



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EN LA COMUNA DE MASA 2.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES:** JOSÉ JEFFERSON CHUQUI MURILLO  
LUIS ALEJANDRO CASTRO NAULA

**TUTOR:** ING. NELSON RODRIGO LAYEDRA QUINTEROS

Guayaquil-Ecuador

2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, JOSÉ JEFFERSON CHUQUI MURILLO con documento de identificación No 0953316312 y LUIS ALEJANDRO CASTRO NAULA con documento de identificación No 0953538154; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 28 de agosto de 2023

Atentamente,



---

JOSÉ JEFFERSON CHUQUI MURILLO

0953316312



---

LUIS ALEJANDRO CASTRO NAULA

0953538154

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, JOSÉ JEFFERSON CHUQUI MURILLO con documento de identificación No 0953316312 y LUIS ALEJANDRO CASTRO NAULA con documento de identificación No 0953538154, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico “Análisis de Factibilidad e Implementación de un Sistema Fotovoltaico en la Comuna de Masa 2”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 28 de agosto de 2023

Atentamente,



---

JOSÉ JEFFERSON CHUQUI MURILLO

0953316312



---

LUIS ALEJANDRO CASTRO NAULA

0953538154

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, NELSO RODRIGO LAYEDRA QUINTEROS con documento de identificación No. 0909779126 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA COMUNA DE MASA 2, realizado por, JOSÉ JEFFERSON CHUQUI MURILLO con documento de identificación No 0953316312 y LUIS ALEJANDRO CASTRO NAULA con documento de identificación No 0953538154, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 28 de agosto de 2023

Atentamente,



---

NELSON RODRIGO LAYEDRA QUINTEROS

0909779126

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este proyecto de titulación a mis padres José Chuqui López y Narcisa Murillo Oleas que a lo largo de toda mi carrera han sido mi más grande apoyo, mi pilar fundamental, mis ganas y mi ejemplo para ver culminada mi etapa universitaria y llenarlos de orgullo.

A mis hermanas Verónica Chuqui, Magaly Chuqui, Jomayra Chuqui y Alejandra Chuqui por formar parte de esta etapa, a mis más grandes amigos que los considero como hermanos Ferney Salazar, Erick Bustamante, Pamela Peralta, Omar Vera por compartir momentos de felicidad y tristeza, los considero un gran apoyo en mi vida al tener una competencia sana de alcanzar metas.

Una dedicatoria muy especial dedicado a Genesis Katuska Peralta Moran por el cariño, por aportar su granito de arena al ver su esfuerzo de salir adelante, un ejemplo a seguir para mí.

Dedicado a todas aquellas personas que me acompañaron esta etapa tan bonita y llegar a gozar de esta felicidad.

**JEFFERSON CHUQUI**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios y a toda mi Familia.

## **Dedicatoria**

Este proyecto de titulación se lo dedico a papá Dios por haberme ayudado a culminar una pequeña etapa de mi vida, a mi Madre Gladys Beatriz Naula Avilez que fue la que más me alentaba a terminar la carrera, mi Padre Leopoldo Xavier Castro Pérez que nunca me dejó de apoyar en los momentos más difíciles, mis Hermanos: Narcisa Chispe Naula, Gonzalo Cevallos Naula, Xavier Castro Naula y mi Enamorada Karla Coello Viejo, gracias a ellos hoy seré un profesional.

**CASTRO NAULA LUIS ALEJANDRO**

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios, a mi familia, a los Ingenieros Juan Carlos Lata y Pedro Núñez que me ayudaron en la etapa de la carrera más difícil, nunca me abandonaron ni dudaron de mi para ofrecerme una gran ayuda y al resto de docentes que han tenido la paciencia suficiente para poder transmitir sus enseñanzas y conocimiento a lo largo de este proyecto universitario, a mis grandes amigos y colegas que la universidad me pudo regalar, Ing. William Borbor, Ing. Juan Diego Rosero, Xavier Martínez, a mi gran amigo y compañero de titulación Jefferson Chuqui Murillo.

**CASTRO NAULA LUIS ALEJANDRO**



## Resumen

La energía renovable principalmente la fotovoltaica puede ser una tecnología prometedora para suministrar energía a áreas aisladas e islas, abordar la volatilidad de los precios de los combustibles, brindar suministro de calidad con un alto grado de confiabilidad y al mismo tiempo, disminuir las emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero. es una tarea compleja. La energía renovable tiene el poder de crear autosuficiencia en términos de electricidad y la implementación de ser rentable y competitivo en muchas áreas de zonas aisladas. Para tener éxito en la implementación del proyecto es necesario evaluar cada caso de estudio por separado para examinar los recursos disponibles en el lugar, las limitaciones ambientales y los factores socioeconómicos de los pobladores. El levantamiento de información y las evaluaciones del sitio incluyen la caracterización de los recursos, la viabilidad técnica y la viabilidad económica.

Para el dimensionamiento técnico se llevó a cabo utilizando los datos disponibles del software comercial especializado y por los consumos de los residentes de la vivienda. El estudio de factibilidad se examina el sistema solar como base para tomar decisiones en la instalación del sistema fotovoltaico y proporcionar energía a una familia de la comunidad de Masa 2 en el Golfo de Guayaquil.

Los resultados para el sistema compuesto por un panel solar, un banco de baterías, controlador de carga e inversor son: el costo nivelado de electricidad (LCOE) es de \$0.215/kWh, la inversión necesaria para llevar a cabo la implementación asciende a 1230.07 dólares, el tiempo de recuperación de la inversión es de 16.4 años, la producción de energía es de 1250 kWh/año.

El trabajo demuestra que un sistema de energías renovables autosuficiente también es posible para satisfacer energéticamente a los habitantes de la isla de masa 2

**Palabras claves:** Golfo de Guayaquil, sistema fotovoltaico, sistema aislado, electrificación, factibilidad.

## **Abstract**

Renewable energy, mainly photovoltaics, can be a promising technology to supply power to isolated areas and islands, address volatile fuel prices, provide quality supply with a high degree of reliability, and at the same time decrease greenhouse gas emissions. is a complex task. Renewable energy has the power to create self-sufficiency in terms of electricity and the implementation to be cost effective and competitive in many isolated areas. Successful project implementation requires a separate assessment of each case study to examine the resources available at the site, environmental constraints, and socioeconomic factors of the villagers. Information gathering and site assessments include resource characterization, technical feasibility, and economic viability.

Technical sizing was carried out using data available from specialized commercial software and by the consumption of the residents of the dwelling. The feasibility study examined the solar system as a basis for making decisions on the installation of the photovoltaic system and provide energy to a family of the community of Masa 2 in the Gulf of Guayaquil.

The results for the system composed of a solar panel, a battery bank, charge controller and inverter are: the levelized cost of electricity (LCOE) is \$0.215/kWh, the implementation cost is \$1230.07, the payback of investment is 16.4 years, energy production is 1250 kWh/year. The work shows that a self-sufficient renewable energy system is also possible to satisfy the inhabitants of the island of mass 2 with energy

**Keywords:** Gulf of Guayaquil, photovoltaic system, isolated system, electrification, feasibility.

## INDICE GENERAL

Resumen.....	9
Abstract .....	10
INDICE DE FIGURAS.....	15
Abreviaturas .....	16
Antecedentes .....	18
Problema de estudio .....	19
Justificación.....	20
OBJETIVOS .....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos .....	21
Organización de tesis .....	21
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	22
1.1 Literatura.....	22
1.3 Proyectos con Energía Fotovoltaica en la región.....	23
1.3.1. Modelos de gestión para proyectos de electrificación .....	25
1.3.2. Soluciones de electrificación en la amazonia del Ecuador .....	25
1.4 Tipos de sistemas de energías renovables .....	27
1.5 Panorama energético de las renovables en el Ecuador.....	28
1.6 Campo legal para la implementación.....	29
CAPÍTULO 2 .....	31
2.1 Energías renovables .....	31
2.2 Tipos de energías renovables .....	31
2.2.1 Energía solar.....	31
2.2.2 Energía eólica.....	32
2.2.3 Energía hidroeléctrica .....	32
2.2.4 Energía proveniente de la biomasa .....	32
2.2.5 Energía marina .....	33
2.3 Panel solar .....	33
2.3.1 Principio de funcionamiento de las células solares.....	35
2.3.2 Tecnologías de células solares .....	37
2.3.3 Curva característica I-V de un panel solar .....	38
2.3.4 Impacto de la irradiación y temperatura en el panel solar .....	39
2.3.5 Modelado del panel solar .....	40
2.4 Regulador de carga.....	41

2.4.1 Controlador de carga PWM .....	42
2.4.2 Controlador de carga MPPT .....	43
2.5 Baterías.....	44
2.5.1 Batería de plomo acido abierto .....	45
2.5.2 Batería AGM.....	45
2.5.3 Batería Gel .....	45
2.5.4 Flujo de vanadio-redox .....	46
2.5.5 Flujo de poliyoduro de zinc .....	46
2.5.6 Flujo acuoso orgánico .....	46
2.5.7 Iones de sodio.....	46
2.5.8 Iones de magnesio .....	46
2.6 Inversor de red.....	47
CAPÍTULO 3 .....	48
3.1 Investigación .....	48
3.1.1 Investigación de campo.....	48
3.1.2 Investigación tipo explicativa .....	48
3.1.3 Investigación tipo correlacional .....	48
3.1.4 Investigación tipo analítica .....	49
3.2 Proyecto factible.....	50
3.3 Estudio de factibilidad.....	50
3.3.1. Parámetros económicos.....	51
3.3.2 Escasez de capacidad .....	51
3.3.3 Costo nivelado de energía (LCOE) .....	52
3.3.4 Costo por mantenimiento operación y reemplazo.....	52
3.3 Situación actual de la vivienda.....	53
3.4 Demanda de la vivienda .....	53
3.6 Procedimiento del dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	54
3.6.1 Datos del lugar de la instalación .....	54
CAPÍTULO 4 .....	56
4.1 Software PVSyst .....	56
4.4.1 Sistema a dimensionar en PVSyst.....	56
4.2 Estudio de factibilidad.....	65
4.3 Implementación del SF en Masa II .....	71
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

REFERENCIAS ..... 76

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Electrodomésticos y equipos de la vivienda .....	53
---	----

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Comunidad Masa 2 .....	18
Figura 2. Vista aérea de la comunidad .....	19
Figura 3. Vivienda donde se va a implementar el sistema fotovoltaico .....	20
Figura 4. Comunidades aisladas en el oriente Ecuatoriano .....	26
Figura 5. Sistema de energía renovable aislado .....	28
Figura 6. Balance energético nacional .....	29
Figura 7. Panel fotovoltaico conformado por células solares .....	34
Figura 8. Proyecto de central fotovoltaica el Aromo .....	35
Figura 9. Tipos de células fotovoltaicas.....	36
Figura 10. Eficiencia de las células solares en laboratorio.....	38
Figura 11. Curva característica I-V del panel solar .....	39
Figura 12. Variación de la curva de I-V a diferentes valores de irradiancia .....	40
Figura 13. Variación del voltaje de la célula por efecto de la temperatura .....	40
Figura 14. Circuito equivalente del panel solar .....	41
Figura 15. Conexión del controlador de carga .....	42
Figura 16. Controlador de carga PWM del fabricante Victron .....	43
Figura 17. Controlador de carga tipo MPPT Victron .....	43
Figura 18. Batería de gel de 12 V 120 Ah.....	44
Figura 19. Inversor híbrido Growatt de 4 kW.....	47
Figura 20. Viviendas en la comunidad de masa II .....	50
Figura 21. Lugar de la implementación del sistema solar .....	55
Figura 22. Pantalla de selección de las diferentes configuraciones .....	57
Figura 23. Valores de irradiancia global mensual .....	58
Figura 24. Búsqueda de la orientación del panel solar .....	58
Figura 25. Consumo de los aparatos de la vivienda .....	59
Figura 26. Curva de consumo diario .....	59
Figura 27. Pre dimensionamiento del sistema fotovoltaico. ....	60
Figura 28. Curva de voltaje vs estado de carga.....	61
Figura 29. Características técnicas del panel fotovoltaico.....	61
Figura 30. Características técnicas del controlador de carga .....	62
Figura 31. Victron Connect mediante bluetooth .....	63
Figura 32. Presentación del inversor Victron .....	64
Figura 33. Resultados de la simulación en PVSyst .....	64
Figura 34. Resultados del sistema simulado .....	65
Figura 35. Parámetros y características del Sistema solar. ....	66
Figura 36. Producción energética del sistema solar.....	68
Figura 37. Perdidas detalladas en el sistema solar .....	69
Figura 38. Valores económicos del sistema .....	70
Figura 39. Evaluación económica del sistema solar.....	71
Figura 40. Base del poste en plancha de 5 mm .....	72
Figura 41. Fundición de la base del panel solar.....	72
Figura 42. Conexión eléctrica de los componentes del SF .....	73
Figura 43. Diagrama unifilar de la implementación .....	74
Figura 44. Apriete de terminales en la batería .....	74

## Abreviaturas

AC	Corriente Alterna.
AM	Masa de Aire.
am	Antes del mediodía.
CAPEX	Gastos de capital.
CCC	Comité sobre el cambio climático.
CES	Almacenamiento de energía comunitario.
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono.
COE	Costo de la energía
DC	Corriente Continua.
DER	Recursos energéticos distribuidos.
GHI	Irradiación horizontal global
GW	Gigavatio
GWh	Gigavatio hora
FV	Fotovoltaico.
HSP	Horas Solar Pico.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
LCOE	Costo nivelado de electricidad
MPP	Punto Máximo de Potencia.
MPPT	Punto de Seguimiento Máximo de Potencia.
PVC	Policloruro de Vinilo.
PWM	Modulación por ancho de pulso.
PVSyst	Software Potente para Sistemas Fotovoltaicos.
SFV	Sistema Solar Fotovoltaico.
TIR	Tasa interna de retorno.
$\beta_{opt}$	Ángulo de inclinación óptimo
$N_s$	Baterías en serie.
$V_b$	Voltaje de batería.
$V_{sb}$	Voltaje del banco de baterías.
$E_{cm}$	Energía de consumo máximo.
$E$	Energía.
$t$	Horas solar Pico.
$P_r$	Eficiencia del sistema.

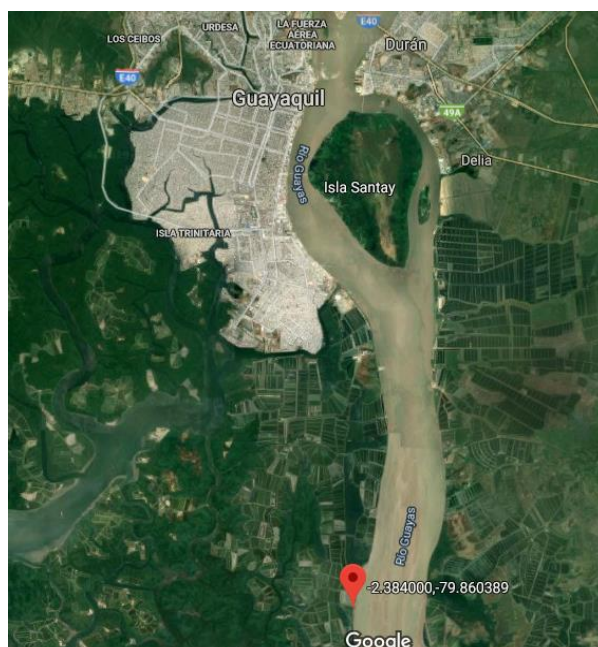


$P_p$	Potencia Pico.
$N$	Número de módulos fotovoltaicos.
$P_{mod}$	Potencia del módulo fotovoltaico.
$N_s$	Número de módulos en serie.
$V_{mpp}$	Voltaje del MPP del módulo.
VAN	Valor presente neto

## Antecedentes

La electrificación de lugares aislados es uno de los problemas muy poco tratado por las empresas de servicio eléctrico, los gobiernos y los entes relacionados a electrificación, a ello se suma la contaminación asociada por el uso de generadores de combustibles fósiles. La creciente preocupación por las incertidumbres en la seguridad de suministro, la volatilidad de los precios y la conciencia de responsabilidad ambiental con el planeta lleva a la necesidad de cambiar el sistema actual de electrificación con combustibles fósiles por una generación limpia a base de energías renovables. Las islas tienen una mayor afectación por los altos costos de la energía debido a los costos del combustible, el transporte y la dificultad de almacenamiento. En materia de seguridad y costos de la energía, es de especial interés para los isleños construir un sistema confiable y sostenible.

Mencionado lo anterior se selecciona un poblado ubicado en una isla del golfo de Guayaquil que no tiene electrificación convencional y de forma constante, las coordenadas se muestran en la figura 1. Masa 2 es una comunidad ubicada en el Golfo de Guayaquil, al sur de la ciudad, a unos 25.7 km del puerto más grande de Ecuador, se puede acceder a esta comunidad a través de la misma vía marítima desde el Muelle Caraguay en el mercado del nombre, con un tiempo estimado de viaje de 50 minutos.



**Figura 1.** Ubicación de la Comunidad Masa 2

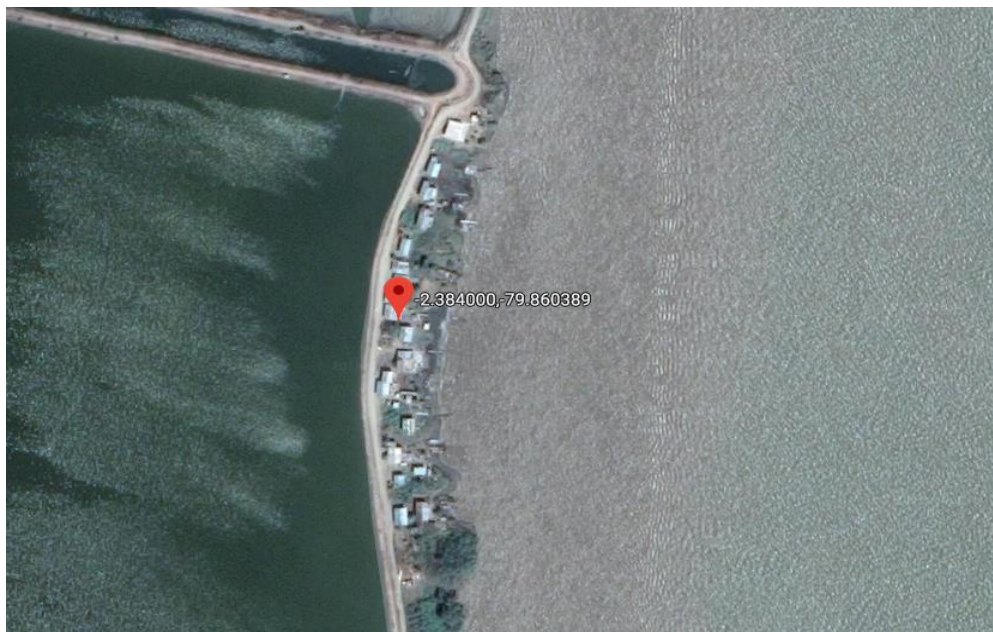
La comunidad está rodeada por el río Guayas, en lo que respecta a la cantidad de lluvia, la cuenca del río Guayas registra un promedio anual de 885 mm de precipitación, con una

precipitación mínima de 400 mm y una máxima de 1800 mm, la temperatura experimenta leves variaciones debido a los cambios estacionales. En la época seca o de sequía, las temperaturas oscilan entre 22 °C y 25 °C, mientras que, en la temporada de lluvias, alcanzan valores cercanos a los 28 °C.

