



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

TEMA:

Diseño de planta energética con recursos fotovoltaicos para el área administrativa, alumbrado de área social y aireadores de agua de la Urbanización El Rio.

AUTOR:

Borja Hernández, Joseph Felipe

**Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

TUTOR:

M. Sc. Ubilla González, Ricardo Xavier

Guayaquil, Ecuador

07 de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICACION

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Borja Hernández, Joseph Felipe** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRICIDAD**.

TUTOR

M. Sc. Ubilla González, Ricardo Xavier

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Bohórquez Escobar Celso Bayardo

Guayaquil, a los 07 días del mes de septiembre del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Borja Hernández, Joseph Felipe**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Integración Curricular **Diseño de planta energética con recursos fotovoltaicos para el área administrativa, alumbrado de área social y aireadores de agua de la urbanización El Rio**, 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 07 días del mes de septiembre del 2023

EL AUTOR

Borja Hernández, Joseph Felipe



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Borja Hernández, Joseph Felipe**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular: **Diseño de planta energética con recursos fotovoltaicos para el área administrativa, alumbrado de área social y aireadores de agua de la urbanización El Rio**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad total autoría.

Guayaquil, a los 07 días del mes de septiembre del año 2023

EL AUTOR

Borja Hernández, Joseph Felipe

REPORTE DE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR V final final final

5%
Similitudes



< 1% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas
0% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR V final final final.docx
ID del documento: e06ca648875179f911b9c211f84f32a646e6637
Tamaño del documento original: 7,34 MB

Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez
Fecha de depósito: 5/9/2023
Tipo de carga: Interface
fecha de fin de análisis: 5/9/2023

Número de palabras: 17.047
Número de caracteres: 108.227

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	localhost Diseño y construcción de un sistema de acondicionador de aire para pr... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/17190/3/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-275.pdf.txt 26 Fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (324 palabras)
2	localhost Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300 Kw para autoconsumo ... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/17191/3/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-276.pdf.txt 24 Fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (310 palabras)
3	www.fordecyt.ier.unam.mx Aplicaciones Fotovoltaicas de la Energía Solar en los ... http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/download-d-pdf-foto.php	2%		Palabras idénticas: 2% (334 palabras)
4	localhost Análisis y diseño del alumbrado en espacio exteriores utilizando lámpa... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/6641/3/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-87.pdf.txt 19 Fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (290 palabras)
5	repositorio.ucsg.edu.ec http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10154/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-131.pdf 18 Fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (281 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #d913c5 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	Documento de otro usuario #d8ea74 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
3	www.energiaestrategica.com https://www.energiaestrategica.com/wp-content/uploads/2021/05/Resolucion-No.-ARCEARNR-014-...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (35 palabras)
4	Documento de otro usuario #ab31ec El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
5	dspace.ups.edu.ec https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7945/1/UPS-CT004799.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)

Fuente mencionada (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515_Practica3_LES.pdf

M. Sc. Ubilla González, Ricardo Xavier

Tutor

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con amor me inculcaron el esfuerzo y la perseverancia, por haber sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida, y a todas las personas que me brindaron su apoyo e hicieron posible esto.

EL AUTOR

BORJA HERNADEZ, JOSEPH FELIPE

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer a Dios por permitirme llegar hasta este punto y darme la sabiduría necesaria para realizar este trabajo. A mi familia por darme su apoyo incondicional, hacerme sentir respaldado en todo momento y sobre todo escucharme. A mis amigos, compañeros y docentes por su ayuda y sugerencias durante todo este tiempo.

EL AUTOR

BORJA HERNANDEZ, JOSEPH FELIPE



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
Ing. CELSO BAYARDO BOHORQUEZ ESCOBAR, Msc
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____
Ing, RICARDO XAVIER UBILLA GONZALEZ, Msc.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____
Ing, EDWIN FERNANDO PALACIOS MELENDEZ, Msc
OPONENTE

INDICE GENERAL

RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
Capítulo 1: Descripción general de trabajo de titulación	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Definición del Problema.....	3
1.4. Justificación y alcance.....	3
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	4
1.5.1 Objetivo General.	4
1.5.2 Objetivo Específico.	4
1.5. Hipótesis.	4
1.6. Metodología de Investigación.....	4
Capítulo 2: Fundamentos de la energía fotovoltaica y su normativa.....	5
2.1 Energías renovables.....	5
2.1.1 Ventajas de las Energías Renovables.....	6
2.1.2 Desventajas de las Energías Renovables.....	6
2.2 Luz solar.....	7
2.3 Energía solar.....	7
2.3.1 Tecnologías del uso de energía solar.....	7
2.3.1.1 Solar pasiva	8

2.3.1.2 Solar térmica.....	8
2.3.1.3 Solar híbrida.....	8
2.3.1.4 Solar fotovoltaica	8
2.4 Fundamentos de la energía solar fotovoltaica.....	8
2.4.1 Irradiancia e irradiación.....	10
2.4.2 Efectos de atenuación.....	11
2.5 Célula solar.....	12
2.5.1 Parámetros eléctricos de una célula solar.....	13
2.5.2 Fabricación de una célula solar.....	15
2.5.3 Tipos de célula solar.	15
2.6 Panel fotovoltaico.....	16
2.6.1 Propiedades eléctricas del panel fotovoltaico.....	16
2.6.2 Potencia del panel fotovoltaico.....	17
2.6.3 Conexión de paneles y agrupaciones.	18
2.6.4 Diodo bypass.	19
2.7 Regulador de voltaje.	20
2.7.1 Clases de reguladores de tensión.....	21
2.8 Almacenamiento de energía.	22
2.8.1 Ventajas de combinar almacenamiento y energía solar.	23
2.8.2 Batería.	24
2.8.2.1 Parámetros de la batería.....	24

2.9 Inversor.....	25
2.9.1 Tipos de Inversores.	26
2.9.1.1 Inversores de conexión a la red.	26
2.9.1.2 Inversor de conmutación externa.	26
2.9.1.3 Inversor de autoconmutado.....	27
2.9.1.4 Inversor basado en PWM.....	27
2.10 Tipos de sistemas fotovoltaicos.	28
2.10.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red.	28
2.10.2 Sistema fotovoltaico con control de inyección a la red.	29
2.10.3 Mantenimiento.	29
2.10.4 Sistema fotovoltaico aislado de la red.	29
2.10.5 Mantenimiento.	30
2.11 Componentes para un sistema fotovoltaico conectado a la red....	31
2.11.1 Medidor bidireccional.	31
2.11.2 Rastreador de punto máximo de potencia (MPPT).....	32
2.11.3 Hora solar pico (HSP).	32
2.11.4 Orientación e inclinación del panel fotovoltaico.	33
2.11.5 Toma tierra.	34
2.12 Generación distribuida.	35
2.12.1 Requerimientos y especificaciones para conexión de la generación distribuida al área del sistema de potencia.	35
2.13 Marco normativo de la generación distribuida en Ecuador.	37

2.13.1 Factibilidad de conexión.....	37
2.13.2 Certificado de calificación.....	38
2.13.3 Conexión y requisito técnicos.....	39
2.13.4 Facturación y medición.	40
Capítulo 3: Metodología y estudios del proyecto	41
3.1 Características del área de estudio.....	41
3.2 Cálculos para el sistema fotovoltaico.	41
3.2.1 Cálculo del rendimiento del sistema fotovoltaica.	42
3.2.2 Calculo de paneles solares requeridos.	43
3.3 Calculo de agrupación de paneles solares.....	44
3.3.1 Determinación de agrupaciones en serie.	45
3.3.2 Determinación de agrupaciones en paralelo.	48
3.3.3 Determinación de agrupaciones en paralelo.	49
3.3.4 Determinación de baterías para plantas solares.	50
3.4 Plantas solares.	51
3.4.1 Plantas solar 1 (Estación de bombas).....	51
3.4.2 Plantas solar 2 (Cancha de tennis).	53
3.4.3 Plantas solar 3 (Administración).....	55
3.5 Equipos seleccionados para los sistemas fotovoltaicos	57
3.6 Presupuesto económico del proyecto.	59
Capítulo 4: Conclusiones y recomendaciones	62

4.1 Conclusiones	62
4.2 Recomendaciones	62
ANEXOS	65
1 Ficha técnica de panel solar trina solar.	65
2. Hora solar pico de la zona de análisis.....	65
3. Datasheet de inversor Growat 20KWP.....	66
4. Datasheet de inversor Huawei 100kwp.	66
5. Esquema de Planta solar 1.	67
6. Esquema de Planta solar 2.	67
7. Esquema de Planta solar 3.	68
8. Diagrama unifilar de Planta solar 1.	68
9. Diagrama unifilar de Planta solar 2.	69
10. Diagrama unifilar de Planta solar 3.	69
11. Planilla de luz de la administración de la urbanización El Rio.	70
12. Planilla de luz de bombas de agua de la urbanización El Rio.	70
13. Planilla de luz de canchas de la urbanización El Rio.....	71
14. Alícuota de la urbanización El Rio.....	71
15. Datasheet de batería de 20kw/h.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espectro de radiación electromagnética del sol.	5
Figura 2 Representación esquemática de una celda solar y el efecto fotovoltaico. .	10
Figura 3 Irradiación global, directa, y difusa sobre un captador.	11
Figura 4 Establecimiento de concepto de masa de aire.	12
Figura 5 Corte transversal de un módulo fotovoltaico.	16
Figura 6 Características de variación de corriente y tensión en un panel.	17
Figura 7 Diagrama de conexión en serie de paneles idénticos.	18
Figura 8 Diagrama de conexión en paralelo de paneles idénticos.	18
Figura 9 Esquema de funcionamiento de un diodo de derivación:	20
Figura 10 Tipos de baterías con sus respectivos parámetros.	25
Figura 11 Representación de circuito de una fase con inversor pwm.	28
Figura 12 Proceso para solicitar conexión a la red.	31
Figura 13 Hora solar pico como unidad de energía.	33
Figura 14 Vista espacial del punto de inyección de la planta solar 1.	52
Figura 15 Medición de espacio disponible en la planta solar 1.	52
Figura 16 Dimensiones de los módulos fotovoltaicos	53
Figura 17 Terreno disponible para la implantación de la planta solar fotovoltaica ...	54
Figura 18 Área de terreno disponible.	54
Figura 19 Distancia desde la planta solar hasta el punto de inyección eléctrica en AC	55
Figura 20 Vista espacial de la planta solar 3	56
Figura 21 Vista espacial de la planta solar 3	56
Figura 22 Distancia desde la planta solar hasta el punto de inyección eléctrica en AC	57
Figura 23 Panel solar marca Trina solar.:	57
Figura 24 Inversor solar marca Growatt.	58
Figura 25 Inversor solar marca Huawei.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases de generación distribuida.	37
Tabla 2 Categorías de fuentes distribuidas.	38
Tabla 3 Vida útil de las fuentes distribuidas.	39
Tabla 4 Dimensionan las plantas solares en base a la demanda anual de los medidores.	41
Tabla 5 Características térmicas de la célula fotovoltaica	42
Tabla 6 Presupuesto económico para el proyecto del sistema fotovoltaico	59
Tabla 7 Presupuesto de inversión para residentes para las plantas fotovoltaicas ...	60
Tabla 8 Presupuesto económico para las plantas solares 1, y 2.	61

RESUMEN

Este proyecto de investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad del proyecto de la implementación de 3 plantas solares de generación distribuida, como una alternativa para la disminución de las elevadas planillas de consumo eléctrico que registra la administración de la urbanización El Rio. Este proyecto no solo busca un ahorro, sino, también aportar con el ejemplo para el cambio de matriz energética que se propone el planeta. Mediante las 3 planillas que posee la administración, se recopila datos de dimensionamiento, características técnicas de funcionamiento, y el punto de inyección según la normativa vigente de generación distribuida de autoconsumo que maneja la ARCERNNR. Se utilizaron herramientas digitales para determinar el punto constructivo más conveniente, y herramientas que proporcionaran datos claves del entorno donde se plantean realizar las 3 plantas solares conectadas a la red, para posteriormente cubrir los valores adicionales a la alícuota. Al concluir del análisis de este proyecto y revisar los catálogos disponibles de los equipos principales de una planta solar, se determinó que es posible la implementación del proyecto que podrá cubrir los valores adicionales de la alícuota.

Palabras claves: Planta Solar, Generación Distribuida, Sistemas Fotovoltaicos

ABSTRACT

This research project aims to analyze the feasibility of the project for the implementation of 3 distributed generation solar plants, as an alternative to reduce the high electricity consumption bills recorded by the administration of the El Rio urbanization. This project not only seek savings, but also contribute by example for the change in the energy matrix that the planet is proposing. Through the 3 forms that the administration has, sizing data, technical operating characteristics, and the injection point were collected according to the current regulations for distributed self-consumption generation managed by ARCERNNR. Digital tools were used to determine the most convenient construction point, and tools that provide key data on the environment where the 3 solar plants connected to the grid are planned, to later cover the additional values to the rate. Upon concluding the analysis of this project and reviewing the available catalogs of the main equipment of a solar plant, it was determined that it is possible to implement the project that will be able to cover the additional values of the aliquot.

Keywords: Solar Plant, Distributed Generation, Photovoltaic System

Capítulo 1:

Descripción general de trabajo de titulación

1.1. Introducción.

En el mundo se intenta cambiar la matriz energética para lograr disminuir las emisiones de gases invernadero a un margen nulo de contaminación para la atmosfera del planeta. Para conseguir esta meta se emplean varios métodos para la obtención de energía eléctrica de recursos renovables amigables con el medio ambiente como la energía fotovoltaica, eólica, hidráulica, mareomotriz, etc. Debido a los avances tecnológicos la energía fotovoltaica es la más accesible para uso residencial.

La energía fotovoltaica es una alternativa a las empresas distribuidoras que ayudará a reducir los costos de facturación eléctrica, y será amigable con el medio ambiente, siempre que se realicen los criterios necesarios para determinar si es necesaria una instalación conectada directa a la red, aislada, o asistida.

1.2. Antecedentes.

La energía fotovoltaica comenzó a adquirir visibilidad en la década de 1960 al implementarse como fuente de energía para los satélites, desde su incursión en la competencia de generación de energía eléctrica, ha crecido hasta el punto en que Rhone Rech, presidente de la asociación de industrias de energía solar, afirma que “es la energía de mayor crecimiento del mundo, con indicaciones claras de los gobiernos en el mercado. Estas tecnologías de bajas emisiones de carbono podrían proporcionar más del 30% del suministro de energía mundial total para el año 2040” .

La aplicación de estas fuentes de micro generación mediante paneles solares también conocida como generación distribuida, tuvo buena aceptación en el sector industrial, que es normalmente el mayor consumidor de energía eléctrica en los países, por lo que se convirtió en una tendencia mundial.

La agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables, ARCENNR no tenía regulaciones para el uso de la micro-generación mediante generación distribuida hasta al año 2021, en cual resolvieron dos artículos que hacen referencia a las condiciones necesarias para que usuarios finales o consumidores registrados puedan realizar una generación distribuida con el fin de autoabastecerse, así también se refiere a las empresas habilitadas para realizar este tipo de generación.

1.3. Definición del Problema.

El consumo eléctrico tiene una tendencia a aumentar en el sector industrial, comercial o residencial y este es el caso de la administración de la urbanización El Rio, que presenta elevadas planillas de luz de tres de medidores de los cuales dos poseen planillas con un valor económico de \$1045 dólares y la otra de \$1001.51 dólares , con sus respectivas consumo eléctrico de 11506Kw/h y 8963Kh/h siguiendo el orden mencionado anteriormente, el tercer medidor posee una planilla con un valor económico de \$230 dólares, y con su consumo eléctrico de 2237Kw/h, lo cual no permite que la administración solvente las necesidades económicas que se encuentran agregados a la alícuota bimensual. El consumo eléctrico de la administración está constituido por el uso de tres aires acondicionados, la iluminación de las áreas sociales de la urbanización, luminarias para canchas deportivas, y centro de bombas de agua. Por ende, se plantea un diseño de generación distribuida con energía renovable, para alimentar la carga de las áreas sociales y administración y así poder disminuir el costo de la planilla del consumo eléctrico.

1.4. Justificación y alcance.

Debido a la elevada facturación eléctrico que poseen la administración de la urbanización El Rio, se busca disminuir la facturación eléctrica de la administración y áreas sociales iluminadas, mediante generación distribuida con energía renovable para poder cubrir valores agregados a la alícuota que pagan los residentes de la urbanización El Rio.

1.5 Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1 Objetivo General.

Analizar diseño de proyecto de generación distribuida con energía renovable para disminuir la facturación eléctrica de la administración, cancha de tenis, y bombas de agua de la urbanización El Rio.

1.5.2 Objetivo Específico.

- Aplicar el marco normativo de la generación distribuida en el Ecuador regulada por la ARCENNR
- Diseñar un sistema de generación fotovoltaico.
- Evaluar viabilidad técnica de este proyecto.

1.5. Hipótesis.

La factibilidad de poder aprovechar la energía solar mediante sus diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos para reducir los costos en la facturación eléctrica de los residentes de la urbanización El Rio, además de apoyar al cambio de matriz energética que reduce en gran cantidad la producción de CO₂ que se emite en el ambiente.

1.6. Metodología de Investigación.

El tipo de investigación es descriptiva ya que se planteará el análisis de un proyecto de diseño para la generación distribuida mediante el empleo de energía renovable, para alimentar la carga de los tres medidores que posee la administración de la urbanización El Rio, y así poder disminuir el costo de la planilla del consumo eléctrico.

La metodología empleada para esta investigación es la analítica descriptiva debido a que en el trabajo realizado se exponen los diferentes temas pertinentes para realizar un sistema fotovoltaico, y sus requerimientos.

Capítulo 2:

Fundamentos de la energía fotovoltaica y su normativa.

2.1 Energías renovables.

La energía renovable es la producción de energía eléctrica mediante recursos de la naturaleza que se renuevan paulatinamente. Estos recursos se encuentran siempre en renovación por medios naturales, estos a su vez dependen de factores externos de la capa terrestre. La producción de energía generada por los recursos renovables produce una menor cantidad de emisiones de gases invernadero que es liberada a la atmósfera.

La energía renovable se puede clasificar en 6 tipos de energía: solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica, oceánica, y bioenergía. De estas energías la solar y la eólica son las que dominan la expansión para la capacidad renovable, aunque sea la energía hidroeléctrica la que aporta la mayor capacidad renovable en la actualidad.

La energía solar es la que más abunda, debido a sus avances tecnológicos que lograron abaratar los costos de los componentes como también alargar su vida útil y la disponibilidad de luz solar en cualquier parte del mundo. Este tipo de energía es transmitida en forma de radiación electromagnética, la cual posee diferentes espectros de radiación como la radiación infrarroja, ultravioleta o luz visible. En la figura 2.1 se muestra los tipos de radiación electromagnética del sol.

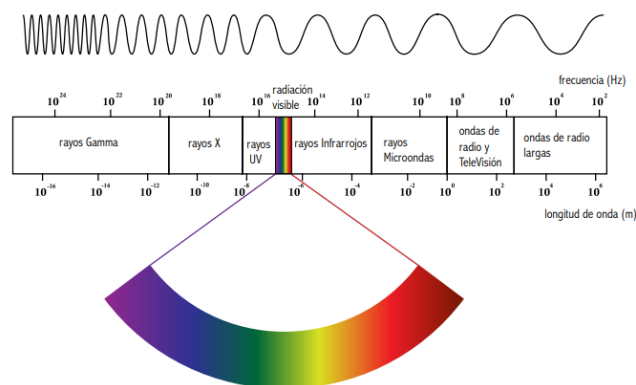


Figura 1 Espectro de radiación electromagnética del sol.

Fuente: (Les, 2017)

La energía hidroeléctrica en cambio aprovecha la energía que produce el movimiento del agua cuando es encausado. Se puede producir esta situación a partir de ríos y embalses. Las plantas hidroeléctricas de reservorio usan agua almacenada y estancada, mientras que las plantas hidroeléctricas fluviales usan la energía producida por la entrada de agua en un río.

Las obras hidroeléctricas generalmente tienen múltiples operaciones, produciendo agua potable, agua de riego, control de mareas y fallas de inundaciones, servicios de navegación y también esta energía de fuerza que se indica.

La energía hidroeléctrica es actualmente la mayor fuente de energía renovable dentro del sector eléctrico. Se basa en patrones de caída generalmente estables y puede verse afectado negativamente por sequias causadas por el cambio climático o, de hecho, por cambios en los ecosistemas, lo que también produce este problema y afecta estos patrones de caída.

2.1.1 Ventajas de las Energías Renovables.

- Las energías renovables contribuyen a la reducción de CO₂ libera al ambiente por la producción de energía eléctrica causando daños ambientales mínimos en comparación a las energías que requieren de combustión de fósiles o la energía nuclear.
- Las energías renovables dinamizan la economía dando autonomía y generando empleos en el lugar donde se la emplea.
- Colabora al progreso de actividades industriales y reduce la demanda regional de energía eléctrica producida con materia no renovable

2.1.2 Desventajas de las Energías Renovables.

- Limitación del recurso según su lugar geográfico o disponibilidad en el tiempo requerido.
- Inversión inicial alta

2.2 Luz solar.

El sol es una fuente de energía infinita debido a las reacciones nucleares que se producen en la superficie de este, esa energía llega a al planeta en cantidades desmesurables en forma de radiación electromagnética que posee un espectro de longitudes de onda que abarca desde 0.2 micromilímetros hasta 2.6 micromilímetros, este espectro de longitudes de onda es la denominada luz solar.

