

**DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA  
RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE  
MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021.**





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA  
RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE  
MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021.**

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

AUTOR: ALEPH JHOEL GAVIDIA MERINO  
TUTOR: LUIS FERNANDO TIPÁN VERGARA

Quito -Ecuador  
2023

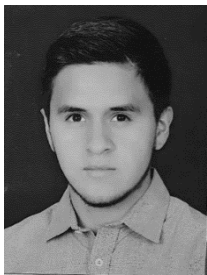
Aleph Jhoel Gavidia Merino

**DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021.**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Aleph Jhoel Gavidia Merino** (Y'1999 – M'01). Realizó sus estudios en nivel secundario en el Colegio “Santo Tomás Apóstol” de la ciudad de Riobamba, graduado de bachiller en ciencias generales. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en el dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico, en la residencia colina de la cruz de una manera autosustentable mediante la regulación NRO. ARCERNNR-001/2021. [agavidiam@est.ups.edu.ec](mailto:agavidiam@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Luis Fernando Tipán Vergara** (Y'1982). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, donde se graduó de Ingeniero en Electrónica y Control en 2005. Además, curso estudios de Maestría en Eficiencia Energética en 2015. Actualmente es Docente e Investigador en Universidad Politécnica Salesiana. [ltipan@ups.edu.ec](mailto:ltipan@ups.edu.ec).

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2023 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Aleph Jhoel Gavidia Merino con documento de identificación N° 0604402396 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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.

Quito, 24 de noviembre del año 2023

Atentamente,



Aleph Jhoel Gavidia Merino

0604402396

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

Yo, Aleph Jhoel Gavidia Merino con documento de identificación N° 0604402396, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico, en la residencia colina de la cruz de una manera autosustentable mediante la regulación NRO. ARCERNNR-001/2021.”, 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de noviembre del año 2023

Atentamente,



Aleph Jhoel Gavidia Merino

0604402396

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Fernando Tipán Vergara con documento de identificación N° 1717329005, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021, realizado por Aleph Jhoel Gavidia Merino con documento de identificación N° 0604402396, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de noviembre del año 2023

Atentamente,



Ing. Luis Fernando Tipán Vergara, MSc

1717329005

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	2
1.1	Metodología .....	2
2	Marco teórico.....	2
2.1	Fuentes de energías no renovables. ....	3
2.2	Fuentes de energías renovables .....	3
2.3	Energía Solar.....	3
2.4	Radiación Solar .....	3
2.5	Energía Solar Fotovoltaica .....	4
2.6	Regulaciones de generación solar a nivel mundial. ....	5
2.7	Net Metering o Medición Neta .....	5
2.8	Net Billing o Facturación Neta .....	6
2.9	Regulación ARCERNNR 001-2021. ....	6
3	Desarrollo matemático del sistema en la Residencia.....	7
3.1	Diagrama de flujo de Homer Pro.....	8
3.2	Componentes físicos para el dimensionamiento del sistema.....	8
3.3	Dimensionamiento del sistema.....	9
4	Análisis de Datos .....	12
4.1	Resultado a Corto Plazo .....	12
4.2	Resultado a Mediano Plazo .....	13
4.3	Resultado a Largo Plazo .....	13
4.4	Análisis de diseño [Autor] vs Homer Pro.....	14
5	Conclusiones.....	14
5.1	Trabajos futuros .....	14
6	Referencias.....	14
6.1	Matriz de Estado del Arte .....	17
6.2	Resumen de Indicadores.....	20
7	Anexos.....	22



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Residencia colina de la cruz (Google Maps).....	7
Figura 2. Residencia colina de la cruz (Google Earth).....	7
Figura 3. Algoritmo de Homer Pro .....	8
Figura 4. Sistema fotovoltaico conectado a la red pública .....	8
Figura 5. Sistema fotovoltaico en modo isla o autónomo .....	8
Figura 6. Arquitectura del sistema fotovoltaico.....	9
Figura 7. Inversión y retorno en un año .....	13
Figura 8. Inversión y retorno en 5 años .....	13
Figura 9. Inversión y retorno en 10 años .....	14
Figura 10. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte. ....	20
Figura 11. Indicador de formulación del problema - Estado del arte. ....	21
Figura 12. Indicador de solución - Estado del arte. ....	21
Figura 13. Recuperación de la inversión en el año 1. [Homer Pro].....	22
Figura 14. Recuperación de la inversión en el año 5. [Homer Pro].....	23
Figura 15. Recuperación de la inversión en el año 10. [Homer Pro] .....	24
Figura 16. Cálculos del dimensionamiento en Excel. [Autor].....	25
Figura 17. Cálculos de protecciones y cableado [Autor].....	26

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Niveles de irradiación solar con mayor presencia en las provincias del Ecuador.....	4
Tabla 2. Características panel solar Jinko.....	11
Tabla 3. Características regulador de carga Victron .....	11
Tabla 4. Características del inversor Growatt.....	11
Tabla 5. Características batería Formula Star .....	12
Tabla 6. Retorno de inversión .....	13
Tabla 7. Elementos dimensionados .....	14
Tabla 8: Matriz de estado del arte. ....	17

# **DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021.**

## **Resumen**

En el presente artículo académico se realiza un estudio del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico observando la viabilidad costo-beneficio para la generación de energía eléctrica. Ya que el Ecuador cuenta con buenas características de irradiación solar al estar ubicada en la línea ecuatorial, se analiza los valores de generación de energía solar teniendo en cuenta el precio inicial del diseño e instalación del sistema fotovoltaico. Conociendo el consumo de la residencia se puede dimensionar basándose en los datos de radiación obtenidos por la NASA y así estudiar el comportamiento a corto, mediano y largo plazo.

Apoyado del software Homer Pro se valida los datos de radiación obtenidos de la NASA y el análisis de viabilidad costo-beneficio, con el cual se concluye si el dimensionamiento del sistema es factible y rentable en sector de la residencia.

**Palabras Clave:** Dimensionamiento Óptimo, Energía Solar, Generación Solar, Radiación, Sistemas Fotovoltaicos.

## **Abstract**

In this academic article, a study of the sizing of a photovoltaic system is carried out, observing the cost-benefit viability for the generation of electric energy. Since Ecuador has good solar irradiation characteristics due to its location on the equatorial line, the costs of solar energy production are analyzed taking into account the initial price of the design and installation of the photovoltaic system. Knowing the consumption of the residence can be sized based on the radiation data obtained by NASA and thus study the behavior in the short, medium and long term. Supported by the Homer Pro software, the radiation data obtained from NASA and the cost-benefit feasibility analysis are validated, with which it is concluded whether the sizing of the system is feasible and profitable in the sector of the residence.

**Keywords:** Optimal Dimensioning, Solar Energy, Solar Generation, Radiation, Photovoltaic Systems.

# 1 Introducción

Partiendo de la radiación solar, los sistemas fotovoltaicos crean electricidad la cual es una fuente principal para el requerimiento de poder alimentar equipos eléctricos en lugares que se encuentran lejos de una red eléctrica, también para sitios al cual es imposible expandir las líneas de transmisión para así poder cubrir las necesidades de energía eléctrica en esta zona [1].

Existen beneficios al crear generación distribuida e interconectarlos al sistema eléctrico los cuales ayudaran a la reducción de costos de energía consumida, reducción de perdidas en las líneas y mejorar la sensibilidad y confiabilidad del sistema, permitiendo una generación en el sitio propio [2].

Existen fuentes de energía renovable que por la gran cantidad de reserva que esta dispone se la puede considerar como energías ilimitadas, en este caso se considera al sol. El cual es un cuerpo negro que, mediante el proceso conocido como fusión nuclear, se une el núcleo de los átomos como es el hidrógeno y el helio, así liberando grandes cantidades de energía radiante hacia su superficie en el cual la temperatura puede variar entre 2 millones y 6000 grados centígrados. La energía solar viaja mediante ondas por el espacio hasta llegar a la superficie terrestre [3].

Ante el aumento de la sociedad en el mundo, aumenta el gasto de energía eléctrica, para lo cual una de las alternativas importantes es aprovechar la energía solar. La cantidad de energía solar que llega al área terrestre en un día es 10 veces superior que la energía que se consume en el mundo en durante el periodo de un año. Para lo cual la energía que produce el sol se la puede convertir en energía eléctrica mediante el proceso o efecto llamado fotovoltaico [4].

La producción de energía de fuentes alternativas o no convencionales no va de la mano con la economía a corto plazo, para lo

cual no es una solución al problema de abastecimiento de energía [5].

Con el avance de la tecnología los precios de implementar paneles solares se han reducido considerablemente para lo cual la inversión de retorno se va a ver reflejada desde un mediano a largo plazo. El elemento más importante y fundamental del proyecto será la tecnología LED en referencia a la iluminación. Desarrollando un sistema de iluminación solar con la finalidad de hacer un uso eficiente de la energía y garantizando el almacenamiento de esta. De esta manera se cuida el medio ambiente y se aprovecha una fuente energética ilimitada si contaminación [6].

Día a día lo niveles de contaminación hacia el medio ambiente son más alarmantes, uno de los principales contaminantes son las generaciones de energía por medio de métodos convencionales o no renovables, estos generan grandes cantidades de dióxido de carbono al ambiente dañando la calidad de aire que respiran las personas y dañan la capa de ozono [7].

## 1.1 Metodología

En la investigación realizada se describe de manera detallada el método utilizado para ejecutar el dimensionamiento del sistema de generación solar fotovoltaico, en el que consta las siguientes fases: Valoración del recurso solar aprovechable, evaluación de la demanda energética prevista, el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico y del almacenamiento como lo es el uso de la batería, teniendo en cuenta que cada una de las fases tiene como fin proporcionar y asegurar un resultado lógico y coherente, de igual manera facilitar la interpretación de los resultados logrados en cada una de las fases.

## 2 Marco teórico

Existen un gran dinamismo con respecto a los diferentes tipos de fuentes de energía clasificadas en: renovables y no renovables,

las cuales dependen de diferentes tipos de materia prima o principio para poder obtener energía eléctrica.

