



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUA A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN SISTEMAS DE ENERGÍA MENCIÓN EN
ENERGÍAS RENOVABLES”**

Presentada por:

CRISTHIAN ANDRÉS TERÁN CORREA

**Guayaquil - Ecuador
2024**

Resumen

El proyecto tiene como objetivo diseñar una pérgola solar de 3 kW que se integrará al sistema fotovoltaico preexistente en una residencia, con el fin de alcanzar el estado NET ZERO. La pérgola se situará estratégicamente en el frente de la casa para aprovechar al máximo la radiación solar disponible. Sin embargo, se enfatiza que el proyecto se centrará únicamente en la planificación y diseño de la estructura, dejando la construcción física y la implementación para una etapa posterior. Esta delimitación se basa en la necesidad de asegurar la finalización del proyecto dentro de los plazos establecidos, dada la complejidad de la fase de implementación.

La metodología propuesta para el proyecto se divide en varios pasos clave. Inicialmente, se estima el factor solar promedio utilizando datos históricos. Luego, se determina el consumo energético mensual promedio de la vivienda, teniendo en cuenta tanto la energía de la red como la generada por el sistema fotovoltaico de 5 kW ya instalado. Con estos valores, se calcula el tamaño necesario para el nuevo sistema fotovoltaico que permita alcanzar el NET ZERO. El análisis de horas solares pico (o kWh/m²) históricas y el cálculo del consumo neto de energía son partes esenciales de la metodología. Los resultados revelan que se requiere una instalación adicional de 2.5 kW junto con el sistema de 5 kW existente para lograr un balance neto cero.

En resumen, este proyecto se enfoca en el diseño y dimensionamiento de una pérgola solar que complemente un sistema fotovoltaico existente con el objetivo de alcanzar un estado NET ZERO. La delimitación del proyecto se centra en la fase de planificación y diseño, postergando la construcción física. La metodología se basa en estimar el factor solar promedio, calcular el consumo neto de energía y determinar el tamaño necesario del nuevo sistema fotovoltaico. Los resultados indican que se necesita una instalación adicional de 2.5 kW para alcanzar el NET ZERO y reducir al mínimo la dependencia de la red eléctrica convencional.

Palabras claves: Net Zero, Electromovilidad, sistemas fotovoltaicos, sostenibilidad.

Abstract

The project aims to design a 3 kW solar pergola that will integrate with the existing photovoltaic system in a residence, with the goal of achieving a NET ZERO state. The pergola will be strategically located at the front of the house to maximize available solar radiation. However, it is emphasized that the project will focus solely on the planning and design of the structure, leaving the physical construction and implementation for a later stage. This delimitation is based on the need to ensure the project's completion within established timelines, given the complexity of the implementation phase.

The proposed methodology for the project is divided into several key steps. Initially, the average solar factor is estimated using historical data. Then, the average monthly energy consumption of the home is determined, taking into account both grid energy and energy generated by the existing 5 kW photovoltaic system. With these values, the required size for the new photovoltaic system needed to achieve NET ZERO is calculated. Historical solar hours analysis and net energy consumption calculations are essential parts of the methodology. The results reveal that an additional 2.5 kW installation, in addition to the existing 5 kW system, is required to achieve NET ZERO and minimize reliance on the conventional electrical grid.

In summary, this project focuses on the design and sizing of a solar pergola that complements an existing photovoltaic system with the aim of achieving a NET ZERO state. The project's delimitation centers on the planning and design phase, deferring physical construction. The methodology is based on estimating the average solar factor, calculating net energy consumption, and determining the required size of the new photovoltaic system. The results indicate that an additional 2.5 kW installation is needed to reach NET ZERO and minimize reliance on the conventional electrical grid.

Keywords: Net Zero Buildings, electromobility, photovoltaics, sustainability.

DEDICATORIA

"Esta tesis está dedicada a la motivación que emana de nuestra familia, amigos, colegas y todos aquellos que han sido una fuente inagotable de apoyo y especialmente, inspiración en nuestras vidas. A través de cada desafío, cada logro y cada momento de crecimiento, el amor y la bondad de quienes nos rodean han sido la chispa que ilumina nuestro camino. Esta dedicatoria es un tributo a la red de afecto y apoyo que nos sostiene, nutre nuestra pasión y nos impulsa a alcanzar la excelencia en cada tarea que emprendemos. Agradezco profundamente a todos aquellos que han compartido su vida conmigo y que continúan siendo mi fuente de inspiración."

AGRADECIMIENTO

“Doy gracias a mi madre, ejemplo de esfuerzo, energía inagotable y valentía; a mi padre por ser la figura intelectual que me ha motivado; ambos, ejemplos de honestidad y fe en el correcto proceder. A mis hermanos, por enseñarme a que rendirse no es una opción. A mi formación dentro de la comunidad salesiana, por afianzar los valores cristianos que me acompañarán de por vida; a mi profesor de Termodinámica, Gustavo Salamea, por abrirme las puertas a un conocimiento que me ha llevado por un camino profesional maravilloso de realización. Un agradecimiento muy especial a mi esposa, que fue quién creyó en mi futuro y lo apostó todo por mí; a quien, desde mi adolescencia, me motivó sin saberlo, a ser mejor cada día y querer ser tan bueno como ella. A mis hijos, por ser el combustible del caldero que impulsa esta máquina y por ser el espejo en el que me miro. Quiero agradecer también, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por la oportunidad de estudiar esta maravillosa especialidad y por los excelentes académicos, con quienes he tenido el privilegio de compartir los espacios de aprendizaje”

Declaración Expresa

Yo Cristhian A. Terán C. acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, abril del 2024.

Cristhian A. Terán C.

Evaluadores

PhD. Juan Peralta Jaramillo

Profesor de Materia

PhD. Ian Mateo Sosa Tinoco

Tutor de proyecto

ABREVIATURAS O SIGLAS

ARCERNNR	(Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables)
CELEC EP	(CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR CELEC EP)
CNEE	(Comité Nacional de Eficiencia Energética)
ECV	(Energía solar consumida por la vivienda)
EER	(Energía solar entregada a la red)
ETP	(Energía total producida)
GEI	(Gases de Efecto Invernadero)
HS	(Horas solares promedio en kWh/m ²)
INOCAR	(INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DEL ECUADOR)
NZEB	(Edificios de Energía Net Zero)
PEp	(Potencia de instalación fotovoltaica)

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	II
Abstract.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	VI
ABREVIATURAS O SIGLAS	VII
TABLA DE CONTENIDO	VIII
LISTADO DE FIGURAS	IX
LISTADO DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción del problema.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Hipótesis	5
1.5. Alcance	6
1.6. Plan de trabajo.....	6
CAPÍTULO 2	7
ESTADO DEL ARTE	7
2.1 Edificios Net Zero a nivel mundial.....	7
2.2 Edificios Net Zero en Ecuador	8
2.3 Evaluación de Demanda para llegar a Net Zero	8
1.7. CAPÍTULO 3.....	13
2. METODOLOGÍA.....	13
1.8. CAPÍTULO 4	20
3. RESULTADOS	20
3.1. Resultados Técnicos.....	20
3.2. Resultados Económicos.....	24
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5. Referencias	1
6. Apéndices y anexos.....	1

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1 Curva de producción (3kW) contra demanda mensual, desde mayo del 2021 hasta agosto del 2022	2
Fig. 2 . Horas solares pico (o kWh/m2) mensuales.....	3
Fig. 3 Diagrama esquemático, planos o croquis de la instalación fotovoltaica On Grid (3kW)	3
Fig. 4 Fotos de la instalación del sistema fotovoltaico de 3kW.....	4
Fig. 5 Vista de la instalación fotovoltaica On Grid (5kW), montada desde el 01 de agosto del 2022.....	4
Fig. 6 Resumen de las posibles opciones de suministro renovable (A.J. Marszal, 2010).....	10
Fig. 7 Demanda/producción de energía en edificios unifamiliares en Noruega (2010) (Fernández, 2013).....	11
Fig. 8 Curva de producción (5kW) contra demanda mensual y horas solares pico (o kWh/m2) desde el 01 de agosto del 2022 hasta la actualidad.	13
Fig. 9 Horas solares desde el mayo del 2021 hasta la actualidad.....	15
Fig. 10 Cálculo de horas solares (kWh/m2) promedio en períodos de doce meses.	15
Fig. 11 Diagrama de flujo del proceso	20
Fig. 12 Posicionamiento de los paneles usando el diseño 3D en PVSYST 7.4.....	21
Fig. 13 Dimensionamiento y diagrama unifilar del sistema simulado en PVSYST 7.4	21
Fig. 14 Diagrama de sombreado del proyecto simulado en PVSYST 7.4	22
Fig. 15 Resultados de la simulación con el sistema PVSYST 7.4	22

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Plan de trabajo	6
Tabla 2 Tabla de precios según el nivel de consumo del usuario. (ARCERNNR, 2022)	12
Tabla 3 Cálculo de flujo y balance de energía del sistema fotovoltaico de 5kW	13
Tabla 4 Cálculo del consumo y rendimiento del vehículo eléctrico y estimación de ahorros.....	14
Tabla 5 Cálculo de horas solares (kWh/m ²) anuales promedio, mes a mes	16
Tabla 6 Cálculo del valor total de energía consumida por la vivienda (kWh).....	17
Tabla 7 Comparación de resultados: Rendimiento según PVSYST y según nuestros cálculos en esta Tesis	23
Tabla 8 Comparación de resultados: Rendimiento según PVSYST y según nuestros cálculos en esta Tesis	23
Tabla 9 Cálculo de amortización del proyecto	24

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Las energías renovables en Ecuador han experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, en gran parte impulsado por la preocupación por la sostenibilidad ambiental y la diversificación de la matriz energética del país. A continuación, se detalla el contexto ecuatoriano de las energías renovables. (CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR CELEC EP, 2019):

Hidroeléctricas: Ecuador es conocido por su abundancia de recursos hídricos debido a su ubicación geográfica en la región amazónica y los Andes. Esto ha permitido que las centrales hidroeléctricas sean la principal fuente de energía renovable en el país. Grandes proyectos como la Central Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair y la Central Hidroeléctrica Sopladora han contribuido significativamente a la generación de energía limpia.

Geotérmicas: Ecuador también posee un gran potencial geotérmico debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico. El campo geotérmico de Chachimbiro es parte de los nuevos proyectos que se encuentran priorizados por el Gobierno Nacional dentro de la política de expansión del sector eléctrico a largo plazo y es uno de los proyectos más destacados en este sentido, y que busca cubrir la demanda de energía de los ecuatorianos en el futuro

Energía solar: La energía solar está ganando terreno en Ecuador, especialmente en aplicaciones descentralizadas y proyectos a pequeña escala, como sistemas solares fotovoltaicos para viviendas y empresas. El país cuenta con una irradiación solar favorable, especialmente en la región costera.