Es indispensable reconocer que la luz solar que los ojos perciben es llamada el espectro del visible, el intervalo que abarca esta longitud de onda visible es solo un pequeño intervalo con un rango de 0.4 micromilímetros hasta 0.7 micromilímetros. Además del rango del espectro visible, la luz solar se compone de ondas electromagnéticas del rango infrarrojo y ultravioleta, estas ondas electromagnéticas se encuentran fuera del rango de percepción visual de los humanos. Sin embargo, se los percibe en el área o cosa donde estas inciden, cuando estas ondas electromagnéticas son absorbidas el objeto o área presenta un fenómeno de calentamiento.

Cuando la luz solar interactúa con objetos en estado sólido se generan una variedad de fenómenos que eran imposibles de explicar usando fundamentos teóricos de ondas. Albert Einstein demostró que la luz se comporta como un conjunto de “paquetes o cuantos”, llamados actualmente fotones cuya energía está definida por la ecuación $E_{ph} = 1.2048/l$

2.3 Energía solar.

En el sol los átomos de hidrógeno se unen para formar átomos de helio más pesados, a esta conversión se la denomina energía solar, al finalizar la conversión solo una parte se transforma en radiación luminosa. Esta radiación luminosa es emitida desde el sol a todas partes, siendo 1% la radiación que llega al planeta tierra.

2.3.1 Tecnologías del uso de energía solar.

En la actualidad existen diferentes tecnologías que aprovechan la radiación solar para producir energía eléctrica DC, mediante diferentes

mecanismos de absorción de radiación solar, pero con diferente implementación energética.

2.3.1.1 Solar pasiva

La energía solar pasiva se aplica especialmente los espacios habitables, aprovecha directamente la energía del sol por medio de soluciones constructivas o materiales.

2.3.1.2 Solar térmica

Se utiliza mediante colectores o captadores solares para transformar la radiación solar, los colectores recolectan y absorben radiación para entregarla, un ejemplo de esta aplicación son los calentadores solares de agua.

2.3.1.3 Solar híbrida

Para aplicar la energía solar híbrida se combinan cualquiera de los tipos de energía solar que se puede aprovechar con otras energías, usualmente se utilizan otras energías renovables como la eólica que es la más común para combinar con la energía solar fotovoltaica.

2.3.1.4 Solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica funciona mediante un sistema fotovoltaico el cual transforma de manera indirecta la radiación solar en energía eléctrica, esto es gracias a las celdas fotovoltaicas que ionizan a la hora de recibir sol esto libera electrones que al interactuar entre ellos se genera una corriente eléctrica.

2.4 Fundamentos de la energía solar fotovoltaica.

La materia está constituida por átomos, los cuales a su vez están formados por dos partes bien diferenciadas: el núcleo, dotado de una carga eléctrica positiva y los electrones, con carga eléctrica negativa que compensa la del núcleo, formando de esta manera un conjunto eléctricamente neutro. Los electrones más externos se conocen como electrones de valencia. Por su

estado, los materiales se clasifican en sólidos, líquidos y gases; y con respecto a sus propiedades eléctricas, hay conductores, aislantes y semiconductores. (Sánchez, Martínez, Escobar, Magdalena) (2017).

En la fabricación de celdas solares fotovoltaicas se utilizan semiconductores debido a que la luz solar está constituida de fotones que poseen una energía similar a la que liga los electrones de valencia al núcleo. Es debido a esto que cuando la luz solar incide en un semiconductor normalmente de silicio por su favorable capacidad de conversión de la energía de los fotones, la cual suministra la energía suficiente para que los electrones de valencia se liberen de su núcleo y fluyan por el material. Cuando electrón de valencia se libera como carga negativa y aparece un hueco con ausencia de carga negativo por lo que se la considera carga positiva. Cuando se generan pares electrón y hueco, en el semiconductor por la absorción de la energía de la luz se forma una foto-generación de portadores de carga negativa y positiva. Este efecto de foto-generación produce la disminución de la resistencia eléctrica del material.

Por otra parte, se puede introducir átomos ajenos a un semiconductor usando la ingeniería de materiales. Algunos de estos átomos ajenos ceden electrones libres al átomo nativo cambiando su comportamiento a una carga negativa, estos semiconductores son conocidos como tipo-N. Hay otros átomos que al enlazarse al átomo nativo dejan huecos en el mismo provocando la ausencia de electrones por lo que se considera el átomo positivo, estos son conocidos como semiconductores tipo-P.

La unión de un semiconductor de tipo-N y otro semiconductor de tipo-P con contactores en la parte inferior y superior forma una celda solar. En caso del silicio el espesor de la unión puede variar unos cientos de micra por su baja absorción. La misma unión forma un campo eléctrico E_i que circula principalmente en la unión.

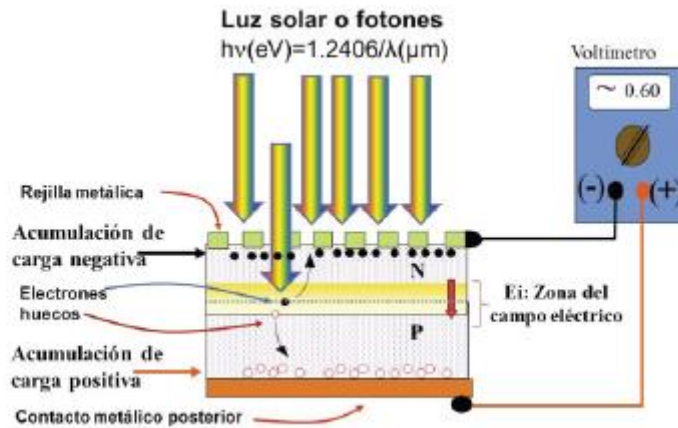


Figura 2 Representación esquemática de una celda solar y el efecto fotovoltaico.

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

Debido a la concentración de cargas en el dispositivo se forma un voltaje eléctrico medible en su estructura externa. Este voltaje es conocido como efecto fotovoltaico. Mediante un circuito externo entre las dos superficies de la celda solar, podemos observar cómo los electrones acumulados fluirán a través del circuito a su posición inicial.

2.4.1 Irradiancia e irradiación.

La luz solar al ser una forma de energía su unidad de energía corresponde a la energía, tomando el sistema internacional de unidades sería el joule(J) la unidad de medición para la luz solar. Para poder obtener esta medición se establece que la irradiación solar o intensidad de la irradiación (G), es la energía radiante por unidad de área por unidad de tiempo que traspasa una superficie imaginaria S, perpendicular a la dirección de propagación de la onda. La fórmula general donde se relacionan estos valores es:

$$G = E/S_t$$

Donde E es la cantidad de energía radiante que se sitúa en la superficie en un determinado tiempo, debido a que la energía E es el producto de la potencia por el tiempo, podemos reemplazar la energía de la ecuación general para obtener la irradiancia G, donde su unidad de medición será W/m^2 .

$$G = P/S$$

Por otra parte, la irradiación es la densidad de energía absorbida o recibida en un determinado tiempo. Se representa la irradiación con el símbolo H_s y su unidad de medida es Ws / m^2 .

$$H_s = Gt$$

Usualmente, la irradiación se representa como una acumulación de energía promedio durante un periodo de tiempo (anual, mes, estacional, día).

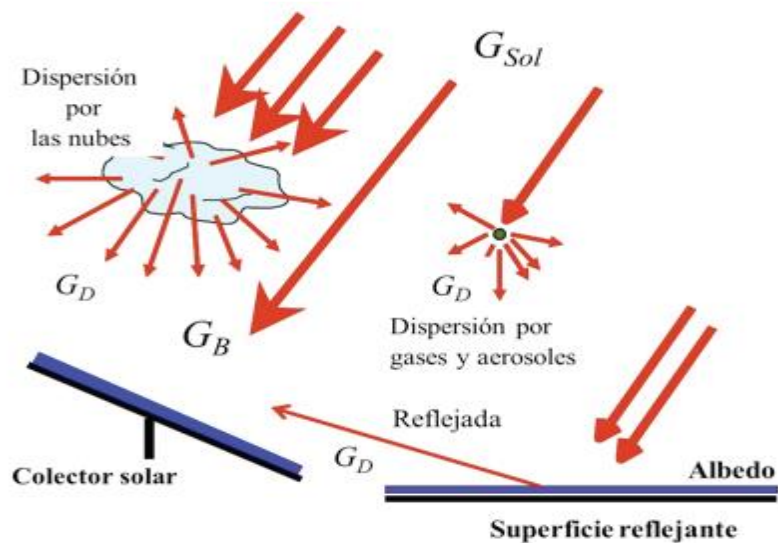


Figura 3 Irradiación global, directa, y difusa sobre un captador.

Fuente: (Sánchez, Martínez, & Soto, 2017)

2.4.2 Efectos de atenuación.

Al incidir la luz solar sobre la Tierra, parte de ella es reflejada, dispersada y absorbida por la atmósfera terrestre. Otra fracción de ella llega a la superficie de la Tierra en donde es absorbida y reflejada, generando una serie de fenómenos físicos. El proceso de absorción de la radiación solar se pone de manifiesto debido al calentamiento (aumento de temperatura) que experimentan los objetos, cosas o seres vivos sobre los cuales incide la luz solar. Cualquier objeto o cosa sobre los cuales inciden los rayos de la luz solar puede ser llamado captador solar. Para que sea posible usar la Energía Solar es necesario tener un Captador Solar. Su función será la de recibir y absorber

la energía del Sol que llega en forma de luz solar (Sánchez, Martínez, Escobar, Magdalena)(2017)

La irradiación que llega a la tierra pasa por procesos de reflexión, absorción, y dispersión que se realiza en la atmosfera, esto provoca que el valor G_{Sol} sea mayor al valor que llega realmente a la tierra. El porcentaje de atenuación es dado por el medio por el cual atraviesa, y la longitud de la trayectoria que recorre la radiación a través de la atmosfera, debido que la radiación atraviesa el aire, el grado de atenuación estará ligado al espesor de la masa de aire representado con la letra m . Aunque m en realidad se la utiliza como el espesor de la dirección que sigue un rayo solar, a través de la atmosfera, para llegar al captador situado en la superficie terrestre. El captador recibe una radiación solar con masa de aire igual a la unidad, lo que se representa como AM1(Air Mass One), solo cuando el sol se encuentre en cenit del captor y este se encuentre sobre el nivel del mar. En la siguiente figura se representa el concepto de masa de aire considerando que la capa atmosférica es de espesor constante y homogénea.

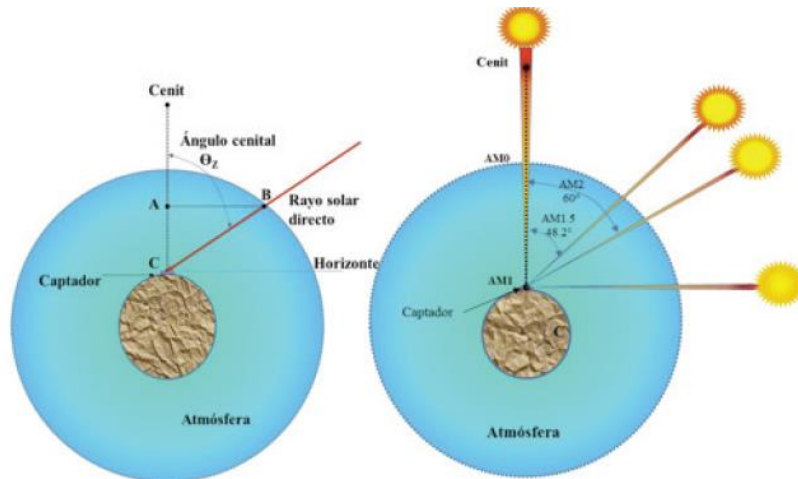


Figura 4 Establecimiento de concepto de masa de aire.

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

2.5 Célula solar.

El dispositivo con mayor importancia en un sistema fotovoltaico es el generador denominado célula solar. Este dispositivo se caracteriza en transformar los fotones de la luz solar de forma directa a electricidad. Este

dispositivo está formado por lingotes normalmente de silicio rebanado en formas de placas llamadas obleas. Una pequeña parte del espesor superior de la oblea es dopada con átomos de fósforo para cambiar la propiedad original a una de tipo-N, y en la oblea que se encuentra en la parte inferior se introducen átomos de boro para formar un semiconductor de tipo-P.

La célula posee dos terminales que enlazan con un circuito externo que permite extraer la energía eléctrica producida, la oblea de tipo-N tiene un recubrimiento muy delgado de materiales como el platino, titanio, o plata cubriendo el 10% del área de la oblea, este recubrimiento es el que se encarga de recolectar los electrones fotogenerados, el otro lado de la célula es un semiconductor de tipo-P recubierto totalmente de una protección metálica normalmente de aluminio solar (Sánchez, Martínez, Escobar, Magdalena)(2017)

2.5.1 Parámetros eléctricos de una célula solar.

Todo panel solar viene de fábrica con su curva característica $I - V$ como se muestra en la figura 2.11, esta da información sobre el desempeño del panel bajo condiciones de prueba estándar (STC), es decir, a una irradiancia de 1000 W/m^2 , a una distribución espectral de la radiación solar de 1.5 y a una temperatura del panel de 25°C . Además, los datos técnicos que brinda la curva son importantes al momento de diseñar el sistema y dimensionar sus distintos componentes (Villamar,2022).

- Corriente de iluminación (I_L)

La corriente creada cuando incide la radiación solar en la célula solar.

- Corriente de oscuridad

Se debe al remezcle de los pares electrón-hueco que se genera en el interior del semiconductor.

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}):

Es la corriente máxima que el panel puede administrar, este parámetro se obtiene cuando la tensión en sus terminales es cero voltios.

- Tensión de circuito abierto (**VOC**)

Se refiere a la tensión máxima que se consigue en los extremos de las celdas solares, que ocurre cuando no posee ni una carga conectada.

- Factor de forma (**Ff**)

El factor de forma en los paneles solares es una medida que indica la eficiencia con la que un panel solar puede aprovechar la radiación solar incidente para generar electricidad. Esta eficiencia se refiere a cómo la curva de corriente-voltaje (I-V) del panel solar se asemeja a una curva rectangular, que sería la ideal para obtener la máxima potencia posible:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

Formula 2 1: Factor de forma

- **I_{max}** es la corriente máxima que puede proporcionar el panel solar bajo condiciones de máxima potencia (punto máximo de la curva I-V).
- **V_{max}** es el voltaje máximo que puede proporcionar el panel solar bajo condiciones de máxima potencia (punto máximo de la curva I-V).
- **I_{sc}** es la corriente de cortocircuito, que es la corriente máxima que fluye cuando el panel está cortocircuitado (voltaje igual a cero).
- **V_{oc}** es el voltaje de circuito abierto, que es el voltaje máximo que se obtiene cuando el panel está en circuito abierto (corriente igual a cero).

El factor de forma es un valor adimensional y siempre será menor o igual a 1. Cuanto más cercano a 1 sea el factor de forma, más rectangular será la curva I-V del panel solar, lo que indica una mayor eficiencia y capacidad para aprovechar la radiación solar y generar energía eléctrica.

2.5.2 Fabricación de una célula solar.

De la abundante arena que podemos encontrar o las rocas de cuarzo podemos obtener silicio que muchas veces debemos elevar su pureza cerca del 99% para proceder a fundirlo. Cuando el material termina de fundirse se cristaliza, es así como se obtienen lingotes de silicio cristalino que se cortan en laminas llamadas albedo, el proceso de corte es uno de los más importantes en una célula solar debido a que pueda causar pérdidas de 50% de material.

Después del corte se efectúa el proceso de capado con la finalidad de eliminar las imperfecciones que se pueden producir en el proceso de corte. Cuando la superficie se encuentra sin irregularidades, se aplica una capa que evite la refracción de la luz solar para mejor la absorción de la radiación solar. Y por último la creación de la unión P-N mediante el dopaje del silicio usando átomos de fósforo y boro.

2.5.3 Tipos de célula solar.

- Silicio Mono cristalino:

Es uno de los tipos con mayor eficiencia llegando a tener una eficiencia de 17 % al 20%, se distinguen por su gran tolerancia a la radiación difusa y su mayor tiempo de vida útil. Debido a su eficiencia es de los más útiles a la hora de producir energía con superficies más pequeña.

- Silicio policristalino

Silicio situado sobre otro sustrato, con una eficiencia que radica del 13% al 15%, se caracteriza por tener un patrón irregular de cristalización, que es resultado de la disminución de costos en sus procesos de fabricación

- Silicio amorfo

Es un compuesto hidrogenado de silicio, no cristalino, situado sobre otra sustancia con un espesor de 1 micrómetro. No existe estructura cristalina de forma ordenada, y el silicio se ha situado sobre un soporte transparente en forma de una capa fina. Muestran un color marrón y gris oscuro. Las células de silicio amorfo (no cristalino) parecen tener unos aspectos de futuro muy tranquilizadoras. Esta tecnología admite disponer de células de muy estrecho espesor y elaboración más simple y barata, aunque con eficacia del 6-8%. Su

primordial campo de aplicación en la actualidad se encuentra en la alimentación de relojes, calculadoras, etc. (Labarta, 2012)

2.6 Panel fotovoltaico.

Un panel solar fotovoltaico está conformado por un grupo de celdas fotovoltaicas conectadas eléctricamente, encapsuladas por un recubrimiento que disminuirá los efectos de refracción, y un soporte normalmente metálico de aluminio que se acopla a la estructura del panel.

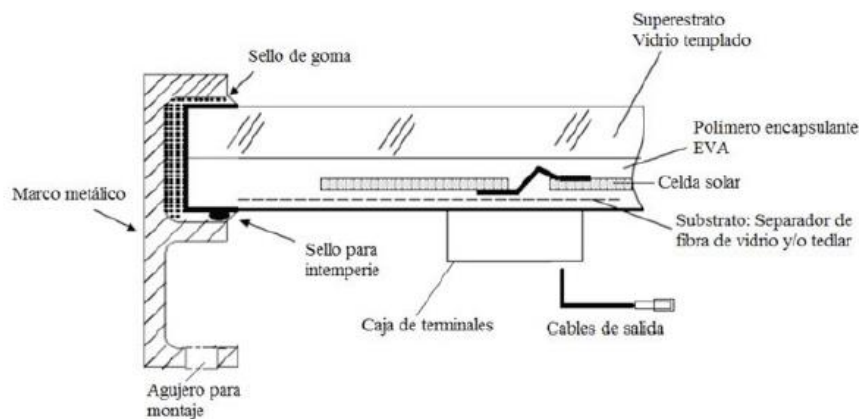


Figura 5 Corte transversal de un módulo fotovoltaico.

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

2.6.1 Propiedades eléctricas del panel fotovoltaico.

Las características eléctricas de un módulo fotovoltaico están indicadas por algunas características de corriente-voltaje, equivalentes a las de las células solares. Conectando una carga óhmica variable a los terminales del módulo fotovoltaico irradiado, se pueden registrar combinaciones de corriente y voltaje que dan como resultado una curva I-V cuando se varía la carga.

La multiplicación de los pares I-V conduce a una potencia de salida que alcanza su valor más alto en el llamado "Punto de máxima potencia" (PMP). Para que los datos sean comparables, se han establecido "Condiciones de prueba estándar" (STC): el espectro es fijo y está relacionado con un espectro solar en Air Mass 1.5, la irradiación es de 1,000 W/m y la temperatura de funcionamiento de la celda se establece en 25°C. La variación de la irradiancia E (o G) tiene solo una pequeña influencia en el voltaje de circuito abierto de un módulo fotovoltaico en un rango de 350 a 1000 W/m². A niveles de irradiación

más bajos, el voltaje disminuye, la corriente de cortocircuito es directamente proporcional a la irradiancia porque la corriente es equivalente al número de pares electrón-hueco generados por los fotones absorbidos. Como consecuencia; la potencia de salida posible de un generador fotovoltaico es proporcional a la irradiación de 350 a 1000 W/m^2 (eficiencia de conversión constante).