## **2.1 Fuentes de energías no renovables.**

Energías no renovables conocidas también como energías convencionales usan un combustible de por medio para realizar un ciclo de transformación. Para convertir el agua en vapor, se debe calentar el agua mediante un combustible como puede ser el gas natural, el carbón o el petróleo el cual su origen son de elementos fósiles. Mediante la combustión de estos elementos el vapor obtenido empuja a presión los pistones y el sistema de bielas el cual puede transmitir la energía para poder realizar el movimiento del eje central [8].

La energía térmica es la fuente de generación eléctrica más antigua que existe en el mundo, desde su creación este tipo de energía no ha evolucionado con respecto a la actualidad, salvo que se ha mejorado la eficiencia de las maquinas utilizadas para producir energía eléctrica, al igual con la automatización se ha podido mejorar el rendimiento de dichas plantas térmica [8].

## **2.2 Fuentes de energías renovables**

Fuentes que la naturaleza proporciona inagotablemente energía, basado en esto permite crear generadores que no son muy comunes en el mundo, por lo tanto, es de uso limitado por los altos costos de fabricación. En el pasado no era una prioridad, ya que las fuentes de energía no renovable eran consideradas con menor costo de producción y más factibles, considerando el cuidado del medio ambiente se debía tomar medidas para la obtención de energía eléctrica más limpia, aunque los valores de producción sean más altos [9].

A estas fuentes de energía se las conoce como amigables con el entorno ambiental, ya que para producir energía eléctrica no implica la quema de ningún tipo de

combustible o alguno de sus derivados. Algunas de estas fuentes de energía son: fotovoltaica, biomasa, térmica, eólica, mareomotriz. Hoy en día las fuentes de energía renovables que más han destacado son fotovoltaica y eólica, para lo cual han ayudado a depender menos de las fuentes de energías que causan un impacto en el medio ambiente, ayudando así a que sus costos de producción sean más baratos [9].

## **2.3 Energía Solar**

Tiempo atrás se pensaba que la energía que irradiaba el sol no iba a sustituir a la energía producida por los combustibles convencionales, ya que no existía el interés de investigación para la obtención y aprovechamiento de energía eléctrica, tampoco contaban con los recursos materiales técnicos [10]. En la actualidad la estrella solar es conocida como una fuente de energía grandiosa, lo cual gracias a investigaciones se ha logrado aprovechar de mejor manera la energía emitida por esta fuente, llegando a la competitividad con las fuentes de energías no renovables [11]. Los avances ayudaron a captar la energía solar de tres maneras diferentes:

**Termoeléctrica:** Esta tecnología actúa de una manera indirecta transformado el calor a energía eléctrica.

**Fotovoltaica:** Mediante esta tecnología los rayos solares son transformados en electricidad mediante la captación en los paneles solares.

**Fototérmica:** Mediante esta tecnología se aprovecha el calor emitido por el sol a través de colectores solares.

## **2.4 Radiación Solar**

La radiación electromagnética procedente del Sol se le conoce como radiación solar, la cual se irradia a través del universo en varias direcciones en forma de ondas electromagnéticas. Esta energía establece los procesos atmosféricos y las variaciones del clima [12]. El hidrogeno en el núcleo del sol reacciona y libera energía a través de la

superficie misma. Existen tipos de radiación [13].

**Radiación solar directa:** Se conoce cómo la captación procedente directamente en línea recta de la fuente de energía como lo es el Sol, la trayectoria de este tipo de radiación tiene mínimas desviaciones desde el Sol hasta atravesar la corteza terrestre.

**Radiación solar difusa:** Se conoce de esta manera por proceder de varias direcciones en las que se ha reflejado o dispersado como puede ser el caso de la presencia de nubes, cambios climáticos, montañas, o también se puede variar esta radiación al atravesar objetos traslucidos.

**Radiación total o global:** Es la forma final que se obtiene de la suma la radiación directa y la radiación difusa.

#### 2.4.1 Incidencia de la radiación solar en la línea ecuatorial.

El Ecuador se encuentra ubicado sobre la línea ecuatorial por lo que tiene ventajas sobre los demás países tanto los que se encuentran al norte como al sur de la misma, esto ayuda aprovechar de una mejor manera la generación de energía solar. Ya que durante el año cuenta con una radiación media de 4500 hasta los 5000 Wh/m<sup>2</sup>/día. Teniendo una ubicación geográfica privilegiada y una eficiencia para poder generar electricidad, el avance de este tipo de generación en el país ha sido de una manera lenta debido a temas burocráticos los cuales no han mostrado el interés de una inversión en dicha tecnología. Tampoco existen incentivos que favorezcan a la gente a buscar una solución ya que va de la mano la falta de información actualizada [14].

Teniendo en cuenta cuales son las provincias con las mejores características para poder instalar sistemas fotovoltaicos en el Ecuador, estudios concretan que la zona Andina y provincias ubicadas en la Cordillera de los Andes tienen las mejores características solares, dando como ejemplo las provincias de Loja, Azuay, Chimborazo, el centro de Pichincha, entre otras, tienen una incidencia solar de 5000 Wh/m<sup>2</sup>/día, a

pesar de tener excelentes características del recurso solar durante un año, también se toma en cuenta la diversidad de climas que se presentan en estas zonas del país, ya que de esta manera afecta el potencial fotovoltaico que se puede extraer [15]. La irradiación global anual que se presenta en el 75% del Ecuador tiene una presencia mayor a 3,8 Wh/m<sup>2</sup>/día, por lo que el beneficio para poder instalar sistemas fotovoltaicos en el país tiene una viabilidad positiva tanto así que las provincias de Loja y Pichincha se encuentra con mejores valores según estudios solares.

Tabla 1: Niveles de irradiación solar con mayor presencia en las provincias del Ecuador.

Provincia	kWh/m <sup>2</sup> /día
Pichincha	4,5 – 5,7
Loja	4,2 – 5,7
Imbabura	4,1 – 5,6
Chimborazo	4,0 – 5,6
Azuay	4,0 – 5,4

## 2.5 Energía Solar Fotovoltaica

Existe varias maneras de aprovechar la energía emitida por el sol. En sistemas fotovoltaicos que genera electricidad a través de paneles solares y satisfacen las necesidades de la humanidad. En sistemas térmicos que aprovecha la radiación solar para calefactar los hogares. Los sistemas termodinámicos funcionan a pesar de las condiciones climatológicas y térmicas [16].

La energía eléctrica solar se transforma basándose en la tecnología fotovoltaica. La radiación solar al hacer contacto con una de las caras del panel produce un diferencial eléctrico entre las diferentes capas haciendo que los electrones se muevan y así producir corriente eléctrica [17].

### 2.5.1 Energía solar fotovoltaica mundial

Años atrás significo un récord mundial de instalaciones de sistemas fotovoltaicos pasando de 100 GW a 500 GW, adquiriendo el prestigio de una de las principales fuentes

de energía eficiente. Ya representa al 2,6% de la demanda total mundial y se espera que el valor siga en crecimiento notable en los próximos años. El crecimiento de esta tecnología es para cubrir los diferentes mercados y necesidades como residenciales o comerciales [16].

Son cada vez más países que se suman a la generación de fuentes de energía limpia. Según estudios de GMO (Global Market Outlook) estima que para 2023 el parque solar fotovoltaico sumara entre 790 GW y 1302 GW de potencia instalada. Los países más significativos de este tipo de generación son Estados Unidos de Norte América, China y la India, estos tres países suman el 69,7% de la generación solar a nivel mundial. Siendo China el lugar con la planta solar más completa del mundo con 1546,6 MW.

### **2.5.2 Energía solar en el Ecuador.**

Ecuador cuenta con una situación geográfica favorable para la generación solar fotovoltaica ya que su ubicación ayuda a recibir de una manera perpendicular las radiaciones solares con mínimas diferenciaciones durante el año. El inconveniente para impulsar esta tecnología en el país es que toda la energía eléctrica es controlada y generada por las diferentes empresas distribuidoras públicas [18].

Pero ya que el abastecimiento de energía eléctrica no alcanza todos los rincones del país como las zonas rurales, es necesario buscar una forma de incluir los sistemas fotovoltaicos aislados. A pesar de que el Ecuador cuenta con buenas características, la energía solar no es muy aprovechada según lo recoge ARCONEL, para el 2018 con una potencia instalada de 26,74 MW, se ha podido generar 35,3 GWh durante el año lo que en referencia a la producción nacional total es el 0,15% [18]. Si en la actualidad el usuario final desea conectarse a la red pública nacional debe registrarse a la regulación ARCERNNR-001/2021, donde establece condiciones a los usuarios que cuenten con micro generación fotovoltaica.

## **2.6 Regulaciones de generación solar a nivel mundial.**

Las unidades solares conectadas a la red de baja tensión es un tema que va desarrollándose con el paso de los años, puesto que cada país cuenta con sus normativas regularizadas para la generación fotovoltaica, pero aun así hay partes de las normativas no cubiertas como el mínimo de potencia que se puede instalar [19].

Es importante instaurar regulaciones o normativas tanto en la generación solar como en la conexión y operación de sistema ya que existen diferencias en las características propias de los voltajes de las redes. Los países europeos han recibido beneficios gubernamentales para el desarrollo de las regularizaciones el cual ayuda a la evolución rápida de la tecnología en micro generación.

## **2.7 Net Metering o Medición Neta**

El Net Metering es el comercio con electricidad en el cual los propietarios generan su propia energía, proveniente de fuentes de energía renovable. También se describe como la dirección de la electricidad en ambos sentidos en el medidor. En los diferentes países se conoce como la financiación de las fuentes de energías renovables. En Net Metering nace a comienzos de los años de 1980 en los Estados Unidos. Los propietarios buscaron la respuesta hacia la utilización de energías renovables que abastecían pequeñas plantas eólicas, solares para poder abastecer.

El principio de funcionamiento u operación no es complejo, el propietario puede ser dueño de su propia energía producida y mediante un medidor tipo bidireccional se puede recibir energía de la red pública distribuida por la empresa a cargo de la respectiva zona. De esta manera hacemos el uso de ambas energías aprovechando el sol en momentos de poder generar, al necesitar más energía o es noche se sustraerá la energía de la red pública para el consumo. Al momento de generar más

energía de la necesaria o consumida el restante regresa a la red pública.

Las ventajas del Net Metering principalmente sirve para bajar los costos o anular la factura de consumo de electricidad en la residencia.