Dado que la localidad se encuentra próxima a la línea ecuatorial, la duración de la luz diurna se mantiene constante a lo largo del año, con un total de 12 horas. Además, la radiación solar máxima llega hasta 5200W / m<sup>2</sup>.

En la comunidad Masa 2, faltan servicios esenciales como electricidad, agua potable, alcantarillado, recolección de residuos sólidos y telefonía. Debido a su aislamiento geográfico y la presencia de empresas camaroneras privadas en los alrededores, los habitantes carecen de opciones de transporte para salir de la comunidad, lo que hace que la mayoría deba recurrir al transporte marítimo. La figura 2 muestra las viviendas que componen esta comunidad objeto de estudio.

Las personas que habitan en este lugar se dedican exclusivamente a la captura de cangrejos y la pesca. Durante un período de veda que abarca dos meses al año, la actividad principal de los habitantes es la agricultura.



**Figura 2.** Vista aérea de la comunidad

## **Problema de estudio**

En la actualidad, en nuestro país enfrentamos la imperativa tarea de proporcionar suministro de electricidad a diversos lugares que carecen del servicio esencial. Hay áreas remotas o de difícil acceso donde la electricidad no llega debido a los costos elevados asociados con la

instalación de infraestructura eléctrica. A la luz de lo expuesto, se hace imprescindible llevar a cabo un análisis en las regiones rurales con el propósito de identificar la demanda de energía eléctrica. Este estudio debe contemplar todas las alternativas de desarrollo para la comunidad y se debe diseñar una metodología que facilite la planificación de proyectos de este tipo. La prioridad radica en fomentar el progreso de los servicios básicos en las comunidades aisladas, asegurándose de que los proyectos sean holísticos y se ejecuten con responsabilidad hacia el medio ambiente.

La ausencia de iluminación en el entorno comunitario tiene consecuencias al llegar la noche, debido a que los generadores que abastecen de energía operan solo durante un breve lapso, desde las 18:00 hasta las 21:00 horas. Después de ese período, los residentes quedan sumidos en una completa oscuridad.



**Figura 3.** Vivienda donde se va a implementar el sistema fotovoltaico

## **Justificación**

Debido a la falta de suministro eléctrico en ciertas zonas de Ecuador, como ocurre en la Comuna Masa 2, se requiere llevar a cabo un análisis, diseño y estudio detallado para la implementación de un sistema fotovoltaico con el fin de ofrecer apoyo a esta zona rural.

Dado que la población rural ecuatoriana está en constante expansión, el presente proyecto tiene como objetivo llevar a cabo un estudio de viabilidad y un análisis de la carga eléctrica, con miras a implementar este sistema fotovoltaico en las viviendas. Esto permitiría reemplazar el gasto en consumo de combustibles por la implementación de dicho sistema fotovoltaico.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Realiza el estudio de factibilidad para el diseño e instalación de un sistema de energía solar fotovoltaica en la comuna masa 2 – golfo de guayaquil

### **Objetivos específicos**

- Calcular la demanda de carga requerida en la vivienda y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.
- Diseñar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica que proporciona electricidad para cubrir las necesidades básicas de energía.
- Asesorar a la comuna, sobre el buen uso del Sistema de Energía Solar y su respectivo mantenimiento.

### **Organización de tesis**

La estructura de esta tesis se compone de los siguientes capítulos: el capítulo 1 aborda una revisión exhaustiva del estado del arte con relación a los estudios de factibilidad para la implementación de fuentes de energía renovables. El capítulo 2 detalla las diversas fuentes de energía y los componentes clave de los sistemas de energía solar fotovoltaica. El tercer capítulo detalla la metodología empleada y el análisis de viabilidad del sistema de energía solar fotovoltaica en la comunidad de Masa II. El cuarto capítulo se centra en la simulación del sistema utilizando PVSyst, evaluando tanto el costo de la energía como el costo individual de los componentes implicados. Por último, en el quinto capítulo se exponen las conclusiones obtenidas y se debate sobre la magnitud de la implementación.

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Literatura**

Hoy en día en una civilización moderna, la energía se coloca al lado de los requisitos básicos de la humanidad tanto como alimentos y vivienda. El uso de la energía está produciendo impactos tanto positivos como negativos en la humanidad por el tipo de tecnología utilizada, la energía como servicio público está reduciendo la difícil tarea de aumentar el acceso a más cantidad de energía limpia y segura a un bajo costo. Pero el proceso de generación de energía, el transporte de energía y su almacenamiento pueden reflejar consecuencias negativas en la salud humana, las condiciones ambientales y la economía de una sociedad. Sin embargo, las diversas actividades económicas dependen en gran medida de la disponibilidad de abundante cantidad de suministro de energía confiable de calidad.

Según el informe de World Energy Outlook 2017, alrededor del 30% de la demanda universal de energía eléctrica crece en el 2040 y entre el 40% de ella se espera que cumpla con el uso de tecnologías de energía limpia.

Las islas y los lugares remotos enfrentan condiciones desafiantes para la electrificación de las viviendas, las grandes distancias separan las áreas escasamente pobladas de las redes nacionales y las condiciones económicas previas no permiten una provisión integral debido a su pequeño mercado y alta costos de suministro. Una red confiable es la base para el crecimiento económico y la estabilidad social y suministra energía para iluminación, calefacción, refrigeración y dispositivos de consumo. las demandas de las zonas rurales pueden separarse en demanda de electricidad y calefacción. Las renovables pueden cubrir ambas cosas. Además, ofrecen una solución respetuosa con el medio ambiente al mismo tiempo definen la energía renovable como la energía extraíble de la naturaleza flujos de energía, que se produce en el entorno inmediato.

El estudio e implementación de electrificación rural fue identificada en el año de 1982 por Cecelsky quien presenta "la lista de electrificación rural en desarrollo", en los últimos años en la referencia [1] se aprovechó la oportunidad para expresar los beneficios de la sociedad moderna alcanzados por la electrificación rural.

La solución correctiva para esta circunstancia es promover la generación alternativa de energía limpia y ecológica con el menor impacto ambiental, las tecnologías que cumplen con estos requisitos son la energía solar, eólica, hidroeléctrica, biogás, biomasa, mareomotriz, oleaje,

térmica oceánica, etc. Cuando los recursos lo permiten se puede mezclar diferentes tipos de fuentes de generación formando diferentes configuraciones de combinación de energía basadas en recursos propios del área rural son resoluciones altamente preferibles. Varios investigadores y entes de colaboración para el desarrollo social han propuesto una solución atractiva llamada Sistema de Electrificación Rural Híbrida basado en Energía Renovable (REHRES), sin embargo, a la solución propuesta aparecen varios desafíos a ser estudiados como son la confiabilidad del sistema, la administración de la energía y el costo económico de la electricidad (medido en kilovatios-hora o kWh). Para vencer los desafíos se tiene que tomar en cuenta la disponibilidad de energía renovable y su potencial varían ampliamente en función de su ubicación geográfica y, por lo tanto, el tamaño óptimo se considera un parámetro importante para el desarrollo de un REHRES eficiente y económico.

La mayoría de los lugares donde se implementa este tipo de energía se basan en una única fuente de energía, como ocurre en la comuna Masa 2, que cuenta con un gran potencial solar debido a su ubicación geográfica. La energía solar está ampliamente disponible tanto en la superficie terrestre como en el espacio, lo que nos permite aprovecharla y convertirla en una forma útil de energía para un uso eficiente. dependiendo de la necesidad, la ubicación de la carga y la disponibilidad de redes eléctricas cercanas, la generación de energía solar puede estar conectada o funcionar de manera independiente a la red eléctrica. En lugares donde es difícil o costoso acceder a la red eléctrica convencional, la energía solar puede proporcionar un suministro eléctrico confiable. [1].

### **1.3 Proyectos con Energía Fotovoltaica en la región.**

En la referencia [2] los autores llevan a cabo la planificación de un sistema de energía solar fotovoltaica con la finalidad de suministro de electricidad de la Parroquia Quingeo, Cantón Cuenca en la Comunidad de Punta hacienda, del Ecuador, el sistema diseñado funciona cuando el GAD local lo requiera sin la conexión a la red pública o por imprevistos en el suministro de energía como los cortes de energía eléctrica, situación que es muy recurrente en las zonas rurales del Ecuador ya través de este sistema se garantiza la continuidad del servicio a los habitantes de la jurisdicción correspondiente. El diseño fue una propuesta interesante debido a que el Gobierno Nacional está impulsando este tipo de iniciativas a mediano plazo, debido al cambio de la matriz productiva en correspondencia con el Plan Nacional a Toda la Vida y la Constitución de la República del Ecuador de 2009 donde el Estado considera los servicios de energía eléctrica como un servicio básico.

Mientras que en la referencia [3] se lleva a cabo la planificación de un sistema fotovoltaico con

el propósito de suministrar energía eléctrica a los centros temporales de los Movimientos Políticos Rurales, enfocándose en las localidades situadas en áreas rurales y zonas urbanas marginales de las ciudades de Cuenca y Arequipa en el país de Perú.

Se consideró que al menos unos 80 centros estarían interesados en instalar estos sistemas para su operación y mitigación política donde se dificultaría el acceso a las redes de distribución en tiempos de elecciones seccionales. El sistema diseñado comenzará a funcionar antes de que comience cada campaña política sin la conexión a la red pública, garantizando la continuidad del servicio a los sistemas de iluminación y equipos electrónicos de campaña. Es un propósito muy interesante, ya que el Consejo Nacional Electoral puede contemplar dentro de sus partidas las adquisiciones y cobro del fondo de campaña por movimiento político.

Las simulaciones se realizan en diferentes condiciones utilizando el software Matlab como herramienta de optimización y diseño para finalmente realizar los ensayos en un centro contemplando las cargas máximas admisibles.

Otro trabajo de investigación desarrollado en una zona rural del Ecuador se realiza en la comunidad de Saraguro-Uchucay se analiza en la referencia [4], actualmente los avances en energías renovables en sistemas conectados a la red de distribución o en forma de isla se han convertido en una alternativa para generar energía eléctrica en sectores rurales de naciones en desarrollo, por lo tanto esta investigación utiliza los datos de mediciones 3 años de una zona rural ecuatoriana, para predecir la radiación solar a través de la utilización de técnicas de análisis de datos y de inteligencia artificial, se busca determinar la capacidad de generación de energía solar fotovoltaica en el sector de investigación. Los modelos se realizan en la plataforma de software WEKA mediante el análisis de una matriz de variables que busca el mejor algoritmo para determinar la incidencia de la radiación solar diaria y establecer un sistema de generación de electricidad diseñado para suplir la necesidad de energía eléctrica.

En el golfo de guayaquil se han implementado sistemas fotovoltaicos, en la referencia [5] se examina el impacto de la Rehabilitación de Sistemas Solares Domiciliarios (SHS) en la comunidad de “Cerrito de los Morreños” situada en el Golfo de Guayaquil, Ecuador, el primer paso fue recopilar datos cuantitativos y cualitativos de los habitantes de la comunidad mediante encuestas para evaluar el impacto de los sistemas en la comunidad durante el primer año de funcionamiento. En las encuestas realizadas se evaluaron las habilidades técnicas de los pobladores de la comunidad sobre el mantenimiento y la operación de los sistemas fotovoltaicos. Los resultados muestran cómo la energía eléctrica solar ha brindado a la comunidad acceso a diferentes servicios como iluminación, carga de teléfonos móviles y



conectividad a través de un proveedor de servicios de internet. Estos servicios están mejorando la calidad de la salud y la educación, brindando entretenimiento, apoyando las tareas domésticas y manteniendo informados a los miembros de la comunidad sobre los eventos actuales. Estos resultados, además de un análisis de Retorno Social de la Inversión (SROI), informan sobre la evaluación de impacto del proyecto.

### **1.3.1. Modelos de gestión para proyectos de electrificación**

Los proyectos de electrificación con energías renovables aislados de a pequeña escala son una elección apropiada para proporcionar acceso a la electricidad en las zonas rurales, sin embargo, la sostenibilidad de los proyectos se basa en la implementación de un adecuado modelo de gestión. Los autores clasifican los modelos de gestión según la institución rectora: gobierno, municipio, institución privada, y cooperativa. También se pueden clasificar con respecto a características sensibles, al igual que la propiedad de los sistemas de energía solar, la cooperación de los usuarios, la responsabilidad para operar y mantener los equipos, la implicación de los beneficiarios en los pasos de instalación y la gestión de los sistemas del pago de tarifas. Uno de los mayores inconvenientes encontrados por los autores de la referencia [6] es la carencia de literatura sobre estudios comparativos que resalte las fortalezas y debilidades de cada tipo de modelo de gestión y su contribución al logro de logros técnicos, económicos, sociales, sostenibilidad organizacional y ambiental. Para ello el trabajo presentado el estudio analiza y compara el impacto de diferentes modelos de gestión mediante la realización de una serie de análisis de casos en Perú, Ecuador y Bolivia después de 4 años de funcionamiento en el lugar de la implementación.

Finalmente, se dan como resultados recomendaciones generales para fortalecer todas las dimensiones de la sustentabilidad: entre ellas, ejecutar programas integrales de capacitación para mejorar las capacidades locales de mantenimiento; llegar a un acuerdo con los usuarios finales de electricidad para fijar una tarifa justa y asequible y fomentar la participación y autoorganización de la población para aumentar el sentido de propiedad. Tales aspectos son cumplidos de manera más completa por los modelos de gestión basados en microempresas y cooperativas, debido a su decididamente mayor participación comunitaria, y deberían ser estimulados por los hacedores de política de la región.

### **1.3.2. Soluciones de electrificación en la amazonia del Ecuador**

Según el último reporte presentado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad

(ARCONEL) en 2019 en el Ecuador existe un 2,76% de falta de cobertura de acceso a la red convencional de electricidad, principalmente en zonas rurales remotas de difícil acceso, y asentados de forma dispersa, debido a esta situación es el detonante para que exista un alto índice de pobreza y marginación.

La empresa Ecuatoriana TRATURAL que se especializa en implementación de proyectos con energías renovable brinda una alternativa de solución al problema de electrificación rural, con el apoyo de la Universidad de Bonn – Alemania y el gremio de geógrafos amazónicos AmazonGISnet, el proyecto (SE4Amazonian) se titula “Mapeo participativo para apoyar la energía sostenible para todos en la Amazonía” cual fue ganador de la convocatoria “Innovaciones colaborativas de datos para el desarrollo sostenible” en el 2018 organizado por el banco mundial. En la figura 4 se muestra una comunidad aislada en la región amazónica.



**Figura 4.** *Comunidades aisladas en el oriente Ecuatoriano*

El proyecto SE4Amazonian busca la aplicación de herramientas innovadoras para obtener y producir una minería de datos que sirvan como soporte para la toma de decisiones a nivel de gerencia para planificar la implementación de sistemas de energías renovables teniendo como meta la electrificación de las comunidades hasta el 2030. Para lograr el objetivo se utiliza tecnología satelital por medio de sensores remotos y en especial la colaboración ciudadana en la participación de un censo a todas las familias que no tienen acceso a la electricidad, la información recolectada tiene que ser validada para la creación de proyectos de electrificación donde se incluye las necesidades de las comunidades indígenas.

El proyecto abarca a más de 50 comunidades de la Amazonia donde el involucramiento de los actores y técnicos han sido fundamental, en el censo se rebela las necesidades de electrificación y las oportunidades de desarrollo con la implementación de los sistemas de energías renovables, la experiencia de la aplicación de esta nueva tecnología, demuestra que la combinación de

información satelital sumado a la participación de la comunidad y de los técnicos indígenas reduce significativamente el costo del kWh. Para asegurar la protección de los datos se tiene una política estricta de la información recolectada y de los derechos de los habitantes de cada una de comunidades o sector.

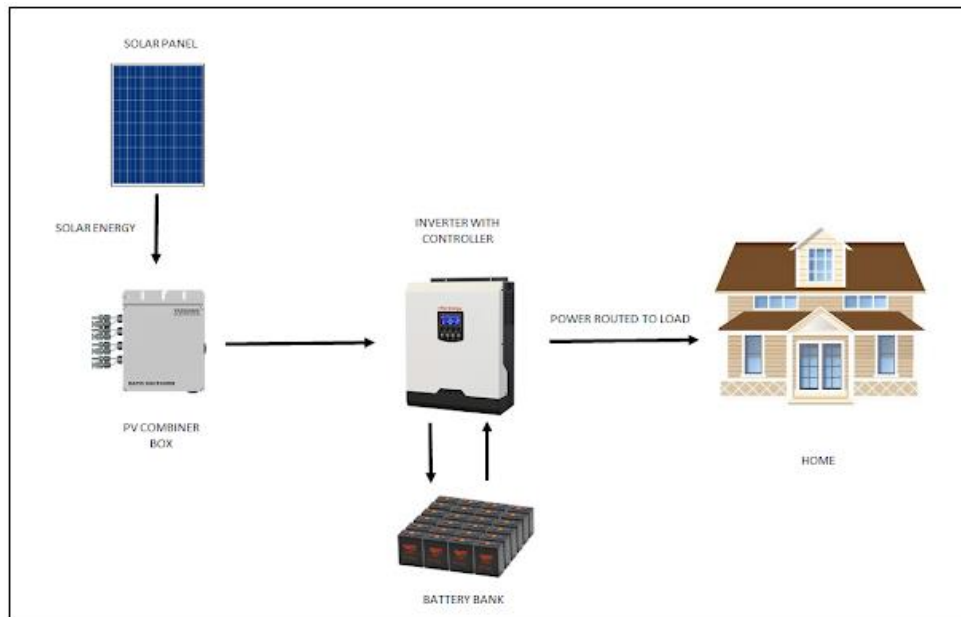
Debido al éxito del proyecto, se busca replicar los resultados en países vecinos, en el 2020 se realizó un taller internacional con participantes de países vecinos en especial de Bolivia y Colombia, el detalle del proyecto se transfiera para que puedan replicar en las zonas amazónicas de sus respectivos países, se espera que en el 2030 lograr el acceso universal a la electricidad en toda Amazónica.

#### **1.4 Tipos de sistemas de energías renovables**

Las implementaciones a base de todos los estudios e investigaciones sobre la electrificación de áreas aisladas han demostrado que los sistemas energéticos se adaptan bien en términos de energías renovables. La generación distribuida es una opción que ha ganado terreno en los últimos años y se define como la obtención de la energía demandada a partir de múltiples fuentes renovables a través de pequeños productores de energía. El reto para implementar energías renovables en una red existente radica en la variabilidad de la energía suministro de recursos naturales.

Otro requerimiento importante a la hora del diseño es la demanda de energía que también es variable, por lo tanto, es probable que la producción de energía y el uso de energía no coincidan en el mismo tiempo, el balance de energía es fundamental. La combinación de varias fuentes de energía renovable es importante en caso de que los recursos renovables lo permitan, esta combinación permite aplanar la producción de energía según sea necesario y con combinaciones diferentes.

Las redes inteligentes han tenido un gran impulso debido a que se ajusta a la variación energética real y regula el consumo temporal, por otro lado una red inteligente (Smart grid) se adapta a las fluctuaciones por la demanda diurna y nocturna, la red es automatizada su tecnología se en herramientas computacionales y se puede controlar de forma remota mejorando la eficiencia energética debido al control que se ajusta, en la figura 5 tomada de la referencia [7], se observa una Microred con tecnología de monitoreo remoto.



**Figura 5.** Sistema de energía renovable aislado

En la mayoría de las islas o comunidades remotas se pueden instalar sistemas de energía a pequeña escala que maneja el suministro de energía local en un área definida y autónoma, el sistema puede estar compuesto por ya sea central o DER y forma una configuración única.