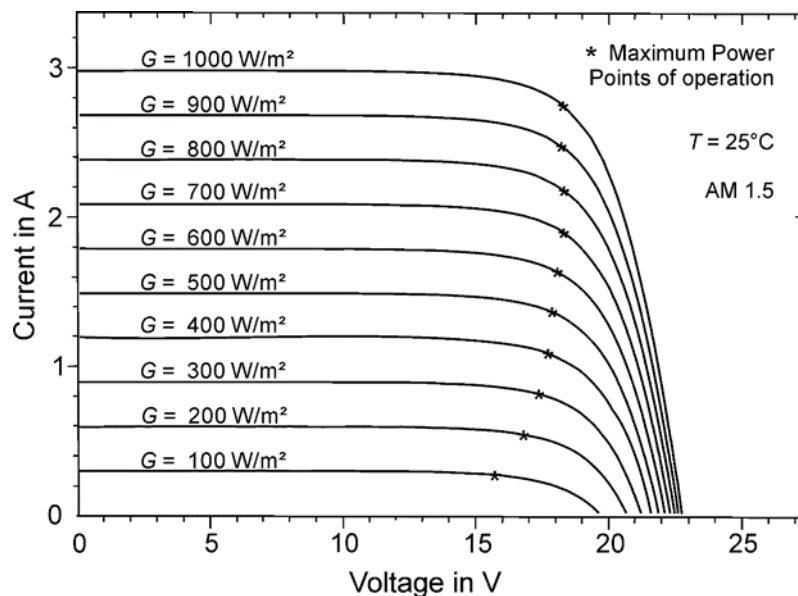


Figura 6 Características de variación de corriente y tensión en un panel.

Fuente: (Krauter, 2016)

2.6.2 Potencia del panel fotovoltaico.

Un módulo de célula fotovoltaica usualmente produce de 1W a 2W en unas dimensiones de 10x10cm. Es por eso que es necesaria la conexión de varias células solares para suministrar la carga que tienen los sistemas fotovoltaicos. De esta solución a la problemática nace el concepto de panel solar. Dependiendo de la conexión que se realice de las células fotovoltaicas se presentaran los diferentes casos:

- Cuando la conexión de la célula es en serie, el panel permite una mayor tensión en sus límites semejantes.
- La conexión configurada en paralelo permita aumentar la intensidad total de la agrupación.

2.6.3 Conexión de paneles y agrupaciones.

La conexión de los paneles solares está ligada al tipo de carga que se desea alimentar por lo que podemos encontrar un solo panel flexible de alta calidad instalado en cargas con una potencia normalmente pequeñas como una calculadora o también para recargar baterías de teléfono. Esta conexión se realiza mediante una interconexión de tal forma que el terminal positivo del primero se acople con el terminal negativo del segundo. Los terminales de medición de paneles en conexión en serie es el terminal positivo del primero y el terminal negativo del último.

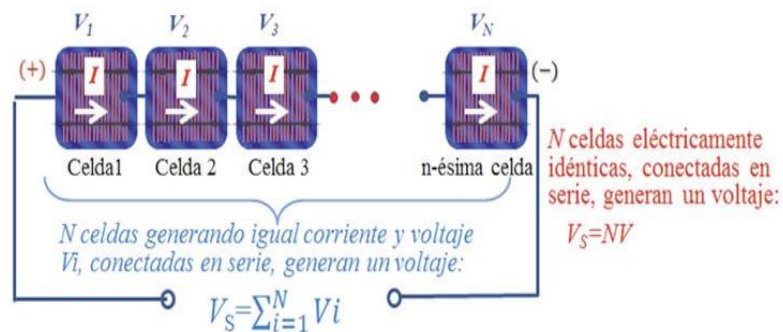


Figura 7 Diagrama de conexión en serie de paneles idénticos.

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

Por otra parte, el agrupamiento en paralelo se basa en conectar todos los terminales negativos, y unir todos los terminales positivos de los paneles que se vayan a emplear. En este método se puede obtener una medición de parámetros de cualquier panel, pero debemos tener en cuenta que la corriente total del sistema será la suma de la corriente de cada panel solar.

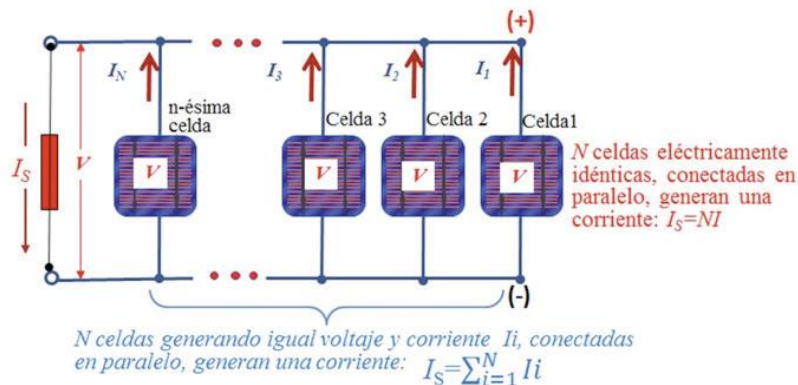


Figura 8 Diagrama de conexión en paralelo de paneles idénticos.

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

A la combinación de los métodos de conexión presentados anteriormente se la denomina conexión mixta, pero este método es de vital importancia que la cadena de conexiones en serie debe estar compuesta por el mismo número de paneles y conectados de la misma forma. Este método es aplicado a cargas que requieran tensiones y/o corrientes superiores a los parámetros nominales de un panel.

Realizar una conexión o agrupación de paneles tiene otras virtudes para el sistema fotovoltaico como:

- En el caso que existan baterías en la instalación una agrupación de los paneles solares evitara que la batería se descargue por el mismo panel solar
- Cuando hay una conexión en paralelo impide que la corriente fluya en el sentido contrario debido a la formación de una sombra en cualquier panel.
- Proteger cada panel de posibles daños por sombras transitorias que se originan en circunstancias especiales.

2.6.4 Diodo bypass.

Como con todas las conexiones en serie (por ejemplo, en baterías o en PV), el elemento con la corriente más baja define la corriente total. Para evitar pérdidas, sólo las células con una corriente equivalente al voltaje de operación se seleccionan para series conexión. Además, la corriente de una celda puede reducirse mediante el sombreado local. (por ejemplo, debido a la suciedad en la superficie del módulo), lo que limita la corriente total y potencia de salida. Si la cuerda es lo suficientemente grande, el (reverso) el voltaje en la celda sombreada puede superar el voltaje de ruptura negativo y podría conducir a una disipación de energía local que incluso podría destruir la celda.

Para superar este problema, los "diodos de derivación" se conectan en paralelo (en dirección opuesta del diodo de la celda solar, a menudo también llamado "antiparalelo") a las celdas solares o una pequeña cadena de celdas solares. Cuando la corriente de una celda se reduce por sombreado, se

acumula un voltaje inverso en la celda (suponiendo que hay una carga conectada) hasta que supera el voltaje de ruptura del diodo de derivación y, por lo tanto, parte de la corriente total fluye a través del diodo de derivación, mientras que el resto I_{rest} pasa a través de la celda. Otras formas de superar este problema son usar un voltaje de avance inverso bajo de los diodos de las celdas solares.

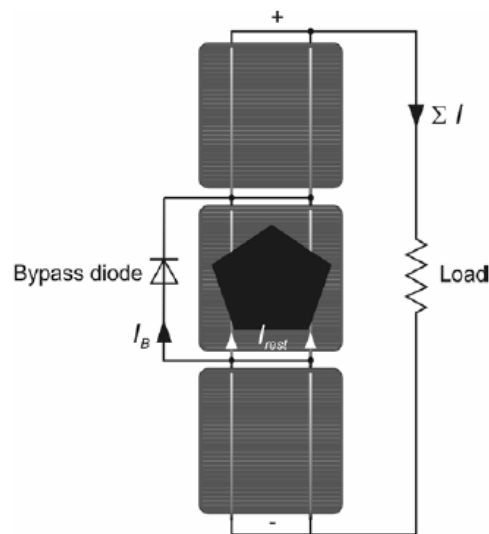


Figura 9 Esquema de funcionamiento de un diodo de derivación:

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

2.7 Regulador de voltaje.

Un regulador de voltaje es un controlador de carga electrónico, utilizado en sistemas fuera de la red y sistemas conectados a la red con respaldo de batería, que controla el flujo de energía desde la fuente de carga hasta la batería. El controlador de carga disminuye, detiene o desvía automáticamente la carga cuando las baterías están completamente cargadas. Algunos controladores de carga tienen ahora microcontroladores con capacidad de medición y registro de datos para mostrar los parámetros de operación del sistema y el estado de carga de la batería. Los controladores de

carga tienen una desconexión de carga de batería baja para evitar una descarga excesiva. Los controladores de iluminación tienen controles de luz incorporados para encender las luces por la noche. Los controladores de desvío de carga se utilizan generalmente para sistemas de energía hidráulica y eólica para transferir energía al disipador de calor para evitar la sobrecarga de las baterías.

Debido a que la agrupación de paneles solares tiene una tensión nominal superior a la de la batería, es necesario un regulador para proteger el sistema fotovoltaico de sobrecargas. Que la tensión nominal de los paneles sea así se debe a la necesidad de amortiguar las amenazas de rebajas de voltaje por un aumento repentino de temperatura, o también para asegurar la correcta carga de la batería.

El dimensionado de la instalación solar fotovoltaica se ejecuta de manera que se afirme el abastecimiento de energía en las malas condiciones de luminosidad del sol. Para ello se toma de referencia los valores de irradiación en el invierno. Esto puede inducir que en verano la energía contribuida por los módulos solares sea en ocasiones casi el doble de los cálculos apreciados, por lo que, si no se conecta el regulador entre los paneles y las baterías, la exuberancia de corriente alcanzaría a llegar incluso a hacer hervir el electrolito de los acumuladores, con el peligro que ello conlleva (Santamaria, 2010).

2.7.1 Clases de reguladores de tensión.

Varias técnicas están involucradas en la regulación automática de los niveles de tensión de salida. Los componentes utilizados ayudan a mejorar la eficiencia y el rendimiento. Los reguladores de voltaje varían en precio y

eficiencia. Los siguientes tipos de reguladores de voltaje están disponibles en el mercado:

- Reguladores lineales: en cuanto al precio, son los reguladores más asequibles. También son los más fáciles de usar. Se utilizan principalmente en sistemas de potencia y baja tensión. En el campo de la tecnología, a menudo se lo denomina circuito divisor de voltaje. Esto se debe principalmente a que el voltaje de retroalimentación determina la resistencia en serie efectiva del regulador. El uso de un regulador lineal tiene una limitación importante. La caída de voltaje mínima a través del regulador es alta. La caída de tensión es importante en la distribución de energía. Una regulación se vuelve menos ineficiente cuando la diferencia de potencia entre el voltaje de entrada y salida es grande.

- Reguladores de conmutación: en comparación con los reguladores lineales, los reguladores de conmutación son más eficientes. Este dispositivo es altamente eficiente cuando se espera un amplio rango de voltaje de entrada. La eficiencia energética de este regulador es muy alta. Los componentes utilizados en este tipo de reguladores juegan un papel importante en la determinación de su tolerancia máxima.

2.8 Almacenamiento de energía.

Se refiere a equipos que pueden capturar electricidad, almacenarla como otra forma de energía (química, térmica, mecánica) y luego liberarla para usarla cuando sea necesario. Las baterías de iones de litio son una de esas tecnologías. Aunque el uso del almacenamiento de energía nunca es 100 % eficiente, siempre se pierde algo de energía en forma de calor al convertirla, el almacenamiento permite el uso flexible de la energía en diferentes momentos de cuando se generó. Por lo tanto, el almacenamiento puede aumentar la eficiencia y la resiliencia del sistema, y puede mejorar la calidad de la energía al igualar la oferta y la demanda.

Las instalaciones de almacenamiento se diferencian tanto en la capacidad de energía, que es la cantidad total de energía que se puede almacenar (normalmente en kilovatios-hora o megavatios-hora), como en la capacidad de potencia, que es la cantidad de energía que se puede liberar en un momento

dado (normalmente en kilovatios o megavatios). Se pueden utilizar diferentes capacidades de almacenamiento de energía y potencia para gestionar diferentes tareas. El almacenamiento a corto plazo que dura solo unos minutos garantizará que una planta solar funcione sin problemas durante las fluctuaciones de producción debido al paso de las nubes, mientras que el almacenamiento a más largo plazo puede ayudar a proporcionar suministro durante días o semanas cuando la producción de energía solar es baja o durante un evento meteorológico importante.

2.8.1 Ventajas de combinar almacenamiento y energía solar.

Equilibrio de las cargas de electricidad: sin almacenamiento, la electricidad debe generarse y consumirse al mismo tiempo, lo que puede significar que los operadores de la red desconecten parte de la generación, o la "reduzcan", para evitar problemas de sobre generación y confiabilidad de la red. Por el contrario, puede haber otros momentos, después de la puesta del sol o en días nublados, cuando hay poca producción solar pero mucha demanda de energía. Ingrese al almacenamiento, que puede llenarse o cargarse cuando la generación es alta y el consumo de energía es bajo, y luego dispensarse cuando la carga o la demanda es alta. Cuando parte de la electricidad producida por el sol se almacena, esa electricidad se puede utilizar siempre que los operadores de la red la necesiten, incluso después de que se haya puesto el sol. De esta forma, el almacenamiento actúa como una póliza de seguro para la insolación.

El almacenamiento a corto plazo puede garantizar que los cambios rápidos en la generación no afecten en gran medida la producción de una planta de energía solar. Por ejemplo, se puede usar una batería pequeña para superar una breve interrupción de generación de una nube que pasa, ayudando a la red a mantener un suministro eléctrico "firme" que sea confiable y constante.

Proporcionar resiliencia: la energía solar y el almacenamiento pueden proporcionar energía de respaldo durante una interrupción eléctrica. Pueden mantener las instalaciones críticas en funcionamiento para garantizar servicios esenciales continuos, como las comunicaciones. La energía solar y el

almacenamiento también se pueden usar para microrredes y aplicaciones de menor escala, como unidades de energía móviles o portátiles.

2.8.2 Batería.

El oficio principal de las baterías en un sistema de generación solar fotovoltaico es la de almacenar la energía que se provoca durante las horas de luz para poder ser manejada en la noche o durante etapas extendidas de mal época.

Otra trascendental función de las baterías es la de proporcionar una intensidad de corriente privilegiada a la que el dispositivo fotovoltaico puede conceder. Tal como el caso de un motor, que en el instante del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos cortos segundos. Las baterías son recargadas desde la electricidad generada por los paneles solares, por medio de un regulador de carga, y puede conceder su energía a la salida de la instalación, donde será consumida. (Marianella García Villas, 1999).

2.8.2.1 Parámetros de la batería.

Existen características fundamentales a la hora de seleccionar una batería que podrían determinar su funcionalidad en un proyecto independientemente de su capacidad de almacenamiento. Una de estas características es la eficiencia de descarga, que es una relacionan de la energía verdadera mente acumulada y la usada para recarga la batería. La profundidad de descarga es otro de los parámetros eléctricos que se debe tomar en cuenta debido a que representa la cantidad de energía, en un determinado porcentaje conseguido de la batería durante una establecida descarga, partiendo del acumulador completamente cargado. Está depende con la duración o vida útil del acumulador. Si los ciclos de descarga son breves, la duración del acumulador será mayor que si se la somete a descargas profundas. Aparte de los parámetros eléctricos, las características que son deseables para las baterías a usar en las instalaciones solares son:

- Buena resistencia al ciclado
- Bajo mantenimiento

- Buen funcionamiento con corrientes pequeñas
- Amplia reserva de electrolito
- Depósito para materiales desprendidos
- Vasos transparentes

Las baterías que más se usan en las instalaciones fotovoltaicas son las de plomo ácido, por las características que esta presenta. Dentro de estos tipos de batería nos podemos encontrar algunos modelos. (Marianella García Villas, 1999).

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio-bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Figura 10 Tipos de baterías con sus respectivos parámetros.

Fuente: (Sánchez, Escobar, Martínez & Soto, 2017)

2.9 Inversor.

Los equipos que realizan la función de transformar la corriente directa (DC) a corriente alterna (AC) con una capacidad y frecuencia deseada, son llamados inversores. La frecuencia y el voltaje de salida pueden ser inestables. Si se cambia el voltaje de ingreso en C.D y la ganancia del inversor se mantiene firme, es viable conseguir un voltaje variable de salida. Por otro lado, si el voltaje de ingreso en C.D es sostenido y no se lo puede controlar, se puede conseguir un voltaje de salida variable si se altera la ganancia del inversor, esto comúnmente se realiza controlando la modulación de espacioso pulso en el interior del inversor. La ganancia del inversor se puede concretar como la analogía entre el voltaje de salida en C.A y el voltaje de ingreso en C.D.

Si una carga LC es conectada al puente inversor monofásico, se presentarán cuatros momentos de operación. En el instante t1 los tiristores T1

y T4 se disparan permitiendo conducir corriente a través de la carga. En el instante t2, la carga al ser del tipo reactiva-capacitiva devolverá energía reactiva a la fuente a través de los diodos en D2 y D3 generando una señal de bloqueo. En el instante t3 similar al instante t1 se conducirá corriente a la carga, esta vez en el otro sentido creando una corriente alterna, a través de los tiristores T3 y T2. Asimismo, en el cuarto instante la energía reactiva producida por la carga volverá a la fuente a través de los diodos D1 y D4 (Aguilar, 2014).

2.9.1 Tipos de Inversores.

Los inversores fotovoltaicos deben cumplir parámetros de funcionamiento clave por lo que siempre se selecciona una que satisfaga las necesidades del sistema por lo cual es necesario conocer los tipos de inversores fotovoltaicos disponible para un sistema fotovoltaico.

2.9.1.1 Inversores de conexión a la red.

A diferencia de los inversores de los sistemas autónomos, el seno de referencia para el PWM no lo proporciona el controlador sino la red. Si bien la impedancia de la red es generalmente muy baja, los inversores aún deben sincronizarse antes de la operación y adaptarse al voltaje y la frecuencia particulares de cualquier red determinada. Por lo tanto, los inversores que se utilizan para las conexiones a la red son diferentes de los que se utilizan para los sistemas autónomos. En caso de cualquier conexión a la red, las empresas eléctricas establecen estándares para mantener los niveles de distorsión y sincronización de voltaje y corriente dentro de ciertos límites. En el pasado se habían reportado numerosas fallas que involucraban inversores conectados a la red, la tecnología hoy en día se ha encontrado que es muy estable.

2.9.1.2 Inversor de conmutación externa.

Los inversores conmutados externos necesitan una fuente de alimentación de CA externa (que no forma parte del inversor) para suministrar la "tensión de conmutación" durante el período de conmutación. En los inversores controlados por red, esta tensión de CA la suministra la red. Los inversores controlados externamente funcionan mediante conmutación natural. Una característica principal de ellos es que una válvula rectificadora de

corriente con un potencial de voltaje más alto real después de la ignición toma la corriente de una válvula rectificadora de corriente frente a ella (Heumann, 1996).

2.9.1.3 Inversor de autoconmutado.

Los inversores autoconmutados no necesitan un suministro externo de voltaje de CA para la conmutación. El voltaje de conmutación es suministrado por un almacenamiento de energía que es parte del inversor (comúnmente por una capacidad de borrado) o por el aumento de la resistencia de la válvula rectificadora de corriente que se apagará (por ejemplo, un transistor de potencia (MOS-FET o un IGBT). Los inversores autoconmutados han sido diseñados para todo tipo de conversión de energía eléctrica para flujos de energía en una o ambas direcciones. En el rango de potencia relevante para aplicaciones fotovoltaicas (< 1 MW), hoy en día se utilizan exclusivamente inversores autoconmutados.

2.9.1.4 Inversor basado en PWM.

Un inversor autoconmutado, que tiene un voltaje de salida controlado por pulsos, se denomina inversor de pulsos. En este tipo de inversor, el número de conmutaciones por período aumenta mediante el encendido y apagado frecuentes a la frecuencia de pulso f_p dentro de este período, lo que puede usarse para reducir los armónicos de corriente y voltaje, porque es equivalente a un incremento de números de pulso. En los inversores controlados por la red, el incremento del número de pulsos solo es posible mediante un aumento adecuado de las llaves de rectificación del inversor. La figura 2.9 muestra el acoplamiento de una fuente de voltaje de CC (generador fotovoltaico) con una fuente de voltaje de CA a través de un inversor de pulsos en un circuito de puente monofásico.

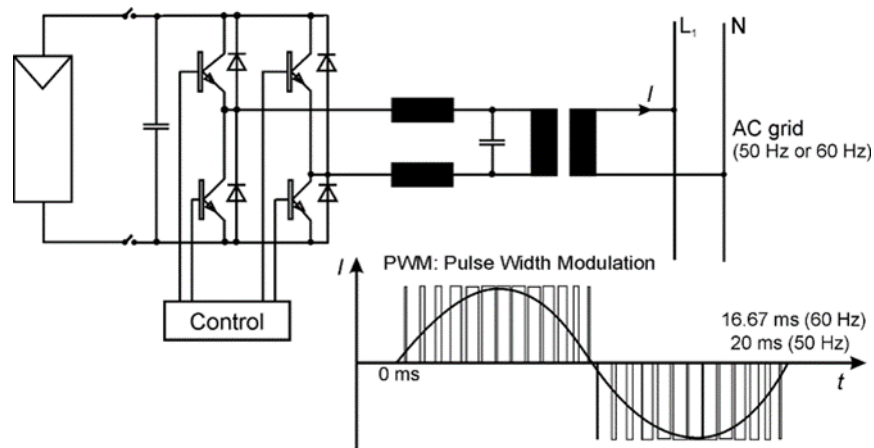


Figura 11 Representación de circuito de una fase con inversor pwm.