- Reducir el costo de las facturas de luz.
- Ayudar a desarrollar fuentes de energía renovable a nivel casero.
- Consumir la mayor parte del tiempo energía producida por paneles solares.
- No es necesario la instalación de otro medidor para la venta de energía.
- La administración del sistema no es compleja.

Los beneficios no necesariamente pueden ser utilizadas por un solo propietario. La planta de energía puede tener un grupo de personas que conforman una empresa accionaria, en donde todos los accionistas deciden invertir en la edificación como ejemplo una planta solar fotovoltaica [20]. La electricidad producida por el sistema emplazado se reduce en la factura de luz de los inversionistas tomando en cuenta la cantidad de inversión.

## 2.8 Net Billing o Facturación Neta

El Net Billing es una forma de llamar a la autogeneración de energía para el consumo de las personas residenciales, ya sea el caso de no utilizar la energía producida por los paneles solares esta se puede inyectar a la red y recibir un rubro económico por la inyección de energía. El consumidor para poder realizar el sistema de Net Billing debe tener una generación basada en fuentes de recursos naturales y así mismo respetar las normas, restricciones impuestas por la localidad o entidad encargada en cada país [21].

La energía generada sobrante que se inyectara a la red tendrá el mismo costo que la energía que vende la empresa distribuidora de la localidad, dicha energía inyectada a la red se toma en cuenta en la factura mensual para así descontar al mes siguiente:

$$NB = (E_c \cdot T_r) - (E_i \cdot T_{cm}) \quad (1)$$

Donde:

$E_c$	Consumo energía de la red
$T_r$	Costo de la energía
$E_i$	Inyección de energía
$T_{cm}$	Costo de la energía mayorista

## 2.9 Regulación ARCERNR 001-2021.

Mediante la regulación llamada “Generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica”, instituye condiciones para el proceso de pequeños generadores fotovoltaicos y poderse conectar a la red teniendo en cuenta la potencia nominal hasta 1 MW [22].

### 2.9.1 Caracterización de la generación distribuida para autoabastecimiento.

El lugar de implementación del sistema debe estar situado dentro de la misma área en donde se encuentra el consumidor y debe cumplir con las siguientes condiciones.

- Potencia nominal <1 MW
- Se conecta con las respectivas características de los sistemas de distribución.
- Producción de energía eléctrica con o sin almacenamiento de energía.

La potencia nominal que los inversores deben cumplir con las mismas características de la red pública como lo es que corriente alterna.

### 2.9.2 Modalidad de generación distribuida para el autoabastecimiento.

La demanda del usuario final asociada a un contrato debe implementarse en un mismo inmueble o predio, y contar con un punto de conexión y medidor con el sistema de la empresa distribuidora [22].

También se puede implementar en ubicaciones diferentes al inmueble o predio, pero que se encuentren conectados al mismo sistema de distribución y contar con puntos de conexión y medición individuales para la demanda de cada usuario final.

### 2.9.3 *Habilitación de conexión e instalación.*

Para poder iniciar con un proyecto el usuario debe solicitar a la empresa distribuidora revisar si la conexión a red en ese sitio es favorable, para esto debe tomar en cuenta la potencia máxima instalada. Dentro de los 60 días el usuario podrá iniciar el proceso de implementación presentando a la distribuidora los siguientes requisitos:

- Conexión factible.
- Ubicación del inmueble donde se hará la implementación.
- Documento donde conste que el inmueble es de posesión legítima, o contrato de arrendamiento donde se implementara el sistema.
- Memoria técnica donde conste el dimensionamiento.
- Diseño para la conexión del sistema a la red de servicio público.
- Esquema de conexiones, protecciones y seccionamiento.
- Cronograma del proyecto
- Autorización del uso del agua

La vida útil para los sistemas fotovoltaicos es de 25 años, previo a eso el consumidor podrá actualizar y renovar el certificado de calificación de su sistema de generación de autoabastecimiento.

### 2.9.4 *Incremento de capacidad del sistema fotovoltaico.*

Los usuarios que desean aumentar la potencia nominal de su sistema fotovoltaico deben solicitar a la empresa distribuidora la autorización para incrementar hasta 1 MW cumpliendo con los requisitos antes mencionados.

### 2.9.5 *Gestión de mantenimiento*

El usuario deberá contar con la responsabilidad de planificar, costear y realizar los mantenimientos que requiere el sistema al igual que los equipos e instalaciones relacionadas, y estar en comunicación con la distribuidora. Los usuarios que al terminar su plazo y no

actualice los certificados se procederá a desconectar el sistema de la red pública.

## 3 **Desarrollo matemático del sistema en la Residencia.**

La Providencia es una parroquia rural en el cantón Guano perteneciente a la provincia de Chimborazo, con una población de 1213 habitantes aproximadamente, a una altura de 2360 msnm. Se realiza un estudio previo a la implementación del sistema fotovoltaico en la Residencia Colina de la Cruz, con el objetivo de poder efectuar un estudio técnico-económico del sistema para la residencia que consta de un hogar de cuatro personas de economía media baja.

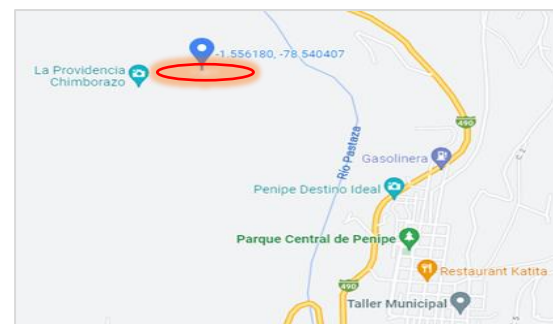


Figura 1. Residencia colina de la cruz (Google Maps)

Mediante el estudio de cargas de la residencia se obtuvo una demanda de alrededor de 3 kW, dichas cargas no pueden quedarse sin energía si la red pública tiene problemas, para lo cual el sistema fotovoltaico ayudará a suplir de energía a la residencia para mantener los sistemas de vigilancia e iluminación funcionales mientras la red pública vuelva a su funcionamiento normal.

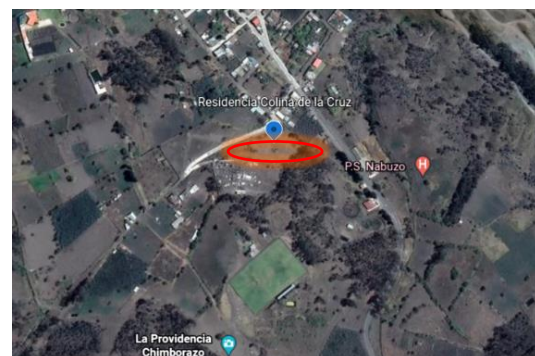


Figura 2. Residencia colina de la cruz (Google Earth)



### 3.1 Diagrama de flujo de Homer Pro.

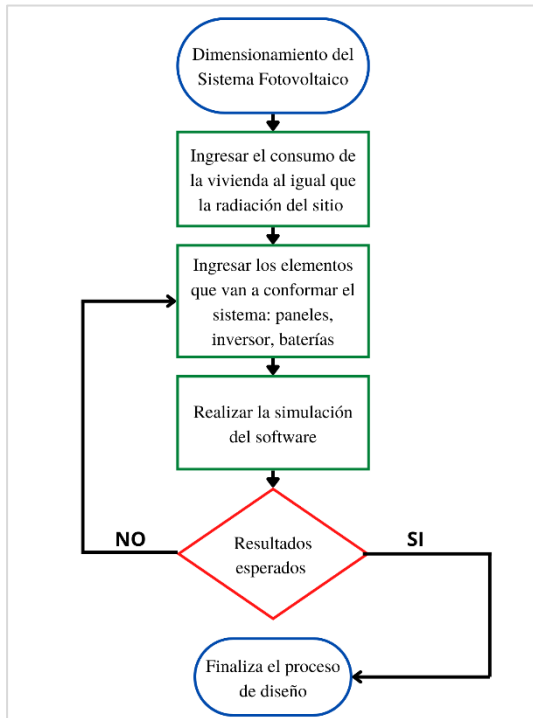


Figura 3. Algoritmo de Homer Pro

El software Homer Pro realiza una serie de procesos para poder dimensionar el sistema que requiere el usuario como se puede observar en la figura 3. Se empieza ingresando los datos del consumo de la vivienda al igual que la radiación existente en la residencia, si no se cuenta con datos de la radiación el propio software le facilita descargando del internet. Previo al ingreso de los datos se ingresa los elementos que van a conformar el sistema. El software realiza los cálculos y si esta correctamente entrega los resultados esperados caso contrario se tendrá que ingresar de nuevo los elementos para dimensionar.

### 3.2 Componentes físicos para el dimensionamiento del sistema.

Los paneles fotovoltaicos captan la energía solar la cual transforma la energía eléctrica en corriente continua la cual es enviada mediante los conductores debidamente dimensionados hacia el controlador de carga, este dispositivo cumple con la función de aprovechar la mayor parte de

energía generada por el panel solar para controlar el estado de carga y el llenado óptimo de las baterías, para que estas no sufran daños y maximizar la vida útil.

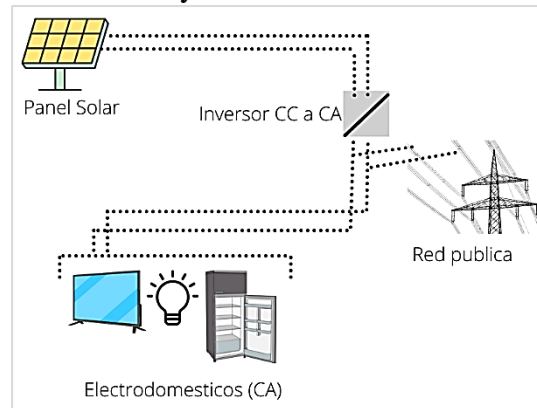


Figura 4. Sistema fotovoltaico conectado a la red pública

Luego de pasar por el regulador de carga la corriente continua entra al inversor, cuya función es convertir a una tensión simétrica u onda sinusoidal con voltajes y frecuencia la cual requiera el diseñador del sistema para la residencia. La corriente alterna que se obtiene a la salida del inversor se envía al medidor bidireccional el cual trabaja en dos direcciones, tomando energía de la red pública hacia la casa, o de una manera inversa en la cual los paneles generan energía eléctrica y la envía a la red pública.