El diseño y desempeño de la generación de energía renovable requiere el conocimiento preciso de los problemas que podrían surgir durante cada una de las fases del proyecto, durante el funcionamiento se puede presentar: sobrevoltaje transitorio, problemas de armónicos, transformador saturación, factor de potencia, potencia reactiva y control de voltaje. Los sistemas se pueden clasificar de la siguiente manera por su tamaño.

- Nano microrredes (1 vivienda)
- Microrredes fuera de la red
- Microrredes de campus
- Microrredes comunitarias

### 1.5 Panorama energético de las renovables en el Ecuador

El gobierno del Ecuador por medio del ministerio y de forma específica La Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL) divulga el informe del balance nacional de energía eléctrica correspondiente a noviembre de 2021, tal como se representa en la figura 6. En lo que respecta a las energías renovables a nivel país se aprovecha los recursos hídricos, eólico, solar y biomasa [8].



# BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO MÓVIL A NOVIEMBRE 2021



Energía Eléctrica	Potencia Instalada en Generación				Producción e Importaciones				Entregada a Servicio Público	
	Potencia Nominal		Potencia Efectiva		Total		Solo S.N.I.		GWh	%
	MW	%	MW	%	GWh	%	GWh	%		
Nacional (Renovable + No Renovable)	8.782,37	100,00%	8.135,98	100,00%	32.488,89	100,00%	28.311,47	100,00%	26.316,12	100,00%
Renovable	5.300,17	60,35%	5.255,68	64,60%	25.789,07	79,38%	25.764,08	91,00%	24.049,91	91,39%
Hidráulica	5.098,75	58,06%	5.064,16	62,24%	25.265,05	77,77%	25.245,62	89,17%	23.757,75	90,28%
Eólica	21,15	0,24%	21,15	0,26%	62,69	0,19%	60,50	0,21%	61,44	0,23%
Fotovoltaica	27,65	0,31%	26,76	0,33%	36,89	0,11%	33,51	0,12%	36,08	0,14%
Biomasa	144,30	1,64%	136,40	1,68%	382,85	1,18%	382,85	1,35%	153,21	0,58%
Biogas	8,32	0,09%	7,20	0,09%	41,59	0,13%	41,59	0,15%	41,42	0,16%
No Renovable	3.482,20	39,65%	2.880,31	35,40%	6.303,67	19,40%	2.151,23	7,60%	1.870,06	7,11%
MCI	2.054,93	23,40%	1.644,26	20,21%	4.509,31	13,88%	710,78	2,51%	517,55	1,97%
Turbogas	965,65	11,00%	804,55	9,89%	939,23	2,89%	611,79	2,16%	592,87	2,25%
Turbovapor	461,63	5,26%	431,50	5,30%	855,14	2,63%	828,67	2,93%	759,65	2,89%
Importación	650,00	100,00%	635,00	100,00%	396,15	1,22%	396,15	1,40%	396,15	1,51%
Colombia	540,00	83,08%	525,00	82,68%	396,15	1,22%	396,15	1,40%	396,15	1,51%
Perú	110,00	16,92%	110,00	17,32%	-	0,00%	-	0,00%	-	0,00%

**Figura 6. Balance energético nacional**

La energía renovable tiene un 60.35% de potencia nominal instalada lo que corresponde a 5300 MW, de los cuales el 58% es suministrado por el recurso hídrico por medio de las centrales hidroeléctricas, una pequeña participación de solo el 2 % se las divide las centrales de origen eólica (0.24%), fotovoltaica (0.31%), biomasa (1.64%) y de biogás con 0.09%.

Para los próximos años se tiene planificado aumentar la capacidad de las centrales de generación renovable no convencional, diversificando a un más la matriz energética nacional, hoy en día se tiene independencia energética.

## 1.6 Campo legal para la implementación

La extinta Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), actualmente fusionada con la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR), es responsable de regular y supervisar las actividades de los servicios públicos de energía eléctrica y alumbrado, con el objetivo de promover el desarrollo sostenible y sustentable y proteger los intereses de la población de bajos recursos y que vive en zonas remotas.

En respuesta al aumento de la popularidad de las energías renovables, especialmente la energía solar fotovoltaica, en el año 2018 se implementó la regulación 003/18 (Nro. ARCONEL 042/18), conocida como "Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores de energía eléctrica ". Esta normativa se basa en el artículo #15 de la Constitución, que es la ley suprema de Ecuador, y fomenta el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente y energías renovables no contaminantes, con un impacto mínimo tanto en el sector público como

en el privado.

Para el año 2019 la regulación 003/18 se modifica en ciertas partes, resolviendo la regulación 057/18, en su texto indica: Definir las pautas para la creación, ejecución y tarifas de sistemas de generación fotovoltaica de baja escala, con capacidades de hasta 100 kW.

La regulación también abarca la implementación de sistemas fotovoltaicos con conexión a la red, donde el procedimiento inicia con el estudio de factibilidad, para luego pasar a la fase de diseño de la instalación.

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 Energías renovables**

Las energías renovables, también llamadas energías limpias, se generan a partir de fuentes que son inagotables o que se renuevan naturalmente, como la luz solar o el movimiento del viento. Aunque se considera una tecnología nueva, el aprovechamiento de la energía procedente de la naturaleza a lo largo del transcurso de la historia de la humanidad, ha sido utilizado de manera recurrente, desde la calefacción hasta el transporte y la iluminación. En el pasado, el viento impulsaba barcos y molinos para moler granos. Sin embargo, en las últimas décadas, la humanidad ha buscado fuentes de energía más rentables económicamente y confiables, pero altamente contaminantes, como el petróleo, el carbón y el gas.

Dado el cambio climático que la población enfrenta actualmente, se están implementando sistemas de energía renovable a menor costo, aprovechando tecnologías como la energía eólica, solar y biomasa. Las necesidades de energías renovables se han convertido en fuentes de energía más importantes para satisfacer las energías del mundo. La introducción de estas energías se está llevando a cabo tanto a gran escala, mediante parques eólicos y solares, como a pequeña escala, al colocar paneles solares en los tejados de las casas, es posible comercializar la energía sobrante a través de la red eléctrica convencional.

### **2.2 Tipos de energías renovables**

#### **2.2.1 Energía solar**

Durante miles de años, la humanidad ha utilizado la energía solar para diversas necesidades, como la agricultura, la calefacción y el secado de alimentos. Según el Laboratorio Nacional de Energías Renovables, en solo una hora, la cantidad de energía solar que llega a la Tierra supera la energía total utilizada. A medida que avanzamos, estamos aprovechando cada vez más la energía solar para calentar agua, abastecer dispositivos, negocios y hogares, así como para generar electricidad.

Una de las aplicaciones más destacadas es el uso de paneles solares, compuestos por células solares o fotovoltaicas (FV), usando silicio u otros materiales, se convierte directamente la luz solar en electricidad. Estos paneles pueden ser utilizados desde pequeños sistemas para abastecer energéticamente una vivienda, hasta grandes granjas solares que son capaces de suministrar electricidad a millas de hogares [9].

### **2.2.2 Energía eólica**

Hemos recorrido un largo camino desde que la humanidad utilizó los molinos de viento como una alternativa de fuerza para moler los granos provenientes de la agricultura. Actualmente la construcción de turbinas de gran altura, que se elevan como rascacielos y tienen aspas de diámetro considerable, ha captado la atención a nivel mundial. La fuerza del viento impulsa el giro de las aspas del aerogenerador, que a su vez alimenta un generador eléctrico y produce electricidad. En la actualidad, la energía eólica representa alrededor del 6% de la generación de energía en Estados Unidos y se ha convertido en una de las fuentes más económicas en muchas partes del país. En el Ecuador se cuenta con tres parques eólicos, dos en las islas Galápagos y una en la provincia de Loja, sumando todos los aerogeneradores, a nivel país se tiene 23 MW de potencia instalada.

### **2.2.3 Energía hidroeléctrica**

En todo el mundo, una de las principales fuentes de energía renovable convencional es la hidroeléctrica. En Ecuador, se cuenta con un gran potencial hídrico, lo cual se refleja en una capacidad instalada que representa aproximadamente el 60% de la matriz energética del país. La energía hidroeléctrica se obtiene aprovechando la energía potencial del agua almacenada en embalses. Generalmente, el agua fluye en un río desde una zona elevada, mostrando la energía cinética se transforma en electricidad cuando las aspas de las turbinas giran y accionan un generador.

Las grandes plantas hidroeléctricas, conocidas como mega represas, a menudo se consideran como fuentes de energía no renovable o renovable convencional debido a que su construcción implica desviar y reducir los flujos naturales de agua, descendiendo negativamente la existencia de las poblaciones animales y humanas que están vinculadas a los ríos. En casos, el impacto ambiental puede ser significativo. Sin embargo, las pequeñas centrales hidroeléctricas, con una capacidad inferior a 40 megavatios, si se gestionan de manera adecuada y responsable, tienden a causar un menor daño ambiental, ya que solo desvían una fracción del flujo hacia la casa de máquinas de la central.

### **2.2.4 Energía proveniente de la biomasa**

Se refiere a la materia orgánica de origen vegetal y animal, como cultivos, residuos de madera y árboles, que puede ser utilizada para generar electricidad mediante la quema de biomasa,



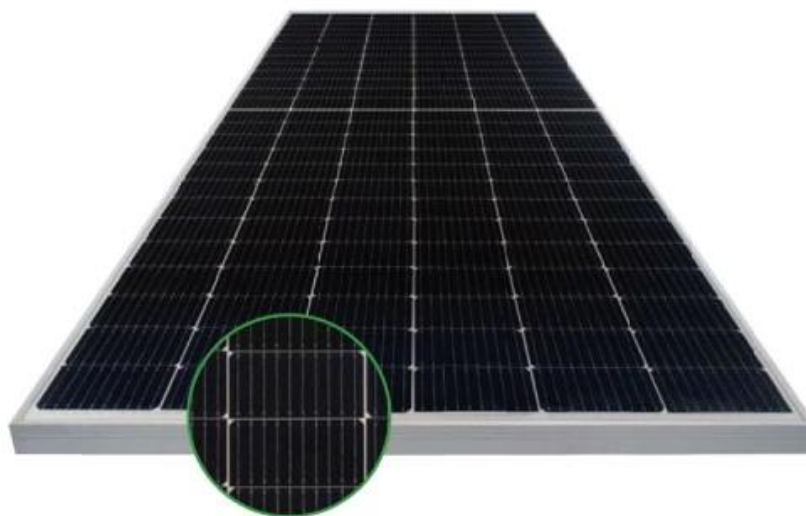
liberando energía química en forma de calor y haciendo girar una turbina de vapor. Aunque se ha considerado erróneamente como un combustible limpio y renovable, las investigaciones recientes han demostrado que algunas formas de biomasa, especialmente las obtenidas de bosques, emiten más carbono que los combustibles fósiles. Esto ha generado un debate en torno a su supuesta ventaja ecológica en comparación con el carbón y otros combustibles fósiles para producir electricidad. Esto podría tener consecuencias negativas para la biodiversidad. Sin embargo, algunos tipos de biomasa podrían ser considerados como una alternativa de baja emisión de carbono en circunstancias propicias. Por ejemplo, el aserrín y las astillas quedan del procesamiento de la madera se descomponen rápidamente, lo que los convierte en una fuente de energía con bajo contenido de carbono

### **2.2.5 Energía marina**

La generación de energía a partir de la energía mareomotriz está en fase de desarrollo, con pequeños proyectos en implementación, pero con avances tecnológicos limitados. Esta forma de generación aprovecha la influencia gravitacional de la luna sobre el océano, permitiendo la captura de energía en momentos específicos, como las mareas. No obstante, este enfoque puede tener impactos negativos en la vida marina, por ejemplo, Los embalses mareales funcionan de manera similar a las represas y pueden tener un impacto en los ecosistemas marinos. La energía de las olas, similarmente, depende de estructuras ancladas en el fondo del océano o cerca de la superficie.

### **2.3 Panel solar**

Los paneles solares fotovoltaicos aprovechan el efecto fotoeléctrico para convertir la luz solar en electricidad de corriente continua. Estos paneles constan de múltiples células solares conectadas en un circuito mixto de serie y paralelo. Los tipos más comunes de paneles solares son los monocristalinos y los policristalinos, que utilizan materiales como el silicio y el arseniuro de galio. Los paneles solares comerciales suelen contener 36, 60 o 72 células solares. [10].



**Figura 7.** *Panel fotovoltaico conformado por células solares*

Un campo o huerto solar fotovoltaico se define como la disposición de varios paneles o módulos solares fotovoltaicos que se conectan entre sí. Estos paneles están instalados en una estructura fija, especialmente diseñados para localidades cercanas a la línea ecuatorial y con seguimiento en uno o varios ejes. Este tipo de sistemas se utiliza para generar grandes cantidades de energía y se conectan directamente al sistema eléctrico nacional. En la figura 8 se muestra un generador fotovoltaico de alta potencia, que forma parte del proyecto Aromo, el cual busca convertirse en la central más grande del país. Este proyecto se ubicará en la provincia de Manabí, específicamente en el sector El Aromo, ubicado a una distancia de 20 kilómetros de la ciudad de Manta, se aprovecharán los terrenos que originalmente estaban destinados para la construcción de la refinería del Pacífico. La inversión proyectada para este proyecto ascendió a 200 millones de dólares, provenientes de capitales privados.

La nueva central, la primera de esas características de gran tamaño en el país, la capacidad instalada será de 200 megavatios, lo que equivale al 60,6% de la energía consumida por la ciudad de Manta o 1/5 del consumo de la provincia de Manabí [11].



**Figura 8.** Proyecto de central fotovoltaica el Aromo

Un generador o huerto fotovoltaico se compone de múltiples paneles fotovoltaicos que se conectan eléctricamente en circuitos mixtos con el fin de generar la corriente eléctrica y el voltaje necesario. La corriente disponible en un generador de paneles solares se puede calcular utilizando la fórmula 1 [12].

$$I_{PV}^{av}(t) = N_p I_{ph}(t) - N_p I_{rs}(t) \left( \exp \left( \frac{q(V_{PV}(t) + I_{PV}(t)R_s)}{N_s A_C K T(t)} \right) \right) \quad (1)$$

Donde,  $N_p$  es el número de módulos paralelos, y  $N_s$  es el número de celdas conectadas en serie en cada módulo paralelo.

Por lo tanto, la generación de energía disponible de una matriz PV es:

$$P_{PV}^{av}(t) = V_{PV}(t) I_{PV}^{av}(t) \quad (2)$$

Donde,  $V_{pv}(t)$  es el voltaje de salida del módulo PV.

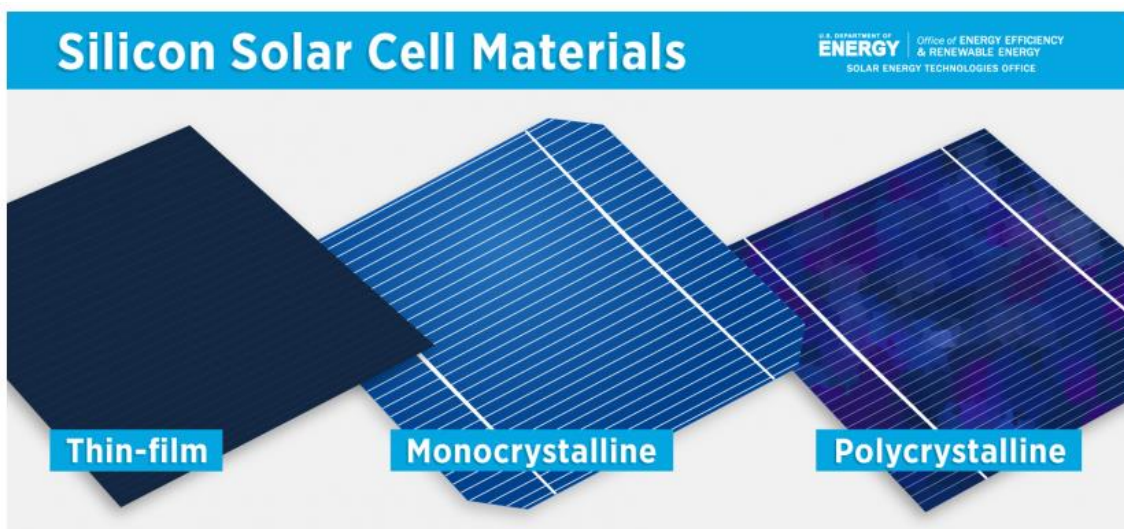
### 2.3.1 Principio de funcionamiento de las células solares

La celda solar también conocida como célula fotovoltaica, es un dispositivo que transforma directamente la energía de la luz solar en energía eléctrica en forma de corriente continua, las células solares se fabrican a partir de silicio en su gran mayoría, sin dejar de desconocer que existen otras tecnologías para la fabricación, se fabrican dos tipos a base de silicio, una con mayor eficiencia y la otra a un menor costo, las primeras utilizan silicio totalmente puro conocidos como monocristalino o cristal puro y las segundas son conocidos como

policristalino.

A diferencia de otras tecnologías de generación como las celdas de combustible, las células solares no utilizan elementos químicos de forma constante ni necesitan ningún tipo combustible para generar energía eléctrica, las principales ventajas de estos paneles solares es que no poseen partes móviles por lo tanto el mantenimiento es prácticamente nulo respecto a otras tecnologías [13].

El funcionamiento de las células solares se da cuando el dispositivo se expone a la luz natural o artificial, absorbe la energía de los fotoelectrones y la transfiere a los electrones que están cargadas negativamente. Esta energía que cede permite el movimiento de electrones a través del material produciendo una corriente eléctrica. Esta corriente se extrae utilizando contactos metálicos conductores en forma de rejilla ubicadas en la superficie de las células solares. A continuación, esta corriente puede ser utilizada para alimentar su hogar y, de ser posible, también puede ser enviada a la red eléctrica en general. Una propiedad de los semiconductores de silicio es la banda prohibida, que indica qué tipo y longitudes de onda puede absorber el material y luego convertir en energía eléctrica, en la figura 9 se indica los tipos de celular solares [14].



**Figura 9.** Tipos de células fotovoltaicas

La eficiencia de una célula solar explicado de forma simple es la cantidad de energía eléctrica que se extrae de la celda si se compara con la energía de la luz que penetra sobre ella, lo que indica qué tan efectiva es la célula para convertir de una forma a otra forma de energía. La cantidad de energía eléctrica generada por las células fotovoltaicas está influenciada por factores como las propiedades de la longitud de onda, la ubicación geográfica y la inclinación

del panel solar.