Fuente:(Krauter,2010)

Sistemas fotovoltaicos y normativa

En esta parte del capítulo se presentarán los diferentes tipos de sistema fotovoltaicos existentes resaltando más el de conexión directa a la red, y presentaremos normativas técnicas pertinentes al ARCERNR.

2.10 Tipos de sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos están compuestos de diferentes componentes dependiendo de las necesidades y limitaciones técnicas del conjunto de cargas que se desee alimentar, es por ello, que existen diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos.

2.10.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red.

La unión de red de los sistemas fotovoltaicos en lugares donde se trabaja con energía eléctrica favorece a la disminución de emisiones de dióxidos de carbono al medio ambiente.

Este modo se acomoda correctamente a la curva de la demanda de energía eléctrica, ya que justo en el tiempo en que más energía producen los paneles solares, cuando hay radiación solar, es cuando más energía eléctrica se requiere.

Al instalar un sistema fotovoltaico solar conectado a la red, se cuenta con una pequeña central eléctrica que suministra kWh verdes (energía limpia) a la red eléctrica para que se gasten allí donde sean requeridos lo que excluye las pérdidas en transporte de electricidad.

En las instalaciones que se conectan a la red, la dimensión de la instalación no obedece al consumo de energía eléctrica de la edificación en particular, lo que facilita de gran manera su diseño. Para medir la instalación es obligatorio conocer el área y la financiación inicial con la que se cuenta.

Es significativo saber que el consumo de energía eléctrica es autónomo de la energía producida por los paneles solares. El cliente sigue comprando la energía eléctrica que consume a la compañía de acuerdo con el pliego tarifario (ASIF y Consejería de Economía de Madrid, 2010)

2.10.2 Sistema fotovoltaico con control de inyección a la red.

Es Ideal para los edificios con un consumo eléctrico importante en horas diurnas. Los controladores CDP (Control Dinámico de Potencia), adaptan, en todo instante, la potencia máxima de producción de los inversores fotovoltaicos a la potencia que se consume en el edificio. De esta manera se puede confirmar, como, por ejemplo, la no inyección de excedentes energéticos a la red eléctrica, o bien la inyección de la fracción de potencia que acepte la legislación de cada nación.

Este tipo de instalaciones solares fotovoltaicas admite, en diferentes países, la incorporación del sistema fotovoltaico en edificios como parte innata de su red eléctrica interior, transformándose en un elemento de ahorro energético y no como una central de generación de energía eléctrica que solicite algunas capacidades de desocupación a la red a la que se haya conectada (Circutor,1974)

2.10.3 Mantenimiento.

En el mantenimiento general se realiza el lavado de los paneles solares, cuando se descubre basura solidada, y la verificación visual de la actividad del inversor. La duración promedio de la instalación es más de treinta años (ASIF y Consejería de Economía de Madrid, 2010)

2.10.4 Sistema fotovoltaico aislado de la red.

Son los sistemas que se utilizan en denominados sitios en los que no hay acercamiento a la red eléctrica general y en efecto es más económico un

sistema solar fotovoltaico que contar con una línea entre la red eléctrica y el consumidor.

Dado que los paneles solares sólo promueven energía en las horas de radiación solar y la energía se requiere todo el día, es preciso un sistema de baterías.

En el transcurso de las horas con radiación solar hay que generar más energía de la que se requiere para almacenar lo que sobra para después poder usar cuando no se esté produciendo energía. La porción de energía que se requiere almacenar se estima de acuerdo con las situaciones climáticas del sitio y el uso de energía eléctrica. De tal forma que en un sitio donde se encuentre numerosos días con sol al año habrá que almacenar pequeña cantidad de energía. Si el ciclo sin luz solar es muy extendido, hay que almacenar más cantidad de energía. La cantidad de paneles solares a ubicar debe deducirse teniendo en consideración:

- La demanda de energía en los meses más adversos.
- Las circunstancias técnicas excelentes de orientación e inclinación de los paneles, de acuerdo con la zona de la instalación.

Para mejorar el sistema es imperioso calcular de forma adecuada la demanda con el propósito de no sobredimensionar la instalación fotovoltaica.

Es apropiado usar artefactos eléctricos y luminaria de poco consumo eléctrico, para que de esta forma el sistema fotovoltaico sea más ahorrador (ASIF y Consejería de Economía de Madrid, 2010).

2.10.5 Mantenimiento.

Las operaciones de mantenimiento son:

- Los paneles que forman el generador apenas necesiten mantenimiento, basta limpiarlos con algún producto no abrasivo cuando se muestre suciedad solidificada.
- El regulador de carga no solicita mantenimiento, pero si necesita ser revisado para justificar su buen funcionamiento.
- En las baterías se debe inspeccionar que el nivel de agua del electrolito este dentro de unos límites admisibles. Para restablecer se usa agua desmineralizada o destilada. Se debe examinar su nivel mensualmente en cada

uno de los elementos y mantener los bornes de conexión libres de sulfato. La medida de la densidad del electrolito puede notificar de posibles averías. Actualmente existen baterías sin mantenimiento o de electrolito gelificado que no necesitan reposición de agua.

2.11 Componentes para un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Un sistema fotovoltaico conectado a la red está compuesto de diferentes factores que influyen en el rendimiento, y censo de la energía producida por el sistema fotovoltaico. En el diagrama a continuación, se aprecia el paso a paso del proceso para implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red.

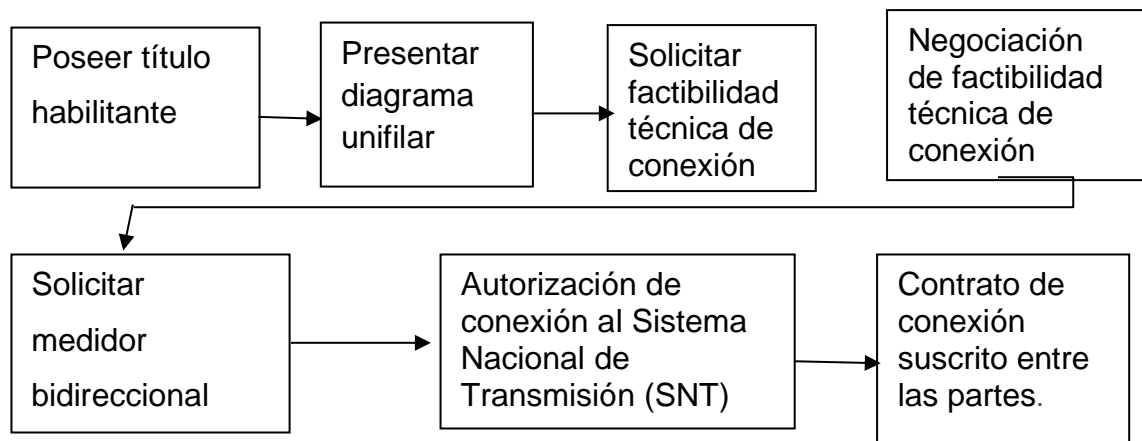


Figura 12 Proceso para solicitar conexión a la red.

Fuente:(Autor)

2.11.1 Medidor bidireccional.

Cuando se presenta el caso de una instalación que se alimenta de la red pública y al mismo tiempo entrega energía a la red pública es necesario solicitar un medidor bidireccional para poder censar la energía en ambas direcciones. Este medidor debe ser solicitado a la compañía distribuidora de energía encargada del sector, las características de instalación son iguales a los otros medidores de base socket.

2.11.2 Rastreador de punto máximo de potencia (MPPT).

Los sistemas fotovoltaicos usan como materia prima la radiación del sol, la cual es variable en el tiempo por lo que la producción de energía también sufrirá una variación, y esto a su vez provoca la reducción de eficiencia del panel que no permite que trabaje a su punto máximo de potencia, esta variación de potencia se puede controlar instalando rastreadores de punto máximo de potencia, estos dispositivos poseen lazos de control de realimentación lo cual le permite controlar la tensión y corriente de salida.

2.11.3 Hora solar pico (HSP).

En la aplicación de recursos solares en sistemas fotovoltaicos, se emplea una unidad de medición fundamental conocida como la hora solar pico. Esta medida se basa en una convención adoptada por ingenieros de diseño en el campo. En situaciones ideales, cuando un panel solar horizontal se encuentra al nivel del mar bajo condiciones de cielo despejado y el Sol se encuentra en su cenit, dicho panel puede recibir aproximadamente 1,000 W/m² de irradiancia directa. Esta cantidad se denomina pico de la irradiancia.

La hora solar pico (hsp) se define como la energía que recibiría un captador solar durante una hora si estuviera constantemente expuesto a una irradiancia de 1,000 W/m². Desde una perspectiva geométrica, el recurso solar en un día se puede expresar en horas-pico, lo que equivale al área bajo la curva de irradiancia en función del tiempo. Esta área se asemeja a un rectángulo cuya base es el número de horas en las que se supone que el captador ha estado expuesto a una irradiancia de 1,000 W/m².

Para determinar cuántas horas-pico de radiación solar recibe una zona determinada, se divide el valor de la irradiación en kWh/m² entre el pico de la irradiancia de 1,000 W/m². Por ejemplo, si la irradiación medida es de 8.0kWh/m², esto se traduciría en un equivalente de 8 horas solares pico. En resumen, las horas-pico representan las horas en las que un captador solar aparentemente ha estado recibiendo la máxima intensidad de irradiancia solar, siendo una unidad esencial para calcular la energía disponible para la

generación de energía fotovoltaica. La Figura 2.6 muestra éste práctico concepto de unidad de energía. Así, las horas-pico son las horas en que el captador estuvo aparentemente recibiendo el valor pico de la irradiancia.

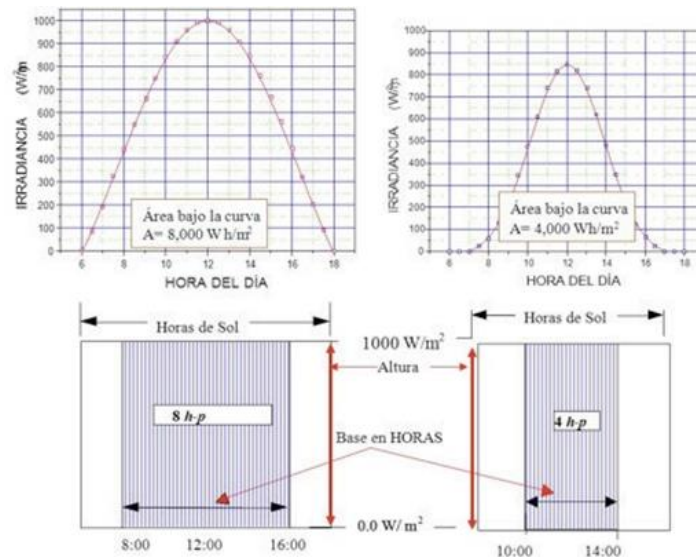


Figura 13 Hora solar pico como unidad de energía.

Fuente: (Krauter, 2016)

2.11.4 Orientación e inclinación del panel fotovoltaico.

El rendimiento de un día panel solar cambiará drásticamente cuando se encuentra ubicado frente a la radiación del sol, y el ángulo del panel fotovoltaico determinará cuánta de esa radiación es absorbida por el panel. No obstante, el ángulo de inclinación que poseen los rayos solares con relación y plano horizontal del panel cambia en transcurso del periodo de un año (más en verano y poco en invierno). No obstante, existen instalaciones con módulo fijo, por lo que se toma un ángulo con respecto a la superficie horizontal que mejore la captación de energía solar en un periodo anual. El ángulo de inclinación está dado por latitud del lugar donde se quieren instalar los paneles solares. Normalmente se consideró ángulo superior o alrededor de los 15° para poder tener una mayor atención durante la época de invierno.

También hay instalaciones fotovoltaicas que no están destinadas a trabajar todo el año, sino sólo en ciertas ocasiones, Esta situación se recomienda que el panel solar se encuentre con una inclinación menor que la extensión del sitio.

La orientación de los módulos no brinda ningún tipo de ventaja en cuanto a la energía obtenida desde la radiación de forma indirecta. En cambio, debido a que los módulos inclinados perciben la radiación solar de una porción del hemisferio, estos recolectan menos cantidad de luz solar difusa que los destinatarios horizontales (González, 2013).

Para poder determinar la orientación de un panel fotovoltaico debemos encontrar el ángulo que, de mayor rentabilidad en un transcurso de un año, es por eso por lo que los paneles solares son instalados con un ángulo con relación a la horizontal igual a la extensión del lugar. de tal forma que la cara del panel irradiada se ubique en un sentido opuesto a hemisferio en que se ubican los sistemas fotovoltaicos. En otras palabras, cuando un lugar tiene una latitud de 2.75° sur, la cara del panel debe direccionarse al norte con un ángulo de $2,75^\circ$.

En el campo práctico no se sigue explicado en el párrafo anterior, sino que se recomienda que los módulos fotovoltaicos sean direccionados con una inclinación de menos 10 grados y máximo 15° con relación horizontal, Esta inclinación permite que los módulos fotovoltaicos se puedan limpiar con la lluvia y mejora el rendimiento del módulo fotovoltaico en los períodos de poca radiación solar.

Como información adicional el manual de instalación de los paneles solares nos demuestra que hay que tener atención al ángulo de inclinación que nos ayuda para conseguir la máxima cantidad de radiación solar durante un año, el panel solar para este caso debe estar inclinado en un ángulo aproximadamente igual a la latitud de un sitio, y se enfrenta dentro de los 10° hacia el Sur (González, 2013).

2.11.5 Toma tierra.

La toma a tierra de toda instalación eléctrica es muy trascendental ya que define el voltaje que pueda mostrar en un instante dado en las masas metálicas de los elementos, afirmando la intervención de las protecciones y excluyendo el riesgo que presume el mal funcionamiento o deterioro de alguno de los componentes. La puesta a tierra se constituye primordialmente a fin de delimitar el voltaje que puedan mostrar en un instante dado las masas

metálicas, afirmar la intervención de las protecciones y excluir el peligro que presume un deterioro en los materiales eléctricos usados (González, 2013).

2.12 Generación distribuida.

La generación distribuida ha estado presente durante varios años, y consiste en la generación de energía eléctrica por medio de muchas fuentes de energía en los lugares más próximos a la carga, es posible ponerlas cerca de la carga debido a que usualmente son de una escala menor a la energía convencional, y dimensionamiento permite instalar cerca del consumidor.

La IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) en su estándar 1547 define a la generación distribuida como una fuente de energía que no está conectada directamente a un sistema de transmisión. La GD incluye generadores y dispositivos de almacenamiento capaces de exportar energía activa a la red. Por otro lado, la ARCERNNR define a la Generación Distribuida como pequeñas centrales de generación instaladas cerca del consumo y conectadas a la red de la distribuidora (ARCERNNR, 2021).

2.12.1 Requerimientos y especificaciones para conexión de la generación distribuida al área del sistema de potencia.

Cuando se desea interconectar la generación distribuida a el sistema de potencia, se debe tomar en cuenta el impacto que causará al sistema de potencia. La norma IEEE 1547 Establece algunos requerimientos y especificaciones necesarios para que la fuente de generación distribuida opere sin afectar el área del sistema de potencia al qué se interconecta, los más importantes son:

Calidad de energía.

Hay algunos aspectos a tomar en cuenta con respecto a la calidad de energía producida por una generación distribuida. La energía producida por fuentes usualmente es DC, se recomienda que el inversor no debe superar el 0.5% de la corriente nominal, Ya que esto puede producir problemas de saturación magnética en el núcleo de los transformadores lo que provoca ruido audible y calentamiento del núcleo. También puede producir problemas de armónicos, por lo que, se busca que la distorsión armónica de la corriente no sea mayor al 5% (ARCERNNR, 2021)

La fuente distribuida es la responsable de las armónicas de corriente, y el operador de red es responsable de las armónicas de voltaje. Estas armónicas, que son señales eléctricas de frecuencias, pueden provocar recalentamiento en transformadores y conductores del neutro, lo que ocasiona un mal funcionamiento de equipos de protección y daños en equipos sensible.

Otro factor para tomar en cuenta son los flicker, que son variaciones de tensión que se pueden apreciar a través del parpadeo de las iluminarias, que se pueden generar a causa del arranque de los generadores de inducción o por grandes fluctuaciones en la salida de potencia de los generadores inclusive en las tecnologías fotovoltaicas y eólicas donde su salida de potencia es variable ya que depende de las condiciones climáticas.

1. Regulación de tensión.

La norma establece que la fuente distribuida no debe regular el voltaje activamente, a menos que el operador determine su conveniencia. Esto debido a que es posible que la fuente distribuida lleve el voltaje de la red fuera de los rangos permitidos y trabajar en oposición a los equipos de regulación de voltajes ya instalados en la red. El generador puede ser capaz de regular el voltaje al variar la potencia reactiva, si este absorbe potencia reactiva el voltaje puede caer y si suministra puede incrementarse.

2. Operación en isla.

Cuando ocurre un corte de energía por parte de la red, la fuente distribuida puede seguir operando en isla, es decir, desconectado de la red siendo la única fuente de energía para las cargas. Sin embargo, no es lo que se debe hacer ya que la carga que alimente posiblemente sea mayor a la capacidad del generador y este no sea capaz de soportarla. Por lo tanto, el generador debe detectar el corte de energía por parte de la red y desconectarse automáticamente dentro de máximo dos segundos (IEEE Standards Coordinating Committee 21, 2009).

3. Medición y monitoreo.

La IEEE recomienda la medición y monitoreo de parámetros de generación de la fuente distribuida en el punto de conexión a la red en ciertos

casos. Se presentan tres clases de instalaciones, como se muestra en la tabla 3.1, para los cuales se aplican diferentes requerimientos.

Tabla 1 Clases de generación distribuida.

Clase	Potencia
Clase 1	Menores a 250 kVA
Clase 2	Mayores a 250 kVA y menores a 1.5 MVA
Clase 3	Mayores a 1.5 MVA

Fuente: (IEEE Standards Coordinating Committee 21, 2007)

2.13 Marco normativo de la generación distribuida en Ecuador.

Según la ARCERNNR la generación distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados está caracterizada por mantener una potencia nominal menos a 1MW y esta tiene que encontrarse conectada internamente a la instalación o sistema de distribución del consumidor, sin embargo, tiene que estar sincronizada con la red.

Esta usa recursos que son renovables y se encuentran disponibles en el área donde se instala y se pueden emplear con o sin almacenamiento de energía (ARCERNNR, 2021).

Esta puede operar dentro del inmueble del consumidor con una única medición para todo el sitio, o fuera de este con medición individual, siempre y cuando estén conectados por el sistema de distribución y tengan asociados el mismo número de cuenta contrato. En caso de poseer otras cuentas contrato se puede instalar una fuente distribuida bajo la misma regulación para cada instalación.

2.13.1 Factibilidad de conexión.

Si un usuario busca y decide instalar una fuente distribuidora, el proceso de factibilidad de conexión de este sistema de generación distribuida es responsabilidad de la empresa distribuidora. El consumidor debe pedir y llenar un formulario de la regulación 001/2021 perteneciente a la ARCERNNR. En este formulario se proporciona información del usuario, así como del punto de conexión y las especificaciones técnicas del conjunto generador. En la siguiente tabla se podrá observar que la normativa propone diferentes procesos

de factibilidad de conexión que son para dos categorías según el voltaje de conexión y potencia nominal.

Tabla 2 Categorías de fuentes distribuidas.

Categorías	Voltaje de conexión	Potencia nominal
CAT 1	Bajo voltaje	Menores a 10 kW monofásica
		Menores a 20 kW bifásica
		Menores a 30 kW trifásica
CAT 2	Medio voltaje	Mayores a 30 kW

Fuente: (ARCERNNR, 2021)

La aplicación de este proyecto entra en la categoría 2, cuyo proceso de factibilidad es el siguiente:

La empresa distribuidora tiene un plazo de cinco días para aceptar la solicitud de factibilidad, asimismo, el proponente dispone del mismo plazo en caso de existir una inquietud por parte de la empresa eléctrica y requieran de una respuesta. En caso de ser positiva la respuesta la empresa distribuidora tiene un plazo de cuarenta y cinco días para hacer los respectivos estudios y análisis en los que se incluye:(ARCERNNR, 2021).

- Modificaciones que requiere el sistema de distribución para conectar la fuente distribuida sin afectar la red, los gastos de estos cambios son responsabilidad del proponente.
- Diagrama unifilar del punto de conexión.

2.13.2 Certificado de calificación.

El proponente una vez haya recibido la propuesta de factibilidad de conexión puede aceptarla o rechazarla si le parece a este conveniente, sin embargo, una vez aceptada debe comenzar con el trámite de emisión de certificado de calificación. Aquí podemos observar algunos de los requisitos que se necesitan para el trámite de factibilidad de conexión: diagramas unificares de la instalación, memoria técnica con las especificaciones de los equipos, diagramas unificares del punto de conexión con sus respectivas modificaciones en el sistema de distribución, cronograma de obra, etc.