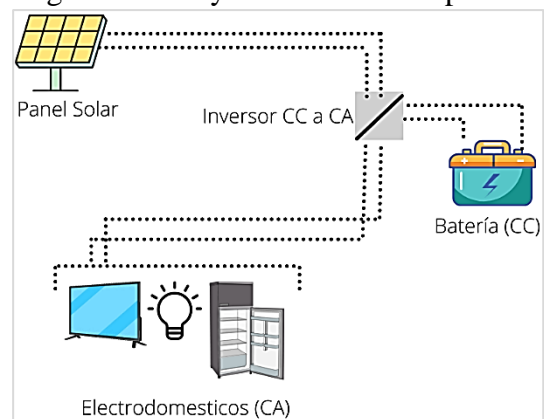


Figura 5. Sistema fotovoltaico en modo isla o autónomo

Si los paneles solares proveen más potencia de la consumida, el exceso de generación será devuelta a la red pública mediante el medidor bidireccional haciéndolo girar potencialmente hacia atrás obteniendo beneficio en la factura mensual.

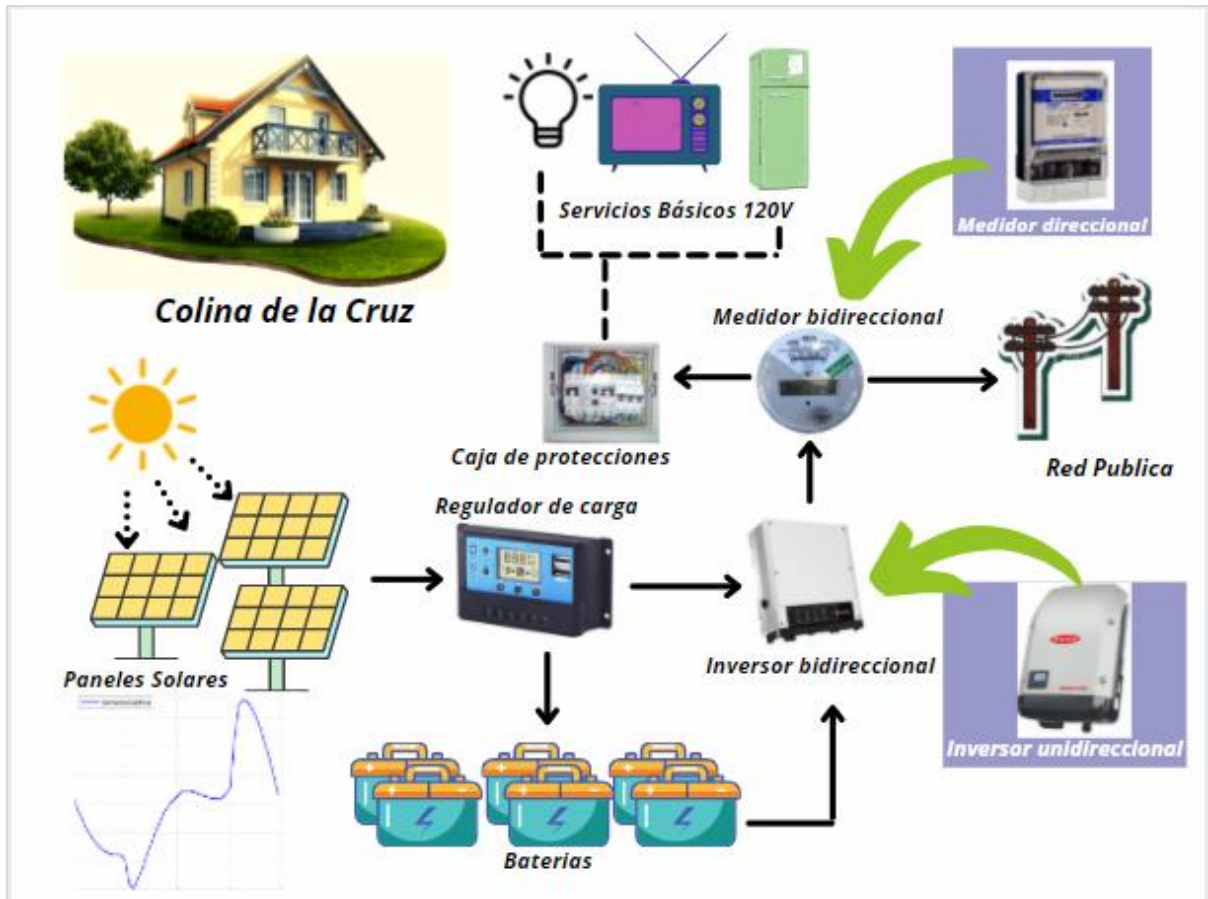


Figura 6. Arquitectura del sistema fotovoltaico.

La caja de protecciones debe estar diseñada para desconectar el sistema fotovoltaico de la red pública de una manera rápida y automática en caso de que presente problemas. Cuando la red pública deje de suministrar energía a la residencia el disyuntor hará el trabajo de aislar instantemente el sistema fotovoltaico de la red pública y crea una supuesta “isla”. Mientras la red pública presente fallas el disyuntor no efectuará la conexión ya que puede acarrear los problemas al sistema y dañar los dispositivos electrónicos.

### 3.3 Dimensionamiento del sistema

#### 3.3.1 Consumos

Está compuesto por los componentes o equipos electrónicos, los cuales necesitan de energía eléctrica para su uso, en caso de que la red pública presente problemas o fallas y no suministre energía a la residencia. Los componentes no pueden quedar sin funcionamiento ya que estos ayudan con la vigilancia e iluminación para

la seguridad y la comodidad de la familia en la residencia.

El funcionamiento del kit de cámaras de seguridad es muy importante para la residencia, este sistema cuenta con un consumo de 40 vatios de potencia y funcionará las 24 horas del día con una simultaneidad de 100% dando protección y vigilancia a la residencia, la iluminación tiene la misma importancia ya que ayuda al bienestar de la familia.

Los demás componentes electrónicos tomados en cuenta en el consumo como cargadores de celulares, televisiones, enrutador (*router*), ayuda a que los integrantes de la residencia no se queden incomunicados de su círculo social y estar al día en lo que suceda en el mundo.

Como se puede ver en la figura 15 se obtuvo un consumo alrededor de 2,7 kW en corriente alterna, donde se tiene que aplicar un factor de protección como en la ecuación (3) para mayor vida útil del sistema. Para obtener los consumos diarios de la vivienda se aplica la siguiente ecuación (2):

$$Cd(Wh) = C_{productos} \cdot P \cdot H \cdot Fs \quad (2)$$

$$Cd_{Total} = Cd \cdot Fp \quad (3)$$

Donde:

$Cd$	Consumo diario de la vivienda
$Cd_{Total}$	Consumo diario de la vivienda aplicado el factor de protección del sistema.
$P$	Potencia que consume cada elemento
$H$	Horas de uso en el día
$Fs$	Factor de simultaneidad, saber cuántos de los elementos van a estar encendidos al mismo tiempo.
$Fp$	Factor de protección para mayor vida útil del sistema

### 3.3.2 Hora solar global

Mediante el análisis en PVWATTS para estimar la radiación anual se puede encontrar los valores de Hora Solar Pico de la localidad en donde se va a implantar el sistema. Los valores que se obtiene en este punto son importantes para poder saber el número de paneles el cual sirve para calcular el sistema completo. La hora solar mínima es el valor que se obtiene en las peores condiciones de radiación en sitio de la implementación del sistema. La hora solar pico también conocida como la energía recibida por unidad de superficie, la cual es tomada como una irradiancia persistente proporcionada se obtiene mediante la siguiente ecuación (4):

$$HSP = \frac{I_g}{1000W/m^2} \quad (4)$$

Donde:

$HSP$	Hora solar pico
$I_g$	Irradiación global

Después de ingresar los datos en PVWATTS, teniendo en cuenta la longitud y latitud para mayor precisión se obtuvo una radiación anual media de 5,04 kWh/m<sup>2</sup>, tomando en cuenta que para la

implementación del sistema se toma el valor de las peores condiciones de radiación las cuales fueron en febrero con un valor de 4,67 kWh/m<sup>2</sup>, para obtener estos valores se convierte el consumo diario de corriente alterna a corriente continua mediante la siguiente ecuación (5):

$$P_{CC} = \frac{P_{AC}}{\%R_{inv}} \cdot 1,1 \quad (5)$$

Donde:

$P_{CC}$	Potencia dada en corriente continua.
$P_{AC}$	Potencia dada en corriente alterna.
$\%R_{inv}$	Valor en porcentaje de la eficiencia del inversor

### 3.3.3 Paneles Solares

Para poder estimar el número de paneles fotovoltaicos requeridos para el sistema a implantar hay que tener en cuenta el valor del consumo diario de la residencia ya que hay diferentes voltajes de operación según la demanda de la vivienda.

- 1 kWh a 2 kWh de consumo diario es factible utilizar el sistema a 12 V.
- 2 kWh a 4 kWh de consumo diario es factible utilizar el sistema a 24 V.
- 4 kWh y consumos mayores de diario, es factible utilizar el sistema a 48 V.

Al tener un consumo diario de alrededor de 3 kWh, el factor de protección es importante ya que ayuda a proteger los conductores de sobrecalentamientos. El sistema trabajará normalmente a un voltaje de 24 V, puede trabajar a un voltaje de 12 V pero el sistema estaría esforzándose, ya que circularía más corriente por los conductores y esto produce más calor en los mismos llegando a perder las propiedades del aislante provocando corto circuitos.