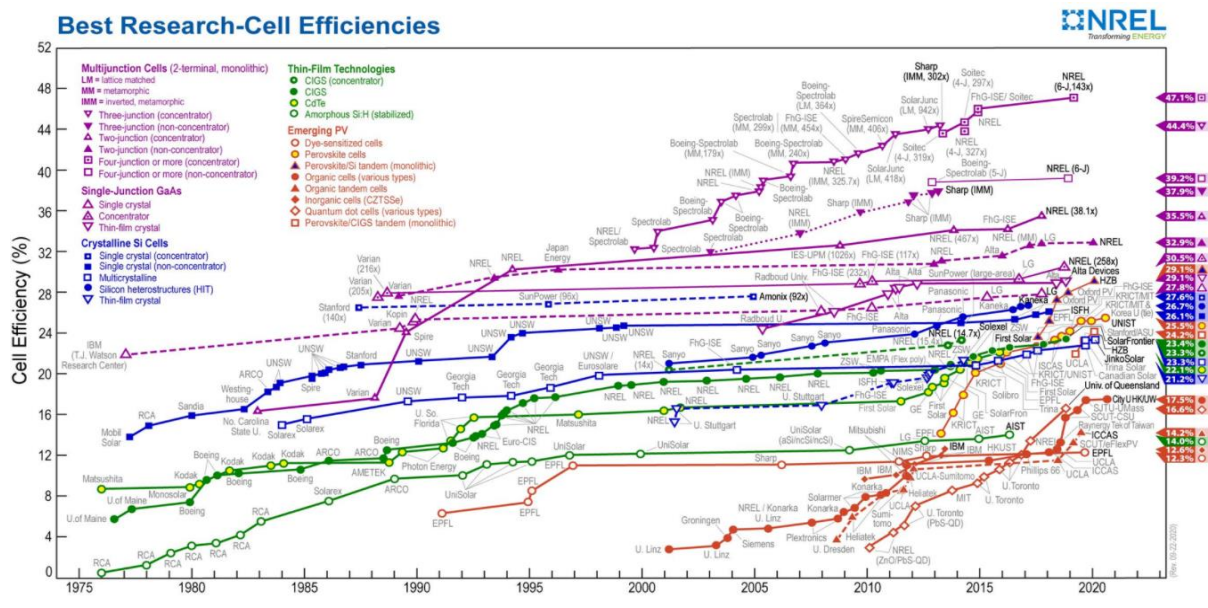
Al no tener partes móviles los paneles no necesitan mantenimiento constante o combustibles para el funcionamiento, las aplicaciones para el uso de las células solares son variadas desde proporcionar energía para equipos espaciales, alimentar estaciones meteorológicas, de comunicaciones, dispositivos móviles, alimentación de viviendas y grandes huertos solares.

### **2.3.2 Tecnologías de células solares**

Hoy en día las células solares se fabrica con diferentes tipos de materiales en búsqueda de la mayor eficiencia, los materiales utilizados en las células solares son el silicio y una película delgada. A pesar de que las células solares de silicio cristalino tienen una mayor eficiencia en comparación con las células solares de película delgada, su proceso de producción es mucho más costoso.

La célula solar monocristalina tiene una gran complejidad de fabricación al utilizar semiconductores puros por medio del método Czochralski que es la técnica de crecimiento de cristales, se obtiene el silicio monocristalino en forma de lingotes cilíndricos que ha sido crecido por medio de una semilla pura, poseen una alta calidad para ser empleando en la mayoría de los dispositivos electrónicos portátiles. La eficiencia de los paneles solares con este tipo de células esta por el 20% de forma comercial, mientras que en laboratorio llega al 26.1% como se puede observar en la figura 10 [15].

Mientras que las células solares de silicio policristalino tienen una menor eficiencia que la monocristalina, siendo una de las razones de tener un menor costo, debido a ello tiene una mayor acogida para la implementación de sistemas fotovoltaicos, la eficiencia está en torno al 17% de forma comercial mientras que en el laboratorio llega 23.3% logrado por el laboratorio de investigación solar frontier.



**Figura 10. Eficiencia de las células solares en laboratorio**

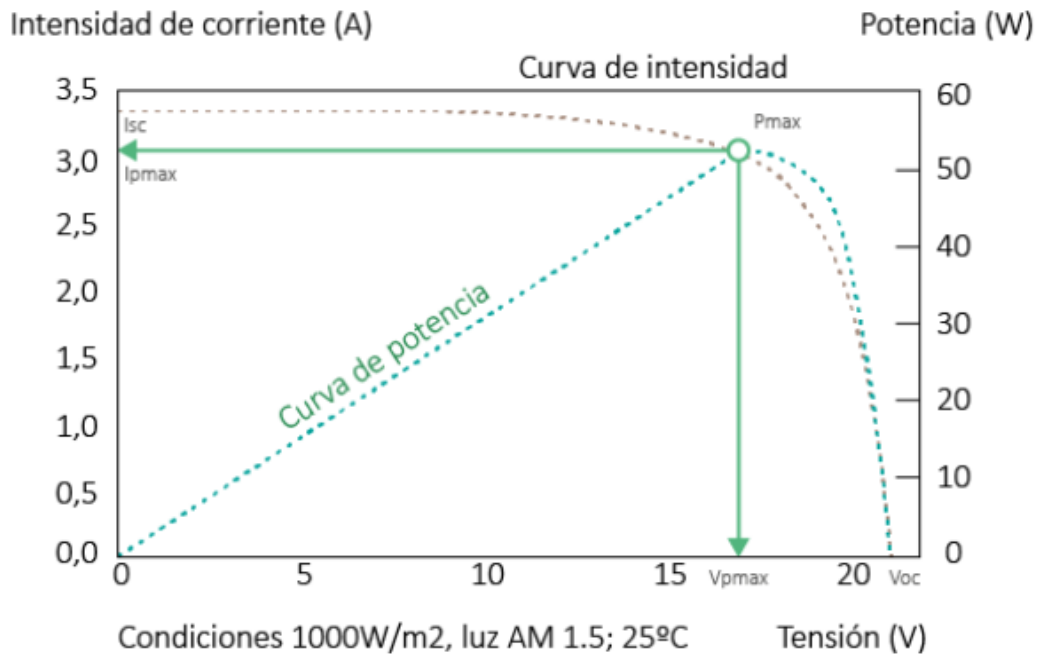
Las células solares de película delgada son de segunda generación utilizan una o más capas muy finas de material semiconductor sobre un sustrato, se pueden producir en grandes cantidades a un precio inferior, aunque la eficacia de la célula es considerablemente reducida.

### 2.3.3 Curva característica I-V de un panel solar

El panel fotovoltaico presenta dos curvas características. La primera es la relación entre la intensidad y el voltaje (IV), como se muestra en la figura 11. La segunda curva es la relación entre la potencia y el voltaje, conocida como curva IV, los valores de las variables eléctricas son medidos en laboratorio de forma experimental de un panel solar en condiciones controladas de irradiación y temperatura, es decir en condiciones STC (Estándar Test Condition)

En los paneles solares fotovoltaicos tienen cinco parámetros principales, el primero es el voltaje de circuito abierto (VOC) cuando se mide la salida del panel sin carga, el segundo es el voltaje de circuito máximo (VM), es la medida de voltaje cuando el panel está conectado a carga, el tercer parámetro es la corriente de corto circuito (ISC), se mide cuando se une los dos conductores del panel solar a una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup>, la corriente máxima (Im) se mide cuando la carga está conectada al circuito.



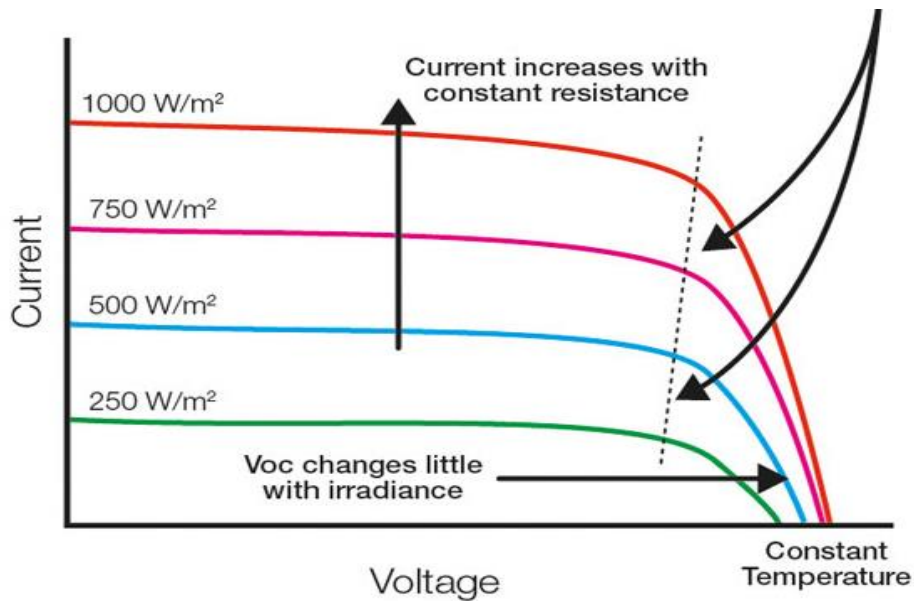


**Figura 11.** Curva característica I-V del panel solar

### 2.3.4 Impacto de la irradiación y temperatura en el panel solar

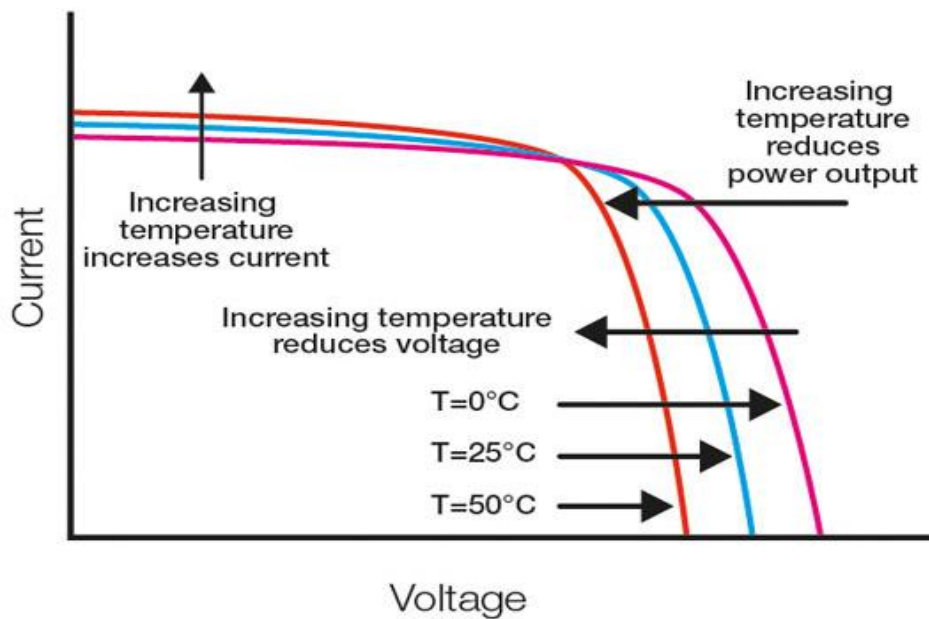
El desempeño de los paneles solares fotovoltaicos puede verse afectado por diversos elementos climáticos, dos de los más significativos son la temperatura y la radiación solar. El voltaje de circuito abierto (VOC) de un panel fotovoltaico varía de forma notable con la temperatura que se encuentra de la celda. A medida que aumenta la temperatura alojada en el dispositivo, a consecuencia de los cambios temperatura diario o bien por el calor generado por el propio proceso interno de producción de energía, en este caso el voltaje de circuito abierto (Voc) se reduce.

Con lo cual también se reduce la potencia de salida del panel solar. Para el diseño de un sistema de paneles solares fotovoltaicos, se considera el coeficiente de temperatura del panel, el cual se compara con la temperatura operativa promedio de la célula, en relación con los valores STC empleados para calcular la potencia de salida del módulo. Asimismo, la intensidad de la luz solar (irradiancia) también impactará en el desempeño del módulo, resultando en una disminución de la corriente y, por consiguiente, en una reducción de la potencia de salida del módulo. Estos mismos desafíos se aplican en el caso de la potencia de salida del módulo.



**Figura 12.** Variación de la curva de I-V a diferentes valores de irradiancia

La segunda propiedad que disminuye el rendimiento del panel solar son las altas temperaturas, el cambio de la curva corriente voltaje se muestra en la figura 13, la variación de temperatura para el silicio es de  $-2.3\text{mV}/^\circ\text{C}$ , por esta razón el cambio es en el voltaje del dispositivo.



**Figura 13.** Variación del voltaje de la célula por efecto de la temperatura

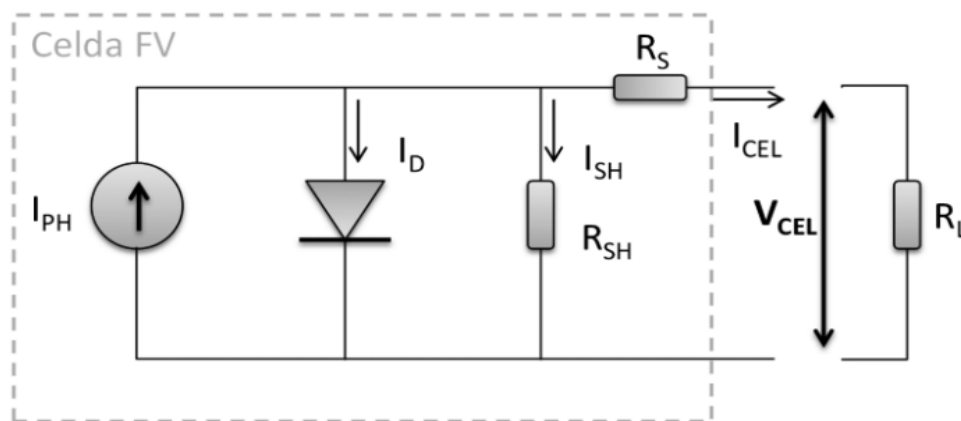
### 2.3.5 Modelado del panel solar

El circuito equivalente del panel solar se muestra en la figura 11, donde consta el modelo matemático de un diodo ideal que funciona mediante el efecto fotoeléctrico, los componentes electrónicos y elementos resistivos emulan al funcionamiento real del panel solar, en libros



especializados muestran dos circuitos diferentes para representar al panel solar, uno es el modelo simplificado de una célula solar individual y otro que incluye la combinación de dos diodos para representar la difusión y el portador.

La fuente ideal  $I_{ph}$  simula la corriente que es fotogenerada a diferentes valores de la irradiancia solar, la resistencia Shunt ( $R_{sh}$ ) simula la pérdida debido a la corriente de fuga, mientras la resistencia serie ( $R_s$ ) representa la caída de voltaje en la salida y por último la resistencia de la carga ( $R_L$ ) se usa para representar la carga necesaria para la medición.



**Figura 14.** Circuito equivalente del panel solar

## 2.4 Regulador de carga.

El regulador de carga o controlador desempeña diversas funciones en un sistema fotovoltaico, entre ellas, controla y ajusta el voltaje y la corriente producida por el panel solar para evitar que las baterías se sobrecarguen. Funcionando como un dispositivo electrónico, el controlador de carga solar gestiona la energía almacenada en las baterías proveniente del panel solar, en momentos en que la carga no lo demande, asegurando que las baterías de ciclo profundo no lleguen a sobrecargarse. Aunque algunos controladores de carga presentan características competitivas como iluminación y seguimiento del control de carga, su función primordial es la administración energética.

Existen dos tecnologías diferentes disponibles para los controladores de carga solar: PWM y MPPT. Un controlador de carga MPPT es más caro pero altamente eficiente en comparación con un controlador de carga PWM, y en muchos casos, vale la pena invertir el dinero adicional [16].

*Las principales características de un controlador de carga solar son:*

- Carga en etapas múltiples de la batería: ajusta la cantidad de energía suministrada a las

baterías en función de su nivel de carga actual, el objetivo es alargar el tiempo de vida de las baterías.

- Protección contra corriente inversa: evita que las baterías se descarguen durante la noche cuando no haya generación de energía por parte de los paneles solares.
- Desconexión por bajo voltaje: desactiva la carga conectada cuando la batería llega a un nivel de energía reducido y la vuelve a activar cuando la batería se ha recargado.

La conexión del controlador de carga se muestra en la imagen 15, el proceso de conexión es primero la batería, luego el panel solar y al final la carga, para la desconexión se hace el proceso contrario [17].



**Figura 15.** *Conexión del controlador de carga*

#### **2.4.1 Controlador de carga PWM**

La denominación "PWM" para un controlador de carga solar hace referencia a "Modulación de Ancho de Pulso". Estos controladores operan mediante la conexión que va desde el panel solar hacia el conjunto de baterías. Un panel solar con una salida de voltaje de 12V puede cargar una batería de 12V. Sin embargo, si se desea cargar un banco de baterías de 24V, se mantendrá un panel solar de 24V o una combinación de varios paneles que sumen esa tensión. De manera similar, para cargar un banco de baterías de 48V, será necesario utilizar una serie de paneles solares que sumen un total de 48V.

Si se intenta realizar la carga de una batería de 12V utilizando un panel solar fotovoltaico de 24V, se desperdicia más del 50% de la energía por el panel. Por otro lado, si se intenta realizar la carga de un banco de baterías de 24V con un panel solar fotovoltaico de 12V, se desperdicia el potencial generador del panel al 100% e incluso podría agotar la batería. Entre las ventajas

de los controladores PWM se encuentran su menor costo en comparación con los competidores MPPT, facilidad de montaje, bajo peso, etc. En la figura 12 se presenta un controlador de carga fabricado por el proveedor. Victron12/24 10A, adicional tiene una salida de 5VDC [18]



**Figura 16.** Controlador de carga PWM del fabricante Victron

#### 2.4.2 Controlador de carga MPPT

El regulador de carga con tecnología MPPT: las iniciales MPPT significa que viene incorporado el seguimiento del punto de máxima potencia. Se logra una mayor eficiencia cuando se iguala el voltaje máximo del panel solar con el voltaje de la batería. Al disminuir el voltaje para que coincida con la batería, la corriente aumenta. Por ejemplo, con un panel solar de 20 V, se puede cargar un banco de baterías de 12 V [19].

En la figura 13 se muestra un controlador de carga del fabricante Victron, soporta 100V y 50A.



**Figura 17.** Controlador de carga tipo MPPT Victron

## 2.5 Baterías

Una batería, también conocida como dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica, un acumulador es un dispositivo que almacena energía en forma de energía química. durante un período determinado. Cuando se requiere energía eléctrica, esta energía química se convierte en energía eléctrica. Dentro de la batería, se llevan a cabo procesos electroquímicos, los cuales se repiten tantas veces como sea necesario según la naturaleza de la batería, las demandas del usuario y las condiciones ambientales.

Las baterías se fabrican con el propósito principal de cumplir dos funciones. En primer lugar, almacenan el exceso de energía generado por los paneles solares en momentos en que la carga no la necesita. Luego, suministran esta energía almacenada a la carga cuando se requiere. y el generador fotovoltaico no puede suministrar, la segunda función es estabilizar la red en caso de conexión on grid con ello suaviza la red cuando se tenga picos de consumo por equipos inductivos principalmente.

La mayoría de las baterías que se distribuyen están libres de mantenimiento como se observa en la figura 15. El modelo es tipo monoblock, no tiene riesgo de derrame del electrolito al estar en movimiento, tampoco emite gases al estar el electrolito en formato de textura de gel, envuelta en las placas de plomo.



**Figura 18.** *Batería de gel de 12 V 120 Ah*

A través del tiempo se han fabricado varios tipos de baterías utilizando nuevas tecnologías y elementos para conseguir un mayor almacenamiento, menor coste, evitar el efecto memoria, a continuación, se detalla las baterías que se utilizan en la actualidad.

### **2.5.1 Batería de plomo ácido abierto**

Los acumuladores o baterías de Plomo Abierto consisten en un conjunto de placas de plomo sumergidas en una solución de ácido sulfúrico, por esta razón toma el nombre de plomo ácido. En realidad, las placas son los electrodos polarizados de forma positiva o negativamente, en el interior de la batería están alternados, las placas positivas están generalmente constituidas con material de dióxido de plomo ( $PbO_2$ ) y las placas con electrodos negativo están constituidas por plomo esponjoso. Las baterías de Plomo Abierto son conocidas como “pilas electroquímicas”, debido al principio de funcionamiento aceptar o donar electrones, como consecuencia produce una corriente eléctrica entre ellas.