Energía eólica: Aunque el potencial eólico en Ecuador no es tan alto como en otros países, se han implementado algunos parques eólicos en la región costera, como el Parque Eólico Villonaco, que contribuyen a la generación de energía limpia.

El gobierno ecuatoriano ha promovido (ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR, 2018) la inversión en energías renovables a través de incentivos fiscales y programas de financiamiento. Además, se han establecido metas ambiciosas para aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética nacional, con el objetivo de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar del crecimiento en el sector de las energías renovables, Ecuador enfrenta desafíos como la necesidad de modernizar la infraestructura eléctrica, mejorar la eficiencia energética y abordar cuestiones relacionadas con la intermitencia de algunas fuentes renovables, como la solar y la eólica.

En resumen, Ecuador ha avanzado en la adopción de energías renovables, aprovechando sus recursos naturales y estableciendo políticas para fomentar su desarrollo. Sin embargo, el país todavía enfrenta retos para lograr una transición energética más completa y sostenible.

Legislación

En Ecuador, la “Ley Orgánica de Eficiencia Energética” (Año II - Nº 449), promulgada en marzo de 2019, establece un marco legal para regular y fomentar la eficiencia energética en todos los sectores económicos. Destaca la creación del Comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE) y clasifica a los consumidores en categorías según su consumo. La ley ofrece incentivos para acciones de eficiencia energética, promueve la investigación y desarrollo, y establece un mecanismo financiero (GOBIERNO DEL ECUADOR, 2019).

La Ley Orgánica Del Servicio Público De Energía Eléctrica, promulgada en enero de 2015, busca fomentar la generación de energía a partir de fuentes limpias. Establece un marco legal para proyectos de energías renovables, define incentivos para inversión y producción, promueve la generación distribuida y obliga a destinar un porcentaje de la producción a fuentes renovables. Facilita permisos y concesiones, impulsa la investigación y desarrollo, y establece un programa de certificación de energía renovable (ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR, 2018).

Ambas leyes buscan impulsar la eficiencia energética y la generación de energía renovable en Ecuador, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al uso responsable de los recursos energéticos.

Concretamente, la Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021 de la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-001/2021 del ARCERNNR (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables) en su Capítulo VI “BALANCE DE ENERGÍA, MEDICIÓN Y FACTURACIÓN” establecen los mecanismos de reconocimiento del crédito energético para los usuarios de la red, en caso de que su sistema de generación eléctrica para autoabastecimiento tuviese un excedente de energía que se haya inyectado a la red. (ARCERNNR-AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2021)

Situación histórica del Proyecto Fotovoltaico en la Residencia

Inicialmente, en el año 2021, la primera vez que se instaló en la residencia un sistema fotovoltaico (Fig 1 y 2); en lugar de los paneles actuales, se trató de 10 paneles de 300W cada uno. Juntos, sumaban 3kW de potencia total, dado que se había proyectado el consumo promedio hasta ese momento en 300~360 kWh por mes, dado que se estimó un factor de horas solares pico (o kWh/m²) de 4; pero una vez que se puso en funcionamiento el sistema, sucedieron dos cosas inesperadas. A pesar de que el inversor estaba lejos de su potencia máxima, los paneles no llegaron a entregar más de un 85% de los 3kW instalados, es decir, 2.4kW de potencia pico; derivando en una producción mensual promedio de 227kWh. Además, no se contempló el “Efecto Jevons” o “Efecto rebote” que consiste en el aumento de la demanda una vez que se mejora un servicio; que significó que el consumo energético del hogar se incrementó hasta un promedio mensual de 555kWh al mes, al tener conocimiento de la energía “gratuita” recientemente instalada; situación que dejó lejos del NET ZERO al proyecto fotovoltaico.



Fig. 1 Curva de producción (3kW) contra demanda mensual, desde mayo del 2021 hasta agosto del 2022.

Esta experiencia, además de servirnos para comparar la producción versus la demanda del domicilio, nos sirvió también para estimar el factor de horas solares pico (o kWh/m²) del sitio, mismo que varió mensualmente, dándonos data muy

importante para determinar un factor solar promedio de 3,05 para futuros proyectos:

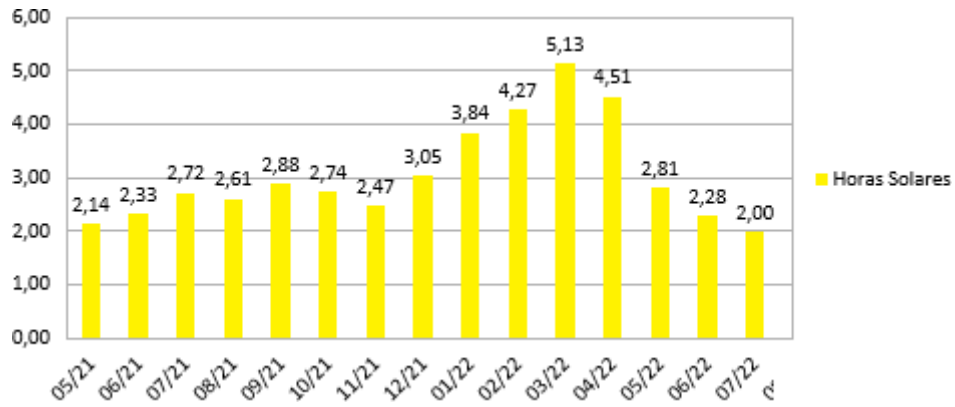


Fig. 2 . Horas solares pico (o kWh/m2) mensuales.

Con este factor solar y dado que, en la figura 1 se ve claramente que la demanda se encuentra muy por encima de la producción con 3kW de potencia y en ningún caso es menor, se espera que al completar los 5kW de capacidad máxima del inversor, la energía generada mensualmente llegue a 450kWh, producción que nos acercaría al NET ZERO.

En agosto del 2022, los 10 paneles de 300 W fueron reemplazados por 14 paneles de 455 W cada uno, dando un total de 6370 W y dado que la capacidad máxima del inversor lo permite, se instalaron sin ningún problema; siendo esta configuración, la que se encuentra operativa hasta la actualidad.

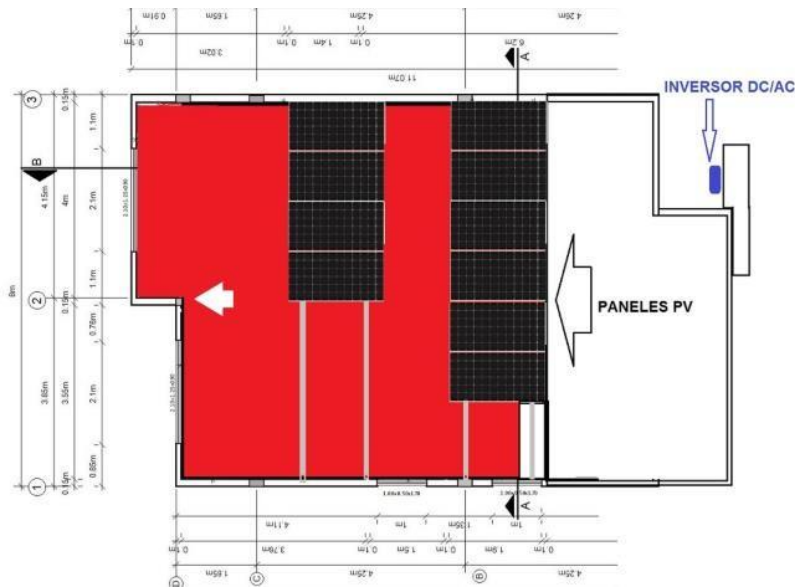


Fig. 3 Diagrama esquemático, planos o croquis de la instalación fotovoltaica On Grid (3kW)

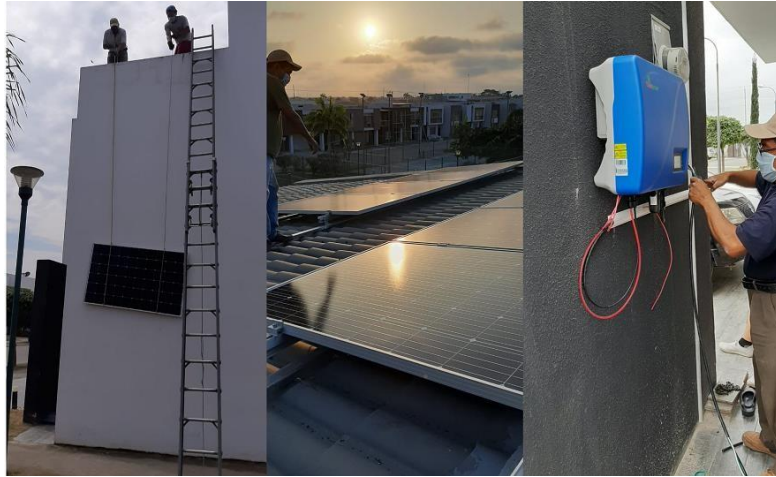


Fig. 4 Fotos de la instalación del sistema fotovoltaico de 3kW

1.2. Descripción del problema

Situación Actual del Proyecto Fovoltavico en la Residencia, previo al NET ZERO.

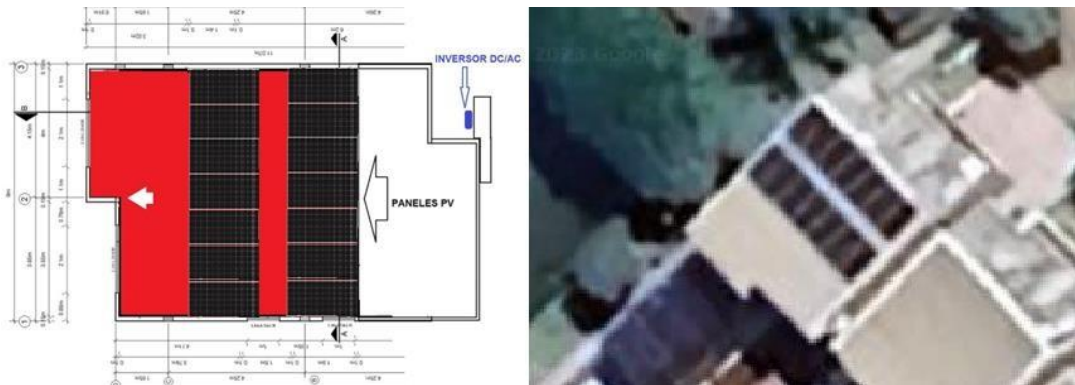


Fig. 5 Vista de la instalación fotovoltaica On Grid (5kW), montada desde el 01 de agosto del 2022.