Se puede observar en la tabla 2 las características del panel solar de la marca Jinko modelo JKM405M-72H que se implementará:

Tabla 2. Características panel solar Jinko

Nombre	Descripción
<b>Tipo</b>	Monocristalino
<b><math>P_{max}</math></b>	405 Wp
<b><math>V_{MP}</math></b>	42 V
<b><math>V_{oc}</math></b>	50.1 V
<b><math>I_{sc}</math></b>	10,48 A
<b><math>I_{mp}</math></b>	9,65 A
<b>Eficiencia</b>	20,13 %
<b>Temperatura</b>	-40°C~+85°C

Donde:

$P_{max}$	Máxima potencia
$V_{MP}$	Voltaje de potencia máxima
$V_{oc}$	Voltaje en circuito abierto
$I_{sc}$	Corriente de corto circuito
$I_{mp}$	Corriente de potencia máxima

Con los datos del panel solar podemos obtener la potencia fotovoltaica mediante la ecuación (6) tomando en cuenta la hora solar mínima que se obtuvo mediante el ingreso de los datos de la localidad en PVWATTS y del mismo modo el número de paneles que se va a necesitar para cubrir la demanda de la residencia mediante la ecuación (7):

$$PF = \frac{Cd_{Total}}{HSM} \quad (6)$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{PF}{P_{max \text{ del modulo}}} \quad (7)$$

Donde:

$PF$	Potencia Fotovoltaica
$Cd_{Total}$	Consumo diario aplicado el factor de protección
$HSM$	Hora solar mínima

### 3.3.4 Regulador

El regulador o también llamado controlador de carga solar cumple con la función de registrar el flujo de corriente que generan los módulos fotovoltaicos, con el cual controla la carga y descarga de las baterías de respaldo, maximizando la vida útil y evitando el deterioro. El regulador mediante mediciones de tensión sabe cuándo las

baterías están siendo sobrecargadas para la cual toma medidas de protección desconectando los módulos fotovoltaicos, al mismo modo al detectar que la batería está siendo sobredescargada desconecta los consumos de la residencia.

En tabla 3 se encuentra los datos del regulador de carga de tipo MPPT (Máxima transferencia de potencia), marca Victron modelo blue solar 150/35 que se implementará:

Tabla 3. Características regulador de carga Victron

Nombre	Descripción
<b>Tipo</b>	MPPT
<b><math>V_{max}</math> de entrada</b>	145 V
<b><math>P</math> a 24 V</b>	1000 W
<b><math>C_{nominal}</math></b>	35 A
<b>Eficiencia</b>	98%

Donde:

$V_{max}$	Voltaje máximo
$P$	Potencia
$C_{nominal}$	Corriente de carga nominal

### 3.3.5 Inversor

Dispositivo que convierte la energía de corriente continua a corriente alterna el cual es necesario para poder utilizar los equipos electrónicos en la residencia, estos dispositivos funcionan con corriente alterna y un voltaje 120 V.

En la tabla 4 se encuentra las características del inversor marca Growatt modelo SPF 3000TI LVM-24P seleccionado para el sistema a emplazar:

Tabla 4. Características del inversor Growatt

Nombre	Descripción
<b><math>P_{nominal}</math></b>	3000 W
<b><math>V_{ca}</math></b>	120 Vac
<b>Eficiencia</b>	93%
<b>Tipo de onda</b>	Onda senoidal
<b>Frecuencia</b>	50-60 Hz

Donde:

$P_{\text{nominal}}$  Potencia nominal  
 $V_{\text{ca}}$  Voltaje en corriente alterna

$$Bp = \frac{\frac{Ah}{\text{día}} \cdot d}{C_{\text{batería}}} \quad (9)$$

### 3.3.6 Baterías

Sirve para la acumulación de energía eléctrica producida por los paneles solares. Mediante la ecuación (8) se puede calcular los amperios-hora al día del consumo energético:

$$Ah/\text{día} = \frac{C_{\text{Total}}}{\frac{\%_{\text{inversor}}}{V_{\text{sistema}}}} \quad (8)$$

Donde:

$Ah/\text{día}$  Amperio-hora al día  
 $C_{\text{Total}}$  Consumo Total  
 $\%_{\text{inversor}}$  Eficiencia del inversor  
 $V_{\text{sistema}}$  Voltaje del sistema

La ecuación (9) sirve para calcular la cantidad de baterías conectadas en paralelo. Mediante la ecuación (10) calcula la cantidad de baterías conectadas en serie, multiplicando los resultados de baterías en paralelo y baterías en serie se obtiene el número de baterías que necesita el sistema. Teniendo en cuenta los días de independencia de la red pública y la capacidad de descarga que soporta la batería, las baterías se diferencian de acuerdo con la tecnología de su construcción, las dos tecnologías más conocidas son de litio las cuales tiene una profundidad de descarga del 80% y las baterías de plomo-ácido a un 50% para poder cuidar la vida útil de las mismas. La batería a emplazar en el sistema es de la marca Formula Star del modelo FS 155 de plomo-ácido:

Tabla 5. Características batería Formula Star

Nombre	Descripción
Amperios-hora	155 Ah
Voltaje	12 V

Donde:

$Bp$  Baterías en paralelo  
 $Ah/\text{día}$  Amperios-hora al día  
 $d$  Días autonomía.  
 $Pf$  Profundidad descarga  
 $C_{\text{batería}}$  Capacidad batería

$$Bs = \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{\text{batería}}} \quad (10)$$

Donde:

$V_{\text{sistema}}$  Voltaje sistema 24 V  
 $V_{\text{batería}}$  Voltaje batería 12 V

## 4 Análisis de Datos

Una vez demostrado mediante los cálculos antes propuestos que el sistema a emplazar en la residencia es óptima y rentable, se llega a tres casos de estudios teniendo en cuenta el valor inicial de instalación del sistema, de los cuales se puede observar el rendimiento tanto técnico como económico al pasar los años, los elementos que conforman el sistema fotovoltaico tienen una vida útil por lo que se tomará en cuenta en los resultados a largo plazo.

### 4.1 Resultado a Corto Plazo

Como primer caso de estudio se toma en cuenta el capital que se necesita para emplazar el sistema fotovoltaico y se analiza cuánto es el ahorro de energía que se obtuvo en un año de funcionamiento. En la figura 7 se visualiza que la inversión inicial para la implantación del sistema es de 2120 USD, en un año de funcionamiento del sistema fotovoltaico se puede observar un ahorro de 131 USD por lo cual todavía queda un restante de 1989 USD para llegar al retorno completo de la inversión.

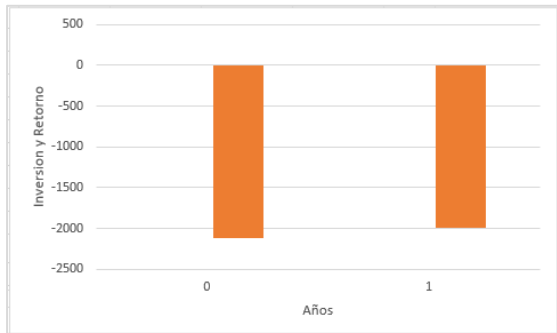


Figura 7. Inversión y retorno en un año

Los valores resultantes de inversión y ahorro del sistema fotovoltaico son semejantes entre los cálculos obtenidos por el autor mediante el dimensionamiento creado en excel como se observa en la figura 7 y los cálculos que realiza el software Homer Pro como se observa en la figura 13.

#### 4.2 Resultado a Mediano Plazo

Como segundo caso de estudio se tomará en cuenta el ahorro que se obtuvo desde la inversión inicial para poder emplazar el sistema hasta los 5 años de funcionamiento de este, también se analizará si el retorno de la inversión se obtuvo al quinto año de funcionamiento.

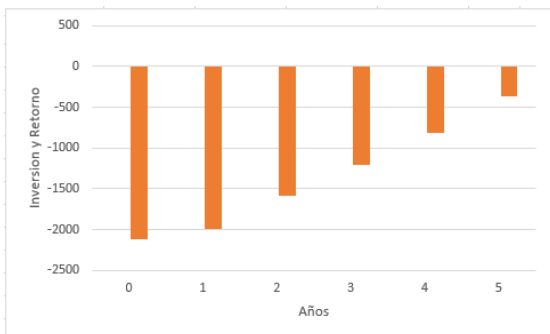


Figura 8. Inversión y retorno en 5 años

En la figura 8 se puede observar el ahorro que se obtuvo a partir de un año de inversión hasta los 5 años de funcionamiento, teniendo en cuenta que la inversión inicial fue de 2120 USD.

Tabla 6. Retorno de inversión

Año	Ahorro (USD)
0	0
1	131
2	399
3	390
4	380
5	460
<b>Total de ahorro</b>	<b>1760</b>

En la tabla 6 se visualiza los valores de ahorro que se obtuvo en cada año hasta llegar a los cinco años, en el cual se puede observar que sumando todos los ahorros aún no cubre el gasto de la inversión inicial. El resultado de los cálculos obtenidos del software Homer Pro en la figura 14 son cercanos a los cálculos previamente en la figura 8, también se puede visualizar que el análisis del software da un resultado parecido, en donde la barra de color verde da a conocer la inversión inicial mientras que el cuadro de color marrón da a conocer el ahorro faltante para poder cubrir el costo del sistema.

#### 4.3 Resultado a Largo Plazo

Como tercer caso se toma en cuenta en qué año se obtuvo el retorno completo de la inversión, y los beneficios que se obtiene del sistema fotovoltaico en los años siguientes. Teniendo en claro que la vida útil del sistema fotovoltaico es de alrededor de 25 años, siempre y cuando el dimensionamiento esté correcto para no forzar los componentes.

Como se puede observar en la figura 9 el retorno completo se obtuvo entre en el año cinco y seis, ya que en el año seis ya se cubrió el costo total de la inversión inicial, desde ese año en adelante ya solo se obtuvo beneficios positivos del sistema fotovoltaico.

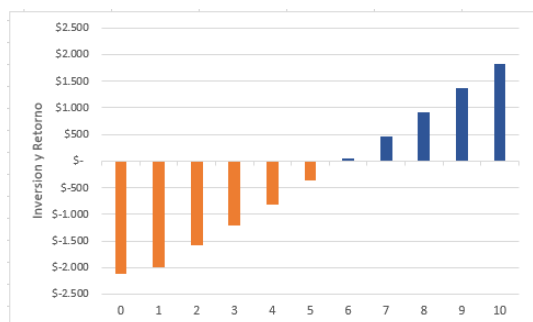


Figura 9. Inversión y retorno en 10 años

De la misma manera mediante el software Homer Pro se observa un completo retorno de la inversión la cual se visualiza en la figura 15, posterior al sexto año se tiene ingresos favorables para usuario.