La distribuidora dispone de un plazo de treinta días para emitir

observaciones sobre los requisitos anteriormente planteados, en caso de no haya se procede a la emisión del certificado de calificación cuyo formato se encuentra en el anexo de la regulación 001/2021 y su vigencia está dada de acuerdo con la tecnología del generador como se muestra en la tabla 2.3. Cuando esté por finalizar el certificado de calificación es posible renovarlo presentando seis meses antes nuevamente todos los requisitos actualizados a la empresa distribuidora (ARCERNNR, 2021)

Tabla 3 Vida útil de las fuentes distribuidas.

Tecnología	Vida útil en años
Fotovoltaica	25
Eólica	25
Biomasa	20
Biogás	20
Hidráulica	30
Otras	20

Fuente: (ARCERNNR, 2021)

2.13.3 Conexión y requisito técnicos.

La distribuidora y el proponente son los encargados en conjunto del proceso de conexión, así mismo la norma IEEE Std. 1547 es la guía para los requisitos técnicos, prueba de equipos y para la instalación de esta.

Con el contrato de suministro se procede a suscribir una vez que hayan finalizado las pruebas, este debe ser específico para consumidores regulados y que así mismo tengan fuentes destinadas para autoabastecimiento como esta descrito en la regulación 001/2021 (ARCERNNR, 2021)

Se debe tener claro que el proponente es el encargado de mantener en óptimas condiciones los parámetros de generación y así mismo es responsable de los mantenimientos de los equipos respectivos. Por otro lado, si es que la fuente distribuidora no llega a cumplir con las condiciones de operación, la distribuidora procederá a suspender la misma hasta que se pueda arreglar el inconveniente.

2.13.4 Facturación y medición.

Lo que se factura de la energía eléctrica depende de la tarifa que maneje el consumidor, esto quiere decir que si se maneja con una tarifa residencial esta será la energía consumida menos la energía inyectada y así se obtendrá la energía neta a facturar. Por otro lado, si la energía neta llega a ser menos a cero, esto significa que lo que se consume es menor a lo que se inyecta a la red, el valor que se tendría que pagar por el suministro eléctrico será cero y de esta manera se crea un saldo a favor para planillas futuras. Hay que tener en cuenta que este saldo se reiniciará cada dos años.

En la siguiente formula se presenta el método para obtener tarifa general con demanda horaria, se determina la facturación por la siguientes formulas.

Donde:

$$ENETE_i = EERED_i - EEINY_i$$
$$EERED_i = \sum_{k=1}^n \left(\frac{ERED_k * T_k}{TM_i} \right)$$
$$EEINY_i = \sum_{k=1}^n \left(\frac{EINY_k * T_k}{TM_i} \right)$$

- $EEINY_i$ es la energía equivalente inyectada en el mes i en kWh
- $EERED_i$ es la energía consumida de la red en el mes i en kWh
- Tm_i es el cargo tarifario mayor de los periodos de demanda en USD/kWh
- T_k es el cargo tarifario aplicable al periodo de demanda k en USD/kWh
- $EINY_k$ es la energía inyectada en el periodo de demanda k en kWh
- $ERED_k$ es la energía consumida de la red en el periodo de demanda k en kWh
- n es el número de cargos tarifarios por energía
- $ENETE_i$ es la energía neta equivalente en el mes i en kWh

Así mismo como con la tarifa residencial, si esta consume menos de la energía que se inyecta se obtendrá un saldo a favor.

Capítulo 3: Metodología y estudios del proyecto

3.1 Características del área de estudio.

La zona de estudio se encuentra situadas en la urbanización El Rio en el kilómetro 2.1 de la vía Samborondón de la Parroquia Satélite La Puntilla del cantón Samborondón, la urbanización alberga 167 residencias, y una administración que posee facturas elevadas en la planilla de consumo eléctrico, debido a que corresponde a las cargas que posee la urbanización como las luces de las canchas deportivas, luces de áreas verdes, bombas de agua, y la administración. Estas cargas corresponden a 3 medidores adjuntados en los anexos, por lo cual, se plantea realizar 3 plantas solares, teniendo en cuenta las regulaciones vigentes para sistemas SGDA. Para dimensionar las plantas se utiliza el promedio de la demanda anual de cada medidor.

Tabla 4 Dimensionan las plantas solares en base a la demanda anual de los medidores.

	CÓDIGO ELÉCTRICO	CONSUMO MENSUAL PROMEDIO ANUAL	DIMENSIÓN DE LA PLANTA SOLAR	VALOR DE CONSUMO ELECTRICO ENERO 2023
PLANTA SOLAR 1 (ESTACIÓN DE BOMBAS)	0900008807	7.820,00 KW	60 KWp	\$1001
PLANTA SOLAR 2 (CANCHAS TENNIS)	0900474503	12.684,25 KW	100 KWp	\$1045
PLANTA SOLAR 3 (ADMINISTRACIÓN)	0900476757	2.206,33 KW	17 KWp	\$230

Fuente: (Autor, 2023)

3.2 Cálculos para el sistema fotovoltaico.

Para poder implementar un sistema fotovoltaico es necesario que se realicen operaciones matemáticas que determinen el dimensionamiento, y componentes de un sistema fotovoltaico. Como el cálculo de las dimensiones de las plantas solares planteadas en la tabla 3.1 la cual es una fórmula simple basada en principios básicos de la conversión de energía solar en energía eléctrica. No tiene un nombre específico y es el resultado de calcular la potencia

necesaria de una planta solar para satisfacer una carga promediada en un año, considerando la eficiencia de los paneles solares.

La fórmula para calcular la capacidad la potencia nominal que necesita cada planta solar, que será la misma del inversor monofásico utilizado en las plantas solares, utilizando los consumos de energía mensual y un promedio anual que se encuentran en las planillas de consumo eléctrico anexadas.

Potencia Nominal (kW) = Carga Promediada kWh (12) / Horas de Sol Promediadas*365)

PLANTA SOLAR 1 (ESTACIÓN DE BOMBAS)

Potencia Nominal (kW) = 7820kWh (12) / (4.1*365) = 62.7kw

PLANTA SOLAR 2 (CANCHAS TENNIS)

Potencia Nominal (kW) = 12684.25kWh (12) / (4.1*365) = 101.71kw

PLANTA SOLAR 3 (ADMINISTRACIÓN)

Potencia Nominal (kW) = 2206.33kWh (12) / (4.1*365) = 17.69kw

Como se observa los valores utilizados para este proyecto son valores que se encuentran en el mercado y también son parámetros que están descrito en la regulación 001/2021

3.2.1 Cálculo del rendimiento del sistema fotovoltaica.

Para poder determinar el rendimiento del sistema fotovoltaico, se analizan los datos del cálculo por perdidas por temperatura, caída de tensión, e inversor por porcentaje. Primero se realizará el cálculo de perdida de temperatura que posee la célula solar con su característica técnica.

Tabla 5 Características térmicas de la célula fotovoltaica

Características térmicas de la célula	Temperatura
T _{onc}	44°C
BV _{oc}	-0,16
aI _{sc}	1,76
γ _{pm}	-0,36

Fuente: (Autor, 2022)

Se realiza el calcula la temperatura real que tendrá la célula fotovoltaica utilizando la fórmula del modelo de Shockley-Queisser, y las características térmicas obtenidas de la tabla 4.5.

$$T_c = T_a + \left(\frac{NOCT - 20^\circ\text{C}}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) * G \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

$$T_c = 31^\circ\text{C} + \left(\frac{43^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) 1000 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

$$T_c = 61^\circ\text{C}$$

T_c → Temperatura real de la célula en grados Celsius

T_a → Temperatura ambiente en grados Celsius

NOCT → Temperatura nominal de operación de la célula normalizada del panel solar

G → Irradiación en el plano del módulo solar

Gracias a la formula anterior tenemos el valor real de la temperatura de la célula, por lo que, se procede a adquirir el porcentaje por perdidas de temperatura mediante la siguiente formula:

$$PT\% = \gamma_p(T_c - 25^\circ\text{C})$$

$$PT\% = -0.33 \text{ \%}/^\circ\text{C} (61^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$PT\% = -12,96\%$$

$PT\%$ → Pérdidas de Temperatura en porcentaje

γ_p → Coeficiente de Temperatura de Potencia máxima

3.2.2 Calculo de paneles solares requeridos.

Para determinar la cantidad de paneles solares requeridos para un sistema fotovoltaico, debemos conocer la energía de cada panel solar con

respecto a la hora solar pico, y la energía de la carga que se desea alimentar (campo fotovoltaico). Se procede a realizar el calcula de cada caso mediante la siguiente formula:

• **Planta solar 1**

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{P_p}{P_{\text{panel}}}$$

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{60000W}{505 W}$$

$$N^{\circ} \text{paneles} = 120$$

• **Planta solar 2**

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{P_p}{P_{\text{panel}}}$$

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{100000 W}{505 W}$$

$$N^{\circ} \text{paneles} = 200$$

• **Planta solar 3**

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{P_p}{P_{\text{panel}}}$$

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{17000 W}{505 W}$$

$$N^{\circ} \text{paneles} = 34$$

3.3 Calculo de agrupación de paneles solares.

Para determinar la cantidad de agrupaciones en serie, y la cantidad de agrupaciones en paralelo de los paneles solares, es necesario considerar los valores de corriente y tensión, estos valores pueden variar por la temperatura del panel solar. En otras palabras, es necesario tomar en cuenta la temperatura

ambiente y la de los paneles, para analizar las variaciones que puede tener la tensión y corriente por la afectación de la temperatura. Se utiliza la temperatura ambiente en los cálculos para asignar un factor limitante que pudiese generarse de forma temporal en ciertos eventos.

La temperatura de las células que componen un panel solar incrementa por la exhibición a la radiación solar, debido a este incremento la célula solar sobrepasa los valores de temperatura ambiente, generando un sistema estacionario. No obstante, debemos recordad que también se puede presentar el evento en el que la temperatura de la célula solar posea valores cercanos a la temperatura ambiente y radiación. También puede presentarse el evento de un día nublado, con lluvia las primeras horas de la mañana, vientos fuertes que despejan el cielo, debido a estos 3 factores se percibe el sol en su momento frio, en este momento los valores de radiación solar son elevados, pero la célula solar está operando en condiciones óptimas de temperatura, aunque sería por un corto periodo de tiempo que se mantendrías las condiciones de este momento.

“Por esta causa en los cálculos se estima los valores de la temperatura ambiente como temperatura de panel solar, no cómo un componente definitivo de diseño, pero si como un elemento limitante al momento de la elección del número de paneles solares (Prado, 2015).”

3.3.1 Determinación de agrupaciones en serie.

Se procede a realizar los calculas para establecer el número de paneles solares que podemos conectar en serie, para realizar los cálculos debemos usar los datos de la placa técnica dada por el fabricante del panel solar y del inversor que cambiara de capacidad respecto al caso.

Datos del Panel:

Potencia máxima (P_{max})= 505 W

Tensión para máxima potencia (V_{mp})= 43 V

Corriente para máxima potencia (I_{mp})= 11.75 A

Tensión de circuito abierto (V_{oc})= 51.9V

Corriente en cortocircuito (I_{sc})= 12.35 A

Eficiencia del módulo= 21.1 %

Voltaje máximo del sistema= 1500 V

Datos del Inversor: Planta solar 1

Rango potencia campo FV recomendado= 60 kW

Rango de tensión MPP= 200-1000 V

Tensión mínima= 250 V

Tensión máxima= 360 V

Corriente máxima= 50 A

Número de entradas= 4

Eficiencia máxima= 98,2%

Datos del Inversor: Planta solar 2

Rango potencia campo FV recomendado= 100 kW

Rango de tensión MPP= 200-1000 V

Tensión mínima= 200 V

Tensión máxima= 1000 V

Corriente máxima= 46 A

Número de entradas= 10

Eficiencia máxima= 98,6%

Datos del Inversor: Planta solar 3

Rango potencia campo FV recomendado= 17 kW

Rango de tensión MPP= 200-1000 V

Tensión mínima= 250 V

Tensión máxima= 360 V

Corriente máxima= 50 A

Número de entradas= 4

Eficiencia máxima= 98,2%

Se procede a calcular la agrupación máxima de paneles en serie, tomando en cuenta la temperatura mínima de la zona, con la siguiente ecuación:

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

$V_{max}Inv$ → Voltaje máximo del inversor

Voc → Voltaje de circuito abierto

$Tmin$ → Temperatura mínima

βVoc → Coeficiente de temperatura de Voc

Para resolver esta ecuación debemos encontrar el Voc con respecto a temperatura mínima para todos los casos.

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

$$Voc(22^{\circ}C) = 46,6 + 46.6 * (-0,26 \% / ^{\circ}C) (25^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Voc(22^{\circ}C) = 46.6(1 + 0,0073)$$

$$Voc(22^{\circ}C) = 46.94 V$$

Con el Voc con respecto a la temperatura mínima, se procede a encontrar el número de agrupaciones en serie para cada caso:

• Planta solar 1

$$N^{\circ}max - serie = \frac{505V}{46.94V}$$

$$N^{\circ}max - serie = 10,75$$

$$N^{\circ}max - serie = 10$$

• Planta solar 2

$$N^{\circ}max - serie = \frac{505V}{46.94V}$$

$$N^{\circ}max - serie = 10,75$$

$$N^{\circ}max - serie = 10$$

• Planta solar 3

$$N^{\circ}max - serie = \frac{505V}{46.94V}$$

$$N^{\circ}max - serie = 10,75$$

$$N^{\circ}max - serie = 10$$

3.3.2 Determinación de agrupaciones en paralelo.

Se procede que cuidar el número máximo de educación ese pan eso ya es en paralelo considerando la temperatura máxima de la zona con la siguiente ecuación:

$$N^{\circ}paralelo max = \frac{Ient inv}{Isc(Tmax)}$$

• Inversor 20kwp

$$Isc(Tmax) = Isc(25^{\circ}C) + Isc(25^{\circ}C) * \alpha Isc(Tmax - 25^{\circ}C)$$

$$Isc(34^{\circ}C) = 50 + 50 * (0.34 \% / ^{\circ}C) (34^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Isc(34^{\circ}C) = 50 + 50 * 0.0034 * 9$$

$$Isc(34^{\circ}C) = 51.53 A$$

$$N^{\circ}paralelo max = \frac{50 A}{51.53 A}$$

$N^{\circ} \text{paralelo max} = 1$

• Inversor 100kwp

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

$$I_{sc}(34^{\circ}\text{C}) = 50 + 50 * (0.34 \% / ^{\circ}\text{C}) (34^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$I_{sc}(34^{\circ}\text{C}) = 50(1 + 0.197)$$

$$I_{sc}(34^{\circ}\text{C}) = 10,60 \text{ A}$$

$$N^{\circ} \text{paralelo max} = \frac{46 \text{ A}}{10.6 \text{ A}} = 4$$

$I_{ent inv}$ → Corriente de entrada del inversor

I_{sc} → Corriente en cortocircuito

α I_{sc} → Coeficiente de temperatura de I_{sc}

3.3.3 Determinación de agrupaciones en paralelo.

Con los cálculos realizados se procede a determinar el orden de los paneles solares para optimizar el sistema fotovoltaico. Se procederá a determinar cuántos paneles solares serán conectados en serie y cuántos paneles serán conectado en paralelo, en el sistema fotovoltaico.

• Caso 1

Número de paneles en serie= una fila de 8 y una fila de 7

Número de paneles en paralelo= 1

Número Total de paneles= 18

• Caso 2

Número de paneles en serie= una fila de 6 y una fila de 7

Número de paneles en paralelo= 1

Número Total de paneles= 16

• Caso 3

Número de paneles en serie= una fila de 4

Número de paneles en paralelo= 0

Número Total de paneles= 4

3.3.4 Determinación de baterías para plantas solares.

Para poder determinar la cantidad necesaria de baterías para cada planta solar se utiliza la potencia nominal de cada planta solar y los datos de las fichas técnicas de las baterías Growatt incluidas en los anexos. También es necesario tener segmentadas las cargas para poder determinar que cargas necesitan ser alimentadas con batería

Fórmula para determinar el tiempo de respaldo que pueden brindar las baterías:

$$\text{Tiempo de respaldo} = \frac{\text{Energía}}{\text{carga}} \times \text{eficiencia de batería}$$

PLANTA SOLAR 1 (ESTACIÓN DE BOMBAS)

Para la planta solar 1 ubicada en la estación de bombas no son necesarias las baterías debido a que el funcionamiento de las bombas está programado en el día y su uso es casi nulo en las noches.

PLANTA SOLAR 2 (CANCHAS TENNIS)

La planta solar 2 tienen 5 inversores de 20kw off grid que se encarga de alimentar luminarias, por lo que es necesario usar baterías para suplir las cargas nocturnas, se usaran baterías fotovoltaicas Growatt de 20kwp con una eficiencia del 90% que se encuentra en los anexos

$$\text{Tiempo de respaldo} = \frac{20\text{kw/h}}{20\text{kw}} \times 0.9 = 54\text{min}$$

Obteniendo el tiempo de respaldo de la batería 54 min, y buscando suplir un consumo de 12 horas, se determina que se necesitarían 13 baterías fotovoltaicas por cada inversor, dando un total de baterías fotovoltaicas para la planta de 65 baterías fotovoltaicas

PLANTA SOLAR 3 (ADMINISTRACIÓN)

La planta solar 3 posee una característica de cargas mixtas refiriéndose al tiempo de uso de las cargas debido a que posee cargas de la administración que se usan en el día, y cargas de luminarias aledañas a la administración.

Aunque se plantea un inversor de 20 Kw, pero por recomendación deben estar segmentadas las cargas por lo que se plantearan inversores de 10 kw y 7 kw de potencia nominal, siendo el inversor 10kw on grid y el inversor de 7kw off grid

$$\text{Tiempo de respaldo} = \frac{10}{7} \times 0.9 = 77 \text{ min}$$

Obteniendo el tiempo de respaldo de la batería 77 min, y buscando suplir un consumo de 12 horas, se determina que se necesitarían 10 baterías fotovoltaicas para el inversor de 7Kw off grid que debería segmentarse para solo tener las cargas nocturnas y cualquier carga despreciable

3.4 Plantas solares.

Para determinar las dimensiones de un sistema fotovoltaico para una planta solar es necesario realizar un análisis de su consumo de energía eléctrica, para determinar que cargas alimentara el sistema fotovoltaico, También se necesita conocer la curva de consumo para determinar que cargas posee mayor consumo y a qué hora operan.

Normalmente cuando se piensa instalar un sistema fotovoltaico se espera abarcar el 100% del consumo de la residencia, esto es posible sin la necesidad de tener baterías en la instalación fotovoltaica para suplir las cargas nocturnas debido a la amortización de los exentes de producción del sistema fotovoltaico que son reflejados en la planilla de consumo eléctrico, no obstante en la práctica se manejan porcentajes de entre el 90% al 98% debido a que suplir lo que resta de la carga agregaría un tiempo considerable al retorno de inversión.

3.4.1 Plantas solar 1 (Estación de bombas).

La planta solar 1 alimentara las cargas de las bombas de agua situadas en el rio de la urbanización, junto a las luminarias que corresponde el sector posterior de la urbanización. A continuación, se apreciará la zona en donde se realizará el punto de inyección de la planta solar fotovoltaica.



Figura 14 Vista espacial del punto de inyección de la planta solar 1.

Fuente: (Autor, 2023)

Se observa que el área designada para la ubicación de los módulos fotovoltaicos, la distancia hasta el punto de inyección y las edificaciones periféricas se tiene a disposición 542,2 metros cuadrados para la instalación de la planta. Los módulos solares para utilizarse poseen un área total de 2.4 metros cuadrados con una potencia nominal máxima de 505W.

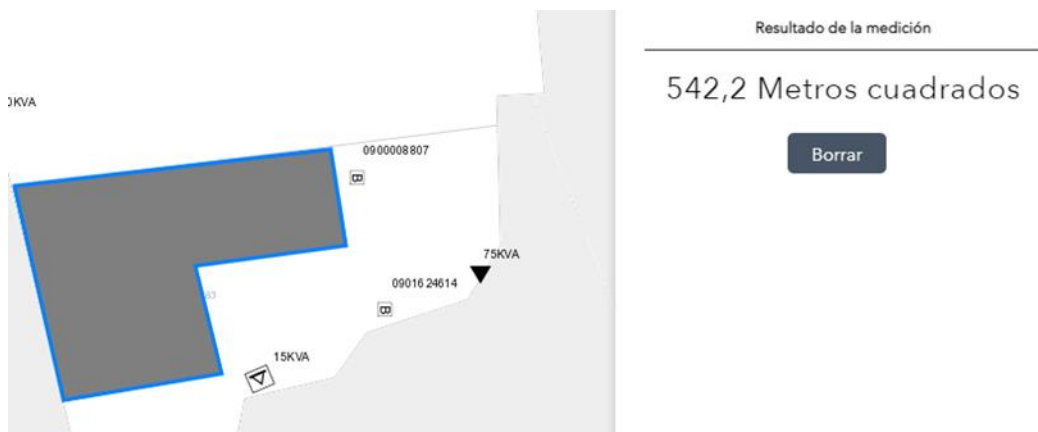


Figura 15 Medición de espacio disponible en la planta solar 1.