Ubicada en la Ciudad de Machala, se encuentra la residencia de una familia promedio de 5 personas (tres adultos y dos niños); en dónde se encuentra instalado un sistema fotovoltaico de 5kW, compuesto por:

- 14 paneles solares de 455W modelo JAM72S20-455MR (Se anexan especificaciones).
- 1 Inversor On Grid, de 5kW modelo S5000TL (Se anexan especificaciones).

Una vez que el sistema de 5kW lleva en operación desde el 01 de agosto del 2022, se tiene información recolectada de algo más de 1 año; lo que, sumado a la información del año anterior, cuando operaba aun el sistema de 3kW, nos da un panorama más amplio y comparable respecto al factor de horas solares pico (o kWh/m²), así como la relación de producción de energía solar contra demanda del domicilio.

A pesar de este incremento de potencia del sistema fotovoltaico, se evidenció en el mes de diciembre del 2022, un incremento en la demanda del domicilio que superó la producción de energía solar del sistema, incurriendo en la facturación del mes de febrero del 2023, mes en el que el crédito energético acumulado se terminó.

En el mes de junio del 2023, el domicilio reemplazó la movilidad a base de combustible fósil (Vehículo con motor de combustión a gasolina de 1800 cm³) por un vehículo eléctrico, situación que incrementó el consumo eléctrico del domicilio, en aproximadamente un 22% en promedio, respecto al consumo total.

En síntesis, frente a un escenario atípico debido al Fenómeno del Niño; la demanda promedio del sitio ha subido, llegando a sobrepasar en ciertos meses de invierno, los 1000kWh. Sumado a esto, desde el mes de junio se incluyó en la demanda, la carga de un vehículo eléctrico, misma que representa hasta ahora un 22% de la demanda total.

Este escenario hace necesario que se replantee el balance de generación contra demanda, para lo cual, se propone desarrollar la Optimización de la Potencia Instalada en un Sistema Residencial Fotovoltaico en orden de Alcanzar el Equilibrio Neto de Emisiones (Net Zero). Esto nos dará como resultado que, al término de un año, la demanda de la residencia sumada a la del vehículo eléctrico, sea igual a la energía producida por el sistema fotovoltaico en el mismo período.

Con esta optimización, se pretende reemplazar al consumo de energía de la red pública que tiene una componente de origen fósil y el consumo de combustible fósil en el vehículo; evitando de esta manera la emisión de una cantidad considerable de CO₂ al medio ambiente y convirtiendo la residencia en un sistema Sostenible.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar la capacidad y equipos adicionales que nos permita optimizar la potencia instalada en un sistema residencial fotovoltaico para alcanzar el Equilibrio Neto de Emisiones (Net Zero).

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el déficit energético anual de la residencia, bajo las condiciones actuales de operación del Sistema.
- Estimar el factor solar histórico del sitio a partir de los datos recolectados por el Sistema fotovoltaico actualmente instalado en la residencia.
- Dimensionar y escoger los equipos adicionales a ser instalados en la residencia, que cubran el déficit estimado en este acápite.
- Estimar los resultados técnicos, económicos y ambientales del Proyecto.

1.4. Hipótesis

Dada la creciente demanda energética en el contexto actual, influenciada por factores como el Fenómeno del Niño y la incorporación de un vehículo eléctrico, se propone que, mediante la Optimización de la Potencia Instalada en un Sistema Residencial Fotovoltaico, es posible lograr un Equilibrio Neto de Emisiones (Net Zero) en una residencia. Nuestra hipótesis plantea que, al realizar esta optimización, al finalizar un año, la demanda combinada de la residencia y el vehículo eléctrico será igual a la energía producida por el sistema fotovoltaico en el mismo período. Se espera que esta estrategia contribuya significativamente a reducir las emisiones de CO₂ al medio ambiente, convirtiendo la residencia en un sistema sostenible y eficiente desde el punto de vista energético.

1.5. Alcance

El alcance de esta tesis se centra en el diseño, implementación y evaluación de la Optimización de la Potencia Instalada en un Sistema Residencial Fotovoltaico, con el objetivo de alcanzar un Equilibrio Neto de Emisiones (Net Zero) en una residencia afectada por un escenario atípico debido al Fenómeno del Niño y la incorporación de un vehículo eléctrico. La investigación abordará aspectos técnicos, económicos y ambientales, considerando la variabilidad de la demanda energética a lo largo del año, así como la eficiencia del sistema fotovoltaico en la generación de energía.

Se analizarán los datos históricos de demanda, la capacidad de generación del sistema fotovoltaico y la carga asociada al vehículo eléctrico. Además, se evaluará el impacto ambiental, específicamente la reducción de emisiones de CO₂, al reemplazar el consumo de energía proveniente de la red pública y el uso de combustible fósil en el vehículo. El estudio también abordará consideraciones prácticas y económicas relacionadas con la implementación de tecnologías sostenibles en entornos residenciales.

El alcance de la tesis se extenderá a la propuesta de recomendaciones prácticas y viables para la aplicación de sistemas fotovoltaicos optimizados en situaciones similares, con el fin de fomentar la adopción de soluciones sostenibles en la generación y consumo de energía en entornos residenciales.

1.6. Plan de trabajo

Dado que la mayoría de los datos desde mayo del 2021 hasta la actualidad, se encuentran ya recopilados, a continuación, presento el cronograma estimado para la conclusión de este proyecto:

Tabla 1 Plan de trabajo

Objetivo específico	Actividad	Mes	Agosto 2023					Septiembre 2023				Enero 2024				
		Semana	31	32	33	34	35	36	37	38	39	01	02	03	04	05
0	Aprobación del anteproyecto		x	x												
1	Determinar el déficit energético anual de la residencia, bajo las condiciones actuales de operación del Sistema.				x	x	x									
2	Estimar el factor solar histórico del sitio a partir de los datos recolectados por el Sistema fotovoltaico actualmente instalado en la residencia.							x								
3	Dimensionar y escoger los equipos adicionales a ser instalados en la residencia, que cubran el déficit estimado en este acápite.								x	x	x	x				
4	Estimar los resultados técnicos, económicos y ambientales del Proyecto.												x	x	x	x

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Edificios Net Zero a nivel mundial

Los edificios son consumidores significativos de energía primaria en el sector energético mundial, representando aproximadamente el 40% del consumo total de energía. La falta de fuentes tradicionales de energía está impulsando el desarrollo de Edificios de Energía Net Zero (NZEB). La definición general de construcción de energía net zero es crucial para comprender este concepto.

Dado que los edificios contribuyen de manera considerable a las emisiones totales de energía y carbono en el mundo, desempeñan un papel crucial en la formulación de estrategias para un crecimiento sostenible.

Aunque es difícil identificar el primer NZEB, se observa un interés creciente desde las publicaciones de la década de 1970 y 1980. Entre 2014 y 2035, se espera un aumento significativo en el mercado global de bienes y servicios relacionados con la construcción y renovación de NZEB, alcanzando más de \$1.4 billones el año 2021. (Rajan Kumar Jaysawal, 2022)

Los Edificios de Energía Cero son entornos dinámicos que responden a las cambiantes necesidades y estilos de vida de sus ocupantes. Se puede lograr un “Edificio de Energía Cero” mediante el uso de tecnología inteligente, y este tipo de edificación proporcionará un retorno tangible y significativo de la inversión. Con la convergencia de la urbanización, la globalización y una economía en constante cambio y expansión, la aplicación de estos conceptos de edificación energética contribuirá tanto a nivel mundial... a satisfacer la escasez de recursos valiosos y prevenir la degradación del medio ambiente. Así, los Edificios de Energía Cero ofrecen un retorno significativo de la inversión para contratistas, arquitectos y propietarios de edificios (Ms. Bhavana Kushwah, 2023).

Un excelente ejemplo de éxito de un caso de Edificaciones Net Zero, es el de la escuela Richardsville Elementary School, la cual es conocida por ser la primera escuela en América en alcanzar el estatus de “Net Zero Energy,” lo que significa que genera la misma cantidad de energía que consume, principalmente a través de fuentes de energía renovable.

Richardsville es una escuela certificada como Net Zero Energy. Este edificio de \$12.6 millones y 77,466 ft² fue diseñado para 550 estudiantes de primaria. Utiliza un sistema fotovoltaico solar de 348 kW con paneles solares.

La implementación efectiva de estrategias de generación de energía, ahorro de energía y evitación de costos en Richardsville, ha llevado a ahorros significativos, programas exitosos y una integración curricular exitosa. Se estimaron ahorros anuales de electricidad en \$182,500 durante el año (2012), realizó un pago total de \$37,227.31.

El diseño interior del edificio sirve como herramienta educativa, y el plan de estudios se centra en prácticas energéticas como la geotermia, la energía solar, la conservación del agua y el reciclaje. (Iyiegbuniwe, 2014).

De acuerdo a (Rojas Barrios & Conejeros Hernandez, 2023) existen varios proyectos de Edificios Net Zero a nivel de Latinoamérica y el Caribe

- Viña Concha y Toro (Chile)
- Grupo Bimbo SAB de CV (Mexico)
- Bancolombia (Colombia)
- Karün (Chile)
- La Pulpería Quilapán (Argentina)
- Connect DMC (República Dominicana)

2.2 Edificios Net Zero en Ecuador

La presencia casi nula de casos registrados de edificaciones Net Zero podría indicar una oportunidad significativa para el país en términos de desarrollo sostenible y adopción de prácticas amigables con el medio ambiente. La falta de información específica sobre este tipo de edificaciones podría deberse a diversos factores, como la novedad del concepto en la región, la falta de incentivos o políticas específicas, o simplemente a una limitada divulgación de proyectos existentes. Esta presencia insuficiente, resalta la necesidad de fomentar la conciencia y la implementación de edificaciones Net Zero en Ecuador, lo que podría contribuir significativamente a los esfuerzos globales para abordar el cambio climático y promover la sostenibilidad ambiental en el sector de la construcción.

Durante nuestra búsqueda, hemos encontrado unos pocos casos de intentos por lograr el Net Zero, como por ejemplo “Revisión sistemática de criterios Net-Zero a considerar para edificios universitarios en Cuenca-Ecuador” (Cabrera Córdova, 2023).

También se encontraron otros casos como el de “Net Zero Energy Building como una estrategia arquitectónica ante el cambio climático en los futuros edificios residenciales de Quito” en donde no se consideró el consumo de combustible fósil de forma indirecta, como la movilidad vehicular (gasolina/diésel) o la cocina (GNL doméstico) (Ordóñez Bueno, 2023).