#### 4.4 Análisis de diseño [Autor] vs Homer Pro

Tabla 7. Elementos dimensionados

Elemento	Diseño [autor]	Homer Pro
Paneles	2 paneles	2 paneles
Inversor	3000 W	3000 W
Batería serie	2 baterías	2 baterías
Batería paralelo	2 baterías	2 baterías

En la tabla 7 se puede observar el número de elementos dimensionados en los diferentes casos, tanto en los cálculos de diseño propio como en los cálculos del software Homer Pro se obtuvo un número de paneles similares, al igual el número de baterías en serie y en paralelo, el inversor con una potencia de 3000 W dio los cálculos esperados.

## 5 Conclusiones

Mediante el presente trabajo se pudo realizar el dimensionamiento óptimo del sistema fotovoltaico para la residencia teniendo como referencia el consumo y las horas de autonomía cuando esta no cuente con suministro eléctrico por parte de la empresa distribuidora, para lo cual la residencia cuenta con almacenamiento de energía mediante baterías de plomo ácido.

Dado el caso si la generación es mayor que el consumo la energía restante será inyectada a la red pública.

El Ecuador se encuentra ubicado geográficamente favorable para la utilización de varias fuentes renovables por lo que la ubicación correctamente de los paneles solares en inclinación y orientación da una recepción de energía solar óptima para la generación de electricidad obteniendo mínimas pérdidas.

Mediante cálculos matemáticos se pudo determinar la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos, dando como resultado 5,23° grados de inclinación, para alargar la vida útil de los paneles en referencia al mantenimiento de estos es recomendable colocar a 10° grados de inclinación ya que, al encontrarse en contacto con el exterior, la lluvia no tendría un correcto flujo por el panel y al empozarse el agua el sistema fotovoltaico estaría teniendo pérdidas.

### 5.1 Trabajos futuros

Los resultados obtenidos en el presente documento dado al dimensionamiento realizado son para cargas emergentes e importantes en la residencia para en una futura proyección seguir creciendo en el sistema solar fotovoltaico y así llegar a ser un hogar autónomo desconectado de la red pública.

## 6 Referencias

- [1] A. Cardozo Piña and C. Prado, "Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada," *Universidad Nacional Autónoma de México*, p. 111, 2008, [Online]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6924/TESINA.pdf?sequence=1>
- [2] A. Escobar, M. Holguin, and J. C. Osorio, "Diseño E Implementación

- De Un Seguidor Solar Para La Optimización De Un Sistema Fotovoltaico,” *Scientia Et Technica*, no. 44, pp. 245–250, 2010.
- [3] Á. Escobar, C. Torres, and R. Hincapie, “Connecting photovoltaic systems to the power grid,” *Scientia et Technica Año XVI*, vol. 44, no. 0122–1701, pp. 31–36, 2010.
- [4] J. S. Fuentevilla, ““ Diseño Y Construcción De Un Sistema De Seguimiento Fotovoltaico ,”” p. 98, 2012.
- [5] J. Ortiz, “Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala,” *Visión Electrónica: algo más que un estado sólido*, vol. 7, no. 1, pp. 103–117, 2013, doi: 10.14483/22484728.3858.
- [6] V. Hugo Benítez Baltazar *et al.*, “SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ILUMINACIÓN SOLAR CTS EPISTEMUS”.
- [7] M. Farhat, O. Barambones, J. A. Ramos, E. Duran, and J. M. Andujar, “Diseño e implementación de un sistema de control estable basado en lógica borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico,” *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, vol. 12, no. 4, pp. 476–487, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.riai.2015.07.006.
- [8] M. Badii, A. Guillen, and J. Abreu, “Energías Renovables y Conservación de Energía,” *Revista Daena (International Journal of Good Conscience)*, vol. 11, no. 1, pp. 141–155, 2016, [Online]. Available: <http://bd.univalle.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=116281297&lang=es&site=eds-live>
- [9] L. Milla L., “Evolución de la energía convencional y no convencional,” *Industrial Data*, vol. 5, no. 2. p. 78, 2014. doi: 10.15381/idata.v5i2.6796.
- [10] O. P. Lamigueiro, “Energía Solar Fotovoltaica,” 2011. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/249012821>
- [11] E. L. Sol *et al.*, “La Energía Solar,” pp. 1–33, 2020.
- [12] C. Arte, D. Empresarial, C. Benavides, Z. Asesor, G. Avalos, and C. Lima -Perú, “FACULTAD DE HUMANIDADES,” 2018.
- [13] J. Hernández, I. Escobar, and N. Castilla, “artículo La radiación solar en invernaderos mediterráneos revista,” *Horticultura*, vol. 157, pp. 1–9, 2001, [Online]. Available: <file:///C:/Users/Hp/Downloads/Radiacion solar.pdf>
- [14] G. Alfredo and M. Trujillo, “Características energéticas de una placa fotovoltaica, por variación de ángulo de inclinación, frente a la radiación solar en Ecuador YACHANA.”
- [15] J. P. Muñoz-Vizhñay, M. V. Rojas-Moncayo, and C. R. Barreto-Calle, “Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador,” *Ingenius*, no. 19, pp. 60–68, Jan. 2018, doi: 10.17163/ings.n19.2018.06.
- [16] M. Castaño-Gómez, J. J. García-Rendón, M. Castaño-Gómez, and J. J. García-Rendón, “Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia,” *Lecturas de Economía*, no. 93, pp. 23–64, Jul. 2020, doi: 10.17533/udea.le.n93a338727.
- [17] Y. A. Muñoz Maldonado, G. D. Acebedo Roncancio, and J. D. Santamaría Saavedra, “Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia,” *Prospectiva*, vol. 17, no. 2, Jul. 2019, doi: 10.15665/rp.v17i2.1645.



- [18] M. Antonio and P. Jara, “La energía solar fotovoltaica distribuida y las smart grid como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador.”
- [19] L. H. Berrío and C. Zuluaga, “Smart Grid and solar photovoltaic energy as renewable energy source for the distributed generation in the global energy context,” *ingeniería y desarrollo*, vol. 32, no. 2, pp. 369–396, Jun. 2014, doi: 10.14482/inde.32.2.4957.
- [20] A. Poullikkas, G. Kourtis, and I. Hadjipaschalis, “INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY AND ENVIRONMENT A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources,” Online, 2013. [Online]. Available: [www.IJEE.IEEFoundation.org](http://www.IJEE.IEEFoundation.org)
- [21] R. Dufo-López and J. L. Bernal-Agustín, “A comparative assessment of net metering and net billing policies. Study cases for Spain,” *Energy*, vol. 84, pp. 684–694, May 2015, doi: 10.1016/J.ENERGY.2015.03.031.
- [22] “Resolucion-ARCERNNR-001-2021”.

## 6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 2: Matriz de estado del arte.

ESQUEMA DEL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021																									
ITEM	DATOS					TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS	Problema; Objetivo	OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	GENERACIÓN DISTRIBUIDA	GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO	ENERGÍA SUMINISTRADA Y NO SUMINISTRADA	DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE ENERGÍA DISTRIBUIDA	RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR	OBTENER EL MAYOR RENDIMIENTO PARA EL ECUADOR	PERDIDAS DE ENERGÍA EN EL CABLEADO	CONEXIÓN A LA RED PÚBLICA	COSTOS INICIALES	RESTRICCIÓN PARA EL MÁXIMO FLUJO DE POTENCIA	VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS	DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO	CONECTAR EL SISTEMA A LA RED PÚBLICA	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS	FIABILIDAD	INSERCIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	EVALUACIÓN DE LOS COSTOS
1	2021	Resolución-ARCERNNR-001-2021	\cite{ARCERNNR2021}	2	SI	☒						☒						☒							
2	2020	La energía solar.	\cite{Sol2020}	8	SI			☒			☒					☒					☒		☒	☒	
3	2020	Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia.	\cite{Gómez2020}	16	SI	☒	☒		☒					☒							☒				
4	2019	La energía solar fotovoltaica distribuida y las smart grid como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador.	\cite{Jara2019}	24	SI	☒																			
5	2019	Evaluación del potencial de energía solar en Santander, Colombia.	\cite{Maldonado2019}	17	SI			☒		☒							☒				☒				☒
6	2018	Radiación solar.	\cite{Benavides2018}	23	SI			☒			☒			☒				☒				☒			
7	2018	Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador.	\cite{Muñoz2018}	9	NO					☒	☒	☒	☒		☒	☒		☒	☒			☒	☒		

# ESQUEMA DEL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021

ITEM	DATOS				TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS			RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS	Problema: Objetivo	OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	GENERACIÓN DISTRIBUIDA	GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO	ENERGÍA SUMINISTRADA Y NO SUMINISTRADA	DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE ENERGÍA DISTRIBUIDA	RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR	OBTENER EL MAYOR RENDIMIENTO	PERDIDAS DE ENERGÍA EN EL CABLEADO	CONEXIÓN A LA RED PÚBLICA	COSTOS INICIALES	RESTRICCIÓN PARA EL MÁXIMO FLUJO DE POTENCIA	VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS	DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO	CONECTAR EL SISTEMA A LA RED PÚBLICA	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS	FIABILIDAD	INSERCIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	EVALUACIÓN DE LOS COSTOS
8	2016	Energías renovables y conservación de energía.	\cite{Badii2016}	14	SI			☒				☒			☒							☒		☒	
9	2015	Diseño e implementación de un sistema de control estable basado en lógica borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de generación fotovoltaico.	\cite{Farhat2015}	6	SI	☒	☒						☒		☒										
10	2015	Características energéticas de una placa fotovoltaica, por variación de ángulo de inclinación, frente a la radiación solar en Ecuador YACHANA.	\cite{Alfredo2015}	3	NO				☒		☒								☒	☒					☒
11	2015	A comparative assessment of net metering and net billing policies. Study cases for Spain.	\cite{López2015}	11	SI			☒		☒										☒					
12	2014	Evolución de la energía convencional y no convencional.	\cite{Milla2014}	21	NO		☒		☒			☒		☒						☒					☒
13	2014	Smart Grid and solar photovoltaic energy as renewable energy source for the distributed generation in the global energy context	\cite{Berrío2014}	4	SI	☒		☒		☒			☒			☒			☒						
14	2013	Sistema fotovoltaico de iluminación solar.	\cite{Benitez2013}	7	NO			☒	☒	☒		☒			☒								☒	☒	