### **2.5.2 Batería AGM**

Las baterías de fibra de vidrio absorbente están construidas de manera diferente a la batería inundada tradicional. En las baterías AGM (también llamadas electrolitos privados de energía), hay una estera delgada de fibra de vidrio ultrafina puesta entre los vasos o placas que están saturadas con ácido de batería hasta aproximadamente un 90 % de lo que soportar. Luego, esta estera se empaqueta entre las placas y se comprime ligeramente, luego se suelda en su lugar. Debido a que las placas y los tapetes están empaquetados bastante apretados, son casi inmunes a las vibraciones.

### **2.5.3 Batería Gel**

Una batería de gel es un tipo de batería de plomo-ácido que está equipada con una válvula para su regulación y no requiere mantenimiento, son extremadamente robustas y muy versátiles. En su funcionamiento producen pocos humos y se pueden usar en lugares sin mucha ventilación.

La batería está regulada por válvula en la que una cantidad de un electrolito mezclado con un ácido sulfúrico se combina con vapores de sílice. La reacción química da como resultado una masa esponjosa parecido a un gel, de donde toma el nombre esta tecnología. Las baterías de gel prácticamente están libres de mantenimiento, debido a la utilización de válvulas abiertas de forma unidireccional, los gases internos se recombinan con el agua gracias a ello no se necesita

medir el nivel del ácido. Son seguras para instalarse en lugares donde a consecuencia del trabajo la ventilación es limitada.

#### **2.5.4 Flujo de vanadio-redox**

Estas baterías han demostrado la capacidad de enfrentar el desafío de integrar energía de recursos renovables, como los parques solares y eólicos. Durante años, la sensibilidad a las altas temperaturas, el alto costo y la menor capacidad de almacenamiento limitaron el uso generalizado de estas baterías. Sin embargo, últimas investigaciones desarrollaron la primera batería de flujo redox comercialmente viable capaz de implementarse a escala de red en 2012.

#### **2.5.5 Flujo de poliyoduro de zinc**

Fue desarrollada en 2015, la batería de flujo redox de poliyoduro de zinc se utiliza para almacenar energía renovable. Utiliza un electrolito que tiene más de dos veces la densidad de energía, o la energía almacenada, de la siguiente mejor batería de flujo, acercándose a la densidad de energía del tipo de batería de iones de litio se utiliza como fuente de energía para dispositivos electrónicos portátiles y algunos vehículos eléctricos de tamaño reducido.

#### **2.5.6 Flujo acuoso orgánico**

Es similar a la batería de flujo de vanadio-redox, y también utilizada para la integración renovable, esta batería genera energía al bombear líquidos desde tanques externos a una pila central. Se espera que la versión más nueva cueste tan solo \$ 180 por kilovatio-hora una vez que esté completamente desarrollada, un 60 por ciento menos que las baterías de flujo estándar actuales.

#### **2.5.7 Iones de sodio**

Las baterías de iones de sodio son altamente eficientes y relativamente baratas, pero desarrollar baterías con alta densidad de energía y una larga vida ha sido un desafío. Investigaciones están trabajando para hacer que el sodio sea un reemplazo viable del litio para el almacenamiento de energía de la red mediante el desarrollo de una capa protectora para reducir el consumo de iones de sodio en la batería.

#### **2.5.8 Iones de magnesio**

Con más capacidad y menos problemas de seguridad que sus contrapartes de litio, las baterías de magnesio son una opción de almacenamiento de energía potencialmente prometedora, pero los electrodos son difíciles de producir y fallan rápidamente. En laboratorio se han descubierto que el estaño y el antimonio pueden trabajar juntos para fabricar mejores baterías de magnesio.

## 2.6 Inversor de red

Los inversores utilizados en sistemas de energía solar renovable, también conocidos como inversores de red, cumplen la función de convertir la corriente continua (CC), provenientes de los paneles solares y guardados en la batería, en corriente alterna (CA). Esta forma de energía es la que utiliza la mayoría de los dispositivos en un hogar.

En el ámbito comercial, existen dos tipos principales de inversores. Los primeros en ser utilizados son los inversores de onda senoidal pura. Estos dispositivos se caracterizan por generar electricidad en una forma sinusoidal de alta calidad, con características distintivas. El segundo tipo de dispositivos son los inversores de onda senoidal modificados, aunque tienen la desventaja de no ser compatibles con todos los electrodomésticos de una vivienda.

Dependiendo del tipo de sistema que se desee implementar, se pueden utilizar inversores para sistemas aislados, conocidos como OFF GRID, o sistemas conectados a la red, conocidos como ON GRID, es decir, conectados en paralelo a la red pública. Actualmente, también se están utilizando inversores híbridos, que pueden operar tanto en conexión con la red convencional como de forma aislada utilizando un banco de baterías.

Por medio de la figura 19 se muestra un inversor híbrido de 4kW Growatt SPH4000 [18].



**Figura 19.** Inversor híbrido Growatt de 4 kW

## **CAPÍTULO 3**

### **3.1 Investigación**

El trabajo sistemático y creativo se desarrolla para la creación de nuevo conocimiento, para conseguir el objetivo se recopila, organiza y analiza la información para resolver el problema, en algunas ocasiones es la continuación de algún trabajo previo. En la literatura se encuentran varios tipos de investigación que se detalla a continuación:

#### **3.1.1 Investigación de campo**

Se basa en la recopilación de información en búsqueda de un acercamiento real a la problemática planteada, la finalidad es de estar en el lugar de donde ocurre la problemática y donde se originan los hechos, por este motivo el autor define a este tipo de metodología como la alternativa frecuente, donde la fuente primaria se relacionada de forma directa con la problemática.

Los tipos de investigación de campo seleccionados para la realización de la metodología del trabajo de titulación son los siguientes:

#### **3.1.2 Investigación tipo explicativa**

En este tipo de investigación de campo se encarga de dar una respuesta a la razón detrás de los acontecimientos relacionados con las conexiones de causa y efecto. En este contexto, los estudios explicativos se centran en la identificación de las causas mediante investigaciones realizadas después de los efectos, así como en los efectos a través de investigaciones experimentales que prueban las hipótesis. El análisis mediante esta investigación realizada en el campo, con el levantamiento de información de los hábitos de consumo de los habitantes, con esta información se dimensiona los componentes para la implementación de un sistema de energía fotovoltaica.

#### **3.1.3 Investigación tipo correlacional**

Es otra de las metodologías más implementadas para la solución de una problemática, la metodología se centra en una indagación social para todos los beneficiarios de la implementación, su finalidad es medir la medida de la conexión presente entre las diferentes



variables de la problemática y su grado de satisfacción. Este tipo de investigación se realiza con la intención de evaluar la extensión de la relación que se encuentra entre una variable tipo independiente y las variables dependientes en caso de tener más de una, la correlación permite evaluar la solución implementada y las influencias que se tienen entre sí.

### **3.1.4 Investigación tipo analítica**

En la metodología de este tipo de investigación desarrollada en el campo, colabora a a determinar los planes de ejecución del proyecto acorde al cronograma de planificación satisfaciendo las necesidades reales de consumo eléctrico de la vivienda, su prioridad es buscar la mejor alternativa para obtener la mayor eficiencia del sistema, en otras palabras, se realiza una recopilación de información de forma colectiva o individual en base a las necesidades de cada fase de la investigación.

Gracias a los diferentes tipos de investigación de campo estudiadas en el apartado anterior se puede determinar que el sitio donde se va a implementar el sistema de energía fotovoltaico será una viviendas de las comunidad Masa II, las viviendas tienen una serie de necesidades energéticas y de servicios básicos como se observa en la imagen 20 uno de los inconvenientes adicionales es la inadecuadas instalaciones interiores, por tal razón es necesario antes de realizar la instalación de dicho sistema hay que tener presente los siguientes aspectos:

- Una vez terminado totalmente el estudio de implementación del sistema fotovoltaico se procederá a realizar la respectiva demanda eléctrica de cada circuito para obtener la demanda total del proyecto una vez terminado se empezará a dar inicio al desarrollo del proyecto en cuestión.
- Antes de realizar el presente trabajo en dicho proyecto, se procederá a realizar una inspección de las actividades que se van a realizar, para no presentar inconvenientes al momento de realizar el trabajo y coordinar con el listado del material que se va a necesitar en dicho proyecto.
- Al concluir con el análisis de todos los circuitos proyectados en los planos del proyecto, se procederá a evaluar la eficiencia del mismo.



**Figura 20.** *Viviendas en la comunidad de masa II*

### **3.2 Proyecto factible**

Al no contar con servicio eléctrico de calidad, de forma constante y con bajas emisiones de contaminantes, cualquier propuesta de electrificación es una alternativa cumpliendo con la normativa ya un costo de implementación asequible para el usuario o entidades benéficas, por lo tanto este tipo de proyecto se lo puede determinar cómo factible, teniendo como fundamento que va a solucionar la falta electrificación, el trabajo de titulación consiste en el estudio e implementación de un sistema fotovoltaico para una vivienda de escasos recursos en la comuna de masa II.

Se puede determinar dos fuentes de investigación en el presente proyecto, tanto la primaria y secundaria:

- Fuente primaria: Observación directa de las necesidades de la falta de suministro eléctrico y servicios básicos en la comuna de masa II.
- Fuente secundaria: Levantamiento de información entregada por los habitantes del sector, donde se levanta las necesidades energéticas de la vivienda.

### **3.3 Estudio de factibilidad**

El procedimiento para obtener valores de análisis es realizar múltiples optimizaciones bajo valores de parámetros de sensibilidad en la entrada, se compara con cientos de posibilidades en una sola simulación. Los resultados permiten conocer el impacto de las variables que no se

controlan, ejemplo la radiación solar, ello ayuda a entender cómo varía el sistema óptimo ante estas modificaciones.

### 3.3.1. Parámetros económicos

Se lleva a cabo un análisis de viabilidad financiera del sistema propuesto, el cual contempla la evaluación de cuatro aspectos clave: el capital inicial necesario y el costo de los componentes. Al momento de realizar la implementación, el TNPC es el costo total del proyecto durante todo el tiempo de funcionamiento, el LCOE es el costo de la energía y los costos anuales por mantenimiento y operación.

PVSyst al examinar estos factores, se identifica la configuración óptima del sistema, y tanto cada parámetro como las ecuaciones utilizadas para su cálculo se exponen a continuación.

### 5.5. Costo total neto (TNPC)

El costo neto total actual de un sistema a lo largo de su período de operación se calcula mediante la suma de los gastos actuales de todos los costos incurridos durante su vida útil, restándole los ingresos generados su funcionamiento. Este indicador abarca los gastos de operación y mantenimiento (O&M), los costos de combustible, las multas por emisiones y los gastos de reemplazo de componentes, con la deducción del costo de desmontaje de cada componente [61].

El TNPC se puede calcular usando la ecuación 3:

$$C_{TPNC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,R_{proj})} \quad (3)$$

$$CRF_{(i,N)} = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4)$$

Donde  $C_{ann,tot}$  = es el costo actual neto (\$/yr),

CRF= es el factor de capital

i= es el interés promedio (%),

$R_{proj}$  = es el tiempo de vida del proyecto (N).

### 3.3.2 Escasez de capacidad

La capacidad máxima anual limitada es el valor más alto permitido para la fracción de escasez de capacidad, que se calcula dividiendo la escasez total de capacidad entre la carga eléctrica

total. PVSyst considera que cualquier sistema con un valor de fracción de escasez de capacidad superior es inviable o inaceptable. En ocasiones, permitir un rango para la escasez de capacidad puede alterar los resultados, especialmente cuando se produce un pico de demanda temporalmente elevado.

### 3.3.3 Costo nivelado de energía (LCOE)

Se establece como el promedio por kilovatio-hora (kWh) de la cantidad real de energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico. Estos valores permiten comparar la cantidad total de energía en diferentes sistemas o situaciones de electrificación que están siendo simulados. El cálculo se logra al dividir el gasto anual correspondiente al kWh de electricidad producida por la energía útil generada durante el período t. El LCOE se calcula mediante la fórmula 5.

$$LCOE = \frac{LCC}{\sum_{j=1}^N \left( \frac{E_{GEN}(j)}{(1+d)^j} \right)} \quad (5)$$

Donde,

$LCC$  es el ciclo de costo

$E_{GEN}$  es el coste del ciclo de vida de la energía y la producción de energía del sistema propuesto en el año dado j

### 3.3.4 Costo por mantenimiento operación y reemplazo.

Con el aumento en la duración de operación del sistema, los gastos anuales asociados al mantenimiento y funcionamiento también aumentan. La ecuación 6 puede ser empleada para calcular el costo del funcionamiento del sistema, mientras que la ecuación 7 se utiliza para determinar los costos anuales considerando su amortización.

$$C_{OP}(j) = C_o(j) + C_m(j) + C_r(j) \quad (6)$$

$$AV_{op} = \left( \frac{d(1+d)^j}{(1+d)^j - 1} \right) \cdot \left( \sum_{j=1}^N \frac{C_{op}(j)}{(1+d)^j} \right) \quad (7)$$

donde:

$C_o$ : el costo operativo de cualquier componente del sistema de energía en el año (j)

$C_m$ : costo de mantenimiento de cualquier componente del sistema de energía incurrido en el año (j)

$C_r$ : costo de reposición de cualquier componente del sistema en el año (j)

### 3.3 Situación actual de la vivienda

De acuerdo con la valorización en el sector después de obtener los datos de la inspección y recopilar la información necesaria, se procedió a realizar el análisis de las cargas existentes en la vivienda y las horas de consumo para cada uno de los dispositivos. El software especializado y comercial empleado para el cálculo técnico de los componentes del sistema solar es PVsyst. Con los datos obtenidos, se ingresan al software para llevar a cabo el estudio de viabilidad del sistema fotovoltaico.

La residencia seleccionada es de tipo unifamiliar y alberga a cinco residentes. Cuenta con un generador eléctrico que opera durante cuatro horas al día, desde las 18:00 hasta las 22:00, satisfaciendo así las demandas energéticas del hogar. Sin embargo, esta duración limitada de funcionamiento no permite la conservación de alimentos debido a su breve lapso.

Entre las desventajas por la utilización de este equipo es los gastos por el combustible diésel, dificultad para el transporte, el ruido y la contaminación ambiental al emitir gases de efectos invernaderos.

Al revisar las instalaciones eléctricas en el interior de la vivienda se nota que fueron realizadas por personal no calificado, existen conductores empalmados sin cinta aislante, los tomacorrientes no tienen la conexión de tierra etc.

### 3.4 Demanda de la vivienda

A través del análisis, inspección y levantamiento de información de la vivienda se presenta la tabla 1, en esto se puede apreciar los electrodomésticos que el usuario tiene y las horas de uso que les asigna.

Aparato	Cantidad	Tiempo de uso (h)	Potencia Unitaria
Televisor	1	4	75
Iluminación	6	4	9
Parlante	1	2	200
Celular	2	2	20
Licuada	1	0.04	500

Tabla 1. Electrodomésticos y equipos de la vivienda

Con la información levantada se dimensiona el sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de los habitantes, pero sin embargo es necesario el estudio de factibilidad para conseguir los recursos para la implementación

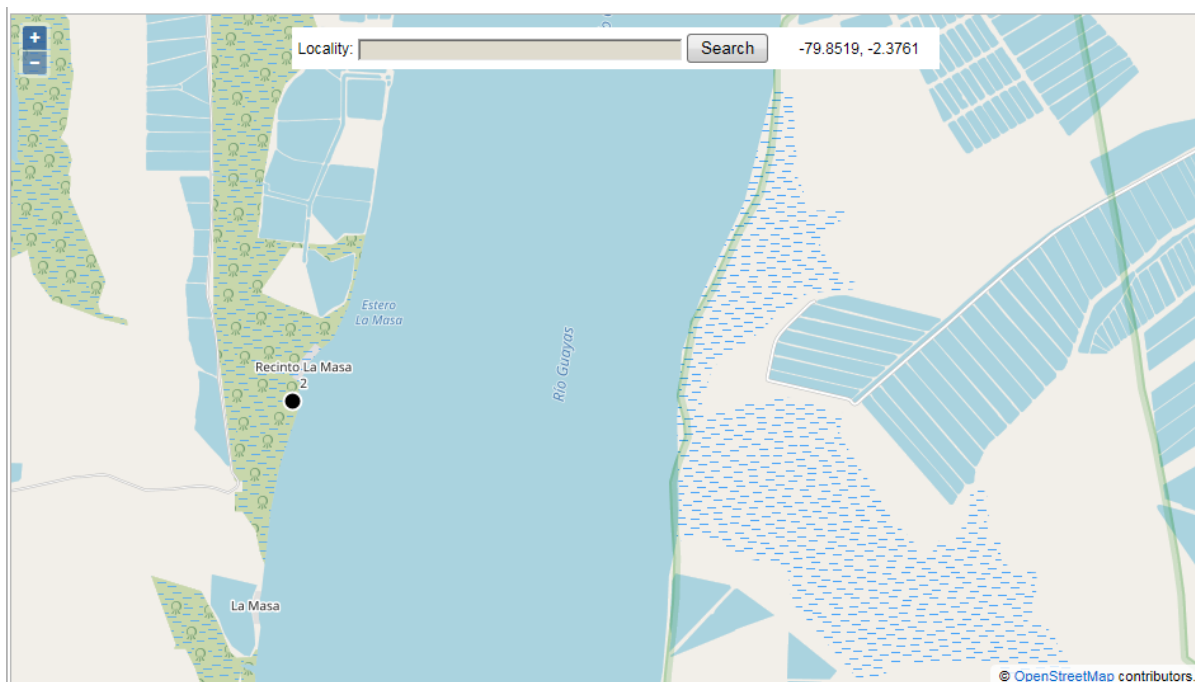
### **3.6 Procedimiento del dimensionamiento del sistema fotovoltaico**

Para obtener el estudio de factibilidad y proceder con el análisis del mismo, es necesario realizar como primer paso el dimensionamiento del sistemas fotovoltaico, se tiene que asegurar el suministro de forma confiable y seguro las 24 horas del día, en este tipo de proyectos se tiene que lograr el balance entre la confiabilidad del sistema y el coste de la energía, para alcanzar la meta establecida, se sigue el siguiente procedimiento [21].

1. Cálculo del consumo de la vivienda.
2. Descargas las variables meteorológicas del lugar donde se realiza la instalación.
3. Dimensionado de la matriz fotovoltaica
4. Dimensionado del banco de baterías
5. Dimensionado del regulador de carga.
6. Dimensionado del inversor.

#### **3.6.1 Datos del lugar de la instalación**

La localidad de Masa 2 está ubicada en la costa del Golfo de Guayaquil a una distancia de 20 km, para llegar al lugar de implementación se puede realizar mediante dos formas de acceso, por vía terrestre cruzando empresas camaroneras privadas, la segunda forma es fluvial aprovechando el río Guayas, es necesario tomar una canoa en el muelle del mercado Caraguay, el viaje dura alrededor de 45 min.



**Figura 21.** Lugar de la implementación del sistema solar

Las variables meteorológicas son descargadas del programa PVSyst mediante la base de datos Meteororm 8.0, el lugar de implementación se puede ingresar de dos formas, navegando en el mapa interactivo o ingresando las coordenadas geográficas del lugar, masa II tiene una latitud de -79.85 y la longitud de -2.37, los valores de irradiación global y difusa, temperatura, velocidad del viento, turbidez y humedad relativa

## **CAPÍTULO 4**

### **4.1 Software PVSyst**

PVSyst es un software especializado para el dimensionamiento y estudio de factibilidad de sistemas fotovoltaicos, está diseñado para ser utilizados por varios profesionales que intervienen en el campo de las renovables, como ingenieros, investigadores y arquitectos debido a la facilidad de comprender los resultados que son presentados en forma de un informe donde los gráficos, datos y tablas se pueden exportar a otros programas

El software es potente para instalaciones fotovoltaicas en todas sus configuraciones siendo una herramienta de trabajo y educación bastante útil, incluye un menú bastante detallado que explica la librería y procedimientos que se utilizan, adicional ofrece un enfoque fácil de usar junto a una guía para diseñar proyectos de forma sencilla y entretenida. El programa puede importar datos meteorológicos de cualquier localidad del mundo y de diferentes bases meteorológicas.