Del mismo modo, se analizó el caso de un estudio realizado en Ambato “Evaluation and optimization of Energy supply in Near to Zero Energy Buildings on the Ecuadorian Coast” en el cual, no se alcanza específicamente el NET ZERO pero se realiza una evaluación entre distintas formas de generación energética, incluyendo en todos los casos bancos de baterías. (Muñoz-Salcedo, Ortíz-Mata, & Peci-López, 2023).

2.3 Evaluación de Demanda para llegar a Net Zero

NET ZERO es un término que se utiliza para describir la condición en la que las emisiones de gases de efecto invernadero producidas son equilibradas o compensadas por medidas que reducen o eliminan una cantidad equivalente de estas emisiones de la atmósfera. En otras palabras, "net zero" implica alcanzar un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero liberadas y las emisiones retiradas o compensadas. (NACIONES UNIDAS, s.f.)

De este modo, un sistema NET ZERO pudiera ser un Sistema Fotovoltaico Aislado:

Como primer paso para llevar a cabo la evaluación de la carga que debe ser cubierta por el sistema fotovoltaico aislado, es esencial realizar un análisis exhaustivo de las cargas disponibles en la ubicación de instalación. Este análisis debe incluir detalles específicos, como la potencia nominal de cada dispositivo y la duración estimada de su uso diario por parte de cada usuario. También es crucial que el diseñador considere la presencia de consumos denominados "fantasmas", que corresponden a los consumos mínimos que los equipos realizan cuando están apagados o en modo de reposo. Aunque estos consumos suelen ser bastante bajos, no deben ser pasados por alto en los estudios destinados a la implementación de este tipo de red.

Para obtener una comprensión clara del perfil de consumo por parte de los usuarios en áreas rurales aisladas, se pueden emplear diversas estrategias, como la realización de encuestas. Estas encuestas deben incluir información detallada, como la potencia de los equipos, el número de horas de funcionamiento diario y la cantidad de equipos disponibles. Una vez recopilados y tabulados los datos, se pueden procesar de manera que se obtenga la energía consumida por cada equipo. Posteriormente, estos resultados se suman para determinar la energía total requerida. (GAIBOR, 2020)

En el otro escenario, para llegar a una condición NET ZERO en un sistema ON-GRID o sincronizado con la red, es necesario realizar un cálculo de la demanda promedio del sitio y determinar la capacidad fotovoltaica de la zona, con la finalidad de determinar la envergadura del sistema. (Luis Daniel López Fernández, 2022)

En este tipo de sistemas sincronizados, la idea principal es que la generación fotovoltaica que se produce durante las horas de sol, se iguale al consumo del sitio durante todo el día. De esta manera y gracias a la Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021, el excedente de energía generado se acumula gracias a la contabilización de un medidor especial para el efecto y luego este exceso de energía es acumulado contablemente para ser descontado de la energía de la red pública, consumida por el sitio. (ARCERNNR, 2021)

En la siguiente figura, se presentan los diversos niveles existentes en relación con los edificios de energía cero. Para estos edificios, se emplean distintas estrategias en función de la contabilidad del uso de la red y de las fuentes de energías renovables:



Fig. 6 Resumen de las posibles opciones de suministro renovable (A.J. Marszal, 2010)

Energía Cero In Situ: Un edificio Cero "in situ" es aquel que produce al menos la misma cantidad de energía que consume en un año, calculada en el lugar mismo donde se ubica. Esto implica que no se excluyen las generaciones fuera del entorno, simplemente se establecen niveles de suministro.

Energía Cero en Origen: Se refiere a un edificio que genera como máximo la cantidad de energía necesaria para abastecerse durante un año, registrada en el lugar de origen. La "energía en origen" se refiere a la energía primaria utilizada para generar y transportar la energía hasta el consumidor final.

Coste de Energía Cero: Este concepto implica que la cantidad de dinero que la compañía energética paga al dueño del edificio por la energía volcada a la red debe ser al menos igual a la suma que el propietario paga a la empresa energética por la energía consumida y los servicios energéticos a lo largo de un año.

Cero Emisiones: Se refiere a un edificio que, anualmente, genera la misma cantidad de energía proveniente de fuentes renovables que la energía que consume de fuentes de energía fósil. Los edificios con energía cero se evalúan mediante dos indicadores: el balance energético (energía generada - energía consumida), medido en kWh/m² año (ver Ilustración 2), y el porcentaje de energía consumida proveniente de fuentes renovables.

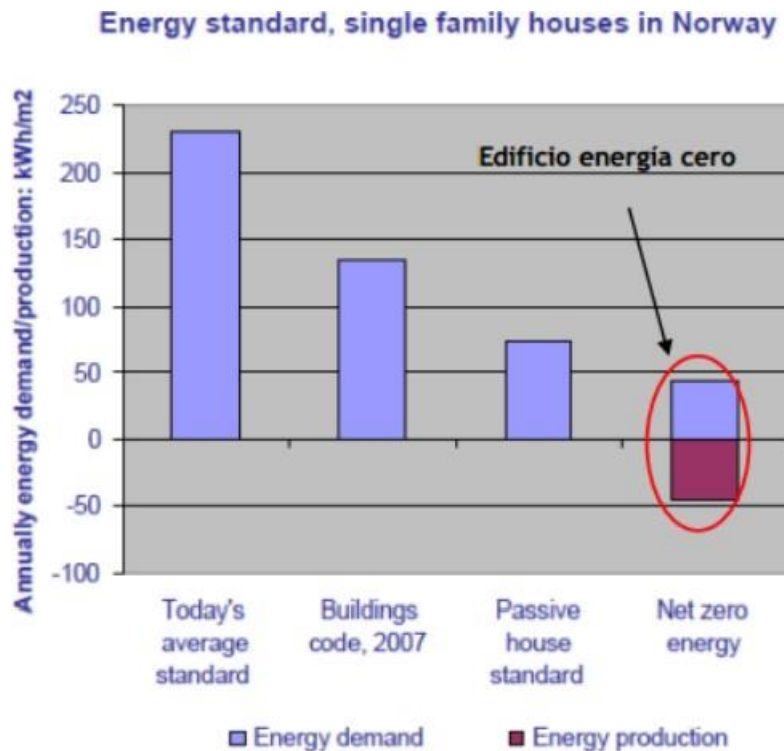


Fig. 7 Demanda/producción de energía en edificios unifamiliares en Noruega (2010) (Fernández, 2013)

Como se ha podido notar, nuestro caso se clasificaría como una estrategia Cero Emisiones, ya que se evaluará el balance energético (energía generada - energía consumida), medido en kWh al año, pudiendo también determinar la cantidad de energía que el domicilio consumió del sistema fotovoltaico, la cantidad de energía fotovoltaica que se entregó a la red y la cantidad de energía que se consumió de la red, a sabiendas de que esta última, para el caso de Ecuador, se compone en más del 72% de energías limpias o renovables, según sea el caso, de las cuales el 97.43% son hidráulicas, 1.8% biomasas, 0.18% fotovoltaicas, 0.38% eólicas y 0.21% Biogás. (MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, 2018)

Costo Beneficio

Al analizar la normativa eléctrica en Ecuador, se puede concluir que no se establece un sistema de compensación económica para los usuarios residenciales por los excedentes de energía generada. En cambio, estos excedentes se acumulan como créditos a favor del consumidor para ser utilizados en meses subsiguientes. En contraste, países sudamericanos como Argentina, Uruguay o naciones europeas que ya han implementado mecanismos y regulaciones, que buscan fomentar la inversión en proyectos fotovoltaicos residenciales, logrando resultados positivos. En este sentido, si Ecuador desea implementar incentivos similares, será necesario ajustar algunas políticas y parámetros para que la instalación de sistemas fotovoltaicos sea económicamente rentable en el ámbito residencial. (ENCALADA, 2022)

Como en el trabajo de Encalada Montero referenciado en el párrafo anterior, el balance costo beneficio y su conveniencia, dependerá del nivel de consumo del usuario, dado que en Ecuador existe una tarifa de consumo diferenciada, según

la magnitud de demanda del domicilio, siendo esta desde bajos consumos (<50kWh/mes) a un precio de 0.0910 usd/kWh, subiendo varios niveles hasta alcanzar el precio de 0.6812 usd/kWh para consumidores que superan los 3500 kWh/mes.

Tabla 2 Tabla de precios según el nivel de consumo del usuario. (ARCERNR, 2022)

CNEL EL ORO - CNEL ESMERALDAS - CNEL GUAYAS LOS RÍOS - CNEL LOS RÍOS - CNEL MANABÍ - CNEL MILAGRO - CNEL SANTA ELENA - CNEL SANTO DOMINGO - CNEL SUCUMBIÓS - GALÁPAGOS

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS JUNIO - NOVIEMBRE				CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS DICIEMBRE - MAYO			
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
RESIDENCIAL				RESIDENCIAL			
BAJO Y MEDIO VOLTAJE				BAJO Y MEDIO VOLTAJE			
NIVEL VOLTAJE				NIVEL VOLTAJE			
1-50		0,091		1-50		0,091	
51-100		0,093		51-100		0,093	
101-150		0,095		101-150		0,095	
151-200		0,097		151-200		0,097	
201-250		0,099		201-250		0,099	
251-300		0,101		251-300		0,101	
301-350		0,103	1,414	301-350		0,103	1,414
351-500		0,105		351-500		0,105	
501-700		0,1285		501-700		0,1050	
701-1000		0,1450		701-1000		0,1109	
1001-1500		0,1709		1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752		1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360		2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812		Superior		0,6812	

A pesar de que la normativa vigente, no considera compensación económica o pagos en efectivo hacia el cliente, respecto a los excedentes generados por el Sistema Fotovoltaico instalado en el domicilio, existen estudios que identifican un beneficio económico y recuperación dentro de los primeros 10 años de la instalación, como por ejemplo en el “Diseño Electrico De Un Sistema Fotovoltaico On Grid Para El Complejo De Concientización Y Cuidado Del Mar, Yubarta” donde se estima un tiempo de retorno de la inversión de 5 años y una tasa de retorno del 5%. (Luis Daniel López Fernández, 2022).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Luego de un año de recolección de información que incluye la energía total producida por el sistema fotovoltaico (medida en el inversor); energía de la red que entra al domicilio a través del medidor bidireccional y energía solar aportada a la red que sale a través del medidor bidireccional (todos en kWh); se pudo realizar los cálculos necesarios para establecer el margen faltante para lograr el NET ZERO.

Tabla 3 Cálculo de flujo y balance de energía del sistema fotovoltaico de 5kW.

