la carga es dimensionada mediante todos los consumos efectuados al mismo tiempo por el usuario del inmueble, por lo

tanto, es importante disponer en su totalidad los aparatos presentes en el sitio para no desarrollar un incorrecto cálculo en la operación del regulador, el mismo que es determinado con la sucesiva ecuación:

$$I_C = \frac{P_{dc}}{V_{bat}} + \frac{P_{ac}}{V_{bat}}$$

I_C : Corriente que consume la carga (A).

P_{dc} : Potencia de las cargas en corriente continua (W).

P_{ac} : Potencia de las cargas en corriente alterna (W).

V_{bat} : Voltaje nominal de la batería (V).

4.3.4. Inversor

En un inversor se debe considerar que el voltaje de entrada no es siempre constante porque el inversor transforma diferentes voltajes continuos en un determinado rango de una instalación, el cálculo del inversor es definido por la suma de las potencias que demandan las cargas en corriente alterna, de tal modo, que es elegido un inversor con una potencia nominal de superior capacidad a la potencia máxima total de las cargas en corriente alterna, la potencia del inversor con unidad de medida en Watts (W) es simplificada por medio de la siguiente fórmula matemática.

$$P_{inv} = P_{ac}$$

4.4. Cableado del sistema fotovoltaico

En una instalación fotovoltaica es importante evitar en el cableado una excesiva longitud, esto es debido a que los conductores eléctricos de un material de cobre encargados de transportar la energía ocasionan pérdidas por la resistencia que produce la oposición del flujo de la corriente; por consiguiente, los módulos fotovoltaicos, las baterías, el regulador de carga e inversor deberán ser montados conjuntamente lo más próximo posible. El

diseño de las secciones del cable depende de las condiciones eléctricas en cada tramo en cuanto a la corriente y voltaje de la instalación, es elemental utilizar un cable resistente a condiciones ambientales y alto en aislamiento, la dimensión de las secciones del cableado está comprendido de acuerdo con las recomendaciones señaladas para cada tramo empleado en la posterior ecuación.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\rho \cdot V \cdot \Delta V}$$

S: Sección del cable (mm²).

L: Longitud del cable (m).

I: Intensidad de corriente máxima en el cable (A).

ρ : Resistividad del material del conductor ($\Omega \cdot m$).

V: Voltaje del circuito (V).

ΔV : Caída de tensión en el tramo (%).

La resistencia de un conductor eléctrico se opone al flujo de electrones en un material, suele ser despreciada por ser un valor muy diminuto, la resistencia a una temperatura respectiva es proporcional a la longitud y proporcionalmente opuesta al área de la sección transversal del cable, y es calculada a través de lo siguiente:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

R: Resistencia del conductor (Ω).

ρ : Resistividad del material del conductor (56 es para cobre).

L: Longitud del cable (m).

A: Área de la sección transversal del cable (m²).

De acuerdo con el cálculo de la sección del cableado, a partir de ese valor referente dado en mm² debe ser convertido en AWG (American Wire Gauge) donde es elegido el número más cercano, entonces si el resultado de la sección es 6,16 mm², según la conversión de ese valor al sistema americano sería utilizar un calibre número 8 indicado en la Tabla 11.

Tabla 11

Sección de un conductor en AWG

| Calibre AWG | mm ² |
|-------------|-----------------|
| 18 | 0,823 |
| 16 | 1,31 |
| 14 | 2,08 |
| 12 | 3,31 |
| 10 | 5,26 |
| 8 | 8,37 |
| 6 | 13,3 |
| 4 | 21,15 |
| 3 | 26,7 |
| 2 | 33,6 |
| 1 | 42,4 |
| 1/0 | 53,48 |
| 2/0 | 67,4 |
| 3/0 | 85 |
| 4/0 | 107,2 |

Nota: Adaptado de *Cálculo de protecciones en corriente directa para sistemas fotovoltaicos*, de Cortés, P., 2020.

Para la selección de los conductores eléctricos en baja o media tensión según la necesidad de la instalación puede consultar en el manual de CENTELSA (<https://www.centelsa.com/archivos/Manual-del-electrico-2017-ok.pdf>), que contiene los valores normalizados bajo el estándar del sistema americano AWG, y los parámetros eléctricos como la sección, el área seccional transversal, ampacidad, resistencia, temperatura y demás, por ende, el uso de aquellos valores estandarizados aportará con el desempeño adecuado de un dimensionamiento.

4.5. Protección eléctrica

Toda instalación eléctrica incluye protecciones tanto para los aparatos eléctricos como para las personas, que permitirán el control de sobretensiones y sobreintensidades en los equipos, donde la impedancia llega a un reducido

nivel logrando que la corriente sea conducida normalmente en cada tramo, los aparatos poseen una protección distinta dependiendo del tipo de corriente eléctrica, un equipo que opera con una corriente continua requiere de fusibles, mientras que los que operan con una corriente alterna precisan de interruptores magnetotérmicos, la selección de una protección eléctrica depende del voltaje y la corriente, el voltaje está vinculado al tipo de instalación fotovoltaica, si es residencial es de 600 V y en el caso comercial e industrial es de 1000 V, y la corriente es calculada a partir de la continua expresión.

$$I_{\text{máx}} = I_C \cdot F$$

$I_{\text{máx}}$: Corriente máxima del fusible (A).

I_C : Corriente del componente (A).

F: Factor de multiplicación, una sola serie es 1,25, varias series en paralelo es 1,56 (%).

4.5.1. Protecciones en corriente continua y alterna

Los equipos que operan en corriente continua poseen una protección en contra de las sobreintensidades provocadas por un cortocircuito o una sobrecarga, para ello son empleados los fusibles que por el paso de una corriente excesiva se funde o abre el circuito eléctrico para salvaguardar los conductores evitando una falla o un riesgo de incendio.

Figura 35
Fusible de cuchilla



Nota: Adaptado de *Fusibles NH de baja tensión*, 2019, EATON.

Existen variedades de fusibles, pero en un sistema fotovoltaico es utilizado el de cuchilla o también identificado como fusible NH ilustrado en la Figura 35, en esta clase se encuentran los de percutor y sin percutor, con la única diferencia entre ambos que es la velocidad de respuesta, por ello, para una mejor protección conforme a una respuesta rápida es mejor el fusible con percutor. (Alvarado, 2018, p. 68)

De la misma manera para una instalación con corriente alterna es necesario protecciones apropiadas en una red a nivel de 220 V en la salida de un inversor, por lo que son incluidos interruptores magnetotérmicos mostrados en la Figura 36, encargados de proteger al inversor de una sobrecarga o sobreintensidad originadas por cortocircuitos donde el interruptor actúa de manera rápida ante cualquier irregularidad presentada en el circuito.

Figura 36
Interruptor magnetotérmico



Nota: Adaptado de Interruptor magnetotérmico PLN6, 2019, EATON.

4.5.2. Protección para el usuario

Así como en una instalación eléctrica es importante el uso de las protecciones para los conductores y los aparatos eléctricos, también lo es para las personas que circulan en el sitio y se produzca algún contacto directo o indirecto frente a puntos eléctricos activos de la instalación, para un mayor control de aquello es utilizado un interruptor diferencial presentado en la Figura 37, el cual trabaja en conjunto con la puesta a tierra de todos los equipos, donde el interruptor desconecta el circuito en el momento que detecta una derivación a tierra que sea superior a su sensibilidad, y cuenta con un tiempo mínimo de actuación. En la situación de que no haya una conexión a tierra seguirá funcionando el interruptor diferencial, pero su operación comienza cuando entra en contacto con el objeto o la persona no aislado a tierra con un aparato activo, luego de que la corriente traspasa el objeto o cuerpo llegando a tierra, en ese momento el interruptor diferencial localiza la derivación a tierra, a pesar de que en ese instante el interruptor opera y abre el circuito terminando la conducción de la corriente, una descarga eléctrica ha traspasado el cuerpo con la posibilidad de causar pérdidas materiales o personales.

Figura 37
Interruptor diferencial



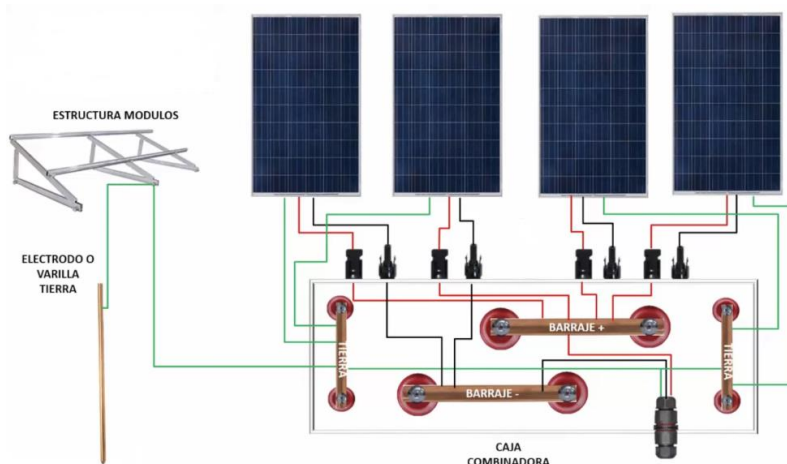
Nota: Adaptado de Interruptor diferencial FRCmM-125, 2019, EATON.

4.5.3. Puesta a tierra

La puesta a tierra de un sistema fotovoltaico tiene como finalidad hacer equipotencial todas las partes metálicas expuestas al usuario, como tuberías, tableros, carcasas de inversores, estructuras y demás que deberán tener un potencial de cero, esto es que debe tener una conexión a tierra independiente a la del neutro de la Empresa Eléctrica para evitar defectos en la misma, y a la vez, en todos los elementos de un sistema fotovoltaico que contengan masas metálicas se logra disminuir posibles tensiones perjudiciales entre masas pertenecientes a componentes distintos.

La Figura 38 detalla un tipo de sistema de conexión a tierra, que por medio de barrajes de tierra en la caja combinadora con el cableado son conectados los paneles solares y los otros elementos fotovoltaicos, el cableado a tierra es unido con la estructura de los módulos y al electrodo o varilla Copperweld, después, cada uno de los módulos fotovoltaicos con el cable son dirigidos a los respectivos barrajes, donde se tendrá una conexión independiente por módulo lo que permitirá en un futuro desarrollar un mantenimiento individual del panel solar, y así los demás paneles solares no serán afectados por la suspensión o interrupción del sistema a tierra de ese panel.

Figura 38
Conexión a tierra de módulos fotovoltaicos



Nota: Adaptado de Puestas a tierra en módulos solares fotovoltaicos, de Ospina, A., 2021.

CAPÍTULO 5

NORMATIVIDAD PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En Ecuador prevalecen normativas vigentes, donde es estacado el derecho de vida de una población en un entorno saludable y ecológicamente estabilizado, garantizando un buen vivir y sostenibilidad en los ciudadanos; en consecuencia, el Estado por medio de la ayuda social, personal y colectiva con la ejecución de la utilidad de energías limpias y alternas no contaminantes que efectúan un reducido impacto en el medioambiente, lo cual permite la inducción del uso eficiente en las energías indiferentemente de sus formas, aumentar la confiabilidad ante un suministro eléctrico seguro, desarrollar una generación distribuida que aporte a la eficiencia energética y sustentabilidad, colaborar con la estabilidad del cambio climático, y establecer el derecho de los ciudadanos a asumir actividades que ayuden al medioambiente.

El país cuenta con un Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE) que tiene como propósito aumentar la utilidad de una energía eficiente en sectores residenciales, comerciales e industriales, con la aplicación de una normativa que permita regularizar aptos los criterios conforme al uso de una energía renovable en el marco fotovoltaico, este plan tiene como finalidad que en el período 2035 el consumo energético en los diferentes sectores señalados se reduzca a unos 88,8 millones de toneladas de petróleo.

5.1. Generación fotovoltaica para consumidores regulados

Este marco regulatorio tiene como finalidad establecer disposiciones para la interconexión, instalación y operación de sistemas de producción descentralizados basados en fuentes de energías renovables como la fotovoltaica para consumidores autónomos. El Reglamento ARCERNR001/2021 emitido el 5 de abril de 2021, es aplicado a consumidores regulados y a

las empresas de distribución que instalan y gestionan sistemas de producción distribuida autoalimentados en sincronía con la red de distribución. (p. 4)

5.1.1. Requisitos para la instalación de un SGDA

Las siguientes disposiciones se aplican al tratamiento de los requisitos de viabilidad de conectividad para proyectos de generación de energía descentralizados que son desarrollados por el proponente:

- a) El proponente presenta la información establecida de acuerdo con el formulario del Anexo 1 para indagar sobre la factibilidad de conectarse con cada distribuidor.
- b) Este formulario contiene los datos generales del proveedor de SGDA e identifica el punto de la red al que está conectado el SGDA.
- c) En el formulario, el distribuidor indica la fecha de este recibo y asigna un código de procesamiento único a la solicitud, sobre esta base el solicitante puede hacer preguntas y seguir la evolución de la solicitud.

De acuerdo con los requisitos factibles para una conexión del sistema de generación distribuida a la potencia nominal que es detallado en la Tabla 12, la conexión debe estar sincronizada con la red de distribución, cuando el distribuidor recibe el Formulario del Anexo 1, él deberá procesarlo de la siguiente manera:

Tabla 12

Niveles de potencia de una generación distribuida

| Voltaje de conexión | Potencia nominal |
|---------------------|----------------------|
| Bajo | ≤ a 10 kW monofásica |
| | ≤ a 20 kW bifásica |
| | ≤ a 30 kW trifásica |

Nota: Adaptado de *Potencias nominales de los SGDA*, de la Regulación ARCERNR-003/2021, 2021, Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.

- a) Al recibir una solicitud del proponente, el distribuidor tendrá cinco días para aceptar la solicitud de trámite, y si requiere información adicional, el distribuidor deberá notificar al proponente de manera escrita, con un

plazo de 5 días para completar la información, de lo contrario, el proceso terminará.

- b) Una vez que se acepta la solicitud del procesamiento, el distribuidor realizará una revisión técnica durante un plazo de 15 días adicionales para garantizar que la conectividad y las operaciones futuras del SGDA no afecten la calidad de la prestación del servicio eléctrico que permite conectar el proyecto con el proponente.
- c) Como parte de su factibilidad, se establecen esquemas de conexión y condiciones de operación que el SGDA debe cumplir en caso de falla de la red de distribución y operación normal.

La elegibilidad de la conexión emitida por el distribuidor tiene una vigencia de 3 meses, durante los cuales el proponente puede iniciar el trámite con el distribuidor para obtener el Certificado de Elegibilidad correspondiente, de lo contrario, podrá la conexión del proyecto carecerá de factibilidad.

Como se indica en la Tabla 12, se requiere una conexión síncrona a la red de distribución para lograr la viabilidad de conectar el SGDA de mayor capacidad, cuando el distribuidor recibe el formulario del Anexo 1, lo procesa de la siguiente manera:

- a) Los distribuidores tienen un período de cinco días para aceptar solicitudes de los trámites, el distribuidor notificará al proponente por escrito si se solicita información adicional, hay un plazo de 5 días para completar la información, de lo contrario, el proceso se definirá como terminado.
- b) Una vez que se acepta la solicitud del trámite, el distribuidor realizará cada análisis en un plazo de hasta 5 días para garantizar que las conexiones y operaciones futuras del SGDA no afecten la calidad del servicio eléctrico, y asegurar la posibilidad de conexión del proyecto a los proponentes si es necesario.
- c) En cuanto a la viabilidad de la conexión, el distribuidor establece en particular:

- Para conectar el SGDA al punto de conexión, el proponente debe coordinar la red de distribución.
 - El esquema de conexión del SGDA.
 - Las condiciones de operación que debe cumplir el SGDA en caso de una red de distribución normal e inactiva.
 - La conectividad es válida por 3 meses.
- d) Dentro de los 15 días siguientes a la notificación del distribuidor al proponente de la viabilidad de la conexión del SGDA, el proponente notificará al distribuidor la aceptación de la viabilidad de los términos establecidos, si no se aceptan los términos establecidos por el distribuidor, el proponente del proyecto podrá oponerse.
- e) El distribuidor cree que el proponente ha dejado de seguir el proceso de viabilidad de la conexión del SGDA y lo considera concluido en los siguientes casos:
- Si el proponente no acepta por escrito las condiciones de viabilidad de la conexión establecida y no ha presentado disputa con ARCERNNR.
 - Cuando el proponente emite una declaración escrita de la decisión de no continuar con el proceso.

El proponente del proyecto será responsable de los costos asociados con el ajuste o cambio de la red que realmente se requiere para conectar el SGDA.

5.1.2. Instalación y conexión de un SGDA

El proponente es responsable de la construcción de la obra civil, la instalación de los equipos del SGDA y el sitio de conexión, de acuerdo con el programa de ejecución del proyecto con el certificado competente, y el cumplimiento de las condiciones establecidas para la viabilidad del diseño y la conexión del proyecto aprobado depende del distribuidor para la conexión a la red de distribución.

Si la instalación del SGDA, la instalación de equipos en el campo de conexión o el inicio de la operación del SGDA se retrasan por circunstancias inevitables o imprevistas, el proponente podrá solicitar al distribuidor extender el tiempo límite de inicio o el tiempo de operación, se debe entregar los justificativos que considere pertinentes. El distribuidor le notificará dentro de los 15 días posteriores al envío de la solicitud por parte del proponente, y en caso de cancelación se considerará iniciada la solicitud de extensión, donde las actividades del SGDA son aceptadas implícitamente y la demora adicional otorgada por el distribuidor al proponente corresponderá a la fuerza o demora inevitable que realmente causó el incidente.

- Pruebas de equipos y conexión

El proceso de conexión del SGDA a la red es coordinado entre el proponente y el distribuidor, los requisitos del distribuidor en cuanto a las características del equipo y la configuración de los campos de conexión validados antes de conectar el SGDA, corresponde al diseño aprobado por el distribuidor.

El proponente del SGDA entrega al distribuidor los equipos necesarios para la realización de las inspecciones, verificaciones y pruebas que se consideren relevantes para los equipos y dispositivos en el campo de la conectividad, así como las pruebas y requisitos técnicos de conectividad del SGDA a la red eléctrica. El estándar IEEE 1547 se puede utilizar como referencia según las aplicaciones, una vez finalizadas en su totalidad las pruebas pertinentes en el SGDA y los equipos de la instalación, el distribuidor firma un contrato de suministro con el consumidor, en el que es aprobado la conexión y comienzo de las operaciones en el SGDA.