Fuente: (Autor,2023)

Se establece la cantidad de 120 paneles solares para alimentar a los 60 KW de la planta solar. Debido a que los 120 paneles solares por los 2.4 metros cuadrados son igual a 288 metros cuadrados. Debido a que estamos dentro de los 542,2 metros cuadrados disponibles, se hace posible la instalación de la planta proyectada.

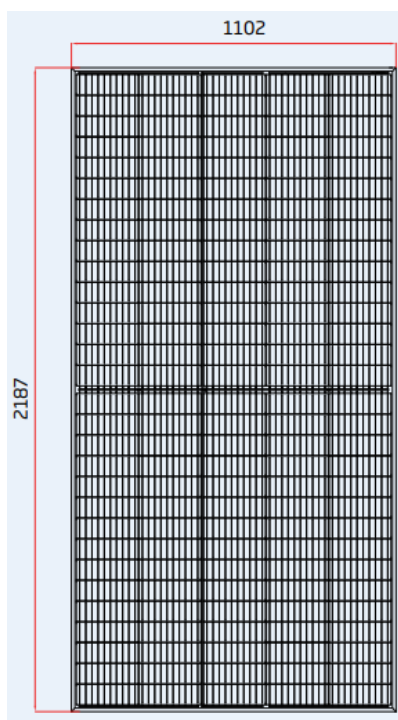


Figura 16 Dimensiones de los módulos fotovoltaicos

Fuente: (Autor,2023)

Se implementarán 3 inversores ON GRID de 20KW con conexión trifásica a 220V para la conversión de DC a AC, mismos que cuentan con 2 entradas MPPTs que admiten arreglos de hasta 25 módulos fotovoltaicos cada uno considerando su ficha técnica (Condiciones de voltaje y corriente admisible). Se recomienda que la ubicación de los inversores sea aledaña al punto de inyección para beneficio económico del cliente.

3.4.2 Plantas solar 2 (Cancha de tennis).

Debido que, en la propiedad cercana al punto de inyección, no se encuentra espacio disponible para la instalación de la planta solar, se plantea al cliente la ubicación de los módulos fotovoltaicos en otra área asignada correspondiente a un lote baldío. Se observa el área designada para la ubicación de los módulos fotovoltaicos, la distancia hasta el punto de inyección y las edificaciones periféricas.

Se implementará 1 inversor ON GRID de 100KW con conexión trifásica a 480V para la conversión de DC a AC, mismos que cuentan con 10 entradas

MPPTs que admiten arreglos de hasta 28 módulos fotovoltaicos cada uno considerando su ficha técnica (Condiciones de voltaje y corriente admisible).



Figura 17 Terreno disponible para la implantación de la planta solar fotovoltaica

Fuente: (Autor,2023)

Se tiene a disposición 3098.8 metros cuadrados para la instalación de la planta. Los módulos solares para utilizarse poseen un área total de 2.4 metros cuadrados con una potencia nominal máxima de 505W.

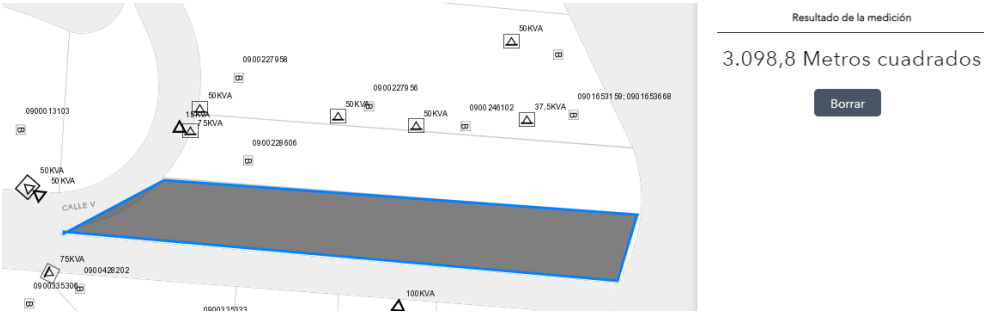


Figura 18 Área de terreno disponible.

Fuente: (Autor,2023)

Se establece la cantidad de 200 paneles solares que ocupan 480 metros cuadrados, para alimentar a los 100 KW de la planta solar. Debido a que estamos dentro de los 3098.8 metros cuadrados disponibles, se hace posible la instalación de la planta proyectada.

Para la inyección al tablero de distribución del cliente se prevé la instalación de un transformador trifásico seco de 100KVA con relación 480/220V. Se tiene en consideración el cálculo para los conductores en la salida del transformador:

$$I = (100 \text{ KVA}) / (220 * 1.73) * 1.25 = 330 \text{ A}$$

El tramo requerido para el punto de inyección se considera desde la ubicación de paneles hasta el medidor eléctrico del cliente. Se recomienda la instalación de los inversores cerca del punto de inyección teniendo en cuenta consideración el costo de conductores AC. El tramo se realizará vía subterránea con funda sellada o tubería PVC según las preferencias del abonado del medidor.

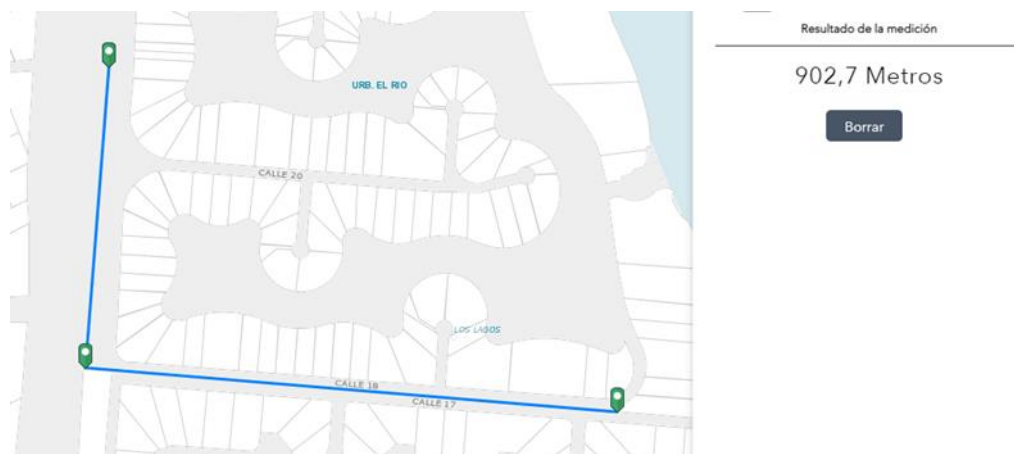


Figura 19 Distancia desde la planta solar hasta el punto de inyección eléctrica en AC

Fuente: (Autor,2023)

3.4.3 Plantas solar 3 (Administración)

Se observa la ubicación de la propiedad del cliente en donde se realizará el punto de inyección de la planta solar fotovoltaica. Se tiene a disposición 261,4 metros cuadrados para la instalación de la planta. Los módulos solares para utilizarse poseen un área total de 2.4 metros cuadrados con una potencia nominal máxima de 505W.

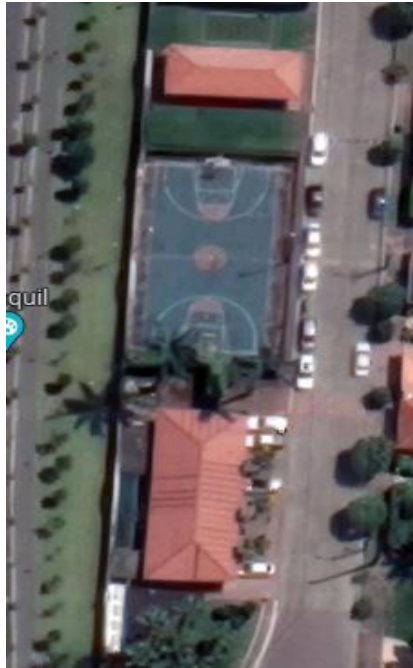


Figura 20 Vista espacial de la planta solar 3

Fuente: (Autor,2023)

Se observa el área designada para la ubicación de los módulos fotovoltaicos, la distancia hasta el punto de inyección y las edificaciones periféricas.

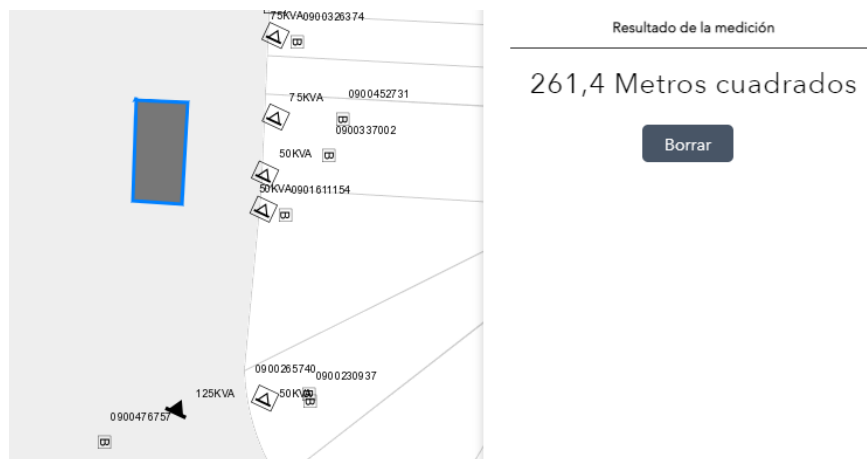


Figura 21 Vista espacial de la planta solar 3

Fuente: (Autor,2023)

Se establece la cantidad de 34 paneles solares con 2.4 metros cuadrados que resultan en 81.6 metros cuadrados que necesita para alimentar a los 17 KW de la planta solar. Debido a que estamos dentro de los 261.4 metros cuadrados disponibles, se hace posible la instalación de la planta proyectada.

Se implementará 1 inversores ON GRID; uno de 20KW con conexión monofásica a 220V para la conversión de DC a AC, mismos que cuentan con 2 entradas MPPTs que admiten arreglos de hasta 14 módulos fotovoltaicos cada uno considerando su ficha técnica (Condiciones de voltaje y corriente admisible). El tramo requerido para el punto de inyección se considera desde la ubicación de paneles hasta el medidor eléctrico del cliente. Se recomienda la instalación de los inversores cerca del punto de inyección teniendo en cuenta consideraciones económicas del proyecto.

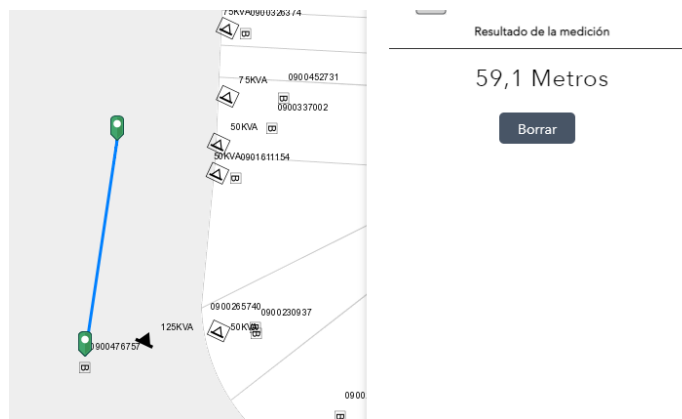


Figura 22 Distancia desde la planta solar hasta el punto de inyección eléctrica en AC

Fuente: (Autor,2023)

3.5 Equipos seleccionados para los sistemas fotovoltaicos

Para este proyecto de análisis se utilizó un panel solar de la marca Trinasolar del modelo TSM-DE17M monocristalino con una garantía de 15 años.

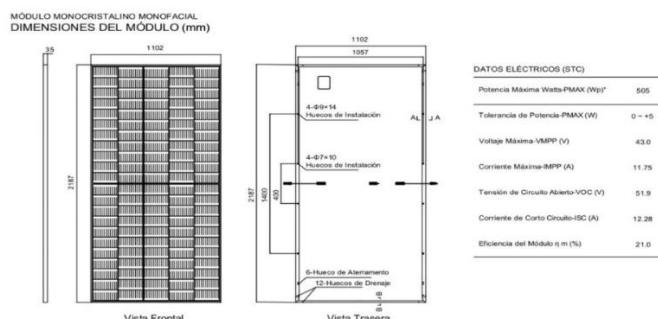


Figura 23 Panel solar marca Trina solar.:

Fuente: www.trinasolar.com

Los inversores empleados en el proyecto son 2 inversores, uno es de 20kwp trifásico de la marca Growatt modelo MAC 20KTL3-XL, y otro de 100Kwp trifásico de la marca Huawei del modelo SUN2000-100KTL-M1. Los conductores para el inversor Growatt en la sección DC son 2 cables #10AWG de cobre galvanizado en la sección DC con un breaker de 3 polos de 90A por inversor, y fusibles de 20^a, en la sección de corriente alterna se utilizan 3 cables #4AWG y un cable # 6AWG. Para el inversor Huawei en la sección DC son 2 cables #10AWG de cobre galvanizado en la sección DC con un breaker de 3 polos de 150A por inversor, y fusibles de 20A, en la sección de corriente alterna se utilizan 3 cables #1/0AWG y un cable N # 2AWG. Para los dos casos los conductores que inyecta a la red pública son dos cales 2/0AWG+ N#2/.



Figura 24 Inversor solar marca Growatt.

Fuente: www.growatt.com



Figura 25 Inversor solar marca Huawei.

Fuente: www.huawei.com

3.6 Presupuesto económico del proyecto.

En este apartado se presentará el costo que el proyecto tendrá, para ser ejecutado en la urbanización El Rio de la parroquia Satélite en el cantón Samborondón, provincia del Guayas. Crear un presupuesto económico nos permite conocer de manera más detallada los factores de inversión que intervienen en el proyecto, y también comprobar la factibilidad que tiene nuestra propuesta.

En la tabla que se presentará a continuación, se exhiben los valores obtenidos de precios referenciales del mercado sin tomar presente servicios adicionales requeridos para movilizar los equipos a utilizar en este proyecto.

Tabla 6 Presupuesto económico para el proyecto del sistema fotovoltaico

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
354	Paneles fotovoltaicos TRINA SOLAR 505 W	\$200	\$70,800
4	Inversor Growatt20Kwp	\$ 1,689	\$ 6,756
1	Inversor Huawei 100Kwp	\$7,553	\$7,553
34	Estructura de panel solar	\$897	30,502
1	Transformador trifásico 100kva seco delta-y	\$20,000	\$20,000
75	Batería Growatt AXE 20.0L	\$3,500	\$262,500
1	Componentes de instalación	\$2037	\$2,037
1	Servicio de instalación del sistema	\$2,000	\$2,000
	TOTAL:		\$402,148

Fuente: Autor

Tabla 7 Presupuesto de inversión para residentes para las plantas fotovoltaicas

Descripción		Total de inversión por residente
Residentes de la urbanización El Rio	167	
Presupuesto económico necesario para el proyecto	\$490,000 TODO EL PROYECTO \$90,000 PLANTA SOLAR 1, Y 3	
	TOTAL DE TODO EL PROYECTO: TOTAL DE PLANTA SOLAR 1, Y 3:	\$2969,69 \$538.92

Fuente: Autor

Como cualquier proyecto que es analizado o implementado, es necesario que existe un retorno de la inversión del proyecto para los residentes que aportan el capital para el proyecto, considerando un tiempo prudente de inversión a medio plazo. No obstante, como se puede apreciar en la tabla de presupuestos de equipos las baterías para las plantas solares genera un encarecimiento mayor del 300% al proyector por lo que la planta solar 2 que debería suplir la carga de las luminarias de las canchas de tennis será planteada en este proyecto debido a que es técnicamente viable, pero económicamente no recomendable. Debido a este motivo se sacará el periodo de retorno de inversión solo tomando en cuenta las plantas solares 1, y planta solar 3, el cual tendrá una inversión de \$90000, y un retorno anual de las plantas solares 1, y 2 de \$1231 mensuales dando un monto anual de ahorro de \$14772

Periodo de retorno de inversion = Inversion ÷ Ahorro anual del proyecto

Periodo de retorno de inversion = 90048 ÷ 14772 = 6 años

Tabla 8 Presupuesto económico para las plantas solares 1, y 2.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Precio total
154	Paneles fotovoltaicos TRINA SOLAR 505 W	\$200	\$30,800
4	Inversor Growatt20Kwp	\$ 1,689	\$ 6,756
15	Estructura de panel solar	\$897	\$13,455
10	Batería Growatt AXE 20.0L	\$3,500	\$35,000
1	Componentes de instalación	\$2,037	\$2,037
1	Servicio de instalación del sistema	\$2,000	\$2,000
TOTAL			\$90048

Capítulo 4:

Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Para este trabajo de investigación se planteó el diseño de 3 plantas solares de generación distribuida con diferentes tipos de conexiones en los espacios disponibles de la urbanización El Rio, que mitigaran los consumos de las panillas eléctricas asociados a los 3 medidores que posee la administración de la urbanización El Rio en un 100% debido a la posibilidad de cotizar el excedente eléctrico producido, para suplir los valores adicionales de la alícuota, valores del personal de guardianía de la urbanización El Rio, y recuperar la inversión realizada en un plazo de 5 años, tomando en cuenta las consideraciones planteadas en este trabajo.

Mediante un análisis técnico de las 3 plantas solares, se determinó que cumplen todas las normativas técnicas, para una inversión sistema de generación distribuida conectada a la red para autoabastecimiento que cumpla las normas vigentes en Ecuador, reguladas por la ARCERNNR, así como también se respetó las especificaciones técnicas de los equipos, y se integraron algunas normativas de la IEEE 1547, para poder garantizar un sistema fotovoltaico que pueda trabajar de manera óptima y segura.

4.2 Recomendaciones

Para poder disminuir el costo de inversión de este proyecto, es necesario cotizar los equipos que tienen una mayor carga económica paulatinamente con el fin de encontrar un equivalente para el equipo que posea las mismas características técnicas a un menor valor.

Capacitar a personal de la urbanización para los mantenimientos de las plantas solares con el dinero ahorrado de la facturación eléctrica de la administración El Rio

Segmentar cargas de la administración para poder suplir las cargas nocturnas como muestra el diagrama unifilar de la administración en el anexo

Bibliografía

- Almanza, R., Muñoz, F. (2003). Ingeniería de la energía solar. Mexico: Cromocolor.
- Arcernnr. (2021). Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica. Quito.
- Boxwell, M. (2012). Solar Electricity Hanbook. Greenstream Publishing.
- Camoran, G., Corcobado, T. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. España: McGraw-Hill Interamericana.
- García, M. (2010). Manual de mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas conectadas a red. Sevilla: Progrensa.
- Gómez, M. (2008). Energía solar fotovoltaic. México: colegio oficial de ingenieros de telecomunicación
- IEEE Standards Coordinating Committee 21. (2009). *IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*. Nueva York.
- IEEE Standards Coordinating Committee 21. (2013). *IEEE Guide for Conducting Distribution Impact Studies for Distributed Resource Interconnection*. Nueva York.
- IEEE Standards Coordinating Committee 21. (2018). *IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces*. Nueva York.
- IRENA. (2019). *Future of solar photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Lamguero, O. (2013). *Energía solar fotovoltaica*. España: Procomn.