Fecha lectura	MEDIDOR						Producción solar mes (kWh)	E. Solar consum (kWh)	Total consum mes (kWh)	% consumo solar	Crédito mensual (kWh)	Crédito acum (kWh)	Comentario	
	Lectura Energ. Acum Act (kWh)	Lectura Energ.		Energ. import act (kWh)	Lectura Energ.									Energ. Export act (kWh)
	Inicio de mes	Fin de mes		Inicio de mes	Fin de mes									
ago 22	6631,26	5317	5562,19	245,16	1314,2	1634,16	319,93	427	107,07	352,23	121,23 %	74,77	74,77	Aumento de paneles. Exceso de producción solar.
sep 22	7196,35	5562,2	5837,46	275,27	1634,2	2027	392,84	476	83,16	358,43	132,80 %	117,57	192,34	Exceso de producción solar. Se suma el crédito acumulado
oct 22	7864,46	5837,5	6072,13	234,67	2027	2276,91	249,91	360,3	110,39	345,06	104,42 %	15,24	207,58	Exceso de producción solar. Se suma el crédito acumulado
nov 22	8349,04	6072,1	6348,77	276,64	2276,9	2626,88	349,97	447,9	97,93	374,57	119,58 %	73,33	280,91	Exceso de producción solar. Se suma el crédito acumulado
dic 22	8975,65	6348,8	6873,97	525,2	2626,9	2994,1	367,22	540,3	173,08	698,28	77,38 %	-158	122,93	Exceso de consumo. Se reduce el crédito acumulado
ene 23	9868,06	6874	7398,01	524,04	2894,1	3452,36	458,26	732,2	273,94	797,98	91,76 %	-65,78	57,15	Exceso de consumo. Se reduce el crédito acumulado
feb 23	10850,37	7398	7951,45	553,44	3452,4	3846,51	394,15	857,6	263,45	816,89	80,50 %	-159,3	-102,14	Exceso de consumo. Se termina el crédito acumulado
mar 23		0	735	735	0	451	451	800,1	349,1	1084,1	73,80 %	-284	-284	Exceso de consumo. Cambio de medidor.
abr 23		735	1462	727	451	853	402	694,76	292,76	1019,8	68,13 %	-325	-325	Exceso de consumo.
may 23		1462	2285	823	853	1234	381	638,6	257,6	1080,6	59,10 %	-442	-442	Exceso de consumo.
jun 23		2285	3006	721	1234	1576	342	537,61	195,61	916,61	58,65 %	-379	-379	Exceso de consumo. Se suma el carro eléctrico
jul 23		3006	3956	949	1576	1863	287	570,5	283,5	1232,5	46,29 %	-662	-662	Exceso de consumo.
ago 23		3956	4700	745	1863	2181	318	571,97	253,97	998,97	57,26 %	-427	-427	Exceso de consumo.
sep 23		4700	4954	254	2181	2287	106	207,4	101,4	355,4	58,36 %	-148	-148	Exceso de consumo.

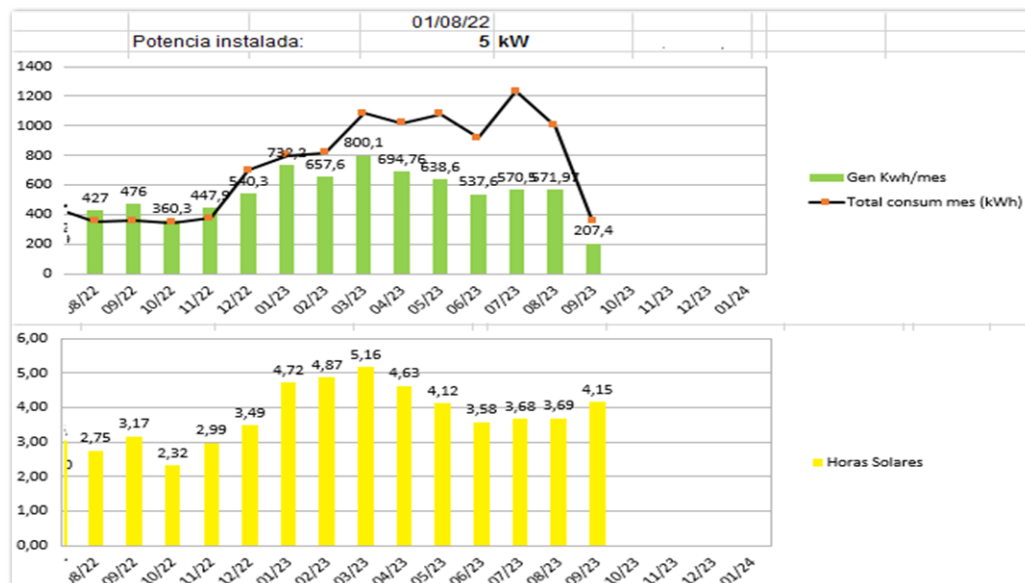


Fig. 8 Curva de producción (5kW) contra demanda mensual y horas solares pico (o kWh/m2) desde el 01 de agosto del 2022 hasta la actualidad.

Como se puede apreciar en la Tabla 2 y Figura 8, los valores mensuales de producción con el sistema de 5Kw, van desde un mínimo de 360 kWh en octubre del 2022, hasta un máximo de 800 kWh en marzo del 2023.

Se pudo ver también que, durante los meses de verano, por fin la capacidad generación eléctrica del sistema fotovoltaico (ahora de 5kW) supera a la demanda del domicilio; por lo que, de acuerdo a la regulación vigente, el exceso de energía que se entregó al Sistema Nacional Interconectado, se acumula como crédito para los siguientes meses. Por este motivo, a pesar de que en los meses de diciembre

2022 y enero 2023 existió déficit, gracias al crédito acumulado, no se generaron valores a pagar.

A pesar del aumento de la producción de energía solar en los meses de invierno, también se puede apreciar que el consumo se disparó; esto debido al calor provocado en estos meses, que derivan en mayor consumo de los aparatos de climatización del domicilio. Se suma a esto por segunda vez el “efecto rebote”. Esta situación se ve reflejada en la columna final de la Tabla 2 “Crédito acumulado” la cual es negativa; lo que indica que ese valor será facturado por la Empresa Eléctrica CNEL.

Entonces, las nuevas condiciones de producción de energía solar con un sistema fotovoltaico de 5kW, nos reflejaron una producción mensual promedio de 573 kWh; mientras que la demanda mensual promedio del domicilio subió a 775 kWh,

Notar que, hecho importante en el historial de demanda del domicilio es que el 01 de junio del 2023, se sumó a su consumo, el cargador de baterías del vehículo eléctrico adquirido por la familia en ese mes. A partir de ese momento, la movilidad del domicilio migró de una fuente de energía fósil (gasolina) a una fuente de energía renovable, dejando de consumir en promedio 35 galones mensuales de combustible. Es por esto, que el presente proyecto, representa realmente una transformación hacia el Equilibrio Neto de Emisiones (Net Zero). Es importante notar que, el consumo del vehículo eléctrico representó durante el período evaluado, cerca del 22% del consumo total de la vivienda.

Tabla 4 Cálculo del consumo y rendimiento del vehículo eléctrico y estimación de ahorros.

													Rendimiento gasolina	11 l/100km		
													Rendimiento Elec-promed	20,08 kWh/100km		
Inicial (km)	Final (km)	Total (km)	Medidor inicial kWh	Medidor final kWh	Consumo medidor kWh	Rendimiento calculado kWh/100km	Consumo estimado kWh	Pago eq energía	Precio gasolina	Consumo estimado (USGAL)	Pago eq combustible	Ahorro	Rendimiento km/USD	Porcentaje consumo de casa		
0	1529	1529					307	\$45,45	\$3,25	44,4359313	\$144,42	\$98,97	33,64	33%		
1529	2741	1212	0	83,60	83,6	19,39675174	240	\$35,89	\$3,25	35,2232497	\$114,48	\$78,58	33,77	20%		
2741	3827	1086	83,60	305,60	222	20,44198895	222	\$35,80	\$3,25	31,5614267	\$102,57	\$66,78	30,34	22%		
3827	4843	1016	305,60	512,80	207,2	20,39370079	207	\$30,88	\$3,25	29,5270806	\$95,96	\$65,08	32,90	22%		
4843	4960	117	512,80	537,50	24,7	21,11111111	25	\$3,62	\$3,25	3,4002642	\$11,05	\$7,43	32,35	14%		
						Promed	20,34	147,48	\$151,64	Suma		\$468,48	\$316,84	22%		

Los pasos a seguir para resolver el problema fueron los siguientes:

- Se estimó el factor solar promedio actualizado del sitio, con los datos históricos recolectados.
- Se determinó el consumo energético promedio mensual de la vivienda, con los datos históricos recolectados. Este valor deberá incluir tanto la energía consumida de la red, como la energía consumida del sistema fotovoltaico actualmente instalado (5kW).
- Se calculó el tamaño de la instalación fotovoltaica necesario para alcanzar el NET ZERO, con el consumo energético promedio mensual de la vivienda que se ha estimado y el valor histórico de horas solares (kWh/m²).
- La diferencia entre la potencia de la instalación fotovoltaica que se encuentra actualmente instalada en el domicilio (5kW) y el tamaño de la nueva instalación fotovoltaica que se estima como resultado de los cálculos del paso anterior, ha de representar el tamaño faltante del sistema que se requiere en el domicilio para alcanzar el NET ZERO.

3.1 Estimar el factor solar promedio actualizado del sitio, con los datos históricos recolectados.

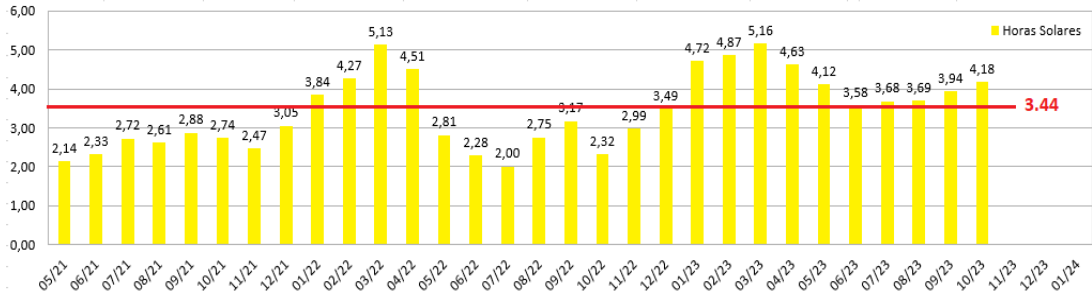


Fig. 9 Horas solares desde el mayo del 2021 hasta la actualidad.