- Cargos por conexión y trámites

Los consumidores que instalan un sistema de generación distribuida están exentos de pagar a los distribuidores encargados de analizar la viabilidad del empalme entre los componentes en un montaje fotovoltaico, la

conexión de las redes de distribución, el pago de peajes y la emisión de credenciales de calificación del proyecto.

5.2. Participación en generación distribuida por empresas

La Regulación ARCERNR002/2021 expuesta el 5 de abril de 2021 estipula que una central que produce energía eléctrica desarrollada por una Empresa de Generación Distribuida Habilitada (EGDH) se considerará como una central de generación distribuida (CGD) si se desempeñan con los siguientes contextos:

- a) Poseer una potencia nominal equivalente o superior a 100 kW y menor a 10 MW.
- b) Se enlaza cerca del consumo.
- c) Conexión a la red de media tensión o alta tensión por debajo de 138 kV en el sistema de distribución.
- d) El uso de una fuente de energía renovable, las centrales incluidas en el Plan Maestro de Electricidad (PME) también pueden utilizar combustibles fósiles como principal fuente de energía.
- e) Es construido, operado, mantenido y administrado por EGDH bajo las condiciones especificadas en este Reglamento.
- f) No se incluyen plantas pertenecientes a generadores automáticos o grupo de generadores de emergencia, el tratamiento regulatorio de los de los autogeneradores está cubierto por normativas. (p. 8)

5.2.1. Requisitos para montaje y operación de una CDG

El proponente solicita la viabilidad de la conexión a cada distribuidora según el formulario especificado en el Anexo 2 que trata sobre la solicitud de viabilidad de la conexión del proyecto de producción de electricidad, en ese documento el proponente establece los datos generales del proyecto fotovoltaico en curso y el punto de conexión de la red eléctrica que estarán conectados a la próxima CGD. En el formulario el distribuidor indica la fecha de recepción de este y asigna un código de procesamiento único a la solicitud,

esto le permite al proponente realizar verificaciones o consultas y rastrear el estado de la solicitud de forma presencial o por el sitio web del distribuidor.

El análisis y la viabilidad de la conexión de la CGD estarán sujetos a las siguientes condiciones:

- a) El distribuidor deberá en un lapso de 10 días hábiles siguientes a la recepción de la solicitud determinar la investigación técnica a ser preparada y proporcionada para evaluar la viabilidad de la conexión de la central e informar al proponente de esta. La prueba de conexión revisa las pautas establecidas en el Reglamento ARCONEL004/15 o de la normativa sustituta. Los distribuidores no podrán solicitar más investigaciones de las necesarias para evaluar la viabilidad de un enlace de la CGD, teniendo en cuenta la tecnología y capacidad de la CGD, el voltaje y los puntos de la red a los que están conectado.
- b) Además, el distribuidor podrá proporcionar al proponente otro punto de la red al que la CGD pueda conectarse dentro del mismo plazo establecido en el apartado a) de este capítulo.
- c) La distribuidora deberá de forma ineludible conceder al proponente, toda la información y detalles técnicos que sean necesarios para la ejecución de los estudios técnicos, que será entregado en el lapso especificado en el apartado a) del presente capítulo, debiendo la distribuidora facilitar la siguiente información:
 - Propiedades eléctricas y parámetros de conductores, y equipos para la conversión, protección y disposición de reactivos en los segmentos de la red de distribución que habilitan la CGD.
 - Equivalente Thévenin en segmento de la red afectado por la planta.
 - Inventario de las centrales y sistemas de generación distribuidas activas relacionados con el segmento de la red de distribución afectado por la nueva CGD, y detalle de las principales características y puntos de conexión de la red eléctrica.
 - Lista de la CGD y el SGDA existentes que se espera que se conecten en el segmento de la red de distribución afectado por

la nueva CGD, incluye características fundamentales y detalles de futuros puntos de conexión en la red eléctrica.

- Detalles generales y técnicos sobre la distribución espacial de la demanda en el nodo objetivo de la Empresa Promotora de Generación Distribuida (EPGD).
- d) El proponente tendrá un plazo de 90 días hábiles desde de la fecha de notificación del estudio del proyecto desarrollado por el distribuidor y la provisión de información técnica en la red, proporciona toda la investigación en los términos establecidos por el distribuidor a los puntos de conexión seleccionados por el proponente, y la base de información de la investigación técnica debe presentarse en un formato compatible con el software de análisis de red proporcionado al distribuidor.
- e) Dentro de los 15 días hábiles a partir de la fecha en que el proponente entregue todos los estudios técnicos, el distribuidor las analizará y establecerá las condiciones bajo las cuales la conexión de la CGD es factible.
- f) Para las CGDs con capacidad de potencia nominal igual o superior a 1 MW, el distribuidor podrá solicitar que el CENACE realice un estudio para determinar los requisitos operativos que debe cumplir la CGD, en este caso, el plazo de entrega será de 10 días hábiles adicionales para analizar la viabilidad de la conexión de la CGD.
- g) En cuanto a la viabilidad de la conexión, el distribuidor configurará los siguientes detalles:
- Es necesario realizar obras o ajustes en la red de distribución para conectar la CGD a la red de distribución.
 - La estructura de conexión de la CGD.
 - Las características del dispositivo de operación y protección requerido para la conexión de la instalación, algunas CGDs pueden tener protecciones integradas que el proponente debe comunicar adecuadamente al distribuidor para funciones de seguridad de la CDG y la red de distribución.

- Las condiciones de funcionamiento que debe cumplir una CGD durante el funcionamiento normal y en caso de avería en la red de distribución.
- h) En el lapso de los 10 días hábiles posteriores a que el distribuidor notifique al proponente la viabilidad de una conexión de la CGD, el proponente notificará al distribuidor si acepta o no las condiciones establecidas para la viabilidad de la conexión de la CGD.
- i) El distribuidor revisa los requisitos de viabilidad de la conexión en el orden en que se entregó.

5.2.2. Condiciones de despacho de una CDG

Las CGDs de potencia nominal situada que sea equivalente o superior a un (1) MW, van a ser prestas por el CENACE tomando en cuenta su precio variable de producción igual a cero y otras posiciones establecidas en la Regulación Nro. ARCERNNR 004/20, las CGDs de potencia nominal instalada menor a un (1) MW serán autodespachadas. La distribuidora considera estos escenarios de distribución como parte del análisis de factibilidad de conectividad para que cuando se comercialice la CGD, si la red de distribución está en buen estado, no habrá restricciones en la inyección de energía a la red de distribución.

En ausencia de la totalidad o parte de una o más secciones de la red que puede afectar una o diversas centrales de generación distribuida debido a un mantenimiento programado o eventos activados por terceros, una fuerza mayor u otros eventos adversos de situación inesperada donde la capacidad suministrada puede limitar la operación de las CGDs perjudicadas se deberá realizar lo siguiente:

- a) Los propietarios de las CGDs con una capacidad nominal instalada de 1 MW o superior deben trabajar con sus distribuidores para cumplir con las condiciones de distribución establecidas por el CENACE, de acuerdo con las condiciones aplicadas al procedimiento.

- b) Los propietarios de las CGDs con una capacidad nominal instalada menor a 1 MW deben cumplir con las condiciones de transmisión establecidas por la distribuidora.

5.3. Grandes consumidores

Se define como un gran consumidor a una persona natural o jurídica, que cuentan con características de uso energético identificadas por ARCONEL, y mediante la normativa le dan la facultad de comprar su propio generador o un generador automático privado, y la compra de electricidad para su suministro. (Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, 2015, p. 6)

Los consumidores definidos anteriormente que se encuentren en esta categoría de grandes consumidores están obligados a reportar al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) para la planificación, previsión de demanda y consideración en acuerdos bilaterales de compra de energía, de acuerdo con los formatos y condiciones establecidos por el portafolio estatal.

5.3.1. Derechos y obligaciones de los grandes consumidores

De acuerdo con el Reglamento General de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, los derechos de los grandes consumidores son:

- a) Firmar un convenio bilateral de venta de energía para el suministro de generadores habilitados para la producción propia de electricidad.
- b) Recibir el pago por transacciones comerciales a través de CENACE.
- c) Recibir la facturación de servicios públicos de alumbrado público y electricidad de acuerdo con las respectivas condiciones y formularios prescritos en la normativa.
- d) Recibir servicios eléctricos en conformidad con la normativa.
- e) Acceso libre a la red de transmisión y distribución siempre que haya la capacidad disponible.

- f) Ser atendido por distribuidores, CENACE y ARCONEL, para la resolución ante alguna queja, solicitud o consulta, con los debidos plazos y procesos que establece la ley aplicable.
- g) Ser compensado por los daños a los equipos por causas comprobadas que muestren relación con la prestación del servicio eléctrico.
- h) Ser comunicado de las interrupciones programadas de servicio. (p. 17)

En las obligaciones de los consumidores mayoristas se encuentran:

- a) Acceder por medio de un contrato de conexión con la entidad distribuidora o el transmisor según corresponda.
- b) Respetar el nivel de los indicadores técnicos establecidos como se especifica en el punto de conexión.
- c) Cumplir con las normativas dispuesta en referencia a los sistemas de medición en la parte comercial, sector de comunicaciones, generación de información, y otras determinadas en la normativa.
- d) Firmar el contrato del suministro de electricidad y respetar las disposiciones del contrato.
- e) Mantener el sistema de generación distribuida para proteger la operación y conexión de los sistemas eléctricos en términos de calidad, seguridad y confiabilidad.
- f) Emplear las fuentes de energía de forma eficiente.
- g) Cancelar las tasas totales del consumo energético, los costos de distribución, transmisión y alumbrado público de acuerdo con la normativa respectiva.
- h) Respetar las especificaciones técnicas por el organismo responsable de la estandarización en relación con el sistema eléctrico interno del cliente.
- i) El pago de contribuciones especiales para la mejora de las obras relacionadas con el alumbrado público y los sistemas de distribución no está incluido en el PME y existe una resolución ARCONEL al efecto.
- j) Asegurar el correcto uso y mantenimiento de los bienes pertenecientes al transmisor o distribuidor en el punto de contacto de los principales consumidores.

- k) Se adjudicará el costo de mano de obra o equipo para modificar, adaptar o adecuar el sistema de distribución para la conectividad, según lo determine la normativa respectiva.

5.3.2. Pliegos tarifarios

Referente a la ARCONEL está en sus asignaciones el llevar a cabo y aprobar los pliegos tarifarios del servicio eléctrico y del servicio de alumbrado público general (SAPG) anuales los cuales son aplicados a los clientes o usuarios finales, desde el estudio y fijación de los precios del servicio público de energía eléctrica y de los precios del SAPG.

Los pliegos tarifarios deberán contener por lo menos la composición de las tarifas eléctricas y cargos tarifarios para usuarios regulados, los peajes de transmisión, los peajes conforme a la distribución, y el lapso de aplicación. Las tarifas eléctricas aprobadas por la ARCONEL para el servicio público de energía eléctrica van a ser únicas a lo largo del territorio nacional, para cada tipo de consumidor, según sus propiedades de consumo y el nivel de voltaje al que se presta el servicio, con las excepciones establecidas en la LOSPEE. La metodología de fijación de los peajes en torno a la distribución o transmisión que deberán abonar los consumidores mayores o generadores automáticos se deberá tener en cuenta el inicio de tarifa exclusiva en los términos establecidos en el Reglamento que para su efecto sea emitido por la ARCONEL.

La ARCONEL podrá determinar tarifas especiales, donde tendrá que precautelar el desarrollo del sector industrial para el fomento de la eficiencia energética, para lo que, en caso de integrar subsidios tendrá que llevar a cabo la normativa vigente, y disponer de la autorización previa del ente rector de las finanzas públicas.

5.4. Eficiencia energética

La Constitución del Ecuador para un ambiente establece que el Estado promueve el uso de tecnologías amigables con el medioambiente y energías alternativas libres de contaminación y de bajo impacto en los sectores público y privado, en el cual, la soberanía energética no se logra a expensas de la soberanía alimentaria y no afecta a los recursos naturales. Un principio ambiental fundamental que determina el Estado es contar con un modelo de desarrollo sustentable, ambientalmente estable, respeta la diversidad cultural, protege la biodiversidad y la regeneración natural de los ecosistemas, satisfaciendo las necesidades de las generaciones presentes y de las próximas. (p. 114)

La eficiencia energética es el conjunto de actividades que permite optimizar la relación entre la implementación de diferentes prácticas de gestión, las costumbres pertenecientes a la comunidad y la inversión en tecnologías más eficientes sin comprometer el confort y la calidad de vida de las personas hacia algún perjuicio.

5.4.1. Uso eficiente de energía en tecnología fotovoltaica

La importancia de la eficiencia energética es proporcionar una técnica viable para la gestión del crecimiento en el consumo energético, por medio de la aplicación de estas metodologías de eficiencia energética se puede alcanzar grandes ahorros en la planilla del consumo eléctrico y, además, contribuir con la preservación y la mitigación de impactos negativos en el planeta.

La eficiencia energética es uno de los principios de la eficiencia económica, dadas las condiciones necesarias y en base a la perfecta combinación de los productos ofrecidos, las personas alcanzan un mayor nivel de bienestar y son eficientes en términos de visión energética frente a la producción y el consumo de energía.

El gobierno ecuatoriano se destaca en la implementación de una variedad de iniciativas alineadas con políticas públicas enfocadas en mejorar la eficiencia energética del sector eléctrico, estas iniciativas facilitan que las personas adopten nuevos hábitos de consumo, y la reducción de las emisiones de dióxido de carbono, cuya presencia en la atmósfera genera lo que se conoce como el efecto invernadero. Entre las estrategias empleadas para el uso eficiente de la energía se enfatizan la implementación de programas, planes y proyectos, la adopción de normas, políticas, reglamentos y pliegos tarifarios de eficiencia energética, y la elaboración de proyectos para mejorar la calidad y cobertura de los sistemas energéticos. (Eras, 2016, p. 26)

A nivel nacional, todos los consumidores de energía siempre deben asegurar de que su consumo esté dentro del uso razonable de energía, y a la vez, resulte el consumo dirigido hacia el ahorro energético sin los efectos negativos de degradación frente a las condiciones de confort y producción de electricidad.

La LOSPEE indica que el objetivo general de la eficiencia energética es obtener el mismo servicio o producto con el menor consumo de energía, especialmente en las siguientes situaciones:

- Impulsar la eficiencia de la economía y la sociedad en general, y particularmente del sistema eléctrico.
- Promover valores y acciones para el uso racional de los recursos energéticos e incitando el uso de energías renovables.
- Motivar el uso racional de la electricidad por parte de los usuarios finales o consumidores.
- Fomentar la reducción de los costes de producción por medio de la eficiencia energética para potenciar la competitividad.
- Reducir el uso de combustibles fósiles.
- Orientar y proteger los derechos de los consumidores o usuarios finales.

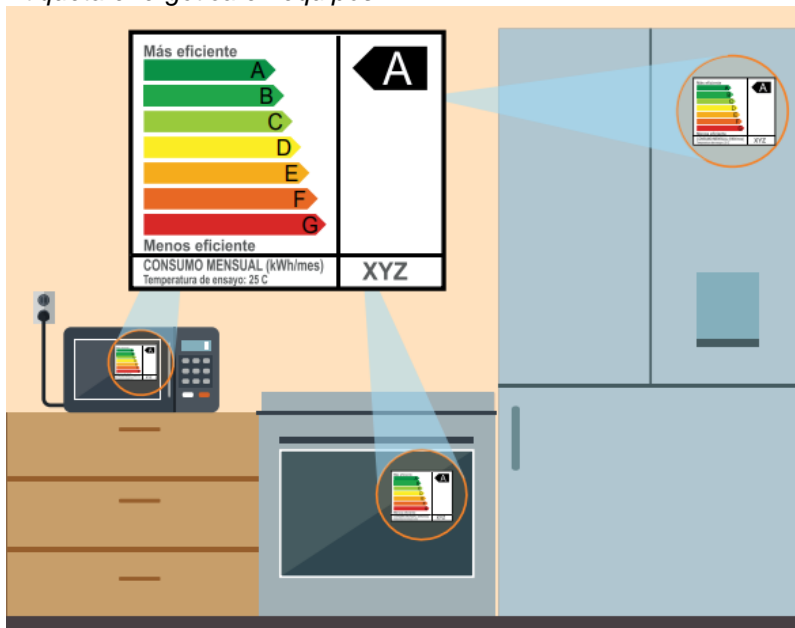
- Reducir el impacto medioambiental gestionando los sistemas energéticos de forma sostenible. (p. 22)

Las políticas y normas adoptadas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) para alcanzar los objetivos marcados en este factor apuntan a una mayor eficiencia en el uso de los recursos energéticos y el aprovechamiento de la electricidad por parte de los consumidores o usuarios finales. A través del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, el Estado promueve la eficiencia energética por medio de incentivos o sanciones según lo definido en las disposiciones generales de la ley y reglamentos relacionados.

5.4.2. Etiqueta de eficiencia energética

El programa de etiquetado de eficiencia energética es parte de una serie de medidas y estrategias que el gobierno ha desarrollado con éxito en temas energéticos y se considera una política moderna, estos tienen una perspectiva como un escudo para proteger la economía nacional asegurando el uso eficiente de los recursos. Las etiquetas de eficiencia energética son fichas de información o de clasificación que se adjuntan en los productos como maquinaria, electrodomésticos, vehículos, residencias, edificios, entre otros, que consta de un indicador que cuantifica el consumo de energía y el desempeño efectuado por el consumidor de energía, con el fin de proporcionar a los usuarios una información comparativa sobre el rendimiento como dato fundamental para la posible adquisición del objeto.