Según los requerimientos planteados por el programador el software le da como resultado un pre dimensionamiento del sistema, el cual sirve como guía para seleccionar todos los componentes, se inicia con el banco de baterías desde una amplia librería de componentes de uso comerciales, luego se selecciona el panel solar siguiendo el mismo procedimiento, el tercer componentes en seleccionar es el controlador de carga, es importante considerar todas las recomendaciones del programa, tanto en rangos de voltaje como en el esquema de conexión, el inversor se dimensiona de forma independiente.

PVSyst mediante códigos de colores alerta mensajes de advertencia (naranja) o fallo (rojo) en la configuración, el color verde significa que está listo para correr la simulación [23].

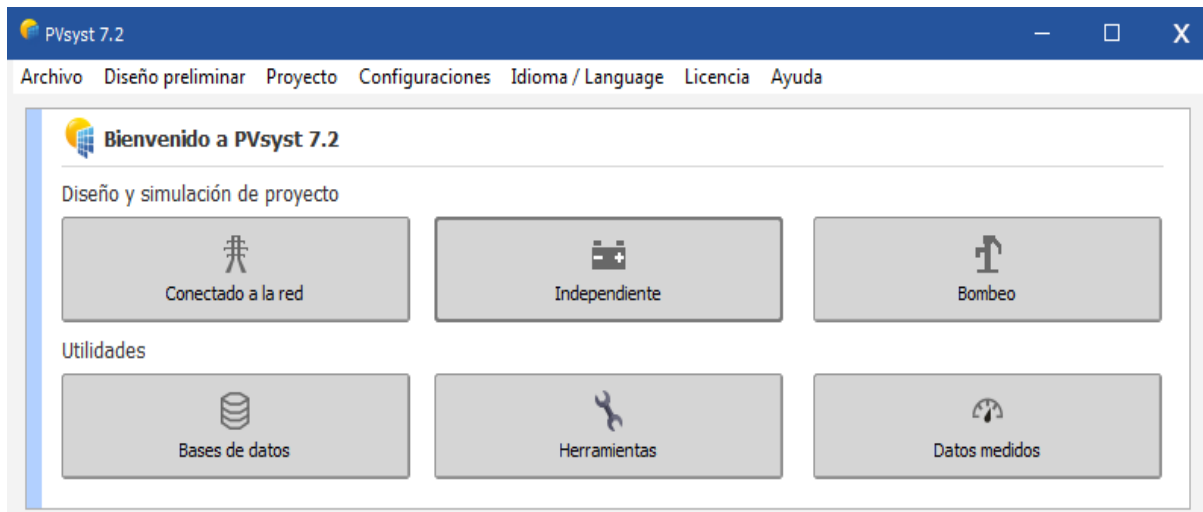
#### **4.4.1 Sistema a dimensionar en PVSyst**

El programa por utilizar es especializado en sistemas fotovoltaicos, presenta varias opciones de dimensionamiento dependiendo de la configuración a realizar, la primera opción es la conexión a la red donde el objetivo es cogenerar inyectando energía en paralelo a la red convencional, en este tipo de instalaciones es necesario la implementación de medidores bidireccional para el registro y balance de la generación y el consumo.

La segunda configuración es para una instalación aislada o independiente donde es requisito para el funcionamiento contar con un banco de baterías, la última configuración que presenta el documento es el bombeo solar, esta configuración se utiliza para regar agua en campos



agrícolas, en la figura 22 se muestra los diferentes tipos de sistema a dimensionar.



**Figura 22.** *Pantalla de selección de las diferentes configuraciones*

El programa ofrece varias ventajas, entre las cuales se incluyen la facilidad de realizar el dimensionamiento en pocos pasos, la capacidad de analizar el rendimiento y comportamiento de la matriz fotovoltaica y de cada uno de los elementos a lo largo de toda la duración del proyecto, y la posibilidad de elegir la época del año de acuerdo con la ubicación para garantizar resultados energéticos confiables.

Para alcanzar los objetivos del proyecto de titulación, se opta por la configuración independiente, se ingresan todos los datos del proyecto y se selecciona el punto de implementación mediante el mapa interactivo. La aplicación guarda la ubicación y recopila datos meteorológicos de diversas bases de datos, como Meteonorm, Pvgis, Nasa y NREL. También permite al usuario seleccionar las unidades de irradiación en distintas unidades de energía e intervalos de tiempo.

Con toda la información ingresada se descarga y guarda las variables meteorológicas en el punto seleccionado, en la figura 23 se muestra la información descargada para la tesis se utilizan los datos anuales de irradiación y temperatura, mientras que los datos de humedad relativa, turbidez y velocidad del viento son informativos.

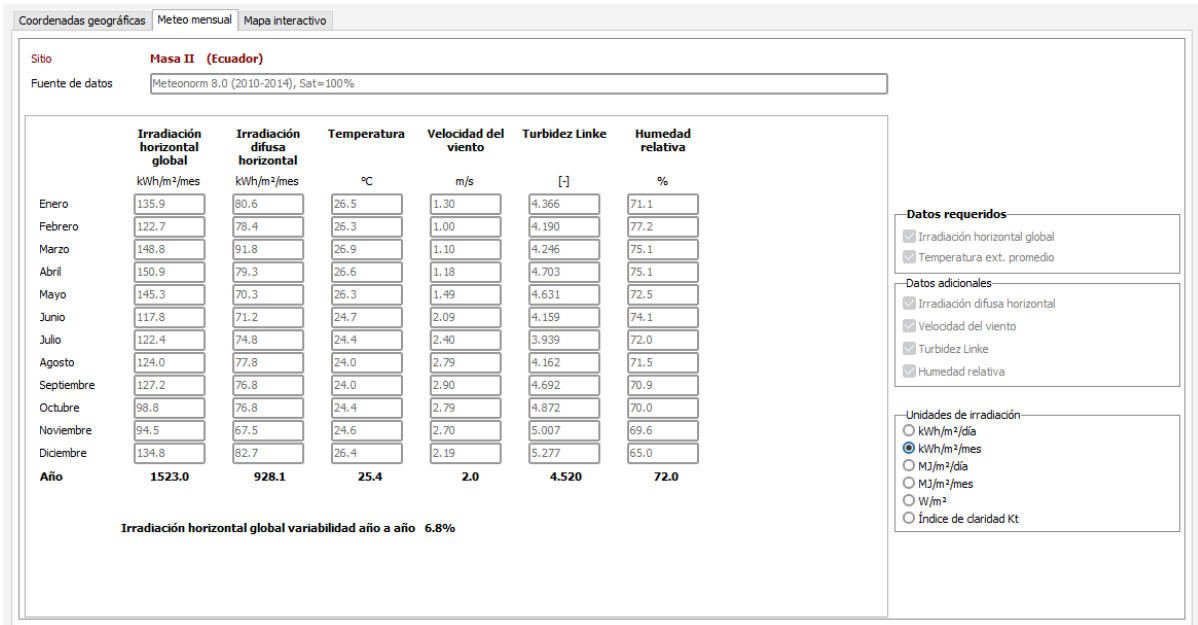


Figura 23. Valores de irradiancia global mensual

Una vez que se han descargado los datos, se almacenan y se procede a configurar la orientación e inclinación del panel solar fotovoltaico. La opción de orientación rápida permite al diseñador buscar el ángulo óptimo para el panel. En este caso, se ha elegido una inclinación fija de 10°. La energía disponible sobre el panel es de 1529 kWh/m<sup>2</sup> y no se registraron pérdidas de energía.

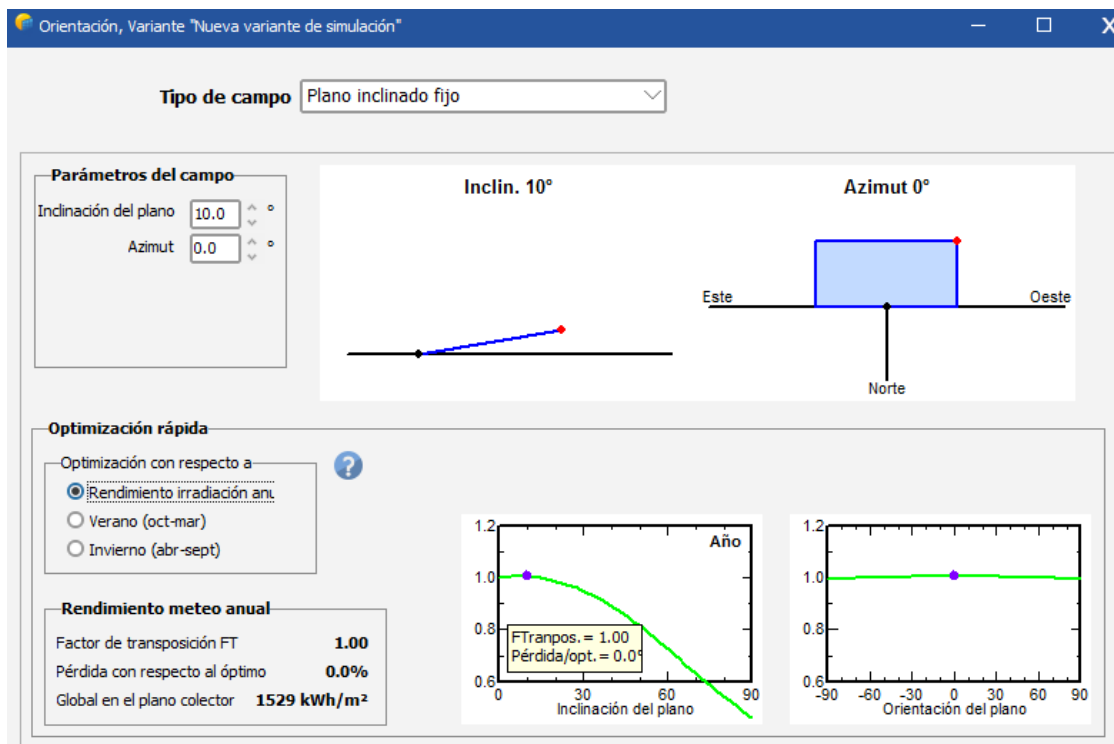


Figura 24. Búsqueda de la orientación del panel solar

El siguiente paso en el dimensionamiento y estudio de factibilidad es definir el uso diario de los electrodomésticos, los valores ingresados van de acuerdo con la información levantada en las inspecciones realizadas al inicio del trabajo, el software solicita el ingreso del número de aparatos, potencia, horas de consumo, como una ventaja para el óptimo dimensionamiento es la distribución horaria.

Uso diario de energía, variante "Nueva variante de simulación"

**Definición de consumos domésticos diarios para el año.**

Consumo | Distribución por hora

**Consumos diarios**

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
6	Lámparas (LED o fluo)	9 W/lámpara	4.0 h/día	OK	216 Wh
1	TV / PC / móvil	4 W/apar.	4.0 h/día	OK	16 Wh
1	Parlante	250 W/apar.	2.0 h/día	OK	500 Wh
0	Nevera / congelación profunda	0.00 kWh/día	24.0		0 Wh
0	Lavaplatos y lavadora	0.0 W prom	2.0 h/día		0 Wh
2	Celulares	20 W/apar.	2.0 h/día	OK	80 Wh
1	Licuadaora	500 W/apar.	0.5 h/día	OK	250 Wh
Consumidores en espera		1 W tot	24 h/día		24 Wh
<b>Energía diaria total</b>					<b>1086 Wh/día</b>
<b>Energía mensual</b>					<b>32.6 kWh/mes</b>

Info aparatos

**Definición de consumo por**

Años  Estaciones  Meses

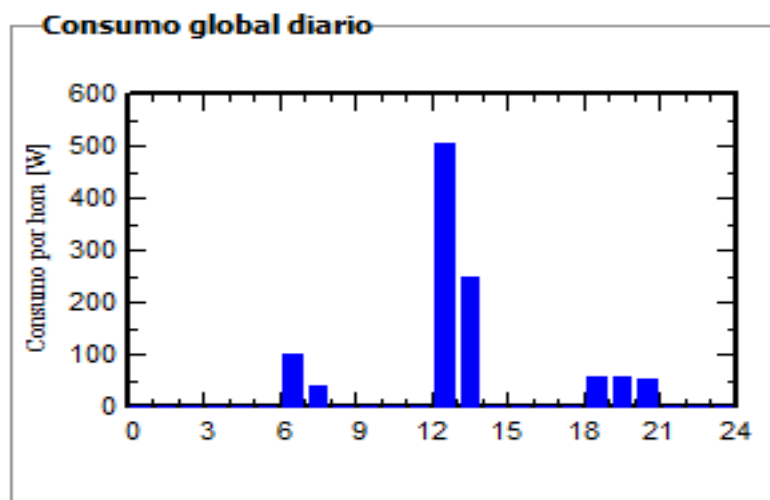
**Fin de semana o uso semanal**

Usar solo durante

7 días en una semana

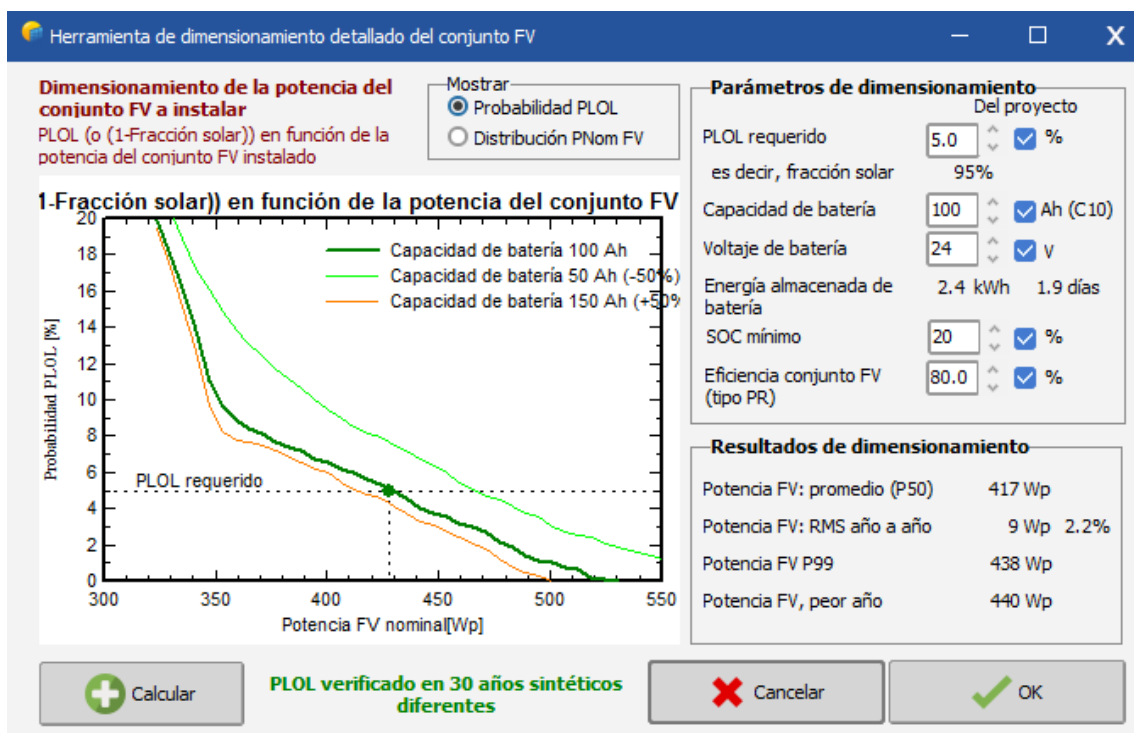
**Figura 25.** Consumo de los aparatos de la vivienda

La curva de consumo de la vivienda se muestra en la figura 26, las horas de mayor utilización de los equipos son a las 6 de mañana, 12 del mediodía y a partir de las 18:00.



**Figura 26.** Curva de consumo diario

Luego de la definición de las cargas, es necesario el ingreso de los componentes para el dimensionamiento del sistema, PVsyst realiza un pre-dimensionamiento como guía para que el diseñador escoja los elementos requeridos, en la figura 27 se muestra el detalla de la opción del sistema realizado por el software.

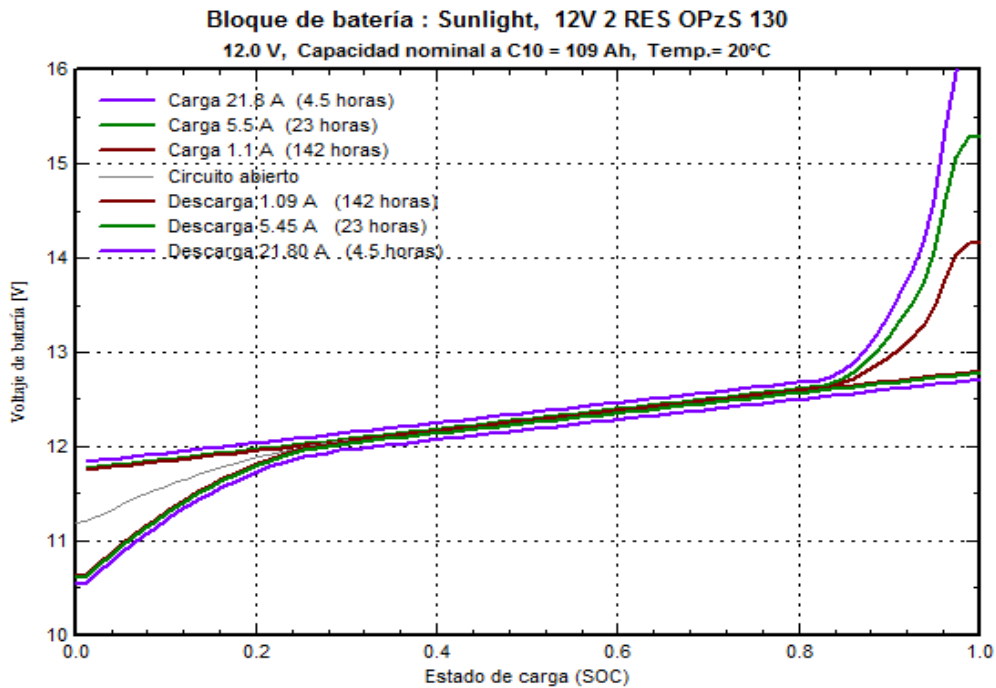


**Figura 27.** Pre-dimensionamiento de la sistema fotovoltaico.

El programa indica la necesidad de que el generador fotovoltaico sea de 417 Wp, el voltaje del banco de baterías es de 24 V, la autonomía del sistema es de 2 días, la eficiencia del panel es del 80% a este valor se conoce como PR (performance rate).