Como se puede apreciar en la figura 3.2, si se consideran todas las columnas (desde mayo 2022 a octubre 2023) para calcular el promedio de horas solares (kWh/m^2), el resultado será erróneamente más alto (3,44), debido a que se puede ver claramente que se incluyen dos inviernos y un solo verano, empujando el promedio hacia arriba. Por este motivo, una manera correcta de calcular las horas solares (kWh/m^2) históricas, fue calculando promedios anuales continuos, ya que cada doce meses se tendrá solo un invierno y un verano, como se ilustra a continuación:

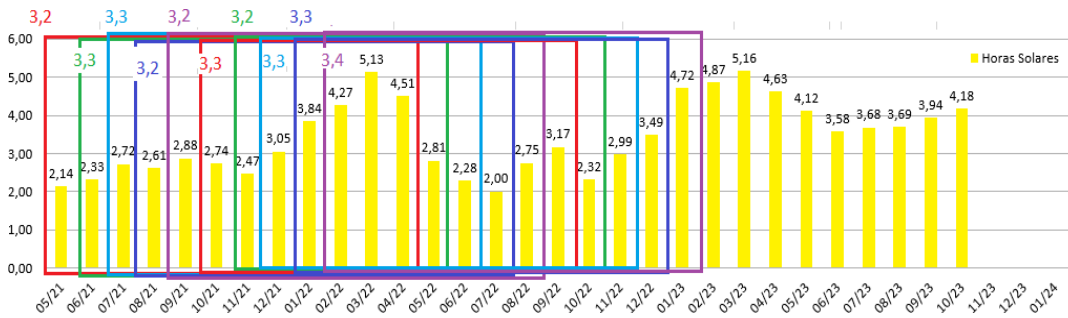


Fig. 10 Cálculo de horas solares (kWh/m^2) promedio en períodos de doce meses.

Finalmente, se toma como términos a cada uno de estos valores anuales para determinar un promedio absoluto, el cuál sería más apropiado suponer para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica; como se determinó en la siguiente tabla a continuación:

Tabla 5 Cálculo de horas solares (kWh/m²) anuales promedio, mes a mes.

Orden	Mes	Gen Kwh/mes	Días	Kwh/día	Horas Solares	Mes	Promedio HS anual
1	05/21	36	7	5,14	2,14	05/21	
2	06/21	173	31	5,58	2,33	06/21	
3	07/21	196	30	6,53	2,72	07/21	
4	08/21	194	31	6,26	2,61	08/21	
5	09/21	207	30	6,90	2,88	09/21	
6	10/21	204	31	6,58	2,74	10/21	
7	11/21	178	30	5,93	2,47	11/21	
8	12/21	227	31	7,32	3,05	12/21	
9	01/22	286	31	9,23	3,84	01/22	
10	02/22	287	28	10,25	4,27	02/22	
11	03/22	382	31	12,32	5,13	03/22	
12	04/22	325	30	10,83	4,51	04/22	3,2
13	05/22	209	31	6,74	2,81	05/22	3,3
14	06/22	164	30	5,47	2,28	06/22	3,3
15	07/22	149	31	4,81	2,00	07/22	3,2
16	08/22	427	31	13,77	2,75	08/22	3,2
17	09/22	476	30	15,87	3,17	09/22	3,3
18	10/22	360,3	31	11,62	2,32	10/22	3,2
19	11/22	447,9	30	14,93	2,99	11/22	3,3
20	12/22	540,3	31	17,43	3,49	12/22	3,3
21	01/23	732,2	31	23,62	4,72	01/23	3,4
22	02/23	657,6	27	24,36	4,87	02/23	3,4
23	03/23	800,1	31	25,81	5,16	03/23	3,4
24	04/23	694,76	30	23,16	4,63	04/23	3,4
25	05/23	638,6	31	20,60	4,12	05/23	3,5
26	06/23	537,6	30	17,92	3,58	06/23	3,7
27	07/23	570,5	31	18,40	3,68	07/23	3,8
28	08/23	571,97	31	18,45	3,69	08/23	3,9
29	09/23	591,39	30	19,71	3,94	09/23	3,9
30	10/23	146,46	7	20,92	4,18	10/23	4,1

Ya que, para determinar un valor de horas solares (kWh/m²) apropiado, es necesario un período de doce meses, el primer valor registrado es en abril del 2022, es decir, a doce meses de haber iniciado el registro. Una muestra de que el valor es consistente es la poca variación que se percibe mes a mes, sin importar si el mes en curso es invierno o verano; salvo una vez que llegó el fenómeno de El Niño.

Es importante resaltar que a pesar de que bajo la metodología de cálculo escogida (períodos de doce meses) para determinar un promedio de horas solares (kWh/m²) estable, debido al fenómeno de El Niño que dio muestras de incidencia desde mayo 2023 según el ESTUDIO REGIONAL PARA EL FENÓMENO DEL NIÑO - ERFEN del INSTITUTO OCEANOGRÁFICO DE LA ARMADA DEL ECUADOR – INOCAR (INOCAR, 2023) los últimos meses han sido de alta intensidad solar y esto ha influido en que el valor de horas solares (kWh/m²) anuales promedio, vaya aumentando paulatinamente en los últimos meses.

Bajo esta metodología, el primer dato obtenido, es doce meses después del primer día de instalación del sistema; como se puede ver en la Tabla 3, en abril del 2022 ya se tiene un dato promedio anual de 3,2. El mes siguiente, este valor es de 3,3 y alcanzando en meses posteriores valores de 3,4. Una vez que el fenómeno de El Niño llega, se ve que este factor de horas solares (kWh/m²) promedio anual, alcanza valores superiores.

Si se suma cada uno de estos valores (desde el mes 12 hasta el mes N) y se lo divide para el número de valores sumados (N-11), se tendría el valor global más apropiado para el sitio, que al día de hoy (con N=30) alcanza un valor de HS=3,46.

3.2 Determinar el consumo energético promedio mensual de la vivienda, con los datos históricos recolectados.

Para determinar el consumo energético promedio mensual de la vivienda, se debió incluir tanto la energía consumida de la red, como la energía consumida del sistema fotovoltaico actualmente instalado (5kW).

Para poder tener estos valores, se debió sumar el valor de consumo registrado en el medidor del proveedor de energía de la red pública con la porción de energía solar que se consumió en la vivienda.

La dificultad es establecer la cantidad de energía solar producida que se consumió en la vivienda, sin considerar la cantidad de energía solar que se entregó a la red Pública. Para conocer esta magnitud, se registró el valor de energía solar producida, indicada por el inversor y se restó el valor de energía entregada al sistema registrada por el medidor de salida de la red pública.

Energía solar consumida por la vivienda (ECV)
 Energía total producida (ETP)
 Energía solar entregada a la red (EER)

$$ECV = ETP - EER$$

Mes a mes, este cálculo se ha realizado para establecer una base de datos que se presenta a continuación:

Tabla 6 Cálculo del valor total de energía consumida por la vivienda (kWh)

Fecha lectura	MEDIDOR							Producción solar mes (kWh)	E. Solar consum (kWh)	Total consum mes	% consuma solar
	Lectura Energ. Acum Act (kWh)	Lectura Energ. Inicio de mes	Lectura Energ. Fin de mes	Energ. import act (kWh)	Lectura Energ. Inicio de mes	Lectura Energ. Fin de mes	Energ. Export act				
may 21								36			
jun 21								173			
jul 21								196			
ago 21				237			97	194	97	334	58.08 %
sep 21				304			88	207	119	423	48.94 %
oct 21				299			112	204	92	391	52.17 %
nov 21				349			88	178	90	439	40.55 %
dic 21				291			56	227	171	462	49.13 %
ene 22				502			81	286	205	707	40.45 %
feb 22				629			82	287	205	834	34.41 %
mar 22				576			124	382	258	834	45.80 %
abr 22				552			175	325	150	702	46.30 %
may 22				565			149	209	60	625	33.44 %
jun 22				404			99	164	65	469	34.97 %
jul 22		5083	5317	375			85	149	64	439	33.94 %
ago 22	6631.26	5317.03	5562.19	245.16	1314.23	1634.16	319.93	427	107.07	352.23	121.23 %
sep 22	7196.35	5562.19	5837.46	275.27	1634.16	2027	392.84	476	83.16	358.43	132.80 %
oct 22	7864.46	5837.46	6072.13	234.67	2027	2276.91	249.91	360.3	110.39	345.06	104.42 %
nov 22	8349.04	6072.13	6348.77	276.64	2276.91	2626.88	349.97	447.9	97.93	374.57	119.58 %
dic 22	8975.65	6348.77	6873.97	525.2	2626.88	2994.1	367.22	540.3	173.08	698.28	77.38 %
ene 23	9868.06	6873.97	7398.01	524.04	2994.1	3452.36	458.26	732.2	273.94	797.98	91.76 %
feb 23	10850.37	7398.01	7951.45	553.44	3452.36	3846.51	394.15	657.6	263.45	816.89	80.50 %
mar 23		0	735	735	0	451	451	800.1	349.1	1084.1	73.80 %
abr 23		735	1462	727	451	853	402	694.76	292.76	1019.8	68.13 %
may 23		1462	2285	823	853	1234	381	638.6	257.6	1080.6	59.10 %
jun 23		2285	3006	721	1234	1576	342	537.61	195.61	916.61	58.65 %
jul 23		3006	3955	949	1576	1863	287	570.5	283.5	1232.5	46.29 %
ago 23		3955	4700	745	1863	2181	318	571.97	253.97	998.97	57.26 %
sep 23		4700	5378	678	2181	2522	341	591.39	250.39	928.39	63.70 %
oct 23		5378	5484	106	2522	2596	74	146.46	72.46	178.46	82.07 %

Una vez obtenidos los valores mensuales de consumo de la vivienda, se calcula el valor promedio, pero considerando únicamente los valores a partir de agosto del 2022; fecha en la que fue instalado el sistema fotovoltaico actual de 5kW; dando como resultado un valor de 786 kWh al mes.

3.3 Calcular el tamaño de la instalación fotovoltaica, necesario para alcanzar el NET ZERO.

Ahora para determinar el tamaño de la instalación fotovoltaica que abastecería dicho consumo se multiplicó este valor mensual de 786 kWh por 12 meses del año, se dividió para 365 días y se dividió también para el factor de horas solares (kWh/m²) promedio:

Potencia de instalación fotovoltaica (PEp)
Horas solares promedio (kWh/m²) (HS)

$$PEp = \frac{786 \text{ kWh} * 12}{365 * HS}$$

$$PEp = \frac{786 \text{ kWh} * 12}{365 * 3.46}$$

$$PEp = 7.5 \text{ kW}$$

Dado que, en la actualidad ya se encuentra instalado un sistema de 5 kW y el total de la Potencia de la Instalación fotovoltaica (PEp) requerida es de 7.5 kW, el tamaño de la nueva instalación deberá ser igual o superior a 2.5 kW.