Figura 39
Etiqueta energética en equipos



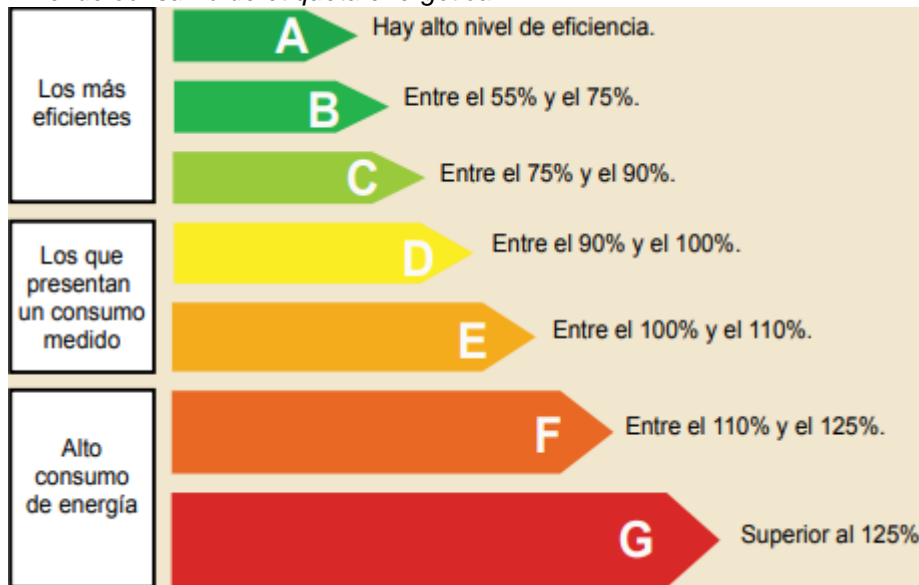
Nota: Adaptado de *Etiqueta energética*, de Eras, A., 2016, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

Un producto tiene adherido en su cubierta el grado de consumo de electricidad identificado por medio de un nivel de eficiencia energética, este es determinado utilizando una escala de 7 letras desde la A hasta la G, y en ciertas situaciones hay etiquetas con las letras A+, A++, A+++; donde a más signos positivos en la A, mayor es la eficiencia y ahorrará más energía, y con un indicador direccionado a la izquierda, que normalmente es una flecha de color negro donde marca la letra correspondiente al consumo energético, en cuanto más alto esté mejor resulta el producto, lo cual es mostrado en la Figura 39.

Los equipos categorizados como A, B o C consumen menos energía, mientras que un consumo medio se da en los equipos de una categoría de clase D y E, y el consumo de los equipos de tipo F y G es muy elevado. El rango depende del equipo etiquetado, y no todos funcionan del mismo modo, ni tampoco consumen igual cantidad de energía, actualmente en Ecuador sólo es permitido comercializar ciertos productos con clasificación A, en la Figura 40 es detallada la interpretación de cada etiqueta de eficiencia energética.

Figura 40

Nivel de consumo de etiqueta energética



Nota: Adaptado de *Interpretación de etiquetas de eficiencia energética*, de Eras, A., 2016, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

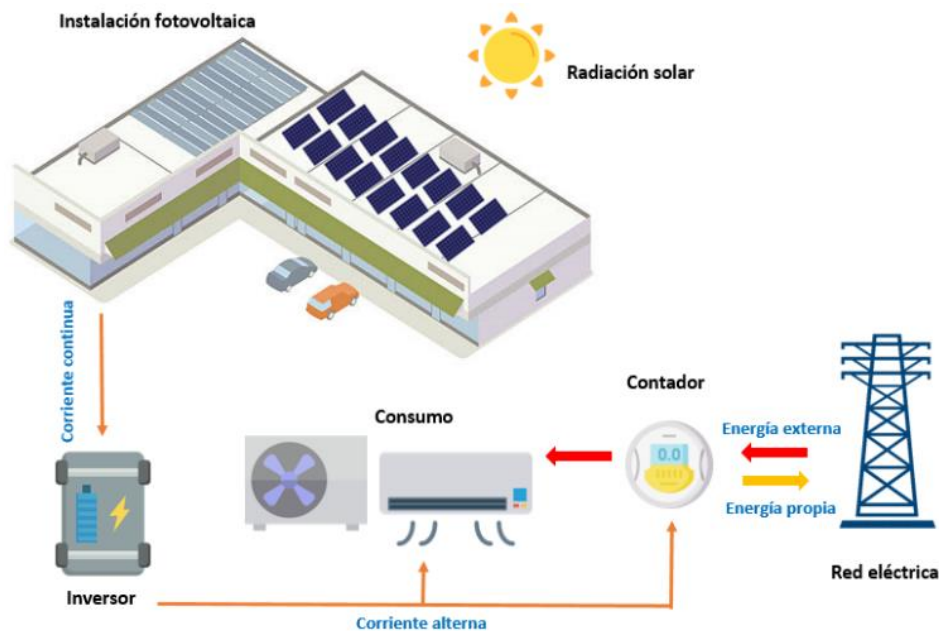
DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

En este capítulo se determina en primera parte el funcionamiento del sistema fotovoltaico, que mediante un esquema expone la operación entre los componentes y las cargas que se les va a suministrar energía eléctrica; por otra parte, es mostrado el plano arquitectónico donde se diseñará la planta, y luego se presenta la estimación del consumo energético anualmente.

6.1. Caracterización del proyecto

El aporte de la energía generada a través de los paneles solares es inyectado en las barras del tablero de distribución principal, dicha energía se complementa durante el día con la proveniente de la red para la energización de la central de aire de un área comunal del centro comercial mostrado en la Figura 41, y en caso de existir un excedente de la generación distribuida será devuelta a la red y la facturación se sustentará bajo el balance neto.

Figura 41
Operación de la planta fotovoltaica

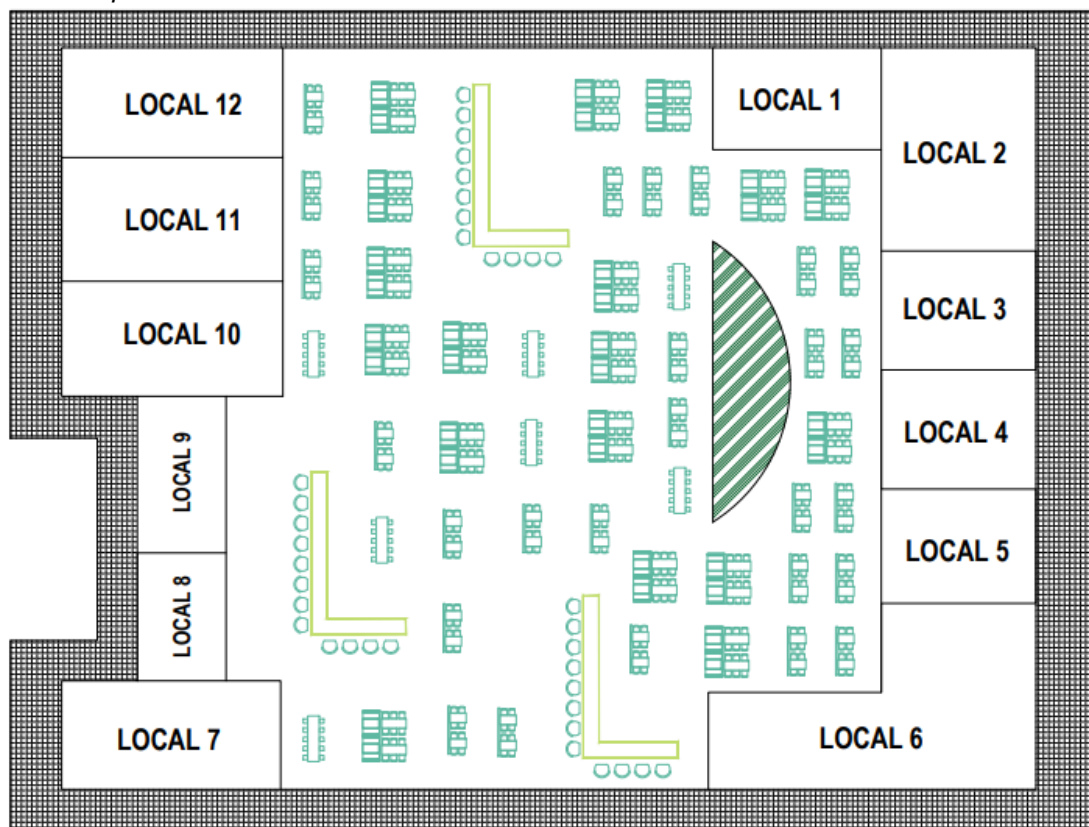


6.2. Topología del proyecto

El sitio seleccionado para el desarrollo del diseño del sistema fotovoltaico estará ubicado en el sector norte de la ciudad de Guayaquil, el inmueble tiene un área de 7.004,72 m², y las coordenadas decimales son de una latitud de -2.155 y una longitud de -79.894, y las coordenadas en UTM son 10 S 055974, 4282182.

La Figura 42 muestra el área comunal del centro comercial dividido en 12 locales de comida que cuentan con un sistema de climatización centralizado clase A, que indica una eficiencia energética alta, además, la terraza del inmueble presenta excelentes condiciones de radiación solar para el montaje de la planta fotovoltaica, lo cual permite la viabilidad del proyecto, la operación del sistema fotovoltaico es proveer energía eléctrica a la central de aire durante 12 horas desde las 6h00 hasta las 18h00, pasado de ese horario la carga es alimentada desde la red de distribución.

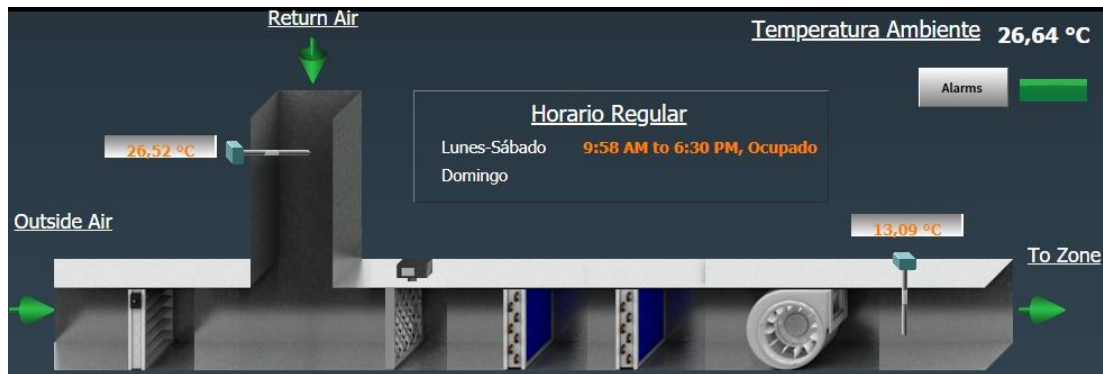
Figura 42
Plano arquitectónico del área comunal



6.3. Consumo de energía eléctrica

El aire acondicionado rooftop de 60 toneladas refrigerado por aire tiene un sistema de operación para una zona única, por lo tanto, es de tipo centralizado, cuya función principal indicada en la Figura 43, es tomar aire del exterior o también del interior, el cual es procesado por un sistema de filtros para limpiar el aire de partículas pequeñas como el polvo, luego es integrado a una unidad de serpentín de frío obteniendo la temperatura ideal para ser ingresada por un ventilador centrífugo y lograr climatizar el área comunal.

Figura 43
Funcionamiento de la central de aire



Los parámetros eléctricos de la unidad de aire acondicionado están en la Tabla 13, los cuales permitirán realizar una estimación de la carga desde el cálculo de la potencia del equipo por las horas de trabajo anual de la carga siendo un valor de 4692 h, con un horario operativo de lunes a sábado desde las 9h58 hasta las 18h30.

Tabla 13
Parámetros eléctricos de la central de aire

| | |
|------------------|---|
| Modelo | SAHLF6040P00C89D100100W0000000000000000 |
| Serie | C15J00050 |
| Voltaje nominal | 460 V |
| Corriente mínima | 142 A |
| Corriente máxima | 175 A |
| Potencia mínima | 90 kW |
| Potencia máxima | 111 kW |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Fase | 3 |
| Refrigerante | R410A |
| Presión | 650 Psig |

$$E = 90 \text{ W} \cdot 4.692 \text{ h} = 422.280 \text{ kWh}$$

En relación con el cálculo realizado para conocer el consumo anual de la central de aire se tiene un total de 422.280 kWh, para ello también se tomarán los registros de las planillas de facturación del servicio eléctrico con la finalidad de verificar si los datos empleados para la estimación de la carga no resultan erróneos.

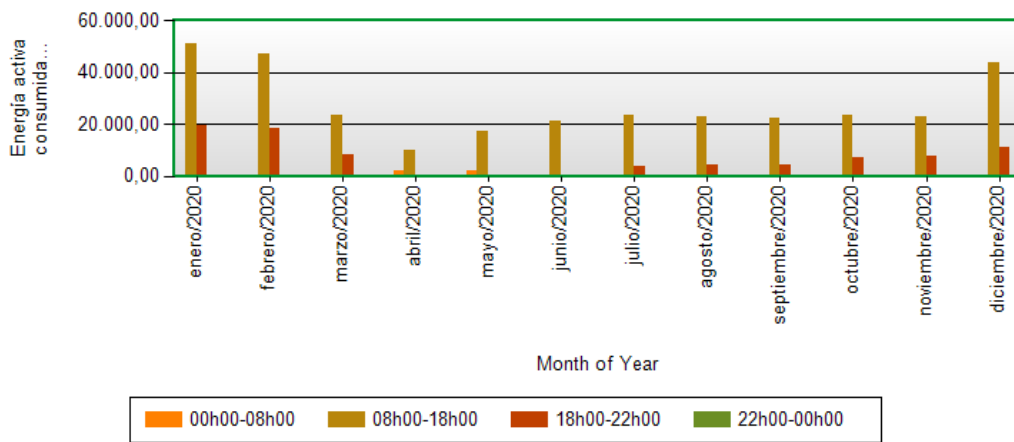
Por medio del acceso de la información correspondiente a las lecturas de los consumos energéticos generados por el sistema de climatización durante todo el año, se tiene en la Tabla 14 que la energía total consumida es 422.318,66 kWh, en comparación con el método de estimación de la carga resultó el mismo consumo de kWh con el alcance del período indicado, pero para el dimensionamiento de la planta fotovoltaica se toman los datos más confiables que son de las planillas eléctricas. En el análisis del uso de electricidad se concluye que el mes de enero alcanzó el más alto nivel de consumo de electricidad, a diferencia de los otros meses, a partir de marzo hasta noviembre por asunto pandemia lo cual efectuó la cancelación de actividades provocando no tener dispendios, luego de la reactivación del movimiento comercial se puede observar que en diciembre la energía fue ascendiendo a sus rangos normales de utilidad.

Tabla 14
Consumo de energía de la carga

| Mes | 0h00-8h00 (kWh) | 8h00-18h00 (kWh) | 18h00-22h00 (kWh) | 22h00-0h00 (kWh) | Total (kWh) |
|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------|
| enero/2020 | 408,60 | 51.089,74 | 19.476,66 | 147,21 | 71.122,21 |
| febrero/2020 | 399,45 | 47.033,96 | 18.624,15 | 126,96 | 66.184,52 |
| marzo/2020 | 256,05 | 23.771,25 | 8.055,29 | 76,43 | 32.159,02 |
| abril/2020 | 2.053,70 | 10.215,61 | 123,45 | 61,68 | 12.454,44 |
| mayo/2020 | 1.867,21 | 17.521,70 | 224,37 | 60,04 | 19.673,32 |
| junio/2020 | 234,71 | 21.157,43 | 243,34 | 57,34 | 21.692,82 |
| julio/2020 | 202,36 | 23.333,20 | 4.024,04 | 50,35 | 27.609,95 |
| agosto/2020 | 202,88 | 23.161,40 | 4.171,47 | 50,71 | 27.586,46 |
| septiembre/2020 | 196,53 | 22.575,03 | 4.125,76 | 48,60 | 26.945,93 |
| octubre/2020 | 222,87 | 23.306,33 | 6.937,98 | 45,78 | 30.512,96 |
| noviembre/2020 | 294,96 | 23.042,64 | 7.729,25 | 36,73 | 31.103,58 |
| diciembre/2020 | 231,25 | 43.769,35 | 11.214,52 | 58,32 | 55.273,44 |
| Total | 6.570,58 | 329.977,65 | 84.950,28 | 820,15 | 422.318,66 |

Para el análisis del estudio del consumo energético de las cargas fue considerado un rango de horas establecido en el pliego tarifario, en cuanto a la demanda dependiente a la hora diferenciada se tiene que el horario pico del servicio eléctrico es de 18h00 a 22h00, donde es reflejada una mayor operación de la central de aire en el área comunal, por lo tanto, en esa fracción horaria es donde se obtiene más operatividad en relación con el resto de los períodos como se muestra en la Figura 44.

Figura 44
Análisis del consumo eléctrico en un rango de horario



Con el uso de los datos proporcionados por el consumo energético de la carga durante los 12 meses, se tiene que el consumo anual de la instalación es de 422.318,66 kWh, y de acuerdo con las normativas vigentes en el país para el dimensionado del SGDA se debe calcular la capacidad nominal a instalar en la planta según una ecuación estipulada en la Regulación, obteniendo una capacidad nominal de 249,40 kW; sin embargo, haciendo una aproximación con los registros del consumo eléctrico anual se concluye que es posible aumentar una cierta potencia en la capacidad para que la energía producida por el generador fotovoltaico abastezca la alimentación de la central de aire, para ello se diseñará una planta solar de 300 kWp, pero tener en cuenta que la capacidad no sólo dependerá de un aporte del 100% para abastecer las cargas sino también del espacio disponible en el sitio.

$$\text{Capacidad nominal instalada} = \frac{422.318,66 \text{ kWh}}{0,1933 \cdot 8760 \text{ h}} = 249,40 \text{ kW}$$

6.4. Criterios para la selección de los componentes

Para la correcta selección de los componentes del sistema fotovoltaico es necesario requerir de criterios técnicos para obtener una operación segura y confiable de la planta, en correspondencia a ello no solamente se debe tomarlo en consideración sino también aplicar las medidas que permitirá lograr un máximo aprovechamiento del proyecto, y además extender la vida útil de los equipos.