# ESQUEMA DEL DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO, EN LA RESIDENCIA COLINA DE LA CRUZ DE UNA MANERA AUTOSUSTENTABLE MEDIANTE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-001/2021

DATOS		TEMÁTICA							FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETOS				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA			SOLUCIÓN PROPUESTA							
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	REFERENCIA	CITAS	Problema; Objetivo	OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	GENERACIÓN DISTRIBUIDA	GENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO	ENERGÍA SUMINISTRADA Y NO SUMINISTRADA	DETERMINACIÓN DE LOS TIPOS DE ENERGÍA DISTRIBUIDA	RADIACIÓN SOLAR EN EL ECUADOR	OBTENER EL MAYOR RENDIMIENTO DEL SISTEMA	PERDIDAS DE ENERGÍA EN EL CABLEADO	CONEXIÓN A LA RED PÚBLICA	COSTOS INICIALES	RESTRICCIÓN PARA EL MÁXIMO FLUJO DE POTENCIA	VIDA ÚTIL DE LOS ELEMENTOS	DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO	CONECTAR EL SISTEMA A LA RED PÚBLICA	EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS	FIABILIDAD	INSERCIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA	ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA	EVALUACIÓN DE LOS COSTOS
15	2013	Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala	\cite{Ortiz2013}	30	SI	☒			☒						☒				☒		☒				☒
16	2013	A review of net metering mechanism for electricity renewable energy sources	\cite{Poullikkas2013}	21	SI		☒					☒					☒								
17	2012	Diseño Y Construcción De Un Sistema De Seguimiento Fotovoltaico	\cite{Fuentevilla2012}	22	NO				☒				☒		☒							☒			
18	2011	Energía Solar Fotovoltaica	\cite{Lamigueiro2011}	13	SI			☒		☒	☒				☒			☒							
19	2010	Connecting photovoltaic systems to the power grid	\cite{Escobar2010}	11	SI	☒												☒					☒		☒
20	2010	Diseño E Implementación De Un Seguidor Solar Para La Optimización De Un Sistema Fotovoltaico.	\cite{Escobar2010}	5	SI				☒											☒					
21	2008	Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada	\cite{Cardozo2008}	3	NO	☒																☒			
22	2001	La radiación solar en invernaderos mediterráneos.	\cite{Hernández2001}	11	SI		☒				☒														
CANTIDAD:						7	6	8	5	6	7	3	5	5	4	5	5	3	4	4	6	4	5	4	6

### 6.2 Resumen de Indicadores

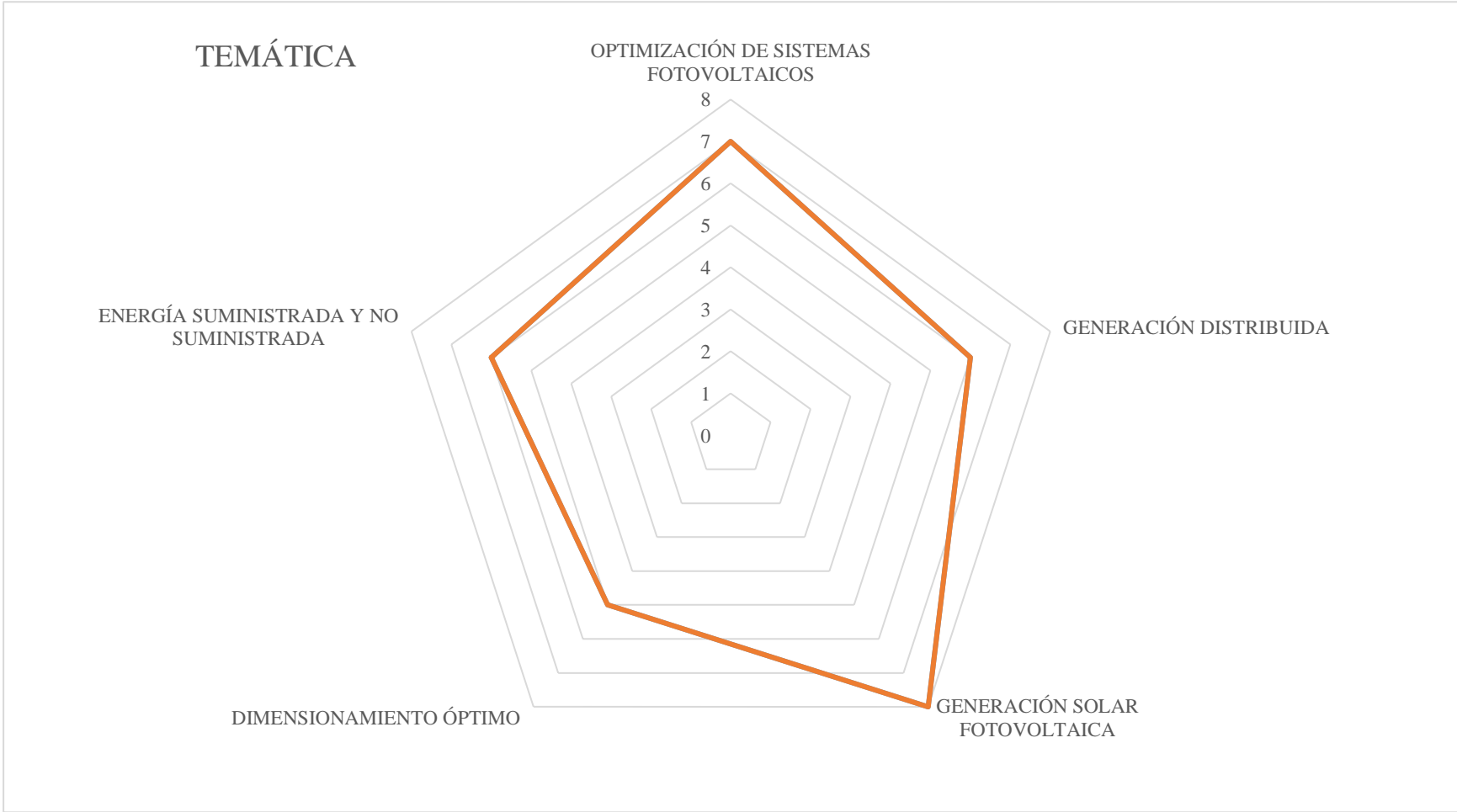


Figura 10. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

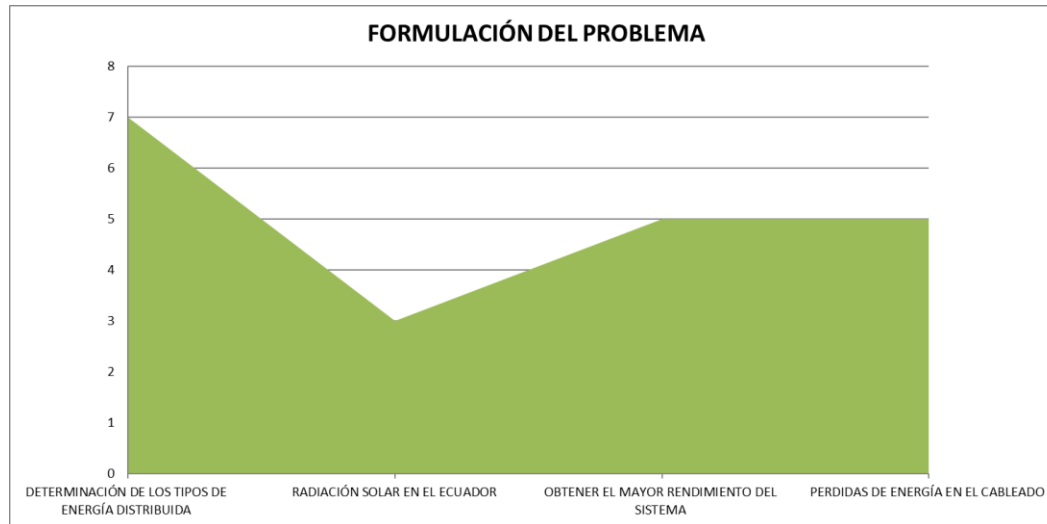


Figura 11. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

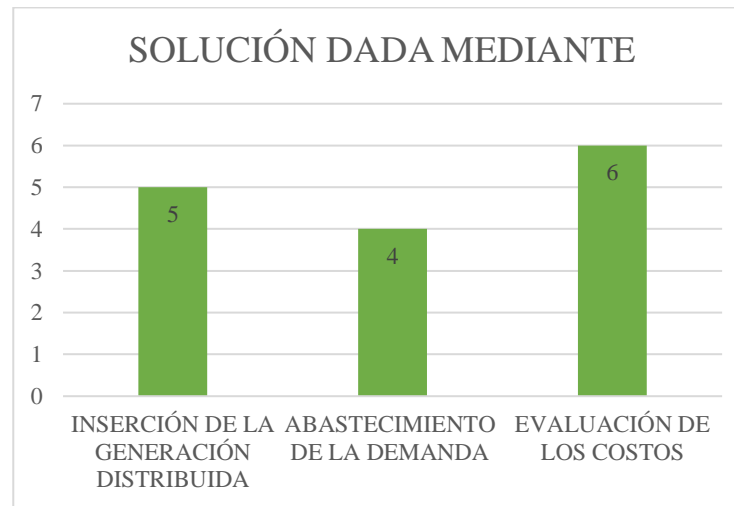


Figura 12. Indicador de solución - Estado del arte.