- Lira, A. (2027). El espectro electromagnético, 1(1), 1-8. Recuperado de http://leias.fa.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/180515_Practica3_LES.pdf
- Martín, J. (2008). Sistemas solares fotovoltaicos: fundamentos, tecnologías y aplicaciones. Madrid: A. Madrid Vicente, ediciones
- Ross, M. A., Rossati, E. A., & Soto, W. A. (2019). *Estudio de captación de radiación solar en instalaciones fotovoltaicas*. Santa Fé: Universidad Tecnológica Nacional de la República de Argentina.
- Sanchez, Á., Martinez, D., Magnaleno, R., Ortega, J., Sanchez, P. (2017). Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial: Instituto de Energía Renovables
- Tobajas, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina.
- Ureta, Velez., & Margarita, V. (2017). Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

ANEXOS

1 Ficha técnica de panel solar trina solar.

Vertex BACKSHEET MONOCRYSTALLINE MODULE

DIMENSIONS OF PV MODULE (MM)

ELECTRICAL DATA (STC)

Parameter	400	450	490	500	525	530
Peak Power (Watt) P _{max} (W)	400	450	490	500	525	530
Maximum Power Voltage (V _{mp}) (V)	42.0	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current (I _{mp}) (A)	12.10	12.96	12.68	12.59	12.70	12.80
Open Circuit Voltage (V _{oc}) (V)	52.1	52.8	53.5	53.7	53.9	54.1
Short Circuit Current (I _{sc}) (A)	12.57	13.24	13.21	13.29	13.30	13.43
Module Efficiency η (%)	20.1	20.8	20.5	20.7	21.0	21.1

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Parameter	400	450	490	500	525	530
Maximum Power (Watt) P _{max} (W)	36.9	42.0	45.3	45.4	45.6	45.8
Maximum Power Voltage (V _{mp}) (V)	39.17	39.23	39.39	39.39	39.39	39.52
Maximum Power Current (I _{mp}) (A)	49.1	49.2	49.8	49.8	49.8	49.8
Open Circuit Voltage (V _{oc}) (V)	59.1	59.2	59.8	59.8	59.8	59.8
Short Circuit Current (I _{sc}) (A)	9.79	9.79	9.84	9.80	9.96	10.05

MECHANICAL DATA

Cell Type	Monocrystalline
Cell Efficiency	20.0%
Module Dimensions	2380*1102*35mm (94.11*43.39*1.38 inches)
Weight	25.0 kg (55.0 lb)
Class	3.2 mm (0.126 inch) High Transmission, Air-Cooled Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	30 mm (1.18 inch) Anodized Aluminum Alloy
J Box	IP68 Rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.120 inch) ² , PVC with 18 AWG (0.76mm) (0.030 inch) diameter, Length 18.140 mm (0.714 inch) (L2 18.14 inch)
Connector	MCR 3VDC / 75A*

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	45°C (113°F)	Operating Temperature	-40~+85°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.24%/°C	Maximum System Voltage	1500V DC (UL)
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.25%/°C	Max Series Fuse Rating	20A
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.06%/°C		

WARRANTY

25 year Product Workmanship Warranty	Modules per box: 32 pieces
25 year Power Warranty	Modules per 40' container: 832 pieces
10 Year Corrosion Resistance	
0.5% Annual Power Retention	

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
© 2020 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this document are subject to change without notice.
Version Number: TOP_01_2020_A www.trinasolar.com

2. Hora solar pico de la zona de análisis.

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Monthly and Annual
Dates (month/day/year): 01/01/2010 through 12/31/2020 |
Location: Latitude -2.1331 Longitude -79.861
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 64.58 meters
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)
-END HEADER-
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2010 3.53 3.65 3.82 3.89 3.62 3.23 3.43 3.42 3.60 4.19 3.99 3.47 3.65
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2011 3.91 4.07 4.92 4.23 4.02 3.39 3.13 3.72 4.08 4.00 4.52 3.99 4.00
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2012 3.44 3.89 4.23 4.20 3.86 3.69 3.76 3.80 4.18 3.88 4.09 4.37 3.95
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2013 3.34 3.75 3.81 4.20 3.50 3.26 3.29 3.88 4.22 3.84 4.16 4.46 3.81
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2014 3.49 3.61 4.21 3.62 3.49 3.46 3.71 3.48 3.96 3.70 4.16 4.21 3.76
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2015 3.68 4.02 3.92 3.99 3.77 3.62 3.65 3.64 4.16 3.58 3.72 3.84 3.80
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2016 3.64 3.57 3.47 3.85 4.13 3.82 3.37 4.17 3.89 4.21 5.09 4.08 3.94
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2017 3.69 4.02 4.12 4.03 3.75 3.26 3.57 3.78 3.72 3.93 4.08 3.79 3.81
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2018 4.41 3.66 3.90 4.77 3.45 3.48 3.35 3.98 4.26 3.94 3.80 3.86 3.90
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2019 3.72 3.75 3.86 4.06 3.64 3.32 3.56 3.91 4.50 3.70 3.64 4.11 3.81
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2020 4.09 3.90 3.93 4.40 3.85 3.49 3.21 4.33 4.21 4.29 4.40 3.76 3.99
    