- La Regulación 013/2021 decreta que la potencia máxima por instalar en la planta fotovoltaica para el sector comercial es 1 MW, y como se utilizará una capacidad de 300 kWp se encuentra en el rango estimado, por lo tanto, es viable el procedimiento referente a las normativas del proyecto.
- En el material de fabricación que está construido un panel fotovoltaico se escogerá el de silicio monocristalino porque al contener sólo cristal de silicio el rendimiento del panel es superior, y al mantener un estado alineado entre los átomos del material esto permite que incluya mejor conductividad.
- La estructura del arreglo fotovoltaico debe garantizar un anclaje estable ante la presencia de fuertes vientos, y hecho de hierro galvanizado para la protección de corrosividad.
- Para la capacidad del inversor es recomendable utilizar una potencia máxima o un poco mayor que la planta, con el propósito de que el inversor no esté sobrecargado, tenga una vida útil más prolongada, y la planta posea la capacidad de modular para posibles ampliaciones en el caso de que se necesite producir más energía.
- El medidor bidireccional debe ser capaz de realizar la medición de ambos flujos, para la energía vertida por la planta fotovoltaica y la energía consumida de la red eléctrica, debe medir energía activa y reactiva, frecuencia de operación de 60 Hz, almacenar la información mínimo cada 15 minutos, y período contado en referencia a un reloj de cuarzo tipo socket.

La Tabla 15 resume el dimensionamiento del sistema fotovoltaico donde incluye las coordenadas del centro comercial, y los parámetros eléctricos de la central de aire, con lo cual fue realizada la respectiva estimación para conocer el consumo anual de energía eléctrica y determinar la capacidad de la planta necesaria para suplir la demanda de la carga.

Tabla 15

Dimensionamiento de la planta fotovoltaica

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Localización | |
| Área | 7.004,72 m ² |
| Latitud | -2.155 |
| Longitud | -79.894 |
| Características de la carga | |
| Voltaje nominal | 460 V |
| Corriente máxima | 175 A |
| Potencia máxima | 111 kW |
| Fase | 3 |
| Consumo anual | 422.318,66 kWh |
| Capacidad de la planta | 300 kWp |

CAPÍTULO 7

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES FOTOVOLTAICOS

El diseño de un sistema fotovoltaico requiere una estimación de los efectos climáticos como la temperatura y radiación solar, aquellos son factores relevantes en un proyecto de generación distribuida debido a que permite la posibilidad de su desarrollo y poseer información que sustenta si será viable la inversión de la energía limpia, después se procede con la selección de los componentes de la instalación en relación con los cálculos que ayuden al dimensionamiento de la capacidad a instalar en la planta fotovoltaica.

7.1. Parámetros climáticos de la zona

Para determinar los valores de temperatura y de radiación solar incidentes en el sitio de la planta es utilizado el software Meteonorm que proporciona datos fiables por medio de herramientas de cálculo integradas que favorecen en el desarrollo de un diseño fotovoltaico, pero primordialmente se debe ingresar la información general de la ubicación del proyecto que es presentado en la Figura 45.

Figura 45
Información de la planta en Meteonorm

The screenshot shows a software window titled "Información del sitio" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into two main sections: "Información general" and "Detalles".

Información general

- Nombre: CENTRO COMERCIAL
- Tipo: Personalizado
- Coordenadas: WGS84
°N Lat °E Lon
- Altitud: m a.s.l.
- Huso horario (timezone): UTC
- Referencia de tiempo: min
- Situación: Situación abierta

Detalles

Esto es un sitio definido por el usuario.

At the bottom of the window, there are four buttons: "Salida / Puesta del sol" (with a sun icon), "Grabar", "Eliminar" (with a red X icon), and "Cancelar".

7.1.1. Temperatura

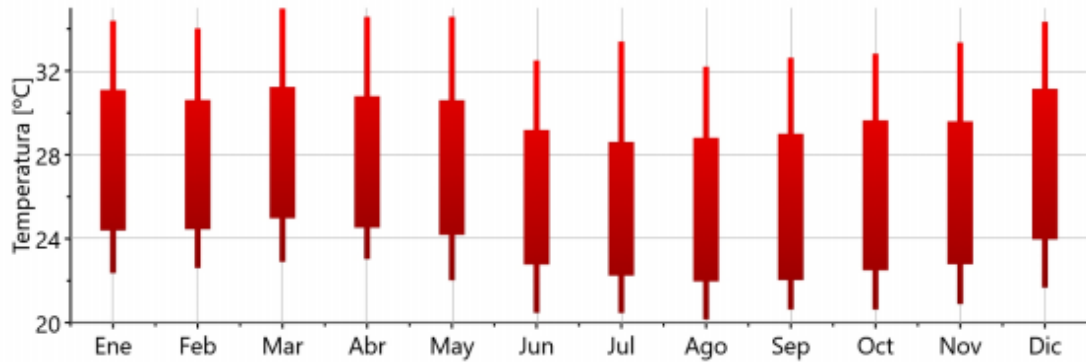
Las variaciones que surgen de la temperatura ocasionan que los parámetros presentes en un panel fotovoltaico sean alterados, por lo que disminuye la eficacia del panel, el software Meteonorm permite descargar los valores mensuales de temperatura originada en la zona de estudio como la temperatura del aire, temperatura mínima, temperatura media de las mínimas diarias y de las máximas diarias y temperatura máxima que indica la Tabla 16, y entre todos los datos de temperaturas, el que es utilizado en los cálculos por pérdidas es la temperatura de ambiente máxima representada por Ta max, debido a que está relacionada en los peores casos del clima para el rendimiento operativo de una planta fotovoltaica.

Tabla 16
Temperatura anual del sector

| Mes | Ta [°C] | Ta min [°C] | Ta dmin [°C] | Ta dmax [°C] | Ta max [°C] |
|------------|------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Enero | 27,5 | 22,4 | 24,5 | 31,0 | 34,4 |
| Febrero | 27,5 | 22,6 | 24,6 | 30,5 | 34,0 |
| Marzo | 27,9 | 22,9 | 25,1 | 31,1 | 35,0 |
| Abril | 27,9 | 23,0 | 24,7 | 30,7 | 34,6 |
| Mayo | 27,1 | 22,0 | 24,3 | 30,5 | 34,6 |
| Junio | 26,0 | 20,5 | 22,9 | 29,0 | 32,5 |
| Julio | 25,2 | 20,5 | 22,4 | 28,5 | 33,4 |
| Agosto | 25,1 | 20,1 | 22,1 | 28,7 | 32,2 |
| Septiembre | 25,6 | 20,6 | 22,2 | 28,9 | 32,6 |
| Octubre | 25,8 | 20,6 | 22,6 | 29,5 | 32,8 |
| Noviembre | 26,2 | 20,9 | 22,9 | 29,5 | 33,4 |
| Diciembre | 27,2 | 21,7 | 24,1 | 31,0 | 34,3 |
| Año | 26,6 | | | | |

La Figura 46 muestra las temperaturas máximas y mínimas concurrentes en la zona del estudio fotovoltaico, una comparación de los registros de la temperatura ambiente máxima superior durante todo el año es en el mes de marzo con 35 °C, de tal manera, que en ese período el panel solar tendrá un bajo rendimiento porque a temperaturas altas menor rendimiento en el módulo fotovoltaico, y a bajas temperaturas un mayor rendimiento, y a su vez, en marzo la temperatura puede descender a un mínimo de 22,9 °C, y una baja temperatura máxima se da en el mes de agosto que está demostrado en el indicador que presenta las variaciones de temperatura.

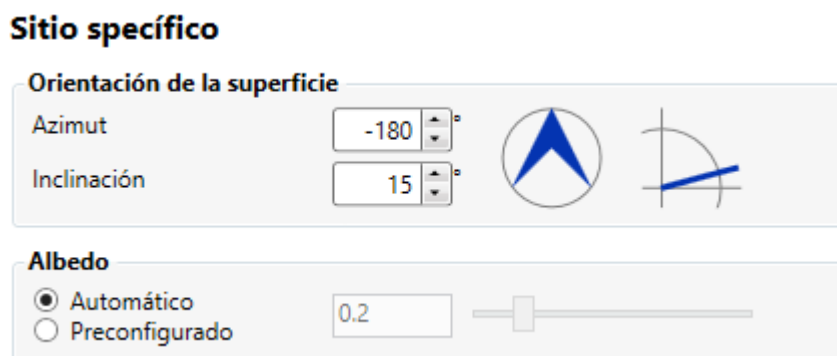
Figura 46
Temperatura ambiente mensual del sector



7.1.2. Cálculo de irradiación solar

Para determinar la irradiación solar incidente en el sector de estudio se debe analizar el ángulo de inclinación y de orientación de los paneles fotovoltaicos, el hecho de que el diseño de la planta fotovoltaica es dimensionado en la terraza del centro comercial, los paneles requieren de un ángulo de inclinación entre 10 a 15 grados, por asunto de mejor captación de energía solar y futuro mantenimiento en paneles es elegido un ángulo de 15°, para el ángulo acimutal se realizó una comparación entre la orientación del lado norte (180°) y el lado sur (0°) del arreglo fotovoltaico, en el Meteonorm de acuerdo a la radiación global de una superficie inclinada en el hemisferio sur se obtuvo un total de 1667 kWh/m², mientras en el norte 1689 kWh/m², en consecuencia, donde se recibe mayor radiación es en el lado norte, y esos parámetros son ingresados en el software para obtener la radiación de la zona indicado en la Figura 47.

Figura 47
Registro del ángulo α y β en Meteonorm



Para el cálculo de la hora solar pico al día, primero se tienen los valores mensuales de la radiación global proporcionados por el software, que serán divididos por el número de días para conocer la hora solar pico producida en el día de cada mes, todos esos cálculos pueden ser observados en la Tabla 17, donde se tiene que la radiación promedio anual es de 1689 kWh/m², por lo tanto, las horas de pico solares es de 4,64, esto representa el 19,33% del total de las horas del día, por lo que el factor de planta es de 0,1933.

Tabla 17

Cálculo de hora solar pico al día

| Mes | Días | Radiación azimut – 180 kWh/m ² mes | Radiación azimut – 180 kWh/m ² día |
|------------|------|--|--|
| Enero | 31 | 126 | 4,06 |
| Febrero | 28 | 137 | 4,89 |
| Marzo | 31 | 164 | 5,29 |
| Abril | 30 | 156 | 5,20 |
| Mayo | 31 | 157 | 5,06 |
| Junio | 30 | 137 | 4,57 |
| Julio | 31 | 123 | 3,97 |
| Agosto | 31 | 138 | 4,45 |
| Septiembre | 30 | 150 | 5,00 |
| Octubre | 31 | 147 | 4,74 |
| Noviembre | 30 | 126 | 4,20 |
| Diciembre | 31 | 132 | 4,26 |
| Total | | 1689 | 4,64 |

$$HSP = \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \cdot 126 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ mes}} = 4,06 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$$

$$HSP_{\text{prom}} = \frac{\Sigma HSP}{12} = \frac{55,69 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}}{12} = 4,64 \text{ kWh/m}^2 \text{ día}$$

$$\text{Factor}_{\text{planta}} = \frac{HSP_{\text{prom}}}{24} = \frac{4,64}{24} = 0,1933$$

7.2. Selección de los componentes

Para el diseño de una planta de producción de electricidad mediante conversión fotovoltaica, con una potencia pico igual a 300 kW se considera los siguientes elementos que de acuerdo con sus características técnicas permitirá producir especificada capacidad para el autoconsumo del usuario.

7.2.1. Paneles fotovoltaicos

En la planta cada generador fotovoltaico, entendido como un conjunto de módulos fotovoltaicos tendrá la misma pendiente y orientación, la planta está formada por 732 módulos de silicio monocristalino con potencia de 410 W de la marca Canadian Solar, con una vida útil estimada de más de 20 años y una degradación de la producción por envejecimiento del 0,8 % anual, las características del panel según el catálogo se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Características del panel fotovoltaico

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Marca | CSI Canadian Solar |
| Serie | HiDM CS1U-410MS-1500 V |
| Material | Silicio monocristalino |
| Características eléctricas | |
| Potencia máxima | 410 W |
| Eficiencia | 19,9% |
| Voltaje nominal | 44,5 V |
| Voltaje sin carga | 53,6 V |
| Corriente nominal | 9,2 A |
| Corriente de cortocircuito | 9,7 A |
| Dimensiones | |
| Tamaño | 992 mm x 2078 mm |
| Peso | 23,4 kg |

$$N_{\text{paneles}} = \frac{300.000}{410} = 731,7 = 732$$

El cálculo de la distancia entre las filas de los paneles solares es determinado mediante la siguiente fórmula:

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

$$d = 2,078 \cdot \left(\frac{\text{sen } 15}{\tan 64,35} + \cos 15 \right) = 2,26 \text{ m}$$

$$d = (90^\circ - \text{latitud del lugar}) - 23,5^\circ$$

$$d = (90^\circ - 2,155) - 23,5^\circ = 64,35^\circ$$

En la situación de no tener suficiente espacio disponible para la distribución de la planta se puede optar la distancia del arreglo fotovoltaico conforme a la separación mínima que puede darse entre las filas de los paneles solares aplicada a la continua ecuación:

$$Z = l \cdot \text{sen } \beta$$

$$Z = 2,078 \cdot \text{sen } 15 = 0,537 \text{ m}$$

$$d1 = d - d2$$

$$d = 2,26 - \left(\frac{0,537}{\tan 15} \right) = 0,25 \text{ m}$$

A pesar de que la separación mínima entre las filas de los paneles es 0,25 m, esa distancia no resulta factible por asunto de los mantenimientos periódicos que se le debe dar a una planta fotovoltaica, por ello, la distancia de separación es de 2 m.

7.2.2. Inversor

El sistema de conversión consta de 5 inversores, se debe considerar que la conversión producirá pérdidas y es ideal tener una capacidad mayor que la planta, puesto que al otorgar al sistema fotovoltaico 5 inversores de 62 kW se estaría generando una capacidad de 310 kW, que resulta óptimo por rendimiento y futuras ampliaciones de la planta, el convertidor DC/AC es apto para la transferencia de energía desde el campo fotovoltaico a la red del distribuidor, los valores de tensión y corriente de entrada son compatibles con los del campo fotovoltaico, mientras que los valores de tensión de salida y frecuencia de salida son compatibles con los de la red conectada al sistema. La Tabla 19 detalla las características del inversor, donde los factores del inversor son confiabilidad y garantía, la potencia del inversor depende del stock, y la capacidad total de los inversores debe ser igual o mayor a la capacidad de la planta fotovoltaica, el voltaje de salida será el mismo voltaje

de la carga a alimentar o un rango de tolerancia del voltaje que opera la red de la central de aire que es de 460 V.

Tabla 19

Características del inversor

| | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Marca | SMA Solar Technology |
| Serie | Sunny Tripower CORE1 STP 62 US 41 |
| Trackers | 6 |
| Entradas por tracker | 2 |
| Características eléctricas | |
| Potencia nominal | 62 kW |
| Potencia máxima | 62,5 kW |
| Potencia máxima por tracker | 15,4 kW |
| Voltaje nominal | 550 V |
| Voltaje máximo | 1000 V |
| Voltaje mínimo por tracker | 150 V |
| Voltaje máximo por tracker | 1000 V |
| Voltaje nominal de salida | 277 Vac |
| Corriente nominal | 79,5 A |
| Corriente máxima | 20 A |
| Corriente máxima por tracker | 30 A |
| Eficiencia | 0,984 |

$$N_{inv} = \frac{C_{planta}}{C_{inv}}$$

$$N_{inv} = \frac{300.000}{62.000} = 4,83 = 5$$

$$N_{módulos-serie} = \frac{800}{44,5} = 17,97 = 18 \text{ paneles}$$

$$N_{módulos-paralelo} = \frac{20}{9,7} = 2,06 = 2 \text{ strings}$$

En cada inversor se conectará un grupo de módulos fotovoltaicos con un máximo de 18 paneles en serie, y 2 strings, dependiendo de esos límites serán agrupados los paneles solares, para ello en la Tabla 20 se establece la cantidad de paneles por inversor considerando también el área a ocupar en la cubierta del centro comercial que permita un correcto diseño de la distribución de los paneles fotovoltaicos.

Tabla 20*Distribución de paneles fotovoltaicos*

| Componente | MPPT 1 | MPPT 2 |
|---------------------|--------|--------|
| Inversor 1 | | |
| Módulos en serie | 18 | 14 |
| Strings en paralelo | 5 | 4 |
| Nº módulos | 90 | 56 |
| Inversor 2 | | |
| Módulos en serie | 17 | 16 |
| Strings en paralelo | 4 | 5 |
| Nº módulos | 68 | 80 |
| Inversor 3 | | |
| Módulos en serie | 18 | 14 |
| Strings en paralelo | 5 | 4 |
| Nº módulos | 90 | 56 |
| Inversor 4:5 | | |
| Módulos en serie | 18 | 14 |
| Strings en paralelo | 5 | 4 |
| Nº módulos | 90 | 56 |
| Inversor 5 | | |
| Módulos en serie | 18 | 14 |
| Strings en paralelo | 5 | 4 |
| Nº módulos | 90 | 56 |

En cada inversor por los 6 trackers es permitido hasta 12 entradas, multiplicando la cantidad de tracker por las entradas del mismo, por lo tanto, los 5 inversores utilizarán individualmente 9 entradas, lo cual está en el rango de la cantidad de entradas. En unos cuantos inversores se tiene string de 18 módulos fotovoltaicos conectados en serie, al multiplicar el número de paneles correspondientes a un string por el voltaje del circuito abierto del panel no deberá exceder de los 1.000 V, en caso contrario, se quema el inversor a causa de sobretensión, un ejemplo de este problema es dado con el cálculo de la cantidad de 19 paneles conectados en serie que produce 1.018,4 V, sobrepasando el voltaje máximo de entrada.

$$ET_{\text{tracker}} = 6 \cdot 2 = 12$$

$$V_{\text{string}} = N_{\text{módulos-serie}} \cdot V_{\text{OC MPP}}$$

$$V_{\text{string}} = 18 \cdot 53,6 \text{ V} = 964,8 \text{ V}$$

$$V_{\text{string}} = 19 \cdot 53,6 \text{ V} = 1.018,4 \text{ V}$$

El total de cada grupo de arreglo fotovoltaico que incluye por inversor deberá resultar un valor que llegue a la capacidad nominal del inversor, que es a 62 kW, pero que no sea sumamente inferior porque no sería eficiente producir poca energía eléctrica para un inversor de mayor potencia.

$$C_{MPP-Inv} = N_{MPP-Inv} \cdot P_{MPP}$$

$$C_{MPP-Inv} = 146 \cdot 410 \text{ W} = 59,86 \text{ kW}$$

7.2.3. String box y seccionadores

La función principal es la de proveer la protección en corriente continua a determinado número de arreglos, así como el seccionamiento de los mismos, se incluye fusibles de 12 A tipo gPV para sistemas fotovoltaicos, tanto para las agrupaciones positivas como negativas, los cuales trabajan con tensiones de hasta 1.000 Vdc, y también seccionadores de 12 A en corriente continua.

$$I_{PDC} = I_{SC} \cdot F$$

$$I_{PDC} = 9,70 \text{ A} \cdot 1,25 = 12,13 = 12 \text{ A}$$

7.2.4. Protección eléctrica de corriente alterna

En las protecciones de corriente alterna se tiene que para la protección y desconexión de cada uno de los inversores conectados a la barra de distribución se utilizan interruptores termomagnéticos de 3 polos 125 A, y el breaker principal del grupo de inversores es de 3 polos 500 A de acuerdo con el estándar comercial.

$$I_{PAC} = I_{InvAC} \cdot F$$

$$I_{PAC} = 79,5 \text{ A} \cdot 1,25 = 99,38 = 125 \text{ A}$$

$$I_{PT AC} = I_{Inv AC} \cdot N_{Inv} \cdot F$$

$$I_{PT AC} = 79,5 \text{ A} \cdot 5 \cdot 1,25 = 496,88 = 500 \text{ A}$$

7.2.5. Conductores

Los conductores para la conexión de los paneles a las string box son de cobre tipo PV para instalaciones fotovoltaicas, cable único construido por ELECTROCABLES, resistentes al calor, luz solar, humedad o abrasión, y con una sección adecuada para evitar las caídas de tensión, en el Anexo 3 está incluido el calibre de los conductores según la corriente. El cableado desde la salida en corriente alterna del inversor hacia el tablero de protecciones de la central de aire también debe ser resistente a intemperie y el conductor es de THHN, 3 conductores para las fases y 1 de menor calibre para la tierra, en la parte de corriente continua la sección a utilizar debe ser la suficiente para que la caída de tensión sea inferior al 3%.

$$S_1 = 6 \text{ mm}^2$$

$$S_2 = 25 \text{ mm}^2$$

$$S_3 = 85 \text{ mm}^2$$

7.2.6. Medidor bidireccional

El medidor bidireccional diseñado en la planta fotovoltaica es de tipo socket y tiene una conexión indirecta, es de Clase 20 a un voltaje nominal de 120 V/480 V con fase trifásica, corriente nominal de 2,5 A y una corriente máxima de 20 A, la configuración de este equipo mostrará con una flecha hacia la derecha la energía consumida desde la red de distribución, y la flecha hacia la izquierda cuando se aporta energía desde el generador fotovoltaico. La Regulación ARCONEL – 001/16, indica que para el sistema de medición se deberá incluir un transformador que deberá estar conectado a tierra

mediante una varilla de Copperweld de 1,5 m con un diámetro de 5/8", donde el transformador de corriente está incluido dentro del aire acondicionado.