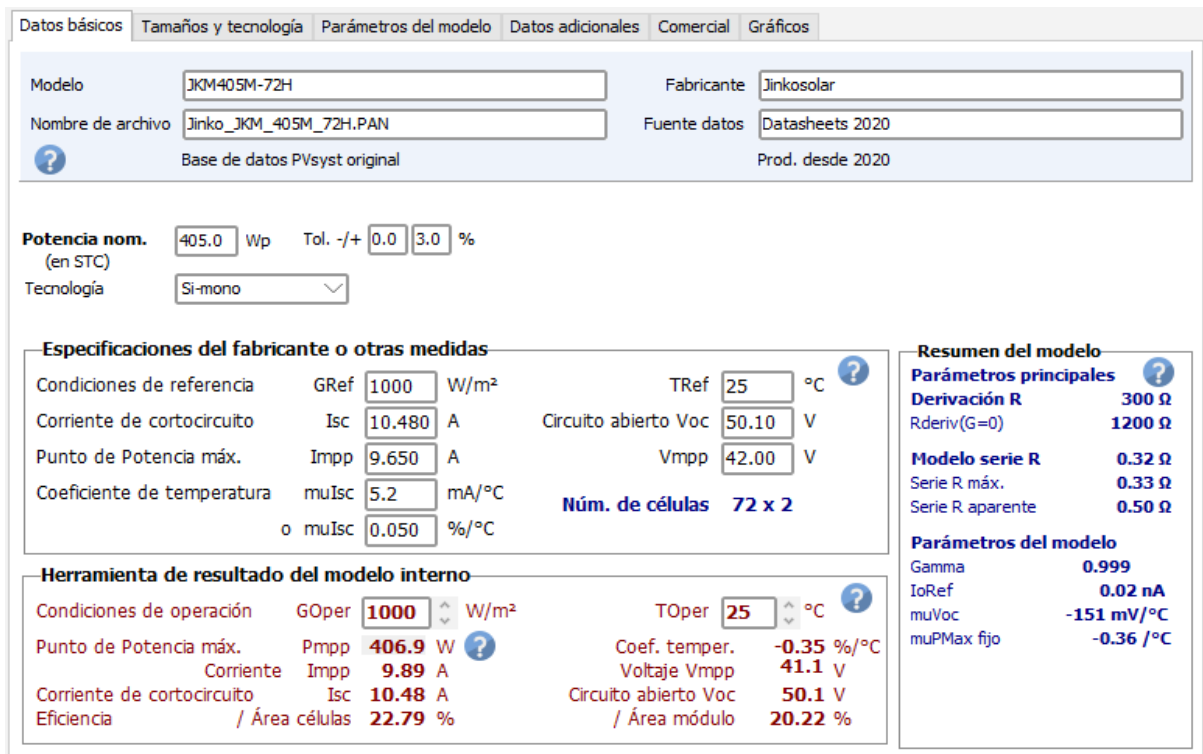
Con la información entregada, el diseñador ingresa los componentes comerciales para la simulación del sistema, El primer elemento a considerar es la elección del banco de baterías, garantizando así un respaldo adecuado para tener una autonomía de dos días se requiere una capacidad de 102 Ah, las baterías ingresadas son del fabricante Sunlight a 12V, 109 Ah, el nivel de voltaje del sistema es de 24 V, por lo que se requiere 2 baterías en serie con una energía almacenada de 2100 Wh para el 80% de profundidad de descarga, el número de ciclos de funcionamiento es de 1350 y la energía total almacenada durante toda la vida útil del dispositivo es de 2136 kWh.

La estructura para el banco de baterías tiene que soportar un peso de 99 kg, el número de elementos para la conexión es de 12. En la figura 28 se muestra como varia el nivel de voltaje respecto a la profundidad de descarga del dispositivo.



**Figura 28.** Curva de voltaje vs estado de carga

El siguiente componente es el panel solar, se selecciona el fabricante Jinko Solar, con una capacidad de 405 vatios, en la figura 29 se muestra las características técnicas del panel solar, el panel tiene 72 células y son fabricados a partir del 2020.



**Figura 29.** Características técnicas del panel fotovoltaico

El panel solar tiene una corriente de cortocircuito (ISC) de 10,5 A, y la corriente máxima del

sistema es de 9,7 amperios. Además, el voltaje de circuito abierto es de 50 voltios, con un voltaje máximo de 42 voltios. Estos valores corresponden a las condiciones estándar de prueba (STC). La eficiencia del panel solar es del 20,22%.

Debido a las ventajas por el tema de una mayor generación se escoge un controlador de carga tipo MPPT, también por el voltaje de salida del panel solar, entre la librería que oferta el programa se escoge el controlador Victron MPPT 100 V, 15 A, 24V. Esta nomenclatura significa que puede soportar hasta 100 V, con una corriente máxima de 10A y el voltaje de conexión es de 24V. Al controlador se pueden conectar baterías del plomo acido ya sea ventilado o tubulares

Sistemas independientes :Definiciones del controlador de carga/descarga de la batería

Datos generales | Umbrales | Convertidor MPPT | Perfil de eficiencia | Otros datos / Tamaños | Datos comerciales

Modelo: SmartSolar MPPT 100/15 24V | Fabricante: Victron  
Nombre de archivo: Victron\_SmartSolar\_MPPT\_100\_15\_24V.RLT | Fuente datos: Datasheets 2018  
Definición de parámetros personalizados | Prod. desde 2018

**Características generales del dispositivo**  
Tecnología: Convertidor MPPT  
Visualización de datos: LCD - Opcional  
**Controles externos**  
 Gestión de carga  
 Control gen. de respaldo  
 Respaldo utilizado efectiv.  
**Modo de control**  
 Voltaje de batería  
 Basado en SOC

**Características eléctricas**  
Corriente de carga máx.: 15.0 A  Salida de conv. P/V  
Corriente de descarga máx.: 15.0 A  
Potencia nominal del convertidor: 440 W  
Autoconsumo: 20.0 mA  
Consumo nocturno: 20.0 mA

**Control de batería**  
 Maneja baterías de plomo-ácido  
 Maneja baterías de litio

**Compensación de temperatura de batería**  
Tipo: Sensor interno Defecto  
Coeficiente de corrección: -2.7 mV/°C   
Temperatura de referencia: 20 °C

**Paquete de baterías del sistema**  
Tecnol.: **Plomo-ácido, ventilado, tubular**  
Voltaje paquete de baterías: 12 V adecuado, OK  
Capacidad del paquete de baterías: 100 Ah (C10)

**Figura 30.** Características técnicas del controlador de carga

La potencia máxima que soporta el controlador de carga es de 440 W, lo que es superior a los 405 W del panel solar, también cuenta con tecnología de monitoreo vía bluetooth, como se muestra en la figura 31, se puede conectar a dispositivos Android, siendo una solución para configurar, actualizar y controlar el regulador de carga. El seguimiento rápido al punto de máxima potencia es bastante apreciado especialmente en días oscuros, más aún si la intensidad de la luz del día tiene cambios repentinos, la generación de energía puede aumentar incluso hasta un 30% en comparación con la tecnología PWM.



**Figura 31.** Victron Connect mediante bluetooth

El último elemento es seleccionar es el inversor de red, el voltaje de conversión es de 24 VDC a 110 VAC, maneja una potencia de 250 W y se escoge de la marca Victron energy debido al respaldo local del distribuidor, a la resistencia de los componentes electrónicos, la capacidad de generar una potencia inicial elevada requerida para poner en marcha herramientas eléctricas y, durante su operación, incorpora diversos niveles de alertas como medida preventiva frente a lecturas de voltaje de las baterías que podrían resultar problemáticas. Además, puede restaurar automáticamente el suministro eléctrico si el voltaje se encuentra dentro del umbral necesario. En la figura 32 se muestra el conector de entrada al inversor desde las baterías a 24V, también cuenta con un interruptor para la desconexión del equipo, como con dos leds, uno de color verde para el funcionamiento normal y otro de color rojo para alarma visual en caso de falla. Por medio de una terminal se conecta la protección de puesta a tierra.



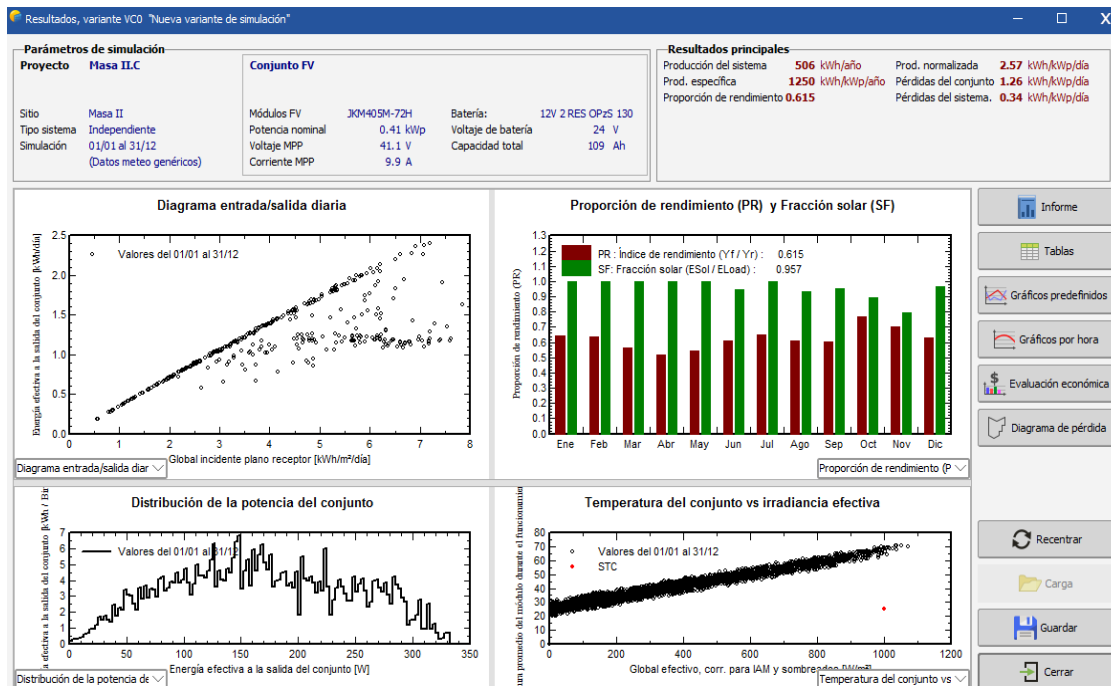
**Phoenix 12/375 VE.Direct**



**Phoenix 12/375 VE.Direct**

**Figura 32. Presentación del inversor Victron**

Una vez ingresado todos los componentes que conforman el sistema y sin ninguna alarma, se inicia la ejecución de la simulación. PVsyst proporciona un informe exhaustivo que detalla los aspectos generales del sistema fotovoltaico que ha sido dimensionado, en una primera imagen como se observa en la figura 33 están los principales resultados de la simulación. Cuatro diagramas a selección del diseñador se muestran, uno de los más utilizados es la distribución de potencia del conjunto fotovoltaico.



**Figura 33. Resultados de la simulación en PVsyst**



## 4.2 Estudio de factibilidad

El análisis de factibilidad se lo realiza para conocer la posibilidad de desarrollar la implementación o el proyecto que se espera ejecutar, con el resultado de este se sabe si es favorable o desfavorable y que estrategias se establecen para llegar al éxito propuesto. Para el caso estudiado el éxito se consigue con la recuperación de la inversión para el tiempo de 25 años como vida del proyecto.

El resultado de la simulación se presenta en las siguientes figuras, en la primera se indica el resumen del sistema con el número de componentes y las características técnicas, la energía diaria que necesita la carga es de 1.1 kWh/día.



**Figura 34.** Resultados del sistema simulado

Las características de cada uno de los componentes se muestran en la figura 35, en caso de tener más de un panel solar el informe muestra la conexión de estos a igual que del banco de baterías, otro punto importante es el control de gestión de la batería, las eficiencias de los equipos se muestran, el controlado de carga tiene un 98%.



**PVsyst V7.2.8**

VC0, Fecha de simulación:  
25/02/22 15:18  
con v7.2.8

**Proyecto: Masa II.C**

Variante: Nueva variante de simulación

Parámetros generales	
<b>Sistema independiente</b>	<b>Sistema independiente con baterías</b>
<b>Orientación campo FV</b>	<b>Configuración de cobertizos</b>
Orientación Plano fijo Inclinación/Azimut      10 / 0 °	Sin escena 3D definida
<b>Necesidades del usuario</b>	<b>Modelos usados</b>
Consumidores domésticos diarios Constante durante el año Promedio                      1.1 kWh/Día	Transposición                      Perez Difuso                      Perez, Meteonorm Circunsolar                      separado

Características del conjunto FV	
<b>Módulo FV</b>	<b>Batería</b>
Fabricante                      Generic	Fabricante                      Generic
Modelo                      JKM405M-72H	Modelo                      12V 2 RES OPzS 130
(Base de datos PVsyst original)	Tecnología                      Plomo-ácido, ventilado, tubular
Unidad Nom. Potencia      405 Wp	Núm. de unidades              2 en series
Número de módulos FV      1 Unidad	Descarga mín. SOC              20.0 %
Nominal (STC)              405 Wp	Energía almacenada              2.1 kWh
Módulos                      1 Cadena x 1 En series	<b>Características del paquete de baterías</b>
<b>En cond. de funcionam. (50°C)</b>	Voltaje                      24 V
Pmpp                      370 Wp	Capacidad nominal              109 Ah (C10)
U mpp                      37 V	Temperatura                      Fijo 20 °C
I mpp                      9.9 A	
<b>Controlador</b>	<b>Control de gestión de la batería</b>
Fabricante                      Generic	Comandos de umbral como      Voltaje de batería
Modelo                      SmartSolar MPPT 100/15 24V	Cargando                      27.4 / 25.1 V
Tecnología                      Convertidor MPPT	SOC corresp.                      0.92 / 0.75
Coef. temp.                      -2.7 mV/°C/Elem.	Descarga                      23.5 / 24.4 V
<b>Convertidor</b>	SOC corresp.                      0.20 / 0.45
Eficiencias máxi y EURO      98.0 / 96.0 %	
<b>Potencia FV total</b>	
Nominal (STC)              0 kWp	
Total                      1 módulos	
Área del módulo              2.0 m²	
Área celular                      1.8 m²	

Pérdidas del conjunto		
<b>Factor de pérdida térmica</b>	<b>Pérdidas de cableado CC</b>	<b>Pérdida diodos serie</b>
Temperatura módulo según irradiancia	Res. conjunto global      62 mΩ	Caída de voltaje              0.7 V
Uc (const)                      20.0 W/m²K	Frac. de pérdida              1.5 % en STC	Frac. de pérdida              1.7 % en STC
Uv (viento)                      0.0 W/m²K/m/s		
<b>Pérdida de calidad módulo</b>	<b>Pérdidas de desajuste de módulo</b>	<b>Pérdidas de desajuste de cadenas</b>
Frac. de pérdida              -0.8 %	Frac. de pérdida              2.0 % en MPP	Frac. de pérdida              0.1 %

Figura 35. Parámetros y características del Sistema solar.

En la figura 36 se presentan los resultados energéticos, donde se muestra que la energía que el sistema genera es de 506,4 kWh al año, mientras que la energía consumida se estima en 379,3 kWh anuales, la diferencia es porque en momentos la batería se cuenta cargada en su totalidad y no se tiene consumo de la carga estructura, sin embargo, se tiene 17.1 kWh anuales de falta de suministro al no tener respaldo ni generación de energía en ciertas horas, sobre todo en las nocturnas.

La proporción de rendimiento es del 61.50%, según la literatura el valor está dentro de los márgenes de sistemas eficientes.

### Resultados principales

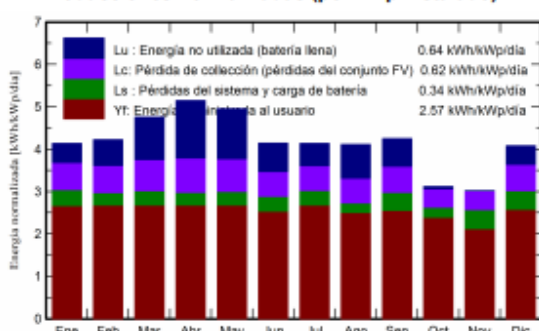
#### Producción del sistema

Energía disponible	506.4 kWh/año	Producción específica	1250 kWh/kWp/año
Energía usada	379.3 kWh/año	Proporción de rendimiento (PR)	61.50 %
Exceso (sin usar)	94.7 kWh/año	Fracción solar (SF)	95.70 %
<b>Pérdida de carga</b>		<b>Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)</b>	
Fracción de tiempo	4.4 %	Ciclos SOW	93.2 %
Energía faltante	17.1 kWh/año	SOW estático	94.4 %

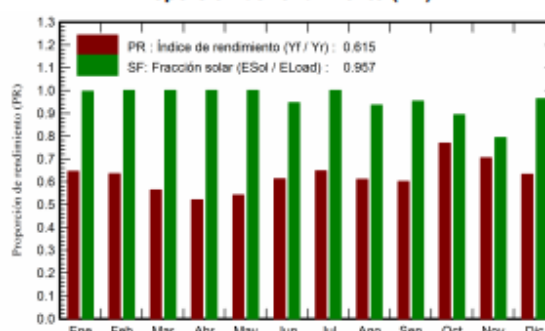
#### Evaluación económica

<b>Inversión</b>		<b>Costo anual</b>		<b>LCOE</b>	
Global	1230.07 USD	A anualidades	0.00 USD/año	Costo energético	0.05 USD/kWh
Específico	3.04 USD/Wp	Costos de func.	20.00 USD/año		
		Período de recuperación	16.4 años		

#### Producciones normalizadas (por kWp instalado)



#### Proporción de rendimiento (PR)



#### Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	proporción
Enero	135.9	124.2	42.28	5.60	0.130	33.54	33.67	0.996
Febrero	122.7	114.9	39.30	6.89	0.000	30.41	30.41	1.000
Marzo	148.8	143.7	49.07	12.53	0.000	33.67	33.67	1.000
Abril	150.9	150.9	51.38	16.40	0.000	32.58	32.58	1.000
Mayo	145.3	150.1	51.12	14.77	0.000	33.67	33.67	1.000
Junio	117.8	121.3	41.77	8.10	1.741	30.84	32.58	0.947
Julio	122.4	125.1	43.03	6.54	0.000	33.67	33.67	1.000
Agosto	124.0	124.3	42.79	9.95	2.150	31.52	33.67	0.936
Septiembre	127.2	124.2	42.56	7.84	1.511	31.07	32.58	0.954
Octubre	98.8	93.5	31.85	0.59	3.562	30.10	33.67	0.894
Noviembre	94.5	87.7	29.48	0.00	6.740	25.84	32.58	0.793
Diciembre	134.8	122.5	41.75	5.45	1.228	32.44	33.67	0.964
<b>Año</b>	<b>1523.0</b>	<b>1482.2</b>	<b>506.38</b>	<b>94.68</b>	<b>17.061</b>	<b>379.33</b>	<b>396.39</b>	<b>0.957</b>

#### Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (Carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada / ECarga)
EUnused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		

**Figura 36.** Producción energética del sistema solar

Debido al tipo de sistema y depender de variables meteorológicas las pérdidas de energía son evidentes como se muestra en la figura 37, por tal razón es necesario conocer donde se producen para poder atacar y disminuir los valores, el mayor porcentaje es del 6.59 % por pérdidas de la eficiencia de la batería, sobre todo en la etapa de gaseo

Otro porcentaje para considerar es del 4.22% por pérdidas en el convertidor durante la operación, en otras palabras, la eficiencia del equipo.