```

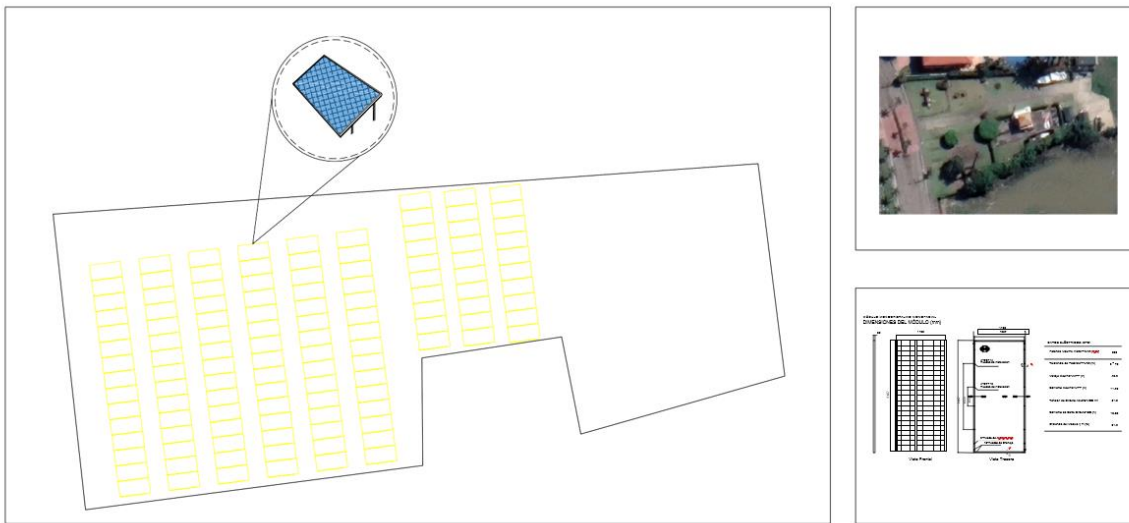
3. Datasheet de inversor Growat 20KWP.

Hoja de datos	MAC 15KTL3-XL	MAC 20KTL3-XL	MAC 25KTL3-XL	MAC 30KTL3-XL	MAC 35KTL3-XL	MAC 39KTL3-XL
Datos de entrada (DC)						
Máx. potencia (P _{max})	19000W	24000W	28000W	32000W	37000W	44000W
Máx. voltaje DC	1100V	1100V	1100V	1100V	1100V	1100V
Voltaje de arranque	260V	260V	260V	260V	260V	260V
Voltaje nominal	300V	300V	300V	300V	300V	300V
Rango de voltaje MPPT	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V	200V-1000V
N.º de MPPT	3	3	3	3	3	3
Número de cables fotovoltaicos por string de MPPT	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4	4/4
Máx. corriente de entrada por string de MPPT	20A/20A	20A/20A	20A/20A	20A/20A	20A/20A	20A/20A
Máx. corriente de cortocircuito por string de MPPT	20A/20A	20A/20A	20A/20A	20A/20A	20A/20A	20A/20A
Datos de salida (AC)						
Máx. potencia aparente de CA	18000VA	23000VA	27000VA	31000VA	36000VA	43000VA
Máx. potencia activa de CA (cosp=1)	17700W	22500W	26500W	30500W	35500W	42500W
Factor de potencia de salida	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Corriente nominal de salida de CA	39.6A	52.8A	63.8A	73.8A	84.8A	95.8A
Máx. corriente de salida	42.6A	56.8A	68.8A	79.8A	90.8A	101.8A
Factor de potencia de salida	<0.99	<0.99	<0.99	<0.99	<0.99	<0.99
Factor de potencia de salida	0.8 (inductivo)	0.8 (inductivo)	0.8 (inductivo)	0.8 (inductivo)	0.8 (inductivo)	0.8 (inductivo)
N.º de cables de salida de CA	3L+1+N	3L+1+N	3L+1+N	3L+1+N	3L+1+N	3L+1+N
Eficiencia						
Máx. eficiencia	98.8%	98.8%	98.8%	98.8%	98.8%	98.8%
EffDc	98.2%	98.2%	98.2%	98.2%	98.2%	98.2%
Dispositivos de protección						
Protección DC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobretensión de CA	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de polaridad inversa de CA	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobrecorriente de CA	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobrecalentamiento de CA	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de aislamiento de CA	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de corriente residual	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobretensión de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobrecalentamiento de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de resistencia de aislamiento de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de corriente residual de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de aislamiento de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobretensión de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de sobrecalentamiento de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de resistencia de aislamiento de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Protección de corriente residual de CC	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Información General						
Dimensiones del PCB	460x320x45	460x320x45	460x320x45	460x320x45	460x320x45	460x320x45
Peso	4.0kg	4.0kg	4.0kg	4.0kg	4.0kg	4.0kg
Rango de temperatura de operación	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C
Temperatura ambiente	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C	-25°C ~ 60°C
Altitud	≤2000m	≤2000m	≤2000m	≤2000m	≤2000m	≤2000m
Clasificación de protección	IP66	IP66	IP66	IP66	IP66	IP66
Topología	Si transformador	Si transformador	Si transformador	Si transformador	Si transformador	Si transformador
Etiquetado	Módulo de refrigeración	Módulo de refrigeración	Módulo de refrigeración	Módulo de refrigeración	Módulo de refrigeración	Módulo de refrigeración
Estado de protección eléctrica	IP66	IP66	IP66	IP66	IP66	IP66
Humedad relativa	0 ~ 100%	0 ~ 100%	0 ~ 100%	0 ~ 100%	0 ~ 100%	0 ~ 100%
Corriente DC	42.6A	42.6A	42.6A	42.6A	42.6A	42.6A
Corriente de corriente alterna	39.6A/42.6A	39.6A/42.6A	39.6A/42.6A	39.6A/42.6A	39.6A/42.6A	39.6A/42.6A
Modelos						
Modelo	GD1-1500W-APP	GD1-2000W-APP	GD1-2500W-APP	GD1-3000W-APP	GD1-3500W-APP	GD1-3900W-APP
Modelo de protección eléctrica	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Modelo de protección CC	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
Modelo de protección de aislamiento de CC	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO	SI/NO
GD1547-01741						

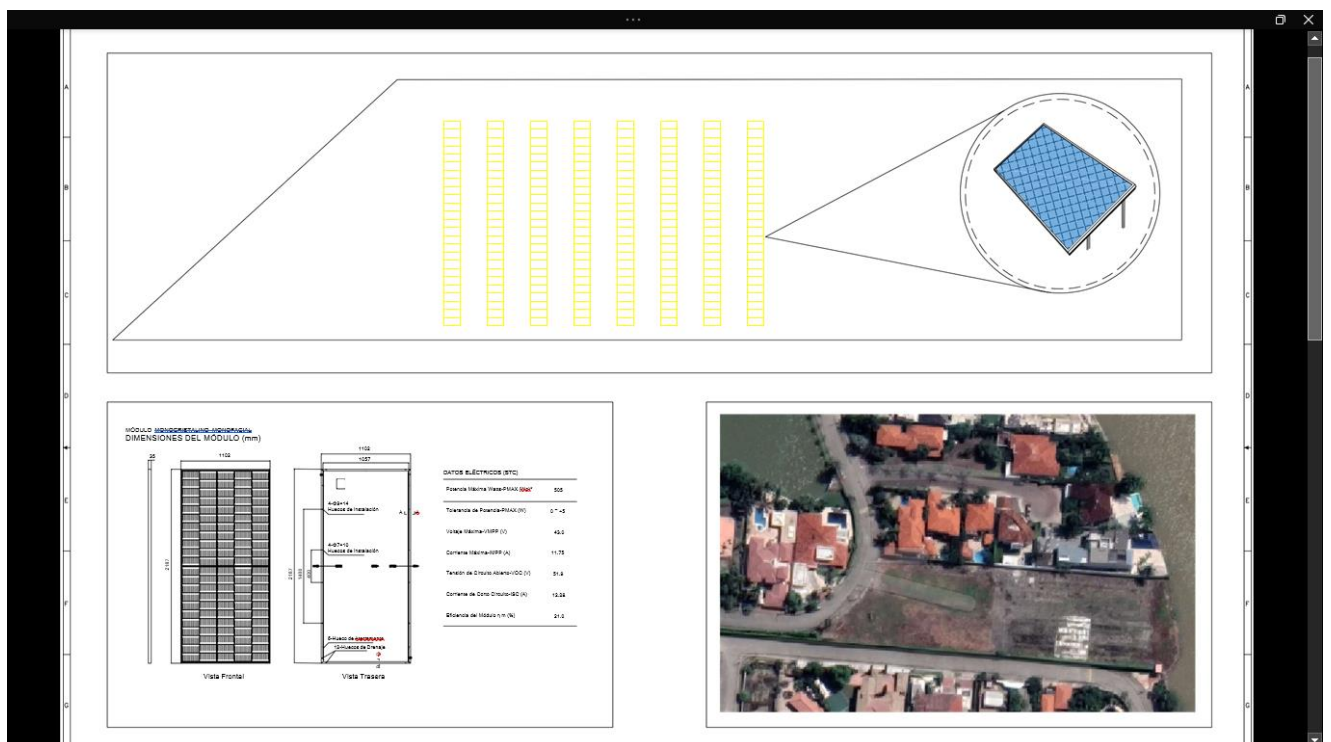
4. Datasheet de inversor Huawei 100kwp.

Especificaciones técnicas		SUN2000-100KTL-M1
Eficiencia		
Máxima eficiencia		98.8% @480 V, 98.6% @380 V / 400 V
Eficiencia europea ponderada		98.6% @480 V, 98.4% @380 V / 400 V
Entrada		
Tensión máxima de entrada ¹		1,100 V
Corriente de entrada máxima por MPPT		26 A
Corriente de cortocircuito máxima		40 A
Tensión de arranque		200 V
Tensión de funcionamiento MPPT ²		200 V – 1,000 V
Tensión nominal de entrada		720 V @480 Vac, 600 V @400 Vac, 570 V @380 Vac
Cantidad de rastreadores MPPT		20
Cantidad máxima de entradas por MPPT		10
Salida		
Potencia activa		100,000 W
Max. Potencia aparente de CA		110,000 VA
Max. Potencia activa de CA (cosp= 1)		110,000 W
Tensión nominal de salida		480 V / 400 V / 380 V, 3W-(N)+PE
Frecuencia nominal de red de CA		50 Hz / 60 Hz
Intensidad nominal de salida		120.3 A @480 V, 144.4 A @400 V, 152.0 A @380 V
Max. intensidad de salida		133.7 A @480 V, 160.4 A @400 V, 168.8 A @380 V
Factor de potencia ajustable		0.8 capacitivo ~ 0.8 inductivo
Distorsión armónica total máxima		< 3%
Protecciones		
Dispositivos de desconexión del lado de entrada		Si
Protección anti-ila		Si
Protección contra sobretensión de CA		Si
Protección contra polaridad inversa CC		Si
Monitorización a nivel de string		Si
Descargador de sobretensiones de CC		Type II
Descargador de sobretensiones de CA		Type II
Detección de resistencia de aislamiento CC		Si
Monitorización de corriente residual		Si
Comunicación		
Display		Indicadores LED, Bluetooth + APP
RS485		Si
USB		Si
Monitorización de BUS (MBUS)		Si (transformador de aislamiento requerido)
Datos generales		
Dimensiones (W x H x D)		1,035 x 700 x 365 mm
Peso (incluido máx. de montaje)		50 kg
Rango de temperatura de operación		-25°C ~ 60°C
Enfriamiento		Enfriamiento de aire inteligente
Max. Altitud de operación		4,000 m
Humedad de operación relativa		0 ~ 100%
Conector CC		Standard MC4
Conector CA		Terminal PG Impermeable + conector OT/DT
Grado de protección		IP66
Topología		Sin transformador
Consumo de energía durante la noche		< 3.5 W

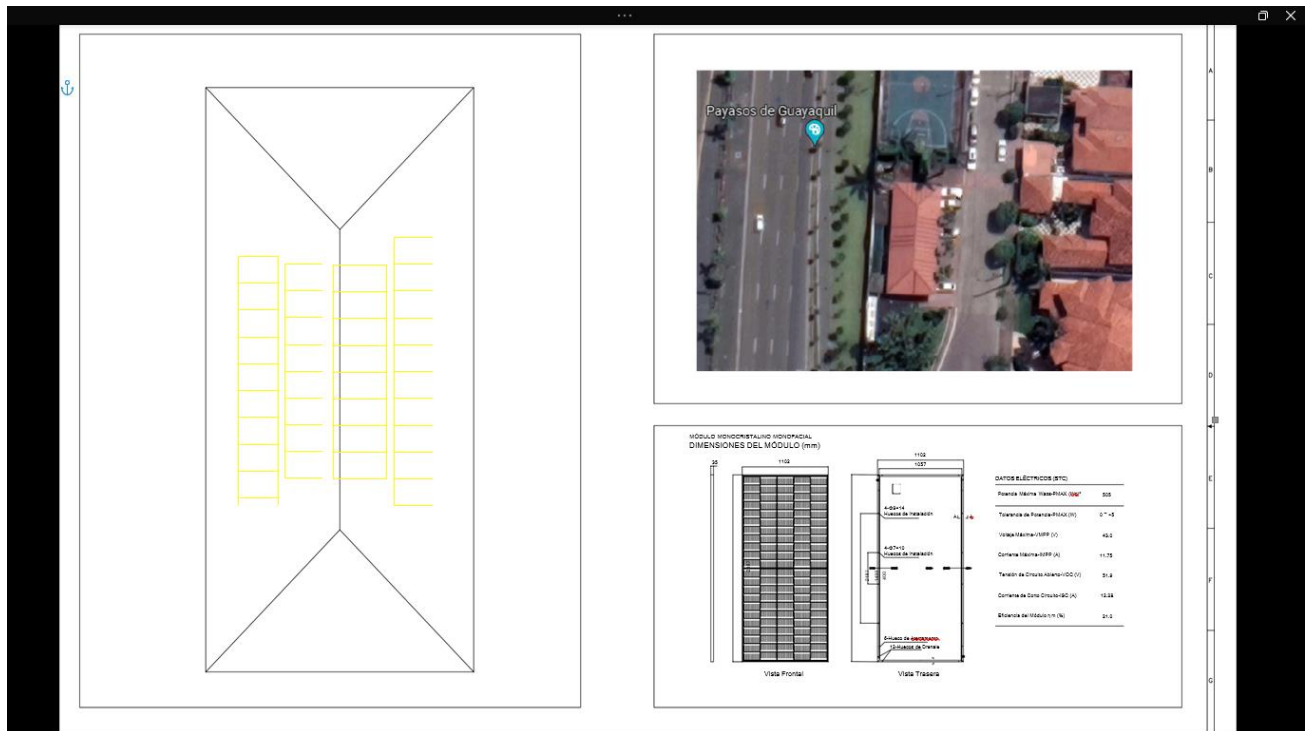
5. Esquema de Planta solar 1.



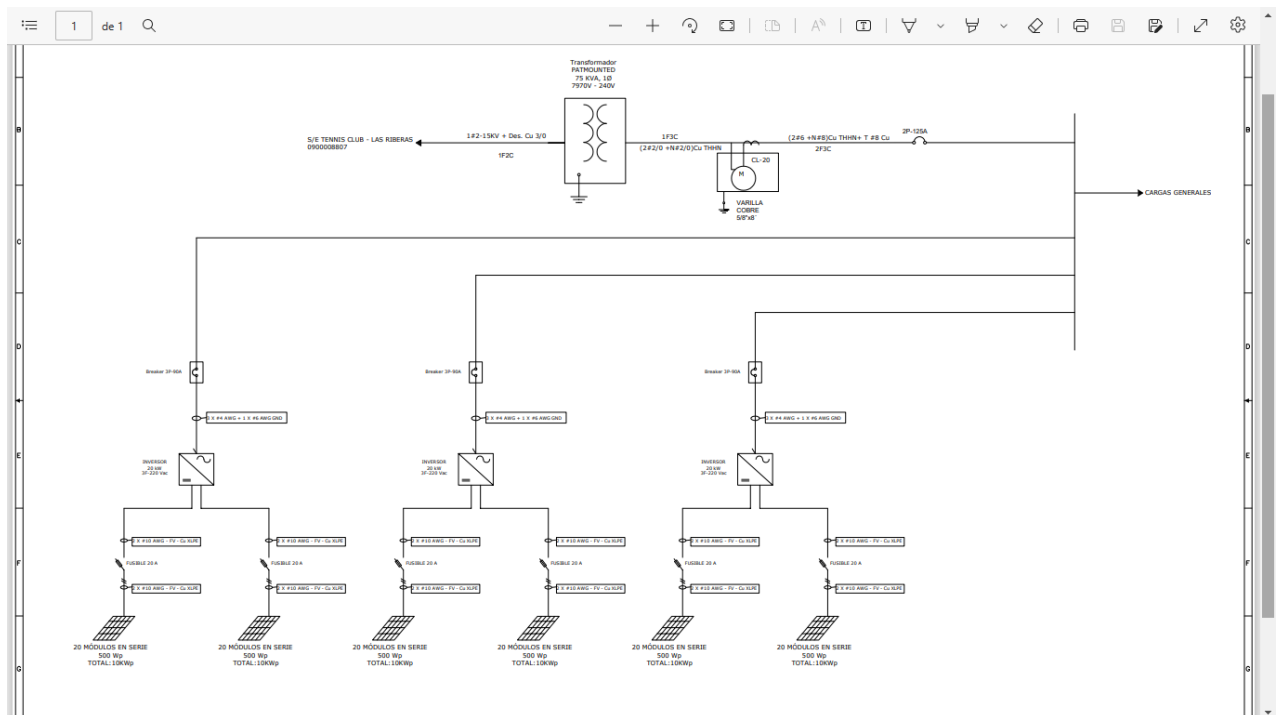
6. Esquema de Planta solar 2.



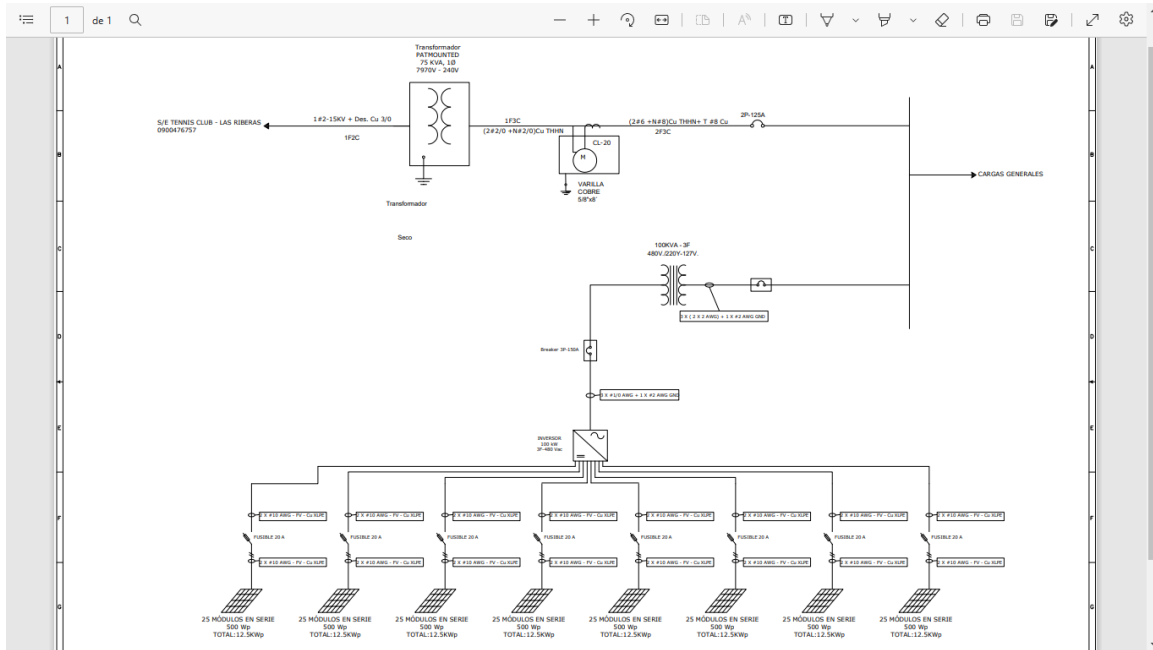
7. Esquema de Planta solar 3.



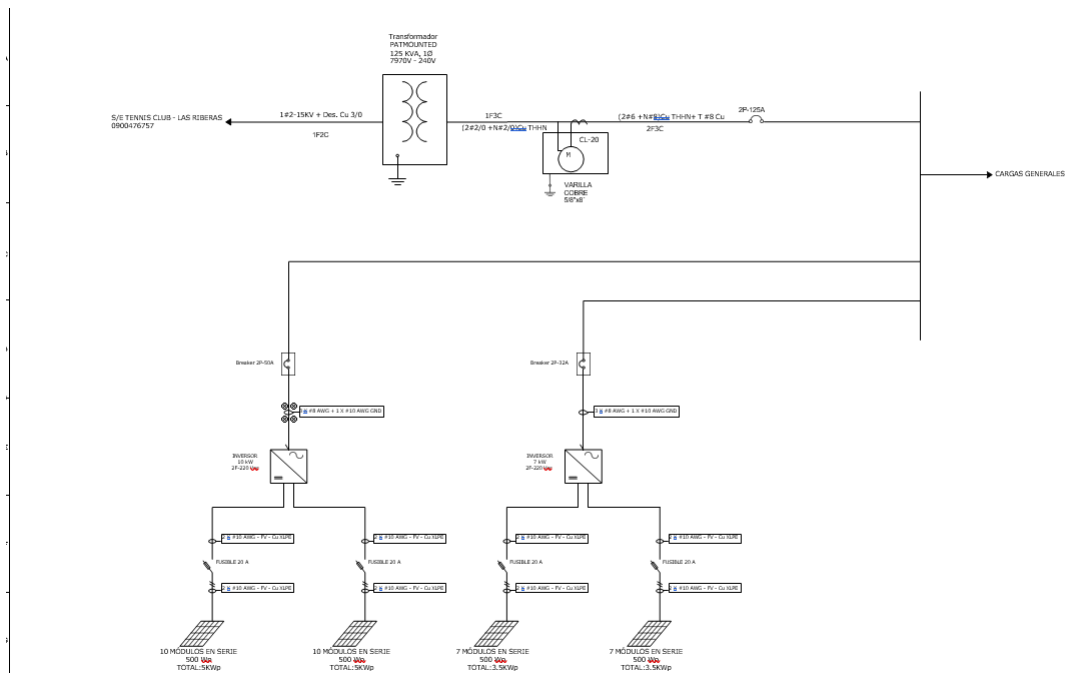
8. Diagrama unifilar de Planta solar 1.



9. Diagrama unifilar de Planta solar 2.



10. Diagrama unifilar de Planta solar 3.



11. Planilla de luz de la administración de la urbanización El Rio.

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEP
 Sucursal: Avd. Nicolás Lapeña Km 1 1/2 vía Durán Tambo, Tel: 04-3719400 - Durán - Ecuador
 RUC: 096959020001 / CONTRIBUYENTE ESPECIAL / RESOLUCIÓN N° 65 del 17 - Marzo - 2009

Factura No. 902-999-41232791
 N° Autorización: 050120230109689902000120029990125207911610972411
 Ambiente: PRODUCCION EMISION NORMAL
 No. de Control: 478795-08
 Valor a pagar: 236.16
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 Fecha de Vencimiento: 2023-01-25

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR
 SUMINISTRO: 30272-4 ASOCIACIÓN DE PROPIETARIOS DE URBANIZACIÓN EL RIO
 Código Único Electrónico Nacional: 890547937 Cédula / R.U.C.: 09223460001 Código Postal:
 Dirección servicio: URB. EL RIO ADMINIST. R ACION
 Planificación: 1 15-31-020-0095 Tarifa: 300-B Agua Dem.Registrador (Meda Tension) 2023-01-05 1
 Provincia - Cantón - Parroquia: Guayas - Samborombón - La Purísima (Sañete)(L)
 Dirección notificación: Domicilio

FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
 Medidor: 300009020001 Desde: 2023-11-05 Hasta: 2023-12-05 Días Facturados: 31 Tipo consumo: LNH Constante: 1.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía 300-240 V. 25	1002.00	1000.00	2.00	kWh	0.40
Demanda 300-240 V. 25	3000.00	3000.00	0.00	W	0.00
Demanda 3000-15000 W. 240 V. 25	70.00	70.00	0.00	W	0.00
Alumbrado	0.00	0.00	0.00	h	0.00
Demanda 3000-15000 W. 240 V. 25	70.00	70.00	0.00	W	0.00
Alumbrado	0.00	0.00	0.00	h	0.00

SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
 VALOR CONSUMO: 136.44
 DEMANDA: 62.27
 CONSIGNACIÓN I.V.A.(0%): 1.41
 CONSIGNACIÓN I.V.A.(0%): 0.00
 SERVICIO ELÉCTRICO (1.1): 200.14
 SERV. ALUMBRADO PUBL: 90.00
 ALUMBRADO PÚBLICO (1.2): 30.02
 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO: 0.00
 OTROS (1.3): 0.00
 TOTAL (1.1 + 1.2 + 1.3): 236.16

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO
 Forma Electrónica: 000.00
 Decreto Res. 506/2009: 0.00
 TOTAL: 0.00

FORMA DE PAGO
 VALOR: 236.16
 OTROS CON UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO: 0.00

NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA
 Nombre: ASOCIACION DE PROPIETARIOS DE URBANIZACION EL RIO
 Demanda servicio: URB. EL RIO ADMINIST. R ACION
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 CONCEPTO: VALOR
 TOTAL TRIBUTO CUERPO DE BOMBAS: 0.00

NOTIFICACIÓN DE PAGO POR LA TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN
 Nombre: ASOCIACION DE PROPIETARIOS DE URBANIZACION EL RIO
 Demanda servicio: URB. EL RIO ADMINIST. R ACION
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 CONCEPTO: VALOR
 TOTAL TASA DE RECOLECCION DE BASURA: 0.00

RESUMEN DE VALORES A PAGAR
 Total Sector Electrico (A): 236.16
 Total Tributo Cuerpo de Bombas: 0.00
 Total Tasa Recolección Basura: 0.00
 Total Otros Rubros Terceros: 0.00
TOTAL A PAGAR (059): 236.16

CLAVE DE ACCESO: 050120230109689902000120029990125207911610972411

12. Planilla de luz de bombas de agua de la urbanización El Rio.

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEP
 Sucursal: Avd. Nicolás Lapeña Km 1 1/2 vía Durán Tambo, Tel: 04-3719400 - Durán - Ecuador
 RUC: 096959020001 / CONTRIBUYENTE ESPECIAL / RESOLUCIÓN N° 65 del 17 - Marzo - 2009

Factura No. 902-999-41232791
 N° Autorización: 050120230109689902000120029990125207911610972411
 Ambiente: PRODUCCION EMISION NORMAL
 No. de Control: 88795-08
 Valor a pagar: 1.081.37
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 Fecha de Vencimiento: 2023-01-25

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR
 SUMINISTRO: 30272-4 ESTACION DE BOMBEO LAGO ARTT J
 Código Único Electrónico Nacional: 8900058807 Cédula / R.U.C.: 09223460001 Código Postal:
 Dirección servicio: URB. EL RIO BOMBA ES. T ACION
 Planificación: 1 15-31-020-0210 Tarifa: 300-B Agua Dem.Registrador (Meda Tension) 2023-01-05 1
 Provincia - Cantón - Parroquia: Guayas - Samborombón - La Purísima (Sañete)(L)
 Dirección notificación: Domicilio

FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
 Medidor: 1000079403-07 Desde: 2023-11-05 Hasta: 2023-01-05 Días Facturados: 31 Tipo consumo: LNH Constante: 1.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
Energía 300-240 V. 25	1002.00	1000.00	2.00	kWh	791.87
Demanda 300-240 V. 25	3000.00	3000.00	0.00	W	167.30
Demanda 3000-15000 W. 240 V. 25	70.00	70.00	0.00	W	1.41
Alumbrado	0.00	0.00	0.00	h	0.00
Demanda 3000-15000 W. 240 V. 25	70.00	70.00	0.00	W	0.00
Alumbrado	0.00	0.00	0.00	h	0.00

SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
 VALOR CONSUMO: 791.87
 DEMANDA: 167.30
 CONSIGNACIÓN I.V.A.(0%): 1.41
 CONSIGNACIÓN I.V.A.(0%): 0.00
 SERVICIO ELÉCTRICO (1.1): 879.93
 SERV. ALUMBRADO PUBL: 130.54
 ALUMBRADO PÚBLICO (1.2): 130.54
 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO: 0.00
 OTROS (1.3): 0.00
 TOTAL (1.1 + 1.2 + 1.3): 1,081.37

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO
 Forma Electrónica: 000.00
 Decreto Res. 506/2009: 0.00
 TOTAL: 0.00

FORMA DE PAGO
 VALOR: 1,081.37
 OTROS CON UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO: 0.00

NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA
 Nombre: ESTACION DE BOMBEO LAGO ARTT J
 Demanda servicio: URB. EL RIO BOMBA ES. T ACION
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 CONCEPTO: VALOR
 TOTAL TRIBUTO CUERPO DE BOMBAS: 0.00

NOTIFICACIÓN DE PAGO POR LA TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN
 Nombre: ESTACION DE BOMBEO LAGO ARTT J
 Demanda servicio: URB. EL RIO BOMBA ES. T ACION
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 CONCEPTO: VALOR
 TOTAL TASA DE RECOLECCION DE BASURA: 0.00

RESUMEN DE VALORES A PAGAR
 Total Sector Electrico (A): 1,081.37
 Total Tributo Cuerpo de Bombas: 0.00
 Total Tasa Recolección Basura: 0.00
 Total Otros Rubros Terceros: 0.00
TOTAL A PAGAR (059): 1,081.37

CLAVE DE ACCESO: 050120230109689902000120029990125207911610972411

13. Planilla de luz de canchas de la urbanización El Rio.

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNELEP
 Sucursal: Avd. Nicolás Lapentí Km 1 7/8 vía Durán Tambo, Telf.: 04- 3710400 - Durán - Ecuador
 RUC: 096859620001 / CONTRIBUYENTE ESPECIAL / RESOLUCIÓN N° 65 del 17 - Marzo - 2009

Factura No. 002-099-01232708
 N° Autorización: 0301202301099223466000120010020000043073202225415
 Ambiente: PRODUCCION
 Emisión: EMISION NORMAL

No. de Control: 4740205-44
 Valor a pagar: 1.128.08

Fecha de Emisión: 2023-01-05
 Fecha de Vencimiento: 2023-01-25

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR
 SUMINISTRO: 374003-01 URB. EL RIO (PERIMETRAL)
 Código Único Electrónico Nacional: 090474363 Cédula / R.U.C.: 0992234660001 Código Postal:
 Dirección servicio: URB. EL RIO CANCHAS T ENAS
 Plan/Geodéjico: 1 15-31-020-0965 Tarifa: 798-SERVICIOS COMUNITARIO DEMREG (Medía Tensión) 2023-01-05 1
 Provincia - Cantón - Parroquia: Guayas - Samborombón - La Puntilla (Sábalo)VU
 Dirección notificación: Domicilio

FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO
 Medidor: 3043403-02N-06 Desde: 2023-11-23 Hasta: 2023-12-28 Días Facturados: 31 Tipo consumo: Leño Constante: 1.00

Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valor
Consumo 304 3403-02	10266.00	82946.00	4868.00	KWH	1.045.09
Consumo 304 3403-02	10266.00	82946.00	4868.00	KWH	1.045.09
Consumo 3043 3403-02	10266.00	82946.00	4868.00	KWH	1.045.09
Consumo 3043 3403-02	10266.00	82946.00	4868.00	KWH	1.045.09

SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

VALOR CONSUMO	1.045.09
CONTRIBUCIÓN	1.41
CONTRIBUCIÓN (1.1)	0.00
SERV. ALUMBRADO PÚBL.	124.81
ALUMBRADO PÚBLICO (1.3)	124.81
OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO	0.00
TOTAL (1.1 + 1.2 + 1.3)	1.045.09

SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

Tarifa Especial	2.79
TOTAL:	2.79

FORMA DE PAGO VALOR 1.048.00
 OTROS CON UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO

NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA
 Hechos: URB. EL RIO (PERIMETRAL) Cédula/R.U.C.: 0992234660001
 Dirección servicio: URB. EL RIO CANCHAS T ENAS
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 CONCEPTO VALOR
 TOTAL TRIBUTOS CUERPO DE BOMBAS 0.00

NOTIFICACIÓN DE PAGO POR LA TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO CANTÓN SAMBÓR
 RUC: 09001480001 Suministro: 074033-0
 Hechos: URB. EL RIO (PERIMETRAL) Cédula/R.U.C.: 0992234660001
 Dirección servicio: URB. EL RIO CANCHAS T ENAS
 Fecha de Emisión: 2023-01-05
 CONCEPTO VALOR
 TASA RECOLECCIÓN BAS 0.00
 TOTAL TASA DE RECOLECCIÓN DE BASURA 0.00

RESÚMEN DE VALORES A PAGAR

Tarifas Sector Eléctrico (A)	1.045.09
Total Tributo Cuerpo de Bombas	0.00
Total Tasa Recolección Basura	0.00
Total Otros Pagos Terceros	0.00
TOTAL A PAGAR (ELECTRICO)	1.045.09

CLAVE DE ACCESO: 0301202301099223466000120010020000043073202225415

14. Alícuota de la urbanización El Rio.

EL RIO

0301202301099223466000120010020000043073202225415

Fecha y hora de Autorización:
03/01/2023 10:28:55

Ambiente: PRODUCCION
Emisión: NORMAL
Clave de Acceso:

0301202301099223466000120010020000043073202225415

Emisor: ASOCIACION DE PROPIETARIOS DE LA URBANIZACION EL RIO
RUC: 0992234660001
Matriz: GUAYAS / SAMBORONDON / TARIFA / SOLAR 36A
Correo: facturacionurbelrio@gmail.com
Teléfono: 042831471
Obligado a llevar contabilidad: SI
Agente de Retención
Resolución Nro. NAC-DNCRASC20-00000001

Razón Social: BORJA QUIÑONEZ JOSE FELIPE
Dirección: URDESA NORTE AV. 4TA DIAGONAL C.E. URBANOR
Fecha Emisión: 03/01/2023

RUC/Ci: 0800782773001
Teléfono: 994019485.0
Correo: bcobos@celecbor.com.ec

Código Principal	Cantidad	Descripción	Detalles Adicionales	Precio Unitario	Descuento	Total
001	1104.60	ALICUOTAS	Detalle: SOLAR 148 1104.60 m2	0.26	\$22.09	\$265.10
001	1104.60	ALICUOTAS	Detalle: SOLAR 148 1104.60 m2	0.26	\$22.09	\$265.11

Información Adicional Subtotal Sin Impuestos: \$530.21

15. Datasheet de bateria de 20kw/h.

Datasheet	AXE 5.0L	AXE 10.0L	AXE 15.0L	AXE 20.0L	AXE 25.0L	AXE 30.0L	AXE 35.0L	AXE 40.0L	AXE 45.0L	AXE 50.0L
System Demo										
Battery Module	AXE 5.0L - C1 (5.0kWh, 51.2V, 45kg)									
Number of Modules	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energy Capacity	5.0kWh	10.0kWh	15.0kWh	20.0kWh	25.0kWh	30.0kWh	35.0kWh	40.0kWh	45.0kWh	50.0kWh
Dimension (W/D/H)*1	650/350/165mm (25.6/14.6/6.5in)	650/350/330mm (25.6/14.6/13.1in)	650/350/495mm (25.6/14.6/19.5in)	650/350/660mm (25.6/14.6/25.9in)	650/350/825mm (25.6/14.6/32.3in)	650/350/990mm (25.6/14.6/38.7in)	650/350/1155mm (25.6/14.6/45.1in)	650/350/1320mm (25.6/14.6/51.5in)	650/350/1485mm (25.6/14.6/57.9in)	650/350/1650mm (25.6/14.6/64.3in)
Weight	47kg/103.4lb	92kg/202.4lb	137kg/301.4lb	182kg/400.4lb	227kg/499.4lb	272kg/598.4lb	317kg/697.4lb	362kg/796.4lb	407kg/895.4lb	452kg/994.4lb
Max Charge	60A	120A	120A	120A	120A	120A	120A	120A	120A	120A
Max Discharge	60A	120A	120A	120A	120A	120A	120A	120A	120A	120A
General										
Battery Type	Cobalt-Free Lithium Iron Phosphate (LFP)									
Nominal Voltage	51.2V									
Operating voltage Range	48 - 57.6V									
IP Protection	IP20 /NEMA Type1									
Installation	Floor installation*2									
Operation Temperature	0°C -50°C/32°-122°F									
Features										
DoD	92%									
Multi-cluster AXE battery system in cabinet	Max. 8 clusters (Max. 400kWh)									
BMS Monitoring Parameters	SOC, System voltage, Current, Cell voltage, Cell temperature, PCBA temperature measurement									

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Borja Hernández, Joseph Felipe** con C.C: # 0926072661 autor del Trabajo de Integración Curricular: **Diseño de planta energética con recursos fotovoltaicos para el área administrativa, alumbrado de área social y aireadores de agua de la urbanización El Rio**, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRICIDAD** 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, 7 de septiembre del 2023



f. _____
Nombre: **Borja Hernández, Joseph Felipe**
C.I:0926072661

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de planta energética con recursos fotovoltaicos para el área administrativa, alumbrado de área social y aireadores de agua de la urbanización El Rio.		
AUTOR(ES)	Borja Hernández, Joseph Felipe		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Ubilla González, Ricardo Xavier		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Electricidad		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	7 de septiembre del 2023	No. DE PÁGINAS:	70
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energías Renovables, Generación distribuida		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía Solar, Generación Distribuida, Sistemas, Fotovoltaicos.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Este proyecto de investigación tiene como objetivo analizar la viabilidad del proyecto de la implementación de 3 plantas solares de generación distribuida, como una alternativa para la disminución de las elevadas planillas de consumo eléctrico que registra la administración de la urbanización El Rio. Este proyecto no solo busca un ahorro, sino, también aportar con el ejemplo para el cambio de matriz energética que se propone el planeta. Mediante las 3 planillas que posee la administración, se recopila datos de dimensionamiento, características técnicas de funcionamiento, y el punto de inyección según la normativa vigente de generación distribuida de autoconsumo que maneja la ARCERNNR. Se utilizaron herramientas digitales para determinar el punto constructivo más conveniente, y herramientas que proporcionaran datos claves del entorno donde se plantean realizar las 3 plantas solares conectadas a la red, para posteriormente cubrir los valores adicionales a la alícuota. Al concluir del análisis de este proyecto y revisar los catálogos disponibles de los equipos principales de una planta solar, se determinó que es posible la implementación del proyecto que podrá cubrir los valores adicionales de la alícuota.</p>		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-97446026	E-mail: josephborja3@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Ubilla Gonzalez, Ricardo Xavier		
	Teléfono: +593-9-99528515		
	E-mail: ricardo.ubilla@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):			