7.3. Rendimiento del sistema fotovoltaico

El performance ratio (PR) permite estimar mediante un factor la eficiencia y calidad que tiene un sistema fotovoltaico, el cual es realizado por medio del análisis de todas las pérdidas presentes en la instalación, para lo cual se tendrá en cuenta las encontradas en la temperatura, cableado, por polución, efecto Mismatch o mal acoplamiento, por seguimiento de punto de máxima potencia que hace el inversor y el inversor.

7.3.1. Pérdidas por temperatura

La Tabla 21 muestra las pérdidas que puede alcanzar el efecto de temperatura, entonces, para el cálculo del rendimiento de la temperatura se considera los valores de la temperatura de la celda solar, la temperatura del ensayo en un panel y las pérdidas de coeficiente de la temperatura en la celda fotovoltaica, y para el cálculo de la temperatura de la celda se establece la temperatura ambiente del sitio, la irradiancia y la temperatura de operación en condiciones normales de la celda.

Tabla 21
Rendimiento mensual de temperatura

| Mes | T ambiente | I (W/m ²) | TNOC | T célula | T ensayo panel | Pérdidas %/°C | Rto T |
|------------|------------|-----------------------|------|----------|----------------|---------------|--------|
| Enero | 34,40 | 1000 | 45 | 65,65 | 25,00 | 0,35 | 85,77% |
| Febrero | 34,00 | 1000 | 45 | 65,25 | 25,00 | 0,35 | 85,91% |
| Marzo | 35,00 | 1000 | 45 | 66,25 | 25,00 | 0,35 | 85,56% |
| Abril | 34,60 | 1000 | 45 | 65,85 | 25,00 | 0,35 | 85,70% |
| Mayo | 34,60 | 1000 | 45 | 65,85 | 25,00 | 0,35 | 85,70% |
| Junio | 32,50 | 1000 | 45 | 63,75 | 25,00 | 0,35 | 86,44% |
| Julio | 33,40 | 1000 | 45 | 64,65 | 25,00 | 0,35 | 86,12% |
| Agosto | 32,20 | 1000 | 45 | 63,45 | 25,00 | 0,35 | 86,54% |
| Septiembre | 32,60 | 1000 | 45 | 63,85 | 25,00 | 0,35 | 86,40% |
| Octubre | 32,80 | 1000 | 45 | 64,05 | 25,00 | 0,35 | 86,33% |
| Noviembre | 33,40 | 1000 | 45 | 64,65 | 25,00 | 0,35 | 86,12% |
| Diciembre | 34,30 | 1000 | 45 | 65,55 | 25,00 | 0,35 | 85,81% |

$$T \text{ célula} = T \text{ ambiente} + \left[\text{Irradiancia} \cdot \left(\frac{\text{TNOC} - 20}{800} \right) \right]$$

$$T \text{ célula} = 34,40 + \left[1000 \cdot \left(\frac{45 - 20}{800} \right) \right] = 65,65$$

$$\text{Rto T} = \frac{100 - [(T \text{ célula} - T \text{ ensayo panel}) \cdot \text{Pérdidas \%}/^{\circ}\text{C}]}{100}$$

$$\text{Rto T} = \frac{100 - [(65,65 - 25) \cdot 0,35]}{100} = 0,8577 = 85,77\%$$

7.3.2. Pérdidas por cableado

En el apartado correspondiente al dimensionamiento de la sección del cable del diseño fotovoltaico era necesario tener en cuenta las pérdidas expuestas en la instalación, de acuerdo con el cálculo establecido para la sección del cableado de las conexiones con cada uno de los componentes fotovoltaicos se obtuvo una pérdida en este elemento del 1% mostrado en la Tabla 22.

Tabla 22

Rendimiento del cableado

| Mes | Rto cab |
|------------|---------|
| Enero | 99,00% |
| Febrero | 99,00% |
| Marzo | 99,00% |
| Abril | 99,00% |
| Mayo | 99,00% |
| Junio | 99,00% |
| Julio | 99,00% |
| Agosto | 99,00% |
| Septiembre | 99,00% |
| Octubre | 99,00% |
| Noviembre | 99,00% |
| Diciembre | 99,00% |

7.3.3. Pérdidas por polución

Las pérdidas incidentes por la polución se deben a la acumulación de la suciedad en los paneles solares y el polvo situado en la superficie del arreglo fotovoltaico, aquello perjudica la potencia del generador fotovoltaico reduciéndola, por lo que evita que la radiación sea recibida por la célula solar,

y la instalación no va a producir la energía eléctrica para el autoabastecimiento de la central de aire. Una solución para disminuir las pérdidas efectuadas por la polución es definir un mantenimiento programado para la limpieza de los paneles fotovoltaicos, en la Tabla 23 se detalla el rendimiento de la polución que es un 97% siendo considerado un valor de pérdida debido a la polución independientemente de un factor ambiental, procesos biológicos, actividad humana y demás, la pérdida de polución será un valor referencial del 3%.

Tabla 23

Pérdidas por polución

| Mes | Rto pol |
|------------|---------|
| Enero | 97,00% |
| Febrero | 97,00% |
| Marzo | 97,00% |
| Abril | 97,00% |
| Mayo | 97,00% |
| Junio | 97,00% |
| Julio | 97,00% |
| Agosto | 97,00% |
| Septiembre | 97,00% |
| Octubre | 97,00% |
| Noviembre | 97,00% |
| Diciembre | 97,00% |

7.3.4. Pérdidas por efecto Mismatch

El efecto Mismatch surge por diferentes situaciones, una es que los paneles solares no poseen iguales propiedades, donde la celda solar que tiene una baja corriente al ser conectada en serie con otra delimita la corriente que circula en serie por los paneles, y lo mismo sucede con el voltaje en una conexión paralela; también este efecto es dado cuando los paneles solares operan en distintas condiciones.

En el diseño se garantiza un arreglo fotovoltaico que va acorde a sus parámetros eléctricos, entonces, cada conjunto proporcionará propiedades idénticas que conllevan a la disminución de las pérdidas en la unión de los módulos fotovoltaicos, y en este ordenamiento son considerados valores entre el 0,3 hasta el 1%, en la Tabla 24 para las pérdidas Mismatch se reconoce una pérdida del 1%.

Tabla 24*Rendimiento por dispersión*

| Mes | Rto dis |
|------------|---------|
| Enero | 99,00% |
| Febrero | 99,00% |
| Marzo | 99,00% |
| Abril | 99,00% |
| Mayo | 99,00% |
| Junio | 99,00% |
| Julio | 99,00% |
| Agosto | 99,00% |
| Septiembre | 99,00% |
| Octubre | 99,00% |
| Noviembre | 99,00% |
| Diciembre | 99,00% |

7.3.5. Pérdidas por rendimiento del punto de máxima potencia

A causa de la variación en la irradiación, en el sistema fotovoltaico se eligen inversores con similares características técnicas, dependiendo de los paneles fotovoltaicos adaptados en la conexión paralela y serie deberá consumir por string un 5% menos o igual al voltaje máximo que soporta el inversor, en relación con esa agrupación el conjunto de paneles solares deberá consumir menor o igual potencia del inversor; de tal modo, que adaptan la curva proveniente del panel solar y con un parámetro selecto que permita siempre mantener en el pico de la máxima potencia de la planta fotovoltaica, impidiendo de tal manera un déficit en su rendimiento, debido a esta primacía es considerable una pérdida del 1% dada por el fabricante como se puede observar en la Tabla 25.

Tabla 25*Rendimiento punto de máxima potencia*

| Mes | Rto pmp |
|------------|---------|
| Enero | 99,00% |
| Febrero | 99,00% |
| Marzo | 99,00% |
| Abril | 99,00% |
| Mayo | 99,00% |
| Junio | 99,00% |
| Julio | 99,00% |
| Agosto | 99,00% |
| Septiembre | 99,00% |
| Octubre | 99,00% |
| Noviembre | 99,00% |
| Diciembre | 99,00% |

7.3.6. Pérdidas en el inversor

Estas pérdidas se dan cuando el inversor transforma una corriente continua a alterna, la estimación de la pérdida es originada por el fabricante con un rendimiento del 98,4%, y por otro parte conectado en el inversor antes del funcionamiento a la espera de establecer el nivel de potencia es de 99,7% que se muestra en la Tabla 26.

Tabla 26

Rendimiento del inversor

| Mes | Rto inv | Rto con |
|------------|---------|---------|
| Enero | 98,4% | 99,70% |
| Febrero | 98,4% | 99,70% |
| Marzo | 98,4% | 99,70% |
| Abril | 98,4% | 99,70% |
| Mayo | 98,4% | 99,70% |
| Junio | 98,4% | 99,70% |
| Julio | 98,4% | 99,70% |
| Agosto | 98,4% | 99,70% |
| Septiembre | 98,4% | 99,70% |
| Octubre | 98,4% | 99,70% |
| Noviembre | 98,4% | 99,70% |
| Diciembre | 98,4% | 99,70% |

Después de que todas las pérdidas de un sistema fotovoltaico hayan sido determinadas se procede a realizar el cálculo del performance ratio, de acuerdo con lo presentado en la Tabla 27 para el rendimiento de la instalación se multiplica todos los valores de las pérdidas efectuadas en cada mes, y el rendimiento anual es obtenido de la suma del PR para los 12 meses.

Tabla 27

Rendimiento del sistema fotovoltaico

| Mes | Rto T | Rto cab | Rto pol | Rto dis | Rto pmp | Rto inv | Rto con | Rto otros | PR |
|------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| Enero | 85,77% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,41% |
| Febrero | 85,91% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,53% |
| Marzo | 85,56% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,21% |
| Abril | 85,70% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,34% |
| Mayo | 85,70% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,34% |
| Junio | 86,44% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 79,01% |
| Julio | 86,12% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,73% |
| Agosto | 86,54% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 79,11% |
| Septiembre | 86,40% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,98% |
| Octubre | 86,33% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,92% |
| Noviembre | 86,12% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,73% |
| Diciembre | 85,81% | 99,00% | 97,00% | 99,00% | 99,00% | 98,4% | 99,70% | 99,00% | 78,44% |
| | | | | | | | | PR anual | 78,65% |

Conforme al dimensionamiento de las planillas del servicio eléctrico resultó una planta solar fotovoltaica de 300 kWp, aquello es confirmado según los datos de los componentes del sistema fotovoltaico que son el panel solar y el inversor, anteriormente mencionado, se consideró un inversor de mayor capacidad debido a las incidentes pérdidas en el mismo.

$$C_{\text{planta}} = N_{\text{paneles}} \cdot P_{\text{MPP}}$$

$$C_{\text{planta}} = 732 \cdot 410 \text{ W} = 300 \text{ kWp}$$

$$C_{\text{planta}} = N_{\text{inv}} \cdot C_{\text{inv}}$$

$$C_{\text{planta}} = 5 \cdot 62 \text{ kW} = 310 \text{ kWp}$$

De acuerdo con los cálculos realizados a partir de la selección de las características de los componentes empleados en un sistema fotovoltaico como el panel solar, el inversor, las protecciones para corriente continua y alterna, el cableado para la conexión de los elementos y el rendimiento de la planta es detallado en la Tabla 28.

Tabla 28
Características de los componentes fotovoltaicos

| | | | |
|------------------------------------|---|-------------------------|--------|
| Panel fotovoltaico | | | |
| Orientación | -180° | Inclinación | 15° |
| HSP promedio | 4,64 kWh/m ² día | Factor de planta | 0,1933 |
| Número paneles | 732 | Distancia de paneles | 2 m |
| Número módulos-serie | 18 | Número módulos paralelo | 2 |
| Eficiencia módulo | 19,9% | | |
| Inversor | | | |
| Número inversores | 5 | Entradas tracker | 12 |
| Voltaje máximo string | 964,8 V | Eficiencia | 98,4% |
| Fusibles y seccionadores DC | | | |
| Corriente | 12 A | | |
| Breakers AC | | | |
| I breaker secundario | 125 A | I breaker principal | 500 A |
| Conductores | | | |
| Panel fotovoltaico | #10 – Cobre – PV | | |
| Inversor | 3C #3 – Cu – THHN + 1C #4 – Cu – THHN | | |
| Breaker principal - trafo | 3C #4/0 – Cu – THHN + 1C #3/0 – Cu – THHN | | |
| Performance ratio anual | 78,65% | | |

CAPÍTULO 8

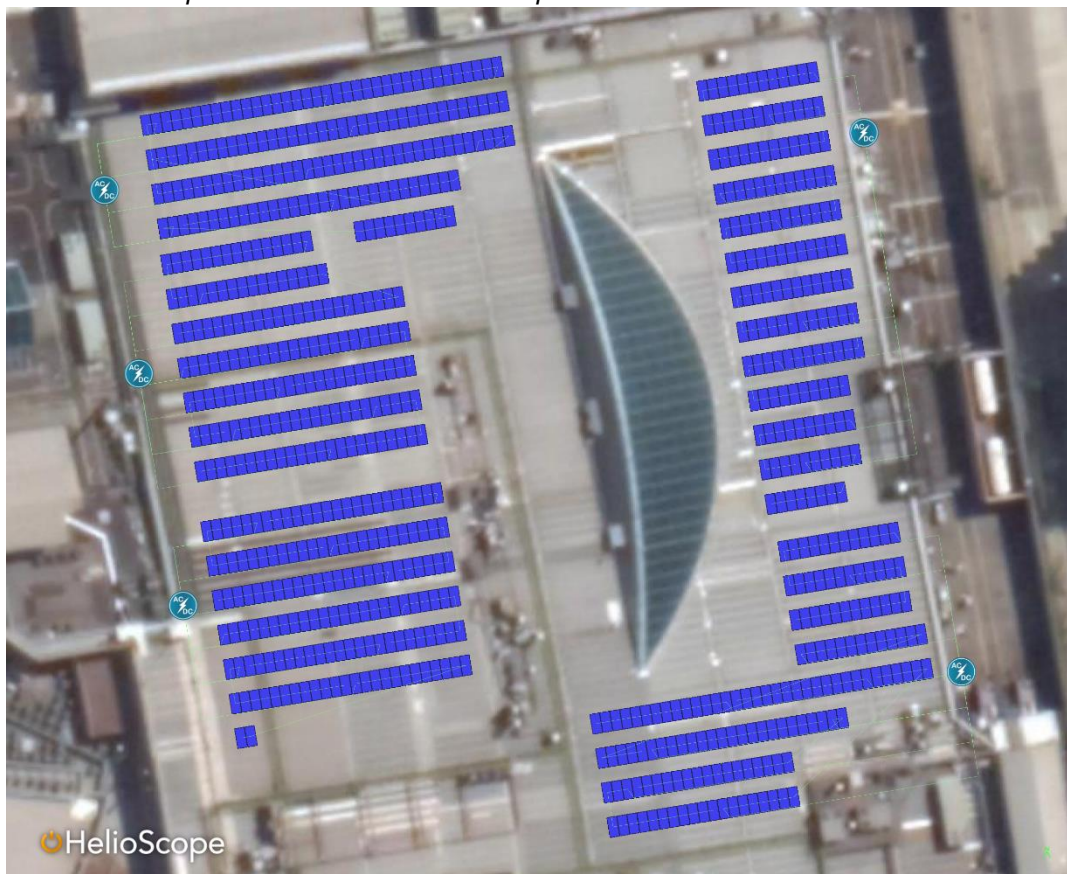
DISEÑO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

8.1. Descripción del sistema fotovoltaico

La planta fotovoltaica de acuerdo con la agrupación establecida de los paneles solares por inversor, con una orientación hacia el hemisferio norte y un espaciado de 2 m entre las filas de los paneles, la superficie del área comunal incluye una totalidad de 732 módulos fotovoltaicos, donde 1 inversor tiene 148 módulos, y los restantes cada uno cuenta con 146 mostrado en la Figura 48.