El total del sistema generará 104.8 kWh de energía al mes, por cada kW de potencia instalado.

3.4 Determinación de los equipos adicionales a ser instalados en la residencia, que cubran el déficit estimado en este acápite.

Una vez que se ha encontrado que el déficit de potencia es de 2.5 kW, se buscó en el mercado los equipos más apropiados para cubrir esta necesidad y se ha encontrado el inversor ThinkPower de 3 kW y los paneles JA solar de 530 W, con los cuales se pretende cubrir la potencia faltante que se ha determinado previamente. A continuación, se detallan las características de los equipos:

Panel Solar Bifacial Mono Cristalino (JAM72D30 530/MB/1500V) x 6

- Tolerancia 0~+5W;
- $\alpha_{Isc}=+0,045\%/^{\circ}C$;
- $\beta_{Voc}= -0,275\%/^{\circ}C$;
- $\gamma_{Pmp}= -0,350\%/^{\circ}C$
- En STC (1000W/m²; Cell temp 25°C; AM1,5G)
- Pmax= 535W; Voc= 49,45V; Vmp=41,47V; Isc= 13,79A; Imp=12,90A; Eficiencia=20,6%;

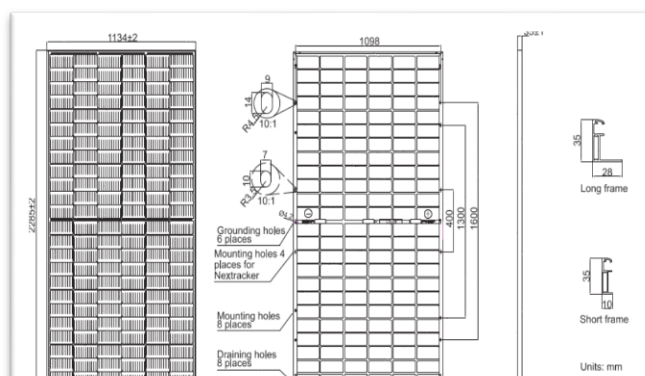


Figura 3.4. Panel solar bifacial

- Peso 31,6kg±3%; dimensiones 2285±2mm x 1134±2mm x 35±1mm; Sección del cable 4mm² (IEC), 12 AWG(UL); # de celdas 144(6x24); caja de

conexiones IP68, 3 diodos; Conector Genuine MC4-EVO2 QC 4,10-35/45; vidrio trasero/vidrio delantero= 2,0mm/2,0mm

- Certificados: IEC61215 IEC61730; ISO 9001; ISO14001; ISO45001.
- Inversor Inteligente OnGrid 3kW (THINKPOWER S3000TL)

- DC Side / Input Parameters
- Max DC power (W): 4500
- Max DC voltage (Vdc): 450
- Min System start/Shut down voltage (Vdc): 75/100
- MPPT voltage range(Vdc): 100~450
- Max. input current (A): 13
- Number of MPP trackers: 1
- Strings per MPP tracker: 1
- AC Side / Output Parameters
- Nominal output power (W): 3000
- Maximum output power (W): 3300
- Nominal output voltage/range (V): 208,220,230,240/180~270
- AC grid frequency/range (Hz): 50, 60 (autoselección)
- Maximum output current (A): 16
- AC connection (with PE): single phase
- Current distortion(THDi): <1,5%
- Power factor: -1% ajustable
- Maximum conversion efficiency: 97,5%
- European efficiency: 97,2%
- MPPT efficiency: 99,9%
- DC reverse-polarity protection: Si
- Anti-islanding / Overvoltage protection: Si
- Short circuit protection: Sí
- Leakage current protection: Sí
- Grid monitoring / Ground fault monitoring: Sí
- DC/AC side SPD(thermally protected): Sí
- Certificados y Aprobaciones:
CE-(EMC/LVD) : EN(IEC) 61000-1/-2/-3/; EN(IEC) 62109-1/-2,EN50549



Figura 3.5. Inversor

Con los equipos considerados para la instalación en la pérgola, como diseño estético preliminar, se considera el siguiente arreglo:

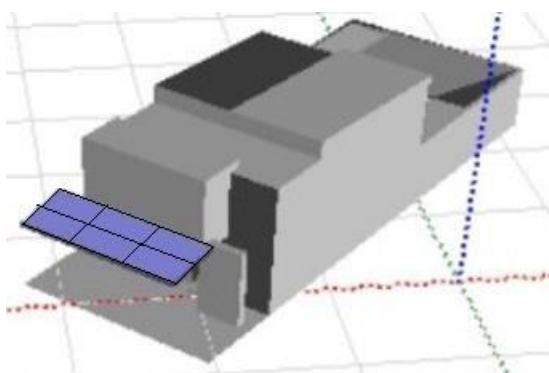


Figura 3.6. Ubicación estimada de los 6 paneles del nuevo sistema de 3kW

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1. Resultados Técnicos

Como resultado de estos cálculos, se ha estimado que, EN TOTAL, se requeriría de un sistema de 7.5 kW para abastecer toda la demanda de la vivienda.

Ya que, en la actualidad se encuentra instalado en la vivienda, un sistema fotovoltaico de 5 kW y que, de los cálculos realizados se ha determinado que el sistema requiere en total de 7.5 kW; el nuevo sistema que se requiere instalar para alcanzar el NET ZERO es de 2.5 kW, pero debido a los equipos disponibles en el mercado local, se estima instalar un nuevo sistema de **3.0 kW**.

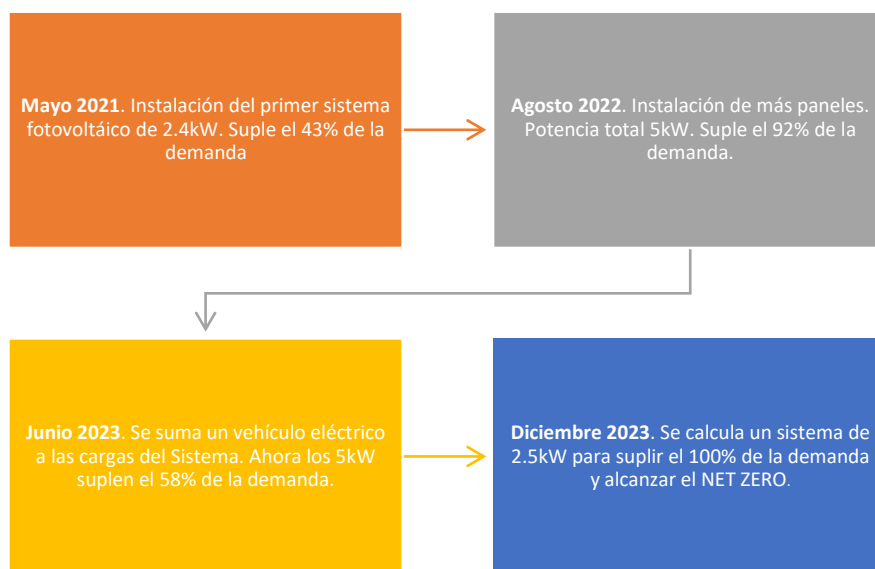


Fig. 11 Diagrama de flujo del proceso

A continuación, se simulará con la ayuda del Software PVSyst, la instalación de un sistema fotovoltaico con paneles JA solar e inversor ThinkPower de 3kW ya que son los únicos equipos de los que se ha tenido la posibilidad real de implementar. Además, los 0.5 kW de diferencia, cubrirían cualquier posible Efecto Jevons (efecto rebote).

4.1.1. Comprobación con el Software PVSYST

Dado que comercialmente es más factible encontrar un inversor de 3.0 kW y que este cubre la necesidad antes calculada de 2.5 kW, sumado a esto que es conveniente considerar el valor inmediato superior, en orden de cubrir un posible efecto rebote, se realizarán simulaciones con 3.0 kW.

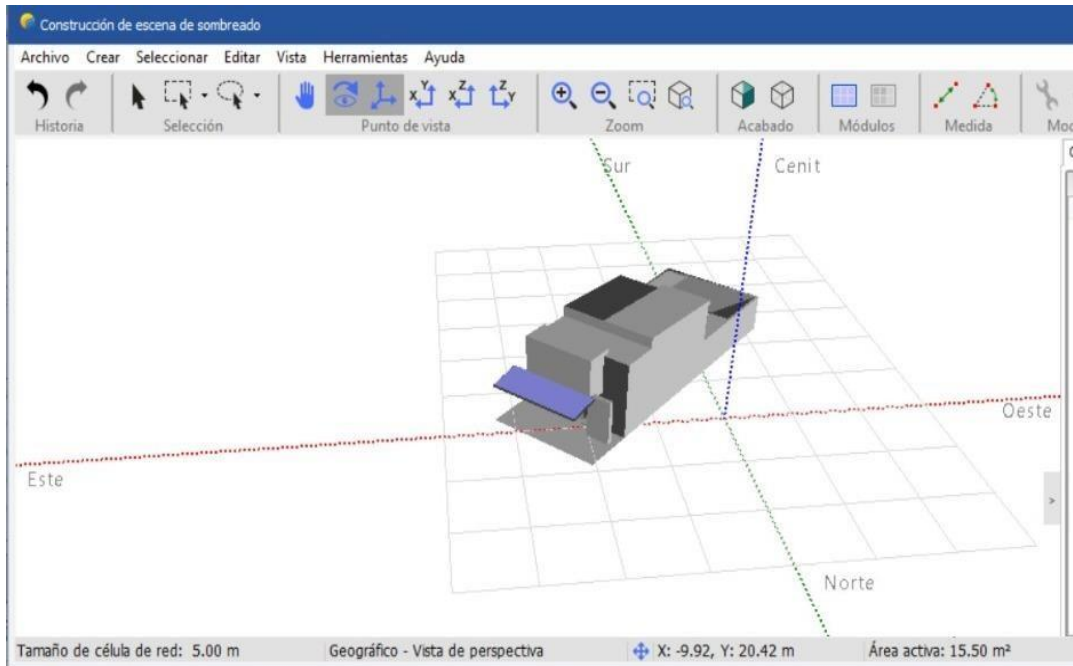


Fig. 12 Posicionamiento de los paneles usando el diseño 3D en PVSYST 7.4

De manera referencial, se realizó una simulación con el programa PVSYST. Como se puede observar en la figura 4.2, se consideró colocar el arreglo fotovoltaico en el frente de la casa, como pérgola, usando los mismos equipos considerados en este trabajo (Inversor Think Power y paneles Solares JA SOLAR); en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