7 Anexos



Figura 13. Recuperación de la inversión en el año 1. [Homer Pro]

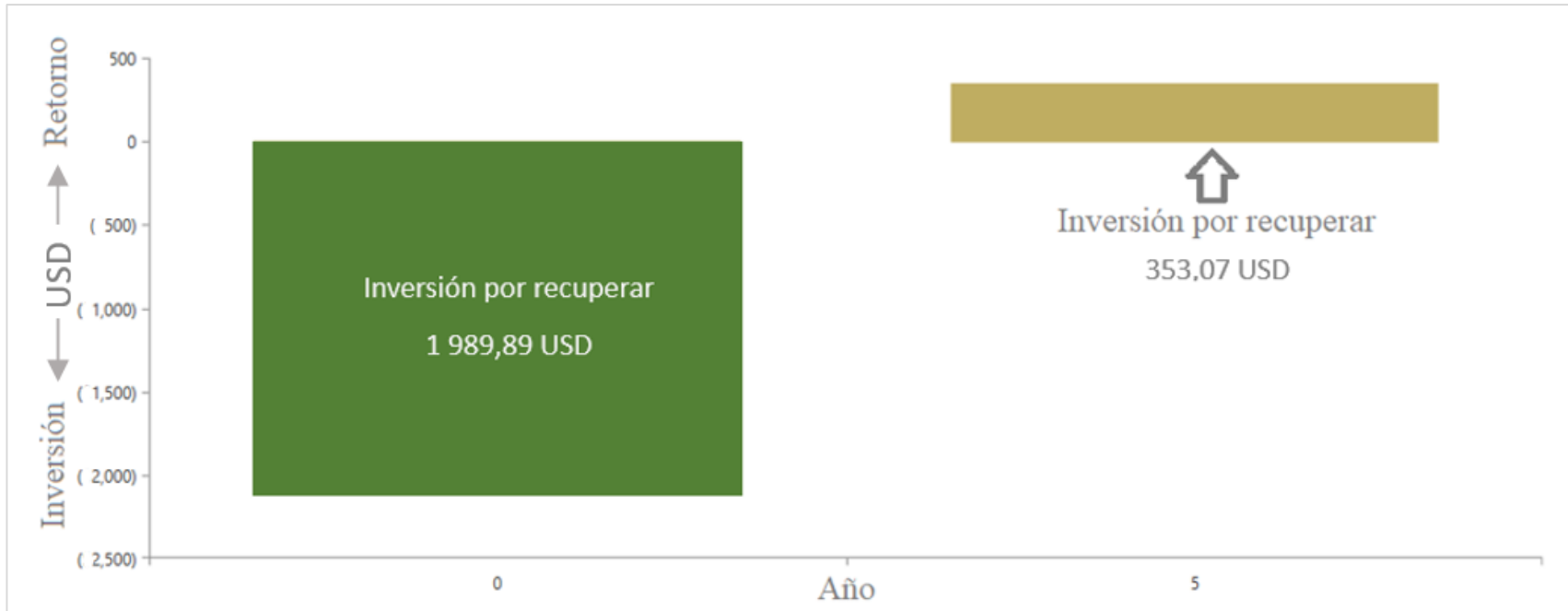


Figura 14. Recuperación de la inversión en el año 5. [Homer Pro]



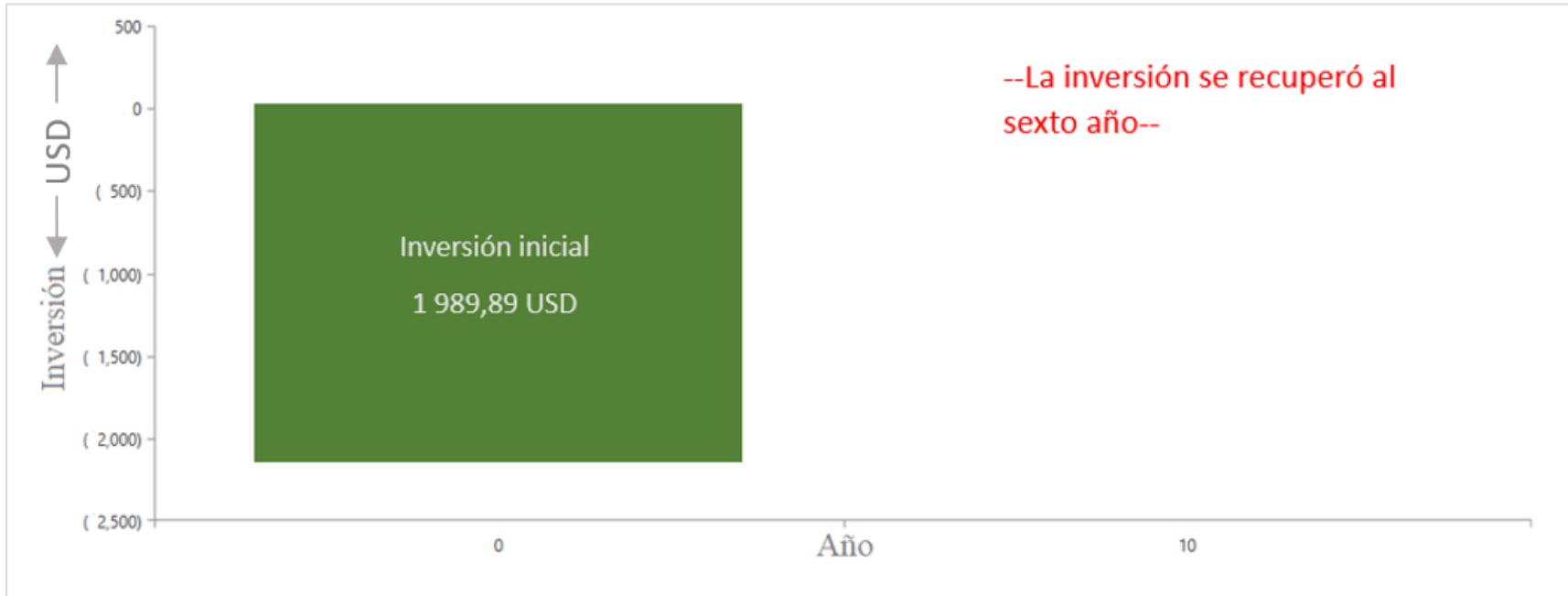


Figura 15. Recuperación de la inversión en el año 10. [Homer Pro]

Vigilancia e iluminación de la Residencia Colina de la Cruz								
ELEMENTO	CANTIDAD	PISO	POTENCIA (W) UNIDAD	HORAS / DÍA	FACTOR DE SIMULTANEIDAD	CONSUMO / DÍA (Wh/Día)	DEMANDA (Watts)	
FOCO LED	9	SUBSUELO	12	2	60%	129,6	64,8	
FOCO LED	20	PLANTA BAJA	12	2	60%	288	144	
TV	2	PLANTA BAJA	100	1	50%	100	100	
ROUTER	1	PLANTA BAJA	10	24	100%	240	10	
CARGADOR CELULAR	2	PLANTA BAJA	10	2	100%	40	20	
FOCO LED	20	PLANTA ALTA	12	2	60%	288	144	
TV	2	PLANTA ALTA	100	2	50%	200	100	
CARGADOR CELULAR	2	PLANTA ALTA	100	2	100%	400	200	
KIT CAMARAS	1	PLANTA ALTA	40	24	100%	960	40	
FOCO LED	5	TERRAZA	12	2	60%	72	36	
<b>TOTAL</b>						<b>2717,6</b>	<b>858,8</b>	<b>Wh/día</b>
						<b>2,7</b>	<b>0,8</b>	<b>KWh/día</b>

DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO			
<b>1.- DEMANDA</b>		Hora solar pico	Datos del panel
Demanda	2717,6	4,2	Potencia del panel 405 Wh
Factor de protección	20%		Voltaje circuito abierto (Voc) 50,1 V
Consumo Total	3261,12		Corriente de corto circuito (Isc) 10,48 A
<b>2.- Voltaje nominal del sistema</b>		<b>Datos de batería (Plomo)</b>	
1 a 2000	12 V	NO	Profundidad de descarga 0,5 %
2001 a 4001	24 V	SI	Capacidad de la batería 155 Amperio hora
4001 Wh en adelante	48 V	NO	Voltaje de la batería 12 V
<b>3.- Calculo de paneles</b>		<b>Dias de autonomia para el autoconsumo</b>	
Potencia Fotovoltaica	776,46	Dias	1
Numero de modulos	1,92		
<b>4.- Calculo de Controlador</b>		<b>Datos del controlador</b>	
		Voltaje maximo	145 V
Voltaje	100,2	Corriente nominal	35 A
Corriente	10,48		
<b>5.- Calculo de baterias</b>			
Amperios hora / día	146,11		
Baterias en paralelo	1,89		2 Baterias en paralelo
Baterias en serie			2 Baterias en serie

Figura 16. Cálculos del dimensionamiento en Excel. [Autor]

PANELES SOLARES A REGULADOR		
Paso 1.- Longitud	5	metros
Paso 2.- Caída de tensión 1%	0,24 V	
Paso 3.- Corriente Maxima	19,3 A	
Paso 4.- Sección del cable	14,4 mm <sup>2</sup>	
Paso 5.- Sección comercial	21,2 mm <sup>2</sup>	
	<b>4 AWG</b>	
	<b>60 A</b>	
Paso 6.- Protección	23,16 A (I <sub>max</sub> )	
	<b><math>1,2 \cdot I_{max} &lt; I_{fusible} &lt; I_{regulador} &lt; I_{cable}</math></b>	
Fusible a utilizar	25 A	
REGULADOR A BATERIA		
Paso 1.- Longitud	2	metros
Paso 2.- Caída de tensión 1%	0,12 V	
Paso 3.- Corriente Maxima	19,3 A	
Paso 4.- Sección del cable	11,5 mm <sup>2</sup>	
Paso 5.- Sección comercial	13,3 mm <sup>2</sup>	
	<b>6 AWG</b>	
	<b>38 A</b>	
Paso 6.- Protección	23,16 A (I <sub>max</sub> )	
	<b><math>1,2 \cdot I_{max} &lt; I_{fusible} &lt; I_{regulador} &lt; I_{cable}</math></b>	
Fusible a utilizar	25 A	
BATERIA A INVERSOR		
Paso 1.- Longitud	2	metros
Paso 2.- Caída de tensión 1%	0,24 V	
Paso 3.- Corriente Maxima	125 A	
	<b>Corriente de diseño</b>	<b>136 A</b>
Paso 4.- Sección del cable	37,2 mm <sup>2</sup>	
Paso 5.- Sección comercial	53,48 mm <sup>2</sup>	
	<b>0 AWG</b>	
	<b>150 A</b>	
Paso 6.- Protección	150 A	
	<b><math>I_{diseño} &lt; I_{fusible} &lt; I_{cable}</math></b>	

Figura 17. Cálculos de protecciones y cableado [Autor].