Figura 48

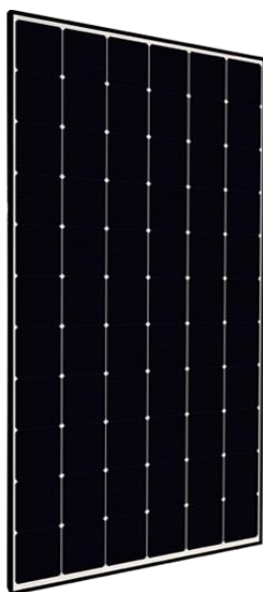
Diseño de una planta fotovoltaica de 300 kWp



Para la transformación de la energía solar en energía eléctrica se utilizan paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino CS6K-MS de la marca

Canadian Solar como se muestra en la Figura 49, estos paneles tienen una eficiencia de cada módulo de 19,9% de clase A, y son resistentes a una temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, en la presencia de nieve soporta hasta 5.400 Pa , y para el viento hasta 2.400 Pa ; además, tienen una vida útil de 25 años, el período estimado que funcionará en las adecuadas condiciones la planta fotovoltaica, en el Anexo 4 se muestra la ficha técnica del panel solar.

Figura 49
Panel HiDM CS1U de 410 W



Para convertir la corriente continua procedente de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna se emplean 5 inversores de la marca SMA Solar Technology presentado en la Figura 50, cuya ficha técnica puede ser verificada en la página web de la marca del equipo SMA Solar Technology de un inversor Sunny Tripower CORE1 STP 62-US-41, cada inversor posee una potencia de 62 kW , tienen 12 seguidores de paneles, con la finalidad de distribuir el campo fotovoltaico en unidades independientes que aseguren un mayor porcentaje de funcionamiento, en el caso de averías o posibles incidencias en la instalación, por consiguiente, garantiza una generación óptima de energía eléctrica en cada string, e incluso ante el efecto de sombras, con una eficiencia del $98,4\%$, y de acuerdo al indicador de eficiencia energética es de clase A.

Figura 50
Inversor CORE1-US de 62 kW



El diagrama unifilar de la planta fotovoltaica incluido en la Figura 51, contiene la distribución de los paneles fotovoltaicos con su respectivo inversor, y con las protecciones tanto en corriente continua como alterna de los componentes para la alimentación de la central de aire en una acometida trifásica con un voltaje de 460 V, la distribución del campo fotovoltaico es realizada mediante la siguiente manera:

- Agrupación de 148 paneles de 410 W, con 9 grupos en paralelo, de los cuales 4 grupos tienen 17 paneles en serie, y 5 grupos incluyen 16 paneles en serie conectados a un inversor de 62 kW.
- Agrupación de 146 paneles de 410 W, con 9 grupos en paralelo de los cuales 5 grupos tienen 18 paneles en serie, y 4 grupos cuentan con 14 paneles en serie conectados a un inversor de 62 kW, este tipo de modelado abarca los 4 inversores restantes.

Los fusibles y los seccionadores son protecciones de corriente continua, los fusibles de 12 A situados entre los módulos fotovoltaicos y la corriente continua del inversor, mientras que los breakers de protección en

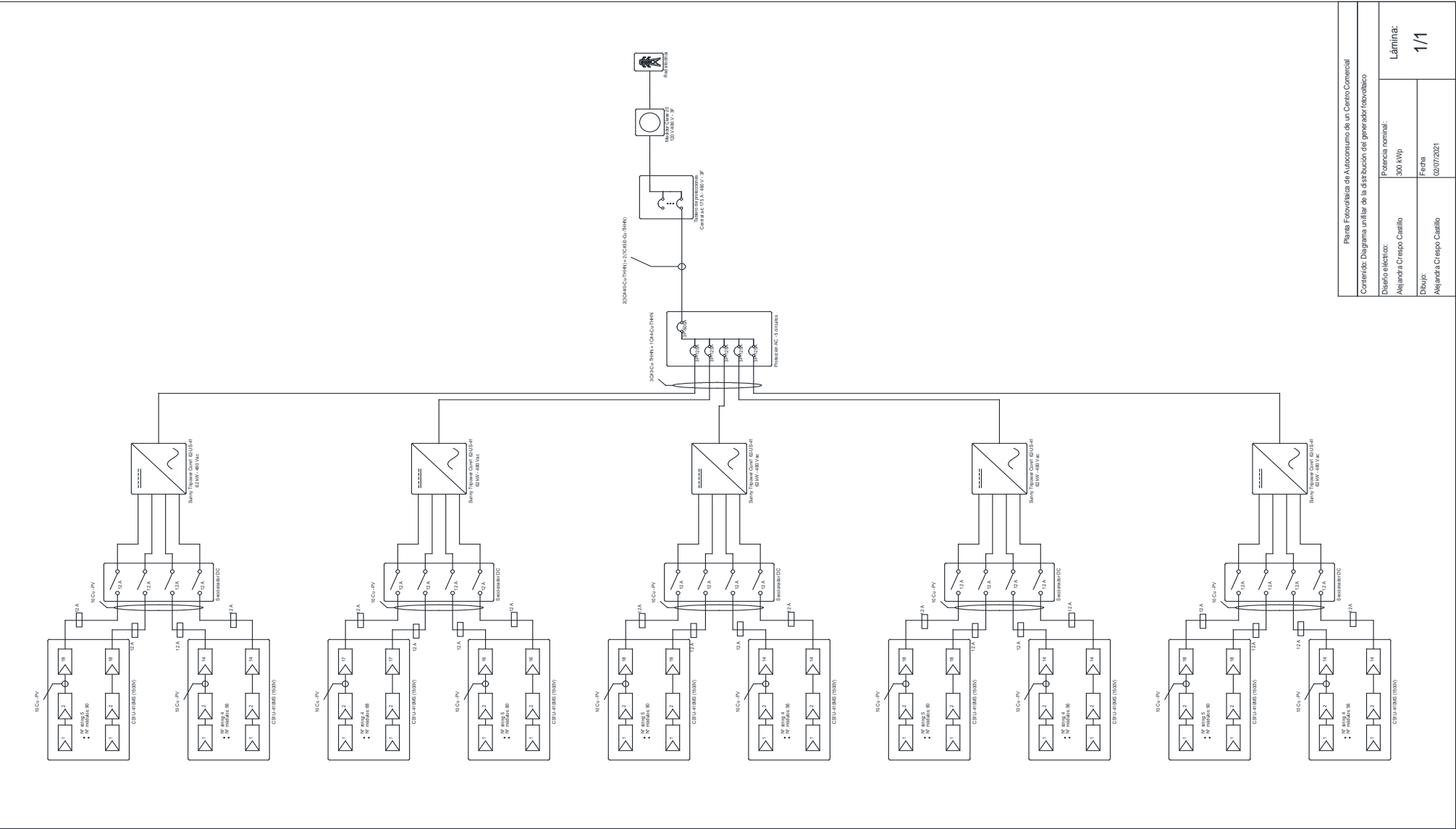
corriente alterna que protegen a los inversores hacia las cargas, cada inversor tendrá un breaker de 3 polos de 125 A, y para el breaker de la barra principal es de 3 polos 500 A. Para los cableados de cada sección dependiendo del elemento a conectar y la corriente que necesitan para ser energizados, se agregarán con las siguientes características:

- En la conexión entre los paneles solares es utilizado un conductor #10 de material de cobre, pero especializado para sistemas fotovoltaicos, debido a que presentan resistencia frente a los posibles factores de la intemperie.
- Al pasar una corriente de 125 A en cada inversor se necesita 3 conductores #3 de cobre tipo THHN para las 3 fases, y un conductor #4 de cobre tipo THHN para tierra.
- En la barra principal fluye una corriente total de 500 A de los 5 inversores, para ello se requiere 3 conductores para fases #4/0 de cobre tipo THHN, y para tierra un conductor #3/0 de cobre tipo THHN.

Dentro de la configuración de los parámetros del inversor son ingresados los umbrales mínimos y máximos de frecuencia y voltaje para que el inversor pueda generar, si hay un fallo en la red por frecuencia o voltaje, el inversor automáticamente se desconecta de la red AC, se puede observar dentro de las protecciones del inversor, que viene incorporada la detección de corriente residual con la instalación de un breaker diferencial.

Luego mediante la acometida del breaker principal de 500 A llega al tablero de distribución de la central de aire de 175 A con un voltaje de 460 V, donde en su interior incluye un transformador de corriente que reduce la corriente a un valor menor que es manejable para el equipo de medición, y la conexión del sistema fotovoltaico finaliza con un medidor bidireccional trifásico de clase 20, en el que se registra la producción de energía por el generador fotovoltaico y la energía consumida de la red de distribución, los registros de consumo son medidos de manera diaria, mensual y anual de la planta fotovoltaica.

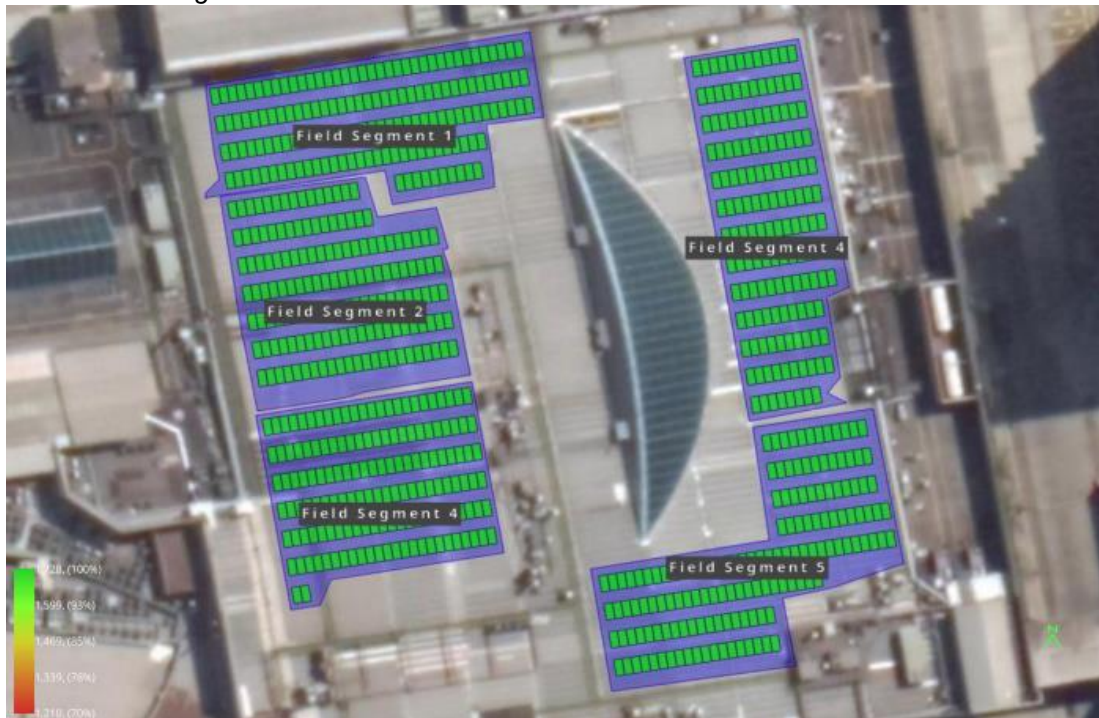
Figura 51
Diagrama unifilar de la planta fotovoltaica



| | |
|--|---------------------------|
| Planta Fotovoltaica de Autoconsumo de un Centro Comercial | |
| Contenido: Diagrama unifilar de la distribución del generador fotovoltaico | Potencia nominal: 300 kWp |
| Diseño eléctrico: Alejandra Crespo Castillo | Fecha: 02/07/2021 |
| Dibujo: Alejandra Crespo Castillo | Lámina: 1/1 |

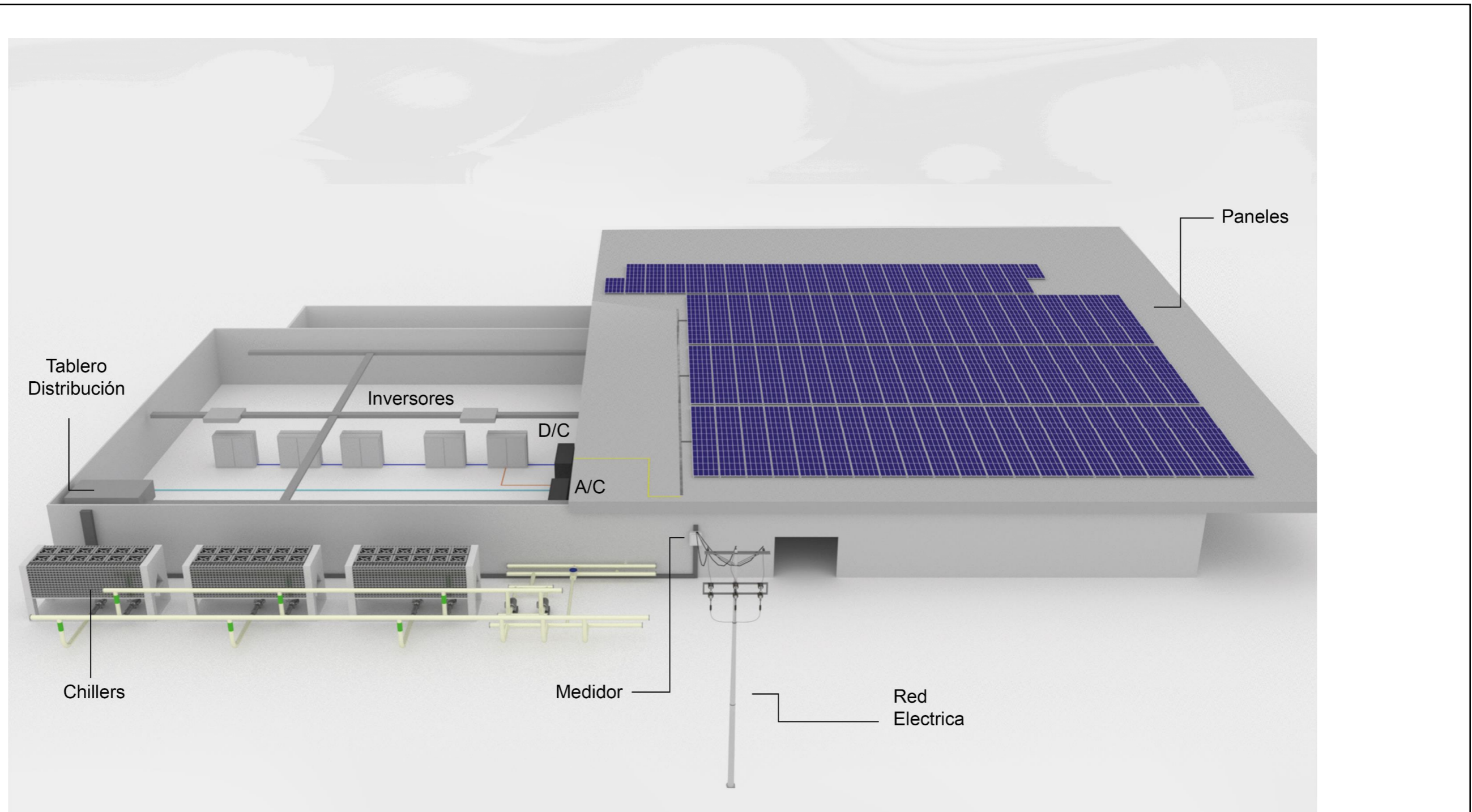
Los módulos se montarán sobre los soportes de acero galvanizado con una inclinación de 15°, todos tendrán la misma exposición, los anclajes de la estructura deberán soportar vientos de hasta 120 km/h, además, están expuestos con una orientación de 180° con respecto al norte. La producción de energía de la planta está condicionada por factores de sombreado, y de acuerdo con la selección apropiada de los ángulos como se puede verificar en la Figura 52 determinan una reducción de la radiación solar hasta el 0%, el indicador verde corresponde que el arreglo fotovoltaico está instalado adecuadamente por lo que no proporcionará un efecto de sombras debido a la separación que existe en cada string de los módulos fotovoltaicos.

Figura 52
Sombreado del generador fotovoltaico



La topología del área comunal es presentada en la Figura 53, pero incluido con todos los componentes del sistema fotovoltaico, donde los paneles solares llegan a ser conectados al string box con las protecciones en DC, luego la acometida es dirigida hacia la entrada DC de los inversores, estos en la salida son protegidos por las protecciones AC, y el breaker principal es conectado con la acometida que llega al tablero de distribución de la carga, y posteriormente sus consumos son registrados por el medidor bidireccional.

Figura 53
Topología de la planta fotovoltaica



| | | | |
|--|-----|--------------------------------------|---------|
| Planta Fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo conectada a la red | 118 | Diseño: Alejandra Crespo Castillo | Lámina: |
| Contenido: Topología del sistema fotovoltaico | | Fecha: 02/07/2021 | 1/1 |

8.2. Estimación de la producción del SFV

Para la estimación de energía producida por la planta solar fotovoltaica se debe tener en cuenta el performance ratio resultante de todas las pérdidas presentes en el sistema fotovoltaico, la hora solar pico en el día, la capacidad nominal de la planta, y la medición de la radiación solar en circunstancias estándar, y luego de emplear el respectivo cálculo se estima una producción energética anual aproximada de 399.401,37 kWh detallado en la Tabla 29.

Tabla 29

Cálculo de producción energética

| Mes | G*PR | P | Gcem (kW/m ²) | Ep (kWh/mes) | Ep (kWh/día) |
|------------------------|--------|--------|------------------------------|-----------------|-----------------|
| Enero | 98,79 | 300,00 | 1,00 | 29.637,57 | 956,05 |
| Febrero | 107,59 | 300,00 | 1,00 | 32.277,58 | 1.152,77 |
| Marzo | 128,27 | 300,00 | 1,00 | 38.481,44 | 1.241,34 |
| Abril | 122,21 | 300,00 | 1,00 | 36.664,19 | 1.222,14 |
| Mayo | 123,00 | 300,00 | 1,00 | 36.899,22 | 1.190,30 |
| Junio | 108,25 | 300,00 | 1,00 | 32.474,82 | 1.082,49 |
| Julio | 96,83 | 300,00 | 1,00 | 29.049,98 | 937,10 |
| Agosto | 109,17 | 300,00 | 1,00 | 32.751,60 | 1.056,50 |
| Septiembre | 118,47 | 300,00 | 1,00 | 35.541,98 | 1.184,73 |
| Octubre | 116,01 | 300,00 | 1,00 | 34.802,92 | 1.122,67 |
| Noviembre | 99,20 | 300,00 | 1,00 | 29.758,51 | 991,95 |
| Diciembre | 103,54 | 300,00 | 1,00 | 31.061,56 | 1.001,99 |
| Producción anual (kWh) | | | | 399.401,37 | |

El análisis económico frente al funcionamiento de la planta fotovoltaica con capacidad nominal de 300 kWp en el centro comercial es detallado en la Tabla 30, mediante una comparación del consumo de energía eléctrica en el caso sin contar con una generación distribuida donde la cantidad anual facturada por la Empresa Eléctrica es de \$32.053,99 con un consumo de 422.318,66 kWh.