PVsyst V7.2.8

VC0, Fecha de simulación:  
25/02/22 15:18  
con v7.2.8

Proyecto: Masa II.C

Variante: Nueva variante de simulación

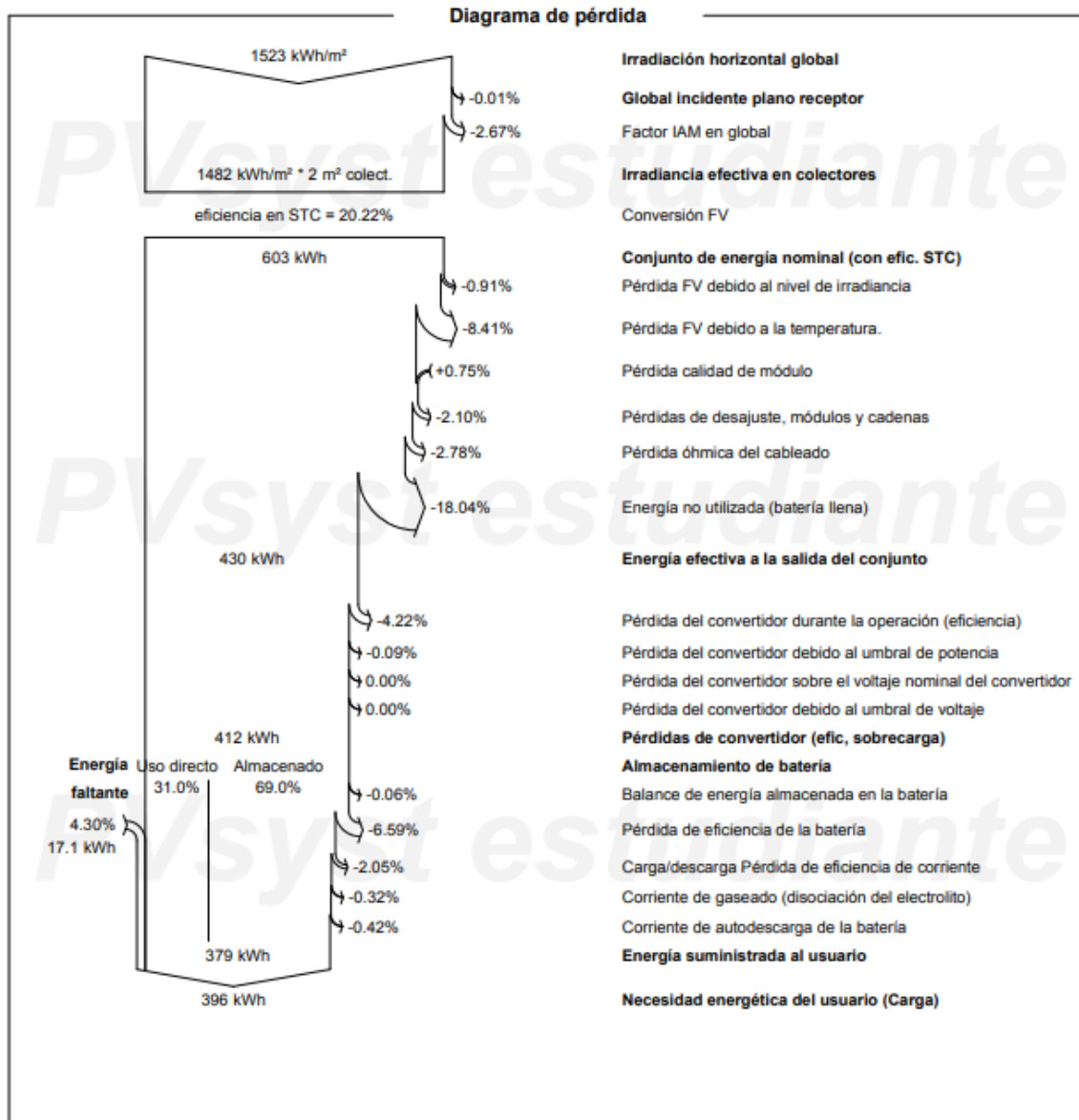


Figura 37. Pérdidas detalladas en el sistema solar

El principal suministro para alcanzar objetivo principal de la tesis se muestra en la figura 38 y 39, el costo total del sistema es la parte vertebral del estudio de factibilidad.



PVsyst V7.2.8

VC0, Fecha de simulación:  
25/02/22 15:18  
con v7.2.8

Proyecto: Masa II.C

Variante: Nueva variante de simulación

Costo del sistema			
<b>Costes de instalación</b>			
Artículo	Cantidad unidades	Costo USD	Total USD
Módulos FV			
JKM405M-72H	1	232.50	232.50
Soportes para módulos	1	122.37	122.37
Baterías	2	286.35	572.69
Controladores			183.56
Otros componentes			
Cableado	1	36.71	36.71
Caja de conexiones	1	12.24	12.24
Instalación			
Costo de instalación global por módulo	1	50.00	50.00
Transporte	1	20.00	20.00
<b>Total</b>			<b>1230.07</b>
Activo amortizable			1111.12
<b>Costos de operación</b>			
Artículo			Total USD/año
Mantenimiento			
Limpieza			20.00
<b>Total (OPEX)</b>			<b>20.00</b>
<b>Resumen del sistema</b>			
Costo total de instalación		1230.07 USD	
Costos de operación		20.00 USD/año	
Exceso de energía (batería llena)		94.7 kWh/año	
Energía solar usada		379 kWh/año	
Costo energético usado		0.215 USD/kWh	

**Figura 38.** Valores económicos del sistema

El costo total para implementación del sistema es de 1230.07 dólares con un producción de 506.4 kWh anuales, los costos por mantenimiento es de 20 dólares al año, debido al bajo mantenimiento que necesitan los paneles, el parámetro para la toma de decisiones es el LCOE con 0,215 kWh/USD, en la literatura revisada el costo de la energía para sistemas aislados está en un rango de 0,2 a 0,6 centavos de dólar, el periodo necesario para recuperar la inversión equivale a 16.4 años, el activo amortizable es de 1111.12 dólares y se refiere a todos los componentes cuyo valor disminuya por el uso o por deterioro por cualquier tipo de causas. El valor presente neto es de 266.64 dólares y son los valores correspondientes al valor actual de todos los flujos que han sido generados por la inversión.

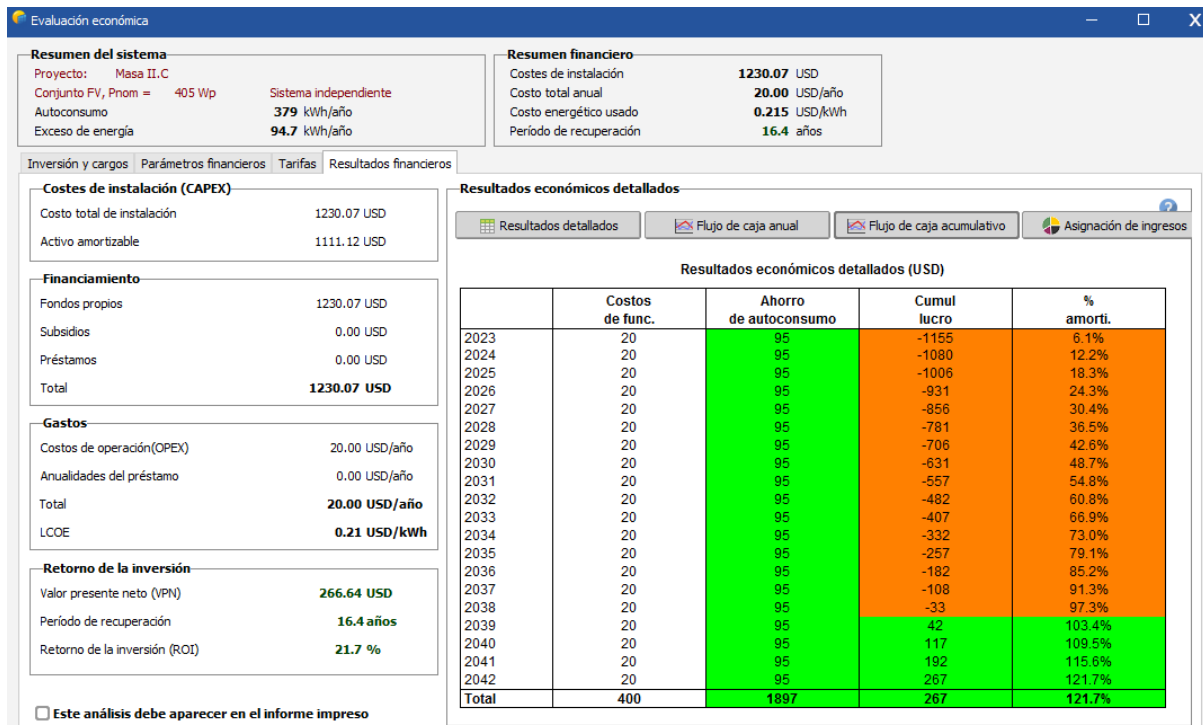


Figura 39. Evaluación económica del sistema solar

### 4.3 Implementación del SF en Masa II

Con los resultados obtenidos se procede a la compra de los materiales y la fabricación de la estructura que soporte al banco de baterías y al panel solar, en la figura 40 se muestra la base del poste que va a soportar el panel fotovoltaico, la altura del poste es de 3 m.

La base del poste y panel solar tiene que soportar el viento y el peso del componente, por esta razón se ha realizado la fundición en hormigón armado, en la figura 41 se observa al equipo de tesis fundiendo la base fuera de la vivienda para fijar el generador solar. Adicional se realiza una estructura con varilla corrugada de 12mm.





**Figura 40.** *Base del poste en plancha de 5 mm*

El tubo utilizado es metálico inoxidable, a pesar de tener un coste mayor se escoge este material para que soporte el ambiente salino que cuenta el lugar, todo lo que es hierro negro va dentro del hormigón armado, adicional se coloca pintura anticorrosiva.



**Figura 41.** *Fundición de la base del panel solar*



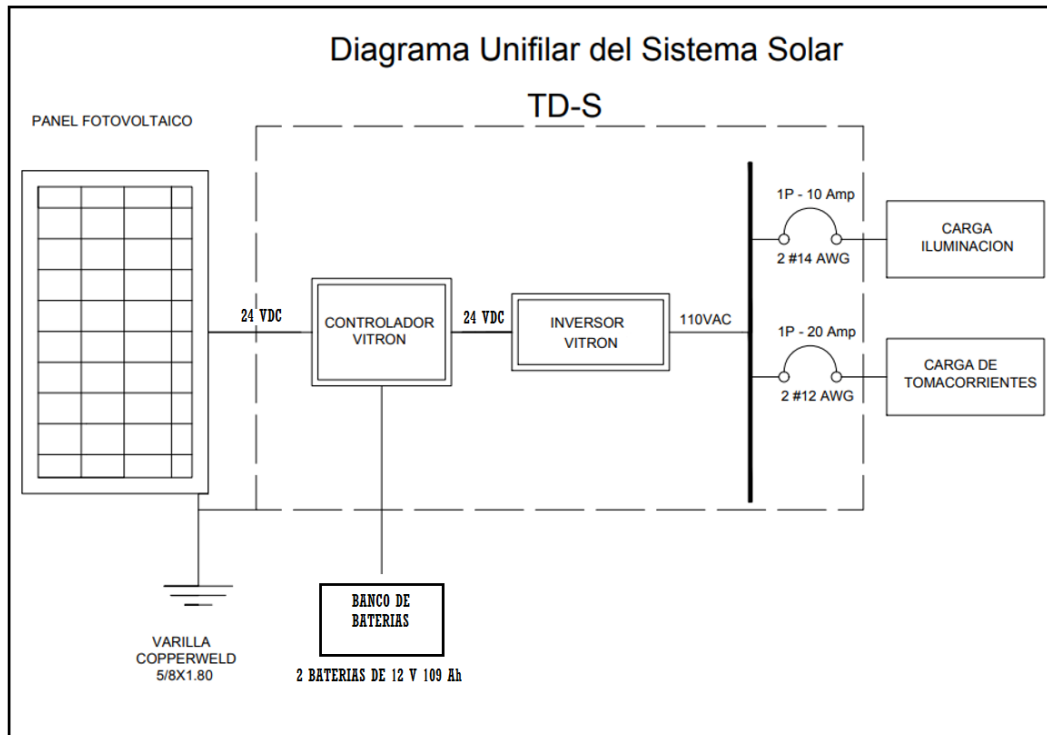
Una vez fundida la base se coloca el panel solar está colocado con un ángulo de inclinación de 15 grados y una orientación de 0 grados con respecto al sur. se procede a la instalación residencial dentro de la vivienda, en la figura 42 se observa a uno de los autores la colocación de tubería plástica donde va a alojar a los conductores, debido a la pequeña carga que se va a manejar se realizan dos circuitos, en el primer circuito se conecta la iluminación mientras que el segundo circuito está conectado los tomacorrientes.

El calibre de conductor que se utiliza para el cableado del circuito de iluminación es # 14 AWG, mientras que para los tomacorrientes es # 12 AWG, las protecciones utilizadas son de 10 y 20 A unipolar respectivamente, en la figura 43 se muestra el circuito unifilar.



**Figura 42.** *Conexión eléctrica de los componentes del SF*

El panel de distribución de 2 a 4 espacios para breakers, el material utilizado es acero galvanizado antioxidante, el voltaje es de 110 V y soporta una máxima corriente de 40 A.



**Figura 43.** Diagrama unifilar de la implementación

Con la instalación residencial completa se procede con la conexión de todos los componentes del sistema solar, en la figura 44 se muestra la respectiva conexión de los mismos



**Figura 44.** Apriete de terminales en la batería

## **CONCLUSIONES**

Este proyecto de titulación se fundamenta en la exploración de la factibilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico para satisfacer las necesidades de energía de una casa modesta que carece de servicios básicos en la era contemporánea. Las cargas eléctricas de la vivienda son de baja magnitud y no están conectadas a la red convencional. El software PVSyst se utiliza para dimensionar, evaluar económicamente y analizar el rendimiento del sistema. Los objetivos de este estudio se lograron mediante el análisis de la simulación.

El primer objetivo es realizar un análisis de viabilidad para diseñar e instalar un sistema fotovoltaico en la comunidad Masa 2, ubicada en el Golfo de Guayaquil. Se evalúe la demanda energética del sistema mediante visitas técnicas y se calculen los consumos de los dispositivos eléctricos en el lugar de implementación. Utilizando estos datos y otros factores climáticos, se realiza el dimensionamiento técnico en un software especializado.

El segundo objetivo implica el diseño e implementación del sistema fotovoltaico para satisfacer la cantidad de energía necesaria por cada hogar. En el proceso de diseño, se consideran diferentes opciones de componentes comerciales, y la simulación ayuda a seleccionar una de ellas, que se describe en el documento. La instalación del sistema se realiza simultáneamente con la infraestructura residencial para garantizar su correcto funcionamiento.

El tercer y último objetivo consiste en capacitar a los residentes de la vivienda para el mantenimiento y cuidado del sistema. Debido a la distancia y los costos asociados, no es posible realizar visitas técnicas constantes. Por lo tanto, la educación y capacitación de los residentes se definirá en elementos clave para garantizar un funcionamiento óptimo a largo plazo.

El logro de estos objetivos específicos contribuye al objetivo principal: evaluar la viabilidad de un sistema fotovoltaico compuesto por paneles solares para satisfacer las necesidades energéticas.

## REFERENCIAS

- [1] S. C. Bhattacharyya, "Energy access problem of the poor in India: Is rural electrification a remedy?," *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 3387–3397, Dec. 2006.
- [2] I. Daniel, J. B. Cabrera, and P. Arias, "Solar Energy Supply for the Rural Parish GAD's of Ecuador," *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conf. Proc.*, Dec. 2018.
- [3] L. C. Herrera, D. Icaza, M. C. Herrera, F. M. Nova, F. Icaza, and M. Flores, "System of generation of energy based on solar energy for the rural political movements centers," *8th Int. Conf. Renew. Energy Res. Appl. ICRERA 2019*, pp. 100–106, Nov. 2019.
- [4] M. A. Toledo, W. E. MacAncela, F. F. Aucapiña, C. M. Álvarez, and D. X. Morales, "Forecast of solar radiation with the application of neural networks in rural zones of Ecuador," *2019 FISE-IEEE/CIGRE Conf. - Living Energy Transition, FISE/CIGRE 2019*, Dec. 2019.
- [5] V. Villavicencio *et al.*, "Impact Assessment of Solar Home System Rehabilitation in the Rural Community 'Cerrito de los Morrenõs', Ecuador," *2020 IEEE Glob. Humanit. Technol. Conf. GHTC 2020*, Oct. 2020.
- [6] P. Lillo, L. Ferrer-Martí, and M. Juanpera, "Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru, Ecuador and Bolivia," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 80, p. 102222, Oct. 2021.
- [7] "OFF GRID SOLAR PV SYSTEM - SolarSpark Energy Solution." [Online]. Available: <https://www.solarspark.in/2019/12/off-grid-solar-pv-system.html>. [Accessed: 23-Feb-2022].
- [8] "Balance Nacional de Energía Eléctrica – Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables." [Online]. Available: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/balance-nacional-de-energia-electrica/>. [Accessed: 23-Feb-2022].
- [9] "Renewable Energy Definition and Types of Renewable Energy Sources | NRDC."

- [Online]. Available: <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>.  
[Accessed: 23-Feb-2022].
- [10] “Tipos de células fotovoltaicas y sus paneles - HelioEsfera.” [Online]. Available: <https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/>.  
[Accessed: 02-Feb-2022].
- [11] “Manabí tendrá la central de energía fotovoltaica más grande del país – La Nación.” [Online]. Available: <https://lanacion.com.ec/manabi-tendra-la-central-de-energia-fotovoltaica-mas-grande-del-pais/>. [Accessed: 23-Feb-2022].
- [12] D. Feroldi and D. Zumoffen, “Sizing methodology for hybrid systems based on multiple renewable power sources integrated to the energy management strategy,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 39, no. 16, pp. 8609–8620, 2014.
- [13] “solar cell | Definition, Working Principle, & Development | Britannica.” [Online]. Available: <https://www.britannica.com/technology/solar-cell>. [Accessed: 23-Feb-2022].
- [14] “Solar Photovoltaic Cell Basics | Department of Energy.” [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-photovoltaic-cell-basics>. [Accessed: 23-Feb-2022].
- [15] ZYTECH, “Célula solar fotovoltaica y el efecto fotoeléctrico.” [Online]. Available: <http://zytech.es/que-es-una-celula-solar-y-el-efecto-fotoelectrico/>. [Accessed: 13-Apr-2019].
- [16] “Buy Solar Charge Controllers for Panels Online at Best Prices in India.” [Online]. Available: <https://www.loomsolar.com/collections/solar-chargers-controllers>.  
[Accessed: 24-Feb-2022].
- [17] “Regulador de Carga Solar: Calculos, Tipos, Funciones.” [Online]. Available: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>.  
[Accessed: 24-Feb-2022].
- [18] “Kits solares fotovoltaicos | La tienda solar líder [2022].” [Online]. Available: <https://autosolar.pe/kits-solares-fotovoltaicos>. [Accessed: 16-Jan-2022].

- [19] “Controlador de carga solar ECO-N-MPPT | Phocos.” [Online]. Available: <https://www.phocos.com/es/producto/eco-n-mppt-15-a/>. [Accessed: 16-Jan-2022].
- [20] “Estructura Con Poste 2 Paneles 18H2-15° | al Mejor Precio.” [Online]. Available: <https://autosolar.pe/soporte-elevado/estructura-con-poste-2-paneles-18h2-15o>. [Accessed: 07-Feb-2022].
- [21] P. S. ABAD MARIÑOS and E. A. FLORES MENDO, “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PLATAFORMA DE DESCARGA DE LA PESQUERA EXALMAR - CHIMBOTE PERÚ,” 2016.
- [22] M. Alonso Abella, “Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos - Master en Energías Renovables y Mercado Energético Escuela de Organización Industrial,” p. 15, 2011.
- [23] Version 6.67, “PV syst Home,” 2018. [Online]. Available: <http://www.pvsyst.com/en/>. [Accessed: 04-Jan-2018].