Por otra parte, se tiene que al poseer el sistema fotovoltaico in situ la cantidad de energía producida en ese tiempo es de 399.401,37 kWh obteniendo un consumo anual de 22.917,29 kWh donde los valores negativos indica el remanente entregado por el generador fotovoltaico y al producir energía más de lo consumido se obtiene un crédito energético para el siguiente mes, y ese aporte fotovoltaico es reflejado en la planilla del servicio

eléctrico con el alcance de un considerable ahorro de energía eléctrica durante todo el año, y al inicio de otro año comienza otra vez con el ciclo del generador fotovoltaico con saldo 0 en remanentes.

Tabla 30
Beneficio económico de la planta fotovoltaica

| Mes | Sin energía solar | | Con energía solar | | | |
|------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------------|----------------|--------------|
| | Facturación | | Energía producida | Facturación estimada | | |
| | Consumo (kWh) | Factura CNEL 1 | kWh | Consumo (kWh) | Factura CNEL 2 | Ahorro |
| Enero | 71.122,21 | \$ 5.398,18 | 29.637,57 | 41.484,63 | 3.148,68 | \$ 2.249,49 |
| Febrero | 66.184,52 | \$ 5.023,41 | 32.277,58 | 33.906,94 | 2.573,54 | \$ 2.449,87 |
| Marzo | 32.159,02 | \$ 2.440,87 | 38.481,44 | -6.322,42 | -479,87 | \$ 2.920,74 |
| Abril | 12.454,44 | \$ 945,29 | 36.664,19 | -24.209,75 | -1.837,52 | \$ 2.782,81 |
| Mayo | 19.673,32 | \$ 1.493,20 | 36.899,22 | 17.225,90 | -1.307,45 | \$ 2.800,65 |
| Junio | 21.692,82 | \$ 1.646,48 | 32.474,82 | -10.782,00 | -818,35 | \$ 2.464,84 |
| Julio | 27.609,95 | \$ 2.095,59 | 29.049,98 | -1.440,03 | -109,30 | \$ 2.204,89 |
| Agosto | 27.586,46 | \$ 2.093,81 | 32.751,60 | -5.165,14 | -392,03 | \$ 2.485,85 |
| Septiembre | 26.945,93 | \$ 2.045,20 | 35.541,98 | -8.596,05 | -652,44 | \$ 2.697,64 |
| Octubre | 30.512,96 | \$ 2.315,93 | 34.802,92 | -4.289,96 | -325,61 | \$ 2.641,54 |
| Noviembre | 31.103,58 | \$ 2.360,76 | 29.758,51 | 1.345,07 | 102,09 | \$ 2.258,67 |
| Diciembre | 55.273,44 | \$ 4.195,25 | 31.061,56 | 24.211,89 | 1.837,68 | \$ 2.357,57 |
| Total | 422.318,66 | \$ 32.053,99 | 399.401,37 | 22.917,29 | 1.739,42 | \$ 30.314,56 |
| Promedio | 35.193,22 | \$ 2.671,17 | 33.283,45 | 1.909,77 | 144,95 | \$ 2.526,21 |

$$\text{Factura}_{\text{CNEL } 1} = \text{Consumo}_{\text{Sin ES}} \cdot \text{Tarifa kW hora}$$

$$\text{Factura}_{\text{CNEL } 1} = 71.122,21 \cdot 0,0759 = \$ 5.398,18$$

Para los valores correspondientes de la facturación estimada con un generador fotovoltaico se tiene los siguientes cálculos:

$$\text{Consumo}_{\text{ES}} = \text{Consumo}_{\text{Sin ES}} - \text{Producción}_{\text{FV}}$$

$$\text{Consumo}_{\text{ES}} = 71.122,21 - 29.637,57 = 41.484,63 \text{ kWh}$$

$$\text{Factura}_{\text{CNEL } 2} = \text{Factura}_{\text{CNEL } 1} - (\text{Producción}_{\text{FV}} \cdot \text{Tarifa kW hora})$$

$$\text{Factura}_{\text{CNEL } 2} = 5.398,18 - (29.637,57 \cdot 0,0759) = \$ 3.148,68$$

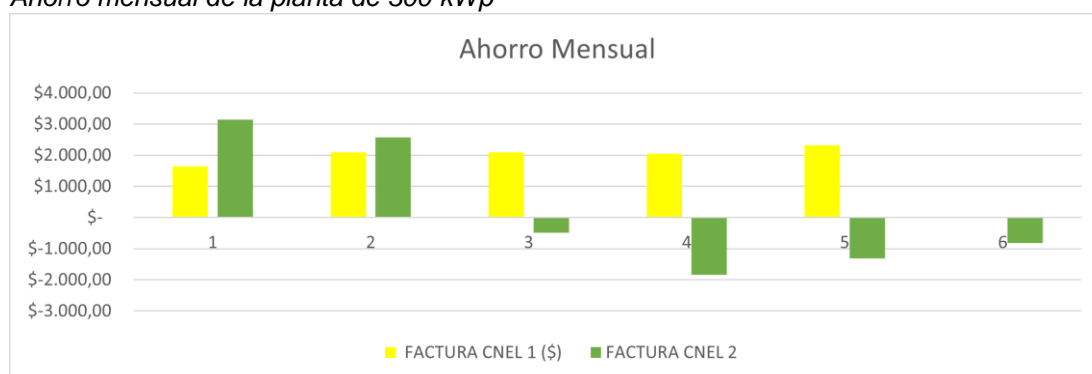
$$\text{Ahorro} = \text{Factura}_{\text{CNEL } 1} - \text{Factura}_{\text{CNEL } 2}$$

$$\text{Ahorro} = 5.398,18 - 3.148.68 = \$ 2.249.49$$

La Figura 54 muestra una comparación entre una facturación anual con o sin una planta fotovoltaica, donde el ahorro promedio mensual es de \$2.256,21 y el ahorro promedio anual de \$30.314,56, de tal manera, que se obtiene un porcentaje de ahorro energético de 94,57% y un porcentaje de ahorro económico sobre facturación de 94,57%, donde los valores negativos de la gráfica corresponde a que la facturación de la planilla eléctrica será \$0,00 porque toma el crédito de energía generado por el sistema fotovoltaico.

Figura 54

Ahorro mensual de la planta de 300 kWp



$$\text{Ahorro}_E = \frac{\text{Producción}_{\text{FV anual}}}{\text{Consumo}_{\text{prom sin ES}} \cdot 12} = \frac{399.401,37}{35.193,22 \cdot 12} = 0,9457 = 94,57\%$$

$$\text{Ahorro}_{\text{Fac}} = \frac{\text{Ahorro}_{\text{anual}}}{\text{Consumo}_{\text{tot sin ES}}} = \frac{30.314,56}{32.053,99} = 0,9457 = 94,57\%$$

8.3. Contribución al desarrollo sostenible

En la Tabla 31 se informa el impacto ambiental de la planta fotovoltaica frente a las emisiones anuales evitadas por la instalación como el dióxido de carbono, de nitrógeno, de azufre y el monóxido de carbono que dan un resultado positivo que contribuye al desarrollo sostenible del medioambiente, lo cual indica una solución viable para la generación de electricidad, y mediante la planta fotovoltaica de 300 kWp se estima evitar la emisión de 282

TON de CO_{2eq} al año, siendo esto equivalente a sembrar 474 árboles en ese período.

Tabla 31

Emisiones ambientales de la planta fotovoltaica

| | Emisiones ambientales | | Unitarios/kWh |
|------------------------------------|-----------------------|----------------|---------------|
| CO ₂ | 85.769,48 | m ³ | 0,214745 |
| NO ₂ | 226.345,08 | m ³ | 0,566711 |
| SO ₂ | 165.218,62 | m ³ | 0,413666 |
| CO | 35,34 | m ³ | 0,000088 |
| Partículas | 256,91 | kg | 0,000643 |
| Hidrocarburos | 16,19 | kg | 0,000041 |
| Residuos nucleares | 415,63 | kg | 0,001041 |
| Toneladas de petróleo equivalentes | 30,71 | Tm | 0,000077 |

La Tabla 32 muestra las características técnicas que le permitirá a la planta fotovoltaica establecer la capacidad calculada para el alcance de la generación de energía eléctrica hacia el sistema de climatización, y si en el horario de operación, la carga consume toda la energía producida, y existe excedentes, aquello es inyectado a la red eléctrica.

Tabla 32

Parámetros de diseño de la planta fotovoltaica

| | | | |
|------------------------------|---------------|------------------|------------------------|
| Panel fotovoltaico | | | |
| Potencia | 410 W | Material | Silicio monocristalino |
| Voltaje | 53,6 V | Corriente | 9,7 A |
| Inversor | | | |
| Potencia | 62 kW | | |
| Voltaje DC | 500 V a 800 V | Corriente DC | 20 A |
| Voltaje AC | 480 V a 277 V | Corriente AC | 79,5 A |
| String box y fusibles | | | |
| Corriente | 12 A | | |
| Breakers secundarios | | | |
| Corriente | 125 A | Fase | 3 |
| Breaker principal | | | |
| Corriente | 500 A | Fase | 3 |
| Medidor bidireccional | | | |
| Clase | 20 | Fase | 3 |
| Voltaje nominal | 120 V / 480 V | | |
| Corriente nominal | 2.5 A | Corriente máxima | 20 A |

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. Conclusiones

Las fuentes de energías renovables como la tecnología fotovoltaica presentan un alto alcance por ser una óptima alternativa para producir energía eléctrica que permite contribuir a un desarrollo sustentable libre del uso de combustibles fósiles, de tal manera, evita poner en riesgo al planeta ante la reducción de impactos ambientales.

Las normativas y reglamentos vigentes proyectados a favor de la sostenibilidad del medioambiente, no sólo aporta al derecho del ciudadano de vivir en un entorno saludable sin exposición a factores que impliquen un riesgo a la contaminación; sino también, permite obtener un mayor provecho en cuanto al 100% del beneficio proporcionado por la generación distribuida.

Ecuador al ser un país benefactor debido a la ubicación geográfica relacionada a las excelsas radiaciones solares presentes en el sector aplicado, ofrece significativas oportunidades en la implementación de plantas solares fotovoltaicas con el objetivo de autoabastecimiento o la venta de energía dirigido a los grandes consumidores.

El uso de la energía solar, más allá de favorecer con la disminución en la tarifa de energía eléctrica por ahorros resultantes del consumo de la energía producida por la planta fotovoltaica y el remanente de esta, también brinda una inversión rentable a largo plazo correspondiente a la vida útil del sistema fotovoltaico que requiere de un mínimo mantenimiento.

El diseño y la selección de los componentes de la planta se llevó a efecto en consideración a los parámetros fundamentales en torno eléctrico y ambiental con la finalidad de asegurar y garantizar un apropiado diseño y

operación del sistema fotovoltaico proyectado a la energización de un sistema de climatización en un centro comercial de la ciudad de Guayaquil.

9.2. Recomendaciones

El panel fotovoltaico debe estar correctamente inclinado y cumplir a cabalidad con las especificaciones del fabricante, donde la mayoría sugiere que el ángulo de inclinación sea a un mínimo de 10°, por lo cual, es relevante siempre operar de acuerdo con las instrucciones del fabricante con el fin de no perder la garantía de los componentes.

Es recomendable realizar el orden del arreglo fotovoltaico previo a la instalación del sistema para prevenir pérdidas originadas por el efecto Mismatch, que indica la desalineación causada por la unión entre los módulos fotovoltaicos lo que degrada la eficiencia del generador fotovoltaico disminuyendo su vida útil.

La planta fotovoltaica deberá llevar un control programado de cada 6 meses para su mantenimiento, que consiste en limpiar los módulos fotovoltaicos, inversor, y verificar el estado de los dispositivos de protecciones eléctricas como los fusibles e interruptores, por lo que es necesario contar con un manual de usuario para la operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica.

A sabiendas de qué lugares cuentan con una alta radiación solar se puede dirigir al portal del Atlas Solar que servirá como guía para próximos proyectos de carácter fotovoltaico, y evitar pérdidas financieras por la instalación de un sistema del cual no se obtendrá un alto rendimiento debido a un incorrecto estudio de campo con relación a los factores climáticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, F. (2016). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios* [Tecnología en Electrónica, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/11352/1009774_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alvarado, J. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada* [Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Madrid]. http://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVARA.pdf
- Cables de Energía y de Telecomunicaciones S.A. (2017). *Manual del electricista*. <https://www.centelsa.com/archivos/Manual-del-electrico-2017-ok.pdf>
- Cáceres, A., Siles, F., & Valencia, M. (2018). Potencial solar de la ciudad para el empleo de la energía fotovoltaica en las residencias de Arequipa 2018. *Universidad Católica de Santa María*, 1(1), 12. <https://doi.org/10.26696/sci.epg.0067>
- Cambio Energético. (2019, febrero 15). *Balance neto y autoconsumo fotovoltaico*. Tu blog de Autoconsumo fotovoltaico y energía renovable. <https://cambioenergetico.com/blog/balance-neto-y-autoconsumo-fotovoltaico/>
- Carta, J., Calero, R., Colmenar, A., & Castro, M. (2012). *Centrales de energías renovables: Generación eléctrica con energías renovables* (Segunda). Pearson Educación.
- CENACE. (2020). *Informe anual 2020* (Nº 1; p. 105). <http://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/04/Informe-Anual-CENACE-2020-Parte-1.pdf>
- Constitución del Ecuador, 132 (2012). <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>

- Cortés, P. (2020, julio). *Cálculo de protecciones en corriente directa para sistemas fotovoltaicos*.
<https://www.youtube.com/watch?v=EYZjRaKskEs&t=1180s>
- Crecimiento de las energías renovables en 2020 y 2021. (2020, noviembre). *Greenheiss Efficiency Systems*. <https://www.greenheiss.com/las-energias-renovables-superan-la-pandemia-y-creceran-a-un-ritmo-record-este-ano-y-en-2021/>
- Delpin, F., & Moreno, N. (2017). *Plan de mantenimiento de paneles solares en Planta Fotovoltaica Doña Carmen de la Ligua* [Universidad Técnica Federico Santa María].
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/43749/3560901063974UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz, T., & Carmona, G. (2018). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. En *Instalaciones solares fotovoltaicas* (Primera, p. 24). McGraw Hill.
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Eras, A. (2016). *Guía práctica para el uso eficiente de la energía eléctrica en el Ecuador*.
<https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/Guide%20for%20the%20Efficient%20Use%20of%20Electric%20Power%20in%20Ecuador-.pdf>
- Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica, Pub. L. No. ARCONEL-042/18, ARCONEL-003/18 41 (2018). <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Codificacion-Regulacion-No.-ARCONEL-003-18.pdf>
- Global horizontal irradiation*. (2021). Global Solar Atlas.
<https://globalsolaratlas.info/map?c=39.232253,-20.390625,2&s=-70.020587,-84.375&m=site>
- González, M. (2019, julio). *Inversores inteligentes en sistemas de energía solar fotovoltaica*. 238, 6.

- Guerrero, R. (2017). *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas* (Segunda). IC Editorial.
- Innovación y Cualificación S. L. (2017). *Montaje eléctrico y electrónico en instalaciones solares fotovoltaicas* (Segunda). IC Editorial.
- Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, 418 28 (2015).
<http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Ley-Org%C3%A1nica-del-Servicio-P%C3%ABlico-de-Energ%C3%ADa-El%C3%A9ctrica.pdf>
- Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica, Pub. L. No. ARCERNNR-013/2021, ARCERNNR-001/2021 39 (2021).
<https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2021/05/Resolucion-Nro.-ARCERNNR-013-2021-signed-signed.pdf>
- Marco normativo para la participación en generación distribuida de empresas habilitadas para realizar la actividad de generación, Pub. L. No. ARCERNNR-014/2021, ARCERNNR-002/21 46 (2021).
<https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2021/05/Resolucion-Nro.-ARCERNNR-014-2021-signed-signed.pdf>
- Marín, E., & Quintero, D. (2017). *Metodología para el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica y eficiencia energética en el sector rural del eje cafetero* [Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de Pereira].
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8002/62131244M337.pdf?sequence=1>
- Martínez, A. (2016). *Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación: Modelizado y análisis del efecto del sombreado en la captación de radiación* [Recursos energéticos]. Universidad de la Rioja.
- Meza, J., & García, E. (2018). Asignación de recursos para la recarga de vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta

a la demanda. *I+D Tecnológico*, 14(2), 8.
<https://doi.org/10.33412/idt.v14.2.2075>

Ospino, A. (2021, julio). *Puestas a tierra en módulos solares fotovoltaicos*.
<https://www.youtube.com/watch?v=sxAkWzBFsbU&t=7s>

Párraga, M. (2020). *Estudio del proyecto de mejora de eficiencia energética para autoconsumo aislado mediante un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía* [Ingeniería de Tecnologías Industriales]. Universidad de Sevilla.

Pérez, J. (2019). *Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación de la resolución Creg 030 de 2018 para la inyección de excedentes a la red* [Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia].
https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15377/1/PerezJuan_2019_GuiaDimensionamientoSistemas.pdf

Perpiñán, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. Creative Commons.
<https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>

Rodas, Á., & Arévalo, C. (2016). *Dimensionamiento de una instalación fotovoltaica de generación distribuida conectada a la red, para autoconsumo en un taller industrial en Guayaquil* [Ingeniería Eléctrica, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97490/D-103473.pdf>

Tobajas, C. (2015). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Ediciones de la U.

Tobajas, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica* (Primera). Cano Pina.

Vaca, D. (2018). *Validación de datos satelitales de radiación solar utilizando mediciones terrestres para el Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19516>

GLOSARIO

ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad.

ARCERNNR: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.

CDG: Central de Generación Distribuida.

CENACE: Centro Nacional de Control de Energía.

CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad.

Diodo: Dispositivo con dos terminales que sirve para el flujo de la corriente en una polarización directa, y en una polarización inversa pasa a ser un circuito abierto.

Distribuidora: Empresas propietarias de la infraestructura eléctrica compuesta por los postes de luz y el cableado eléctrico, encargada de la distribución de la electricidad hacia los puntos de conexión del consumidor.

EGDH: Empresa de Generación Distribuida Habilitada.

Energía convencional: Producción de energía eléctrica a partir de fuentes como el petróleo, gas natural y carbón.

EPGD: Empresa Promotora de Generación Distribuida.

FERUM: Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal.

Fotón: Partículas que transportan energía en representación de luz y radiación electromagnética, los cuales son ondas de radio, rayos ultravioletas, X y gamma, luz visible o infrarroja y microondas.

Generación distribuida: Consta en la producción de energía eléctrica desde una fuente natural como las energías renovables.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Instalación modular: Comprende en la construcción desde plantas grandes de energía solar ubicadas en el suelo hasta un sistema fotovoltaico de dimensión pequeña montado en la cubierta del predio.

MEER: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

PME: Plan Maestro de Electricidad.

Proponente: Empresa encargada de un sistema de generación distribuida que a partir de esa instalación requiere una Central.

SFV: Sistema Fotovoltaico.

SFVA: Sistemas Fotovoltaicos Aislados.

SFVC: Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red.

SAPG: Servicio de Alumbrado Público General.

SGDA: Sistema de Generación Distribuida para el Autoabastecimiento.

ANEXOS

Anexo 1

Solicitud de conexión del SGDA para consumidores

| SOLICITUD DE FACTIBILIDAD DE CONEXIÓN PARA CONSUMIDORES | | | |
|--|------------|--|--|
| <p>"Para personas naturales" Quien suscribe el presente (<i>Nombre del titular del suministro o su delegado</i>), solicito se sirva otorgar la factibilidad de conexión de un sistema de generación distribuido para autoabastecimiento -SGDA-, considerando los términos que describo a continuación:</p> | | | |
| <p>"Para personas jurídicas" Quien suscribe el presente (<i>Nombre del titular del suministro, o su delegado</i>)), solicito se sirva otorgar la factibilidad de conexión de un sistema de generación distribuido para autoabastecimiento -SGDA-, considerando los términos que describo a continuación:</p> | | | |
| DATOS DEL SOLICITANTE | | | |
| Número de suministro/ Cuenta Contrato: | | <i>(si aún no es consumidor de la Distribuidora se pondrá no aplica)</i> | |
| Nombres y Apellidos / Razón Social: | | | |
| CI / RUC: | | | |
| Ciudad: | | | |
| Teléfono: | | | |
| Correo electrónico: | | | |
| DATOS DEL PROYECTO DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA AUTOABASTECIMIENTO | | | |
| Potencia nominal: | | kW | |
| Energía anual a generar estimada | | kWh | |
| Dispone de sistema de almacenamiento de energía: | Sí | No | |
| Recurso energético renovable | Solar | () | |
| | Eólico | () | |
| | Biogás | () | |
| | Biomasa | () | |
| | Hidráulico | () | |
| | Otro | () | |
| Número de fases: | | | |
| Tipo de SDGA: Con inversores () Con Gen. Síncrono () Con Gen. Asíncrono () | | | |
| Ubicación del punto de conexión del SGDA: | | | |
| Firma del Solicitante: | | Firma de recepción: | |
| (Nombres y Apellidos del solicitante o Representante Legal) | | (Nombre y Apellido de quien recibe la solicitud en la EED) | |
| (CI del solicitante o Representante Legal) | | (CI de quien recibe en la ED) | |
| | | Fecha de recepción: | |
| | | Código Único de Trámite: | |

Anexo 2*Solicitud de conexión de una CGD*

| SOLICITUD DE FACTIBILIDAD DE CONEXIÓN | | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Quien suscribe el presente, representante legal de la Empresa (nombre de la Empresa solicitante), solicito a la (nombre de la Empresa Eléctrica de Distribución), se sirva analizar y otorgar la factibilidad de conexión de una central de generación distribuida, considerando los términos que describo a continuación: | | | |
| DATOS DE LA EMPRESA SOLICITANTE | | | |
| Razón Social: | | | |
| RUC: | | | |
| Ciudad de Domicilio: | | | |
| Teléfono: | | | |
| Correo electrónico: | | | |
| Pública | Mixta | Privada | Economía popular y solidaria |
| DATOS DEL PROYECTO | | | |
| Nombre del proyecto: | | | |
| Potencia nominal: | | MW | |
| Energía anual a generar estimada: | | MWh | |
| Dispone de sistema de almacenamiento de energía: | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | |
| Capacidad de almacenamiento: | MWh | | |
| Recurso energético primario: | Solar | <input type="checkbox"/> | |
| | Eólico | <input type="checkbox"/> | |
| | Biogás | <input type="checkbox"/> | |
| | Biomasa | <input type="checkbox"/> | |
| | Hidráulico | <input type="checkbox"/> | |
| | Otro | <input type="checkbox"/> | Especificar |
| Número de fases: | | | |
| Tecnología: Basada en inversores | Síncrono | Asíncrono | |
| Ubicación: | | | |
| Ubicación Georeferenciada: | | | |
| El Proyecto está definido en el PME: | Sí <input type="checkbox"/> | No <input type="checkbox"/> | |
| Fecha planificada de inicio de operación comercial: | | | |

| DATOS DEL PUNTO DE LA RED PARA EL QUE SE REQUIERE LA FACTIBILIDAD DE CONEXIÓN | | |
|--|--|--|
| Provincia: | | |
| Ciudad: | | |
| Parroquia: | | |
| Dirección: | | |
| Voltaje del punto de conexión propuesto: | | |
| Ubicación Georeferenciada (En UTM WGS 84): | Zona: | |
| | Coordenada N: | |
| | Coordenada E: | |
| Descripción del punto físico de la red propuesto a la que se conectaría la CGD: | | |
| | | |
| Firma del Representante Legal (Nombre y Apellido del Representante Legal) | Firma de recepción (Nombre y Apellido de quien recibe la solicitud en la ED) | |
| (CI del Representante Legal) | | |
| | Fecha de recepción: | |
| | Código Único de Trámite: | |

Anexo 3

Conductores para sistemas fotovoltaicos

CONDUCTORES DE COBRE

SOLAR FOTOVOLTAICO (PV WIRE)



Conductor de cobre para (1 o 2 kV).
Aislado con polietileno reticulado (XLPE), resistente a la humedad, calor elevado y luz solar.

CONSTRUCCIÓN

Los conductores de cobre para uso en instalaciones de energía solar fotovoltaicas, tipo PV WIRE son cableados y están contruidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de polietileno reticulado (XLPE) no propagador de llama, resistente a la humedad, calor elevado, abrasión y a la luz solar. Se suministran en varios colores y con distintas formas de empaque.

APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo PV WIRE son utilizados para circuitos de fuerza en instalaciones de energía solar fotovoltaica; son especialmente aptos para instalaciones a la intemperie tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser utilizado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 90 °C y su tensión de servicio puede ser 1 o 2 kV.

ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo PV WIRE fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- ▶ **ASTM B3:** Alambres de cobre recocido o suave.
- ▶ **ASTM B8:** Conductores trenzados de cobre.
- ▶ **ASTM B787:** Conductores trenzados de cobre 19 hilos, formación unilay para ser aislados posteriormente.
- ▶ **UL 44:** Alambres y cables con aislamiento termoestable.
- ▶ **UL 854:** Conductores aislados usados como cable de entrada de servicio eléctrico.
- ▶ **UL 4703:** Norma para alambres y cables fotovoltaicos.

Además de todos los requerimientos del National Electrical Code.



MATRIZ: PARQUE INDUSTRIAL "EL SAUCE", KM. 11 1/2 VIA DAULE, GUAYAQUIL - ECUADOR
TELÉFONOS: GUAYAQUIL: (593) 4 370 5460 - QUITO: (593) 2 282 9111 - CUENCA: (593) 2 800 3251

www.electrocable.com

Conductor de cobre para 1 / 2 kV apto para ser enterrado directamente. Aislado con polietileno reticulado (XLPE), resistente a la humedad, calor elevado y luz solar.

1 / 2 kV tipo PV WIRE

| CONDUCTOR | | | Espesor de Aislamiento (mm) | Diámetro Externo Apróx. (mm) | Masa total Apróx. (kg / km) | *Capacidad de Corriente (A) |
|---------------------------------------|--|-----------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| CALIBRE (AWG o kcmil) | Sección Transversal (mm ²) | No. Hilos | | | | |
| FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO | | | | | | |
| 14 | 2.08 | 7 | 1.905 | 5.67 | 43.97 | 25 |
| 12 | 3.31 | 7 | 1.905 | 6.15 | 58.27 | 30 |
| 10 | 5.261 | 7 | 1.905 | 6.75 | 80.48 | 40 |
| 8 | 8.367 | 7 | 2.159 | 8.02 | 120.34 | 55 |
| FORMACIÓN UNILAY | | | | | | |
| 14 | 2.08 | 19 | 1.905 | 5.61 | 42.83 | 25 |
| 12 | 3.31 | 19 | 1.905 | 6.11 | 57.46 | 30 |
| 10 | 5.261 | 19 | 1.905 | 6.67 | 77.76 | 40 |
| 8 | 8.367 | 19 | 2.159 | 7.93 | 118.99 | 55 |
| 6 | 13.3 | 19 | 2.159 | 8.88 | 170.80 | 75 |
| 4 | 21.15 | 19 | 2.159 | 10.07 | 252.38 | 95 |
| 2 | 33.62 | 19 | 2.159 | 11.59 | 379.71 | 130 |
| 1 | 42.4 | 19 | 2.667 | 13.47 | 486.25 | 150 |
| 1/0 | 53.49 | 19 | 2.667 | 14.48 | 598.51 | 170 |
| 2/0 | 67.44 | 19 | 2.667 | 15.61 | 737.06 | 195 |
| 3/0 | 85.02 | 19 | 2.667 | 16.93 | 918.37 | 225 |
| 4/0 | 107.2 | 19 | 2.667 | 18.29 | 1124.67 | 260 |
| FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO | | | | | | |
| 250 | 126.7 | 37 | 3.048 | 20.73 | 1354.38 | 290 |
| 300 | 152 | 37 | 3.048 | 22.13 | 1603.92 | 320 |
| 350 | 177 | 37 | 3.048 | 23.39 | 1848.34 | 350 |
| 400 | 203 | 37 | 3.048 | 24.58 | 2094.13 | 380 |
| 500 | 253 | 37 | 3.048 | 26.75 | 2573.41 | 430 |
| 600 | 304 | 61 | 3.429 | 29.54 | 3126.97 | 475 |
| 750 | 380 | 61 | 3.429 | 32.24 | 3856.42 | 535 |
| 1000 | 507 | 61 | 3.429 | 36.20 | 5092.29 | 615 |

*Capacidad de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30 °C. Ref NEC (Tabla 310.16).



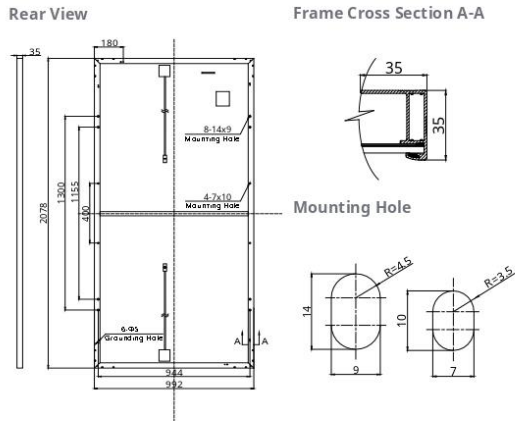
MATRIZ: PARQUE INDUSTRIAL "EL SAUCE", KM. 11 1/2 VIA DAULE. GUAYAQUIL - ECUADOR
TELÉFONOS: GUAYAQUIL: (593) 4 370 5460 - QUITO: (593) 2 282 9111 - CUENCA: (593) 2 800 3251

www.electrocable.com

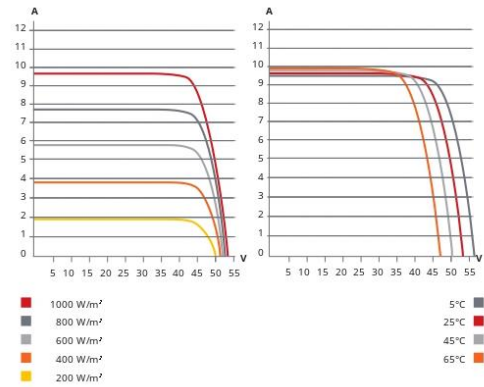
Anexo 4

Ficha técnica del panel CS1U de 410 W

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS1U-405MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

| CS1U | 400MS | 405MS | 410MS | 415MS | 420MS |
|------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 400 W | 405 W | 410 W | 415 W | 420 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 44.1 V | 44.3 V | 44.5 V | 44.7 V | 44.9 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 9.08 A | 9.16 A | 9.23 A | 9.30 A | 9.37 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 53.4 V | 53.5 V | 53.6 V | 53.7 V | 53.8 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 9.60 A | 9.65 A | 9.70 A | 9.75 A | 9.80 A |
| Module Efficiency | 19.4% | 19.6% | 19.9% | 20.1% | 20.4% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC) or 1000V (IEC) | | | | |
| Module Fire Performance | CLASS C (IEC 61730) | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 15 A | | | | |
| Application Classification | Class A | | | | |
| Power Tolerance | 0 ~ +10 W | | | | |

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA

| Specification | Data |
|---------------------------------------|---|
| Cell Type | Mono-crystalline |
| Dimensions | 2078 × 992 × 35 mm (81.8 × 39.1 × 1.38 in) |
| Weight | 23.4 kg (51.6 lbs) |
| Front Cover | 3.2 mm tempered glass |
| Frame | Anodized aluminium alloy |
| J-Box | IP68, 4 bypass diodes |
| Cable | 4.0 mm ² (IEC) |
| Cable length (Including connector) | 1000 mm (39.4 in) (+) and 640 mm (25.2 in) (-) *; leap-frog connection: 1780 mm (70.1 in)** |
| Connector | T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2 |
| Per Pallet | 30 pieces |
| Per Container (40' HQ) | 660 pieces |

* Adjacent two modules (portrait: left and right modules, landscape: up and down modules) need to be rotated 180 degrees.

** Need to confirm with the tracker suppliers there are no mounting or operation risks when cables go across the torque tube and bearing house.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

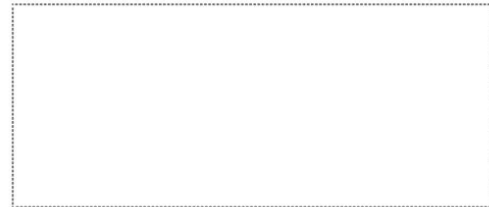
| CS1U | 400MS | 405MS | 410MS | 415MS | 420MS |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 296 W | 300 W | 304 W | 307 W | 311 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 40.8 V | 41.0 V | 41.2 V | 41.4 V | 41.5 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 7.26 A | 7.32 A | 7.37 A | 7.43 A | 7.48 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 49.9 V | 50.0 V | 50.1 V | 50.2 V | 50.3 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 7.75 A | 7.79 A | 7.83 A | 7.87 A | 7.91 A |

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.37 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.29 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.05 % / °C |
| Nominal Module Operating Temperature | 43±3 °C |

PARTNER SECTION



The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.
Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

May 2020. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V5.59_EN

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CRESPO CASTILLO, ALEJANDRA ELIZABETH**, con C.C: **0943324558** autora del trabajo de titulación: **Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial** previo a la obtención del título de **Ingeniera en 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, 17 de septiembre de 2021

f. 

CRESPO CASTILLO, ALEJANDRA ELIZABETH

C.C: **0943324558**

| REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA | | | |
|---|---|-----------------------------------|-----|
| FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN | | | |
| TEMA Y SUBTEMA: | Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial. | | |
| AUTOR(ES) | Alejandra Elizabeth, Crespo Castillo | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | Ing. Luis Vicente, Vallejo Samaniego, M.Sc. | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Educación Técnica para el Desarrollo | | |
| CARRERA: | Ingeniería en Eléctrico Mecánica | | |
| TÍTULO OBTENIDO: | Ingeniera en Eléctrico Mecánica | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 17 de septiembre de 2021 | No. DE PÁGINAS: | 137 |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Energía renovable, Sistema Solar Fotovoltaico, Instalaciones eléctricas. | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | Sostenible, Autoabastecimiento, Viabilidad, Rentabilidad, Generador Fotovoltaico, Energía Eléctrica, Ahorro. | | |
| RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): | | | |
| <p>El presente trabajo de titulación propone el diseño de una planta solar fotovoltaica, proveniente de una de las fuentes principales de recursos naturales disponibles en el Ecuador, y a la vez, desempeña un funcionamiento sostenible con el medioambiente, en este estudio se lleva a cabo el diseño y dimensionado de una planta fotovoltaica con capacidad de 300 kWp conectada a la red de distribución para el autoabastecimiento del consumo energético de una central de aire en un centro comercial ubicado en la ciudad de Guayaquil. Este proyecto está enfocado en la viabilidad técnica y la rentabilidad del generador fotovoltaico; donde en el apartado de cálculo y diseño se analiza las condiciones climáticas de la zona de estudio con el software Meteonorm, posteriormente del análisis, son aplicados los criterios teóricos para la selección de los componentes que conforman el sistema fotovoltaico mediante el dimensionamiento proporcionado por la herramienta informática Solergo para proceder con el diseño de la planta fotovoltaica en el software HelioScope; y en el análisis económico se estudia la viabilidad de los resultados de la producción de energía eléctrica, y dependiendo de la energía consumida y vertida a la red es reflejado el ahorro mensual en la planilla de facturación del servicio eléctrico.</p> | | | |
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO | |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +593-988842281 | E-mail: al.crespo@live.com | |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE): | Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando | | |
| | Teléfono: +593-967608298 | | |
| | 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): | | | |