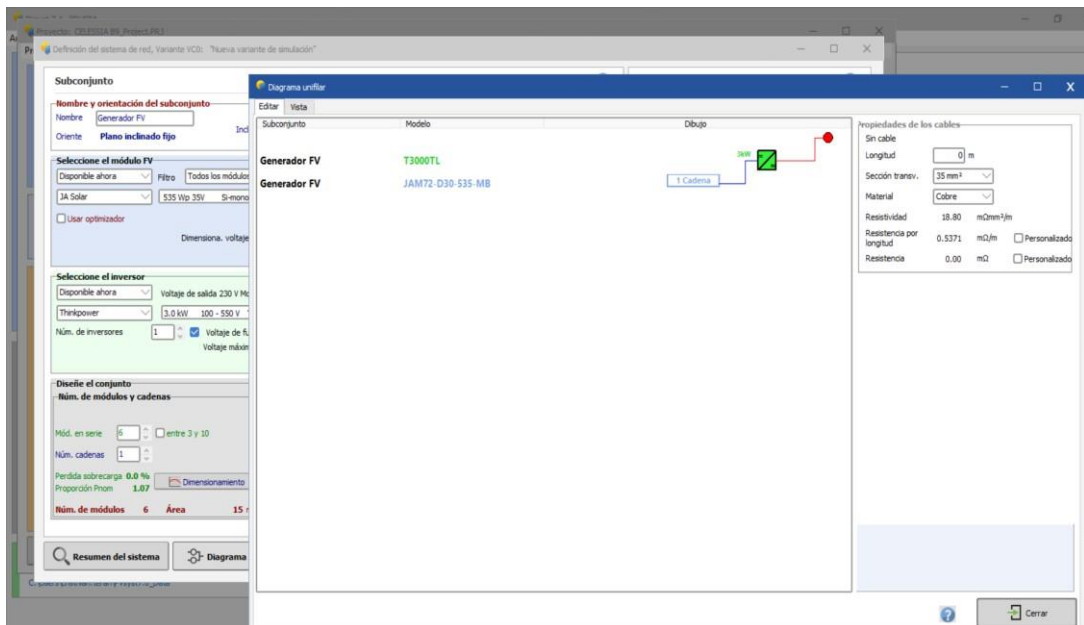


Fig. 13 Dimensionamiento y diagrama unifilar del sistema simulado en PVSYST 7.4

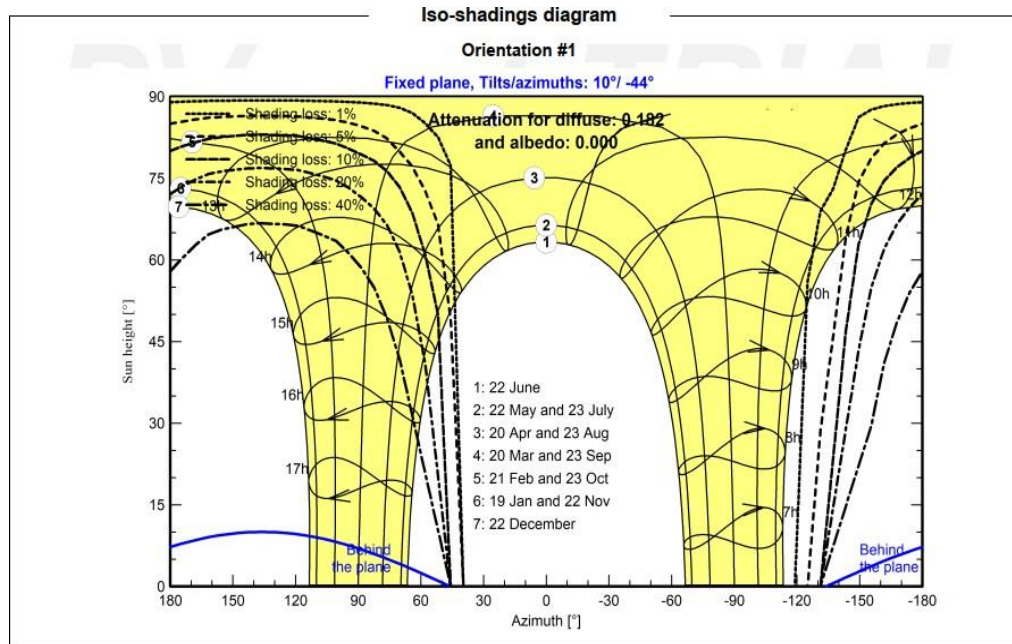


Fig. 14 Diagrama de sombreado del proyecto simulado en PVSYST 7.4

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	188.0	78.32	27.21	178.5	130.6	363.1	352.9	0.628
February	154.9	74.58	27.26	150.6	116.7	323.7	314.7	0.663
March	185.5	76.39	27.65	184.4	152.0	416.8	405.5	0.698
April	176.1	68.08	27.21	180.3	158.4	433.6	421.8	0.743
May	167.7	63.93	26.82	175.1	157.9	435.3	423.5	0.768
June	157.2	65.65	24.98	165.4	150.7	421.8	410.6	0.788
July	158.0	65.26	24.29	165.2	149.1	417.4	406.2	0.781
August	155.1	76.64	23.72	159.2	140.1	393.8	383.1	0.764
September	156.6	69.22	23.49	156.9	132.1	369.1	358.6	0.726
October	155.7	85.57	23.89	152.2	120.9	340.7	331.0	0.690
November	159.9	83.86	24.23	152.2	112.9	319.1	310.0	0.647
December	177.2	77.07	26.03	166.5	117.8	330.1	320.6	0.611
Year	1992.0	884.59	25.56	1986.5	1639.1	4564.7	4438.4	0.709

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	PR	Performance Ratio
GlobInc	Global incident in coll. plane		
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings		

Fig. 15 Resultados de la simulación con el sistema PVSYST 7.4

Como se puede apreciar, la simulación realizada con el programa PVSYST 7.4 usando la base de datos de METEONORM 8.1 (2016-2021) Sat=100% es muy optimista, ya que pronostica una producción anual de 4564 kWh (380 kWh promedio mensual) con el sistema adicional de 3kW dando una producción de 125.1 kWh por cada kW de potencia instalado; mientras que con nuestro propio historial solar levantado en campo y nuestros cálculos manuales, nos refleja 103.8 kWh de energía al mes, por cada kW de potencia instalado. Adicionalmente, se realizó la misma simulación con otros datos meteorológicos adicionales, resultados que se tabulan a continuación:

Tabla 7 Comparación de resultados: Rendimiento según PVSYST y según nuestros cálculos en esta Tesis

BASE DE DATOS	Rendimiento mensual por unidad de potencia instalada (kWh/kW)
METEO	125.1
NASA-ES	104.2
NREL NSRDB	104.2
PVGYS-TMY	104.2
Cálculo propio	103.8*

Una vez finalizada la simulación, se puede notar que los datos menos confiables, para este caso, fueron los de METEONORM 8.1.

4.2. Comparación de la tecnología con otras experiencias alrededor del mundo

Antes de realizar la comparación, se deberá hacer un recuento del sistema que se proyectó tener instalado en nuestro sitio.

Cubierta y pérgola - Machala, Ecuador (8 kWp)

Nuestro sistema consta de un arreglo de 5kWp instalados sobre el techo de la residencia, más una pérgola fotovoltaica de 3kWp instalada en el frente del domicilio, esto da un total de **8 kWp**, sistema que, según nuestros cálculos, llegará a producir 104.8 kWh de energía al mes, por cada kW de potencia instalado

Sales del Valle S.A. - Obregón, México (500 kWp)

Tenemos también una instalación de 500 kWp instalada en Obregón, Son., México, la cual produce un 28% del consumo anual de la empresa Sales del Valle S.A. de 2,607,710 kWh, lo cual da un total de 730,158.8 kWh; significando esto 121.7 kWh de energía al mes, por cada kW de potencia instalado (Roberto Valenzuela Covarrubias, 2019).

A continuación, se muestra una comparación entre ambos proyectos, para tener una idea de las diferencias significativas entre ambas experiencias:

Tabla 8 Comparación de resultados: Rendimiento según PVSYST y según nuestros cálculos en esta Tesis.

Parámetro	Cubierta y pérgola Machala, Ecuador	Sales del Valle S.A. - Obregón, México
Potencia Pico (kWp)	8	500
Generación anual (kWh)	9,432.0	730,158.8
Generación mensual (kWh)	786.0	60,846.6
Intensidad de generación mensual (kWh/kW mes)	104.8	121.7

En primer lugar, lo que resalta es la dimensión del proyecto de México, siendo el caso de Ecuador 62 veces más pequeño, obviamente en el primer caso un sistema doméstico, mientras que el segundo es un sistema a nivel industrial. Pero, además de las diferencias de tamaño de las instalaciones, es importante también señalar la intensidad de la generación mensual. En ese caso pierde relevancia el tamaño de la instalación, dejando únicamente la capacidad de generación de cada sistema, siendo el instalado en México más alta, 121.7 kilovatios hora de energía generada al mes, por cada kilovatio de potencia instalada versus el sistema instalado en Ecuador que ostenta 104.8 kilovatios hora kilovatios hora de energía generada al mes, por cada kilovatio de potencia instalada.

2.1. Resultados Económicos.

Para estimar los resultados económicos, se debió cuantificar el presupuesto de la instalación del nuevo sistema fotovoltaico de 3kW y proyectar la amortización del sistema con el costo más económico de la energía, según la tarifa de consumo diferenciada (a un precio de 0.0910 usd/kWh) para determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

Vale recalcar que el motivo del siguiente trabajo de tesis, no es determinar el balance económico del proyecto, motivo por el cual se abordará a groso modo esta arista.

Con un costo promedio en Ecuador, de potencia fotovoltaica instalada de 1200usd, a continuación, se procedió a calcular la amortización del proyecto:

Tabla 9 Cálculo de amortización del proyecto

Precio del nuevo proyecto instalado:	3600.00 usd.
Precio del kWh:	0.0910 usd/kWh
Impuestos mensuales:	~ 27%
Potencia instalada:	3.0 kW
Horas solares promedio anuales:	3.46 kWh/m2
Datos calculados	
Producción anual prevista:	$3.0 \text{ kW} * 3.46 \text{ kWh/m}^2 * 365$ = 3789 kWh
Costo de la energía:	$3789 \text{ kWh} * 0.0910 \text{ usd/kWh}$ = 344.80usd
Impuestos:	$344.80 \text{ usd} * 27\% = 93.10 \text{ usd}$
Ingreso/ahorro anual previsto:	$344.80 \text{ usd} + 93.10 \text{ usd} = 437.90 \text{ usd}$
Años para amortización:	$3600.00 \text{ usd} / 437.90 \text{ usd}$ = 8.22 años

A groso modo, de los cálculos se ha determinado que el proyecto se amortiza a los 8 años y 2 meses.

4.3. Resultados Ambientales.

El análisis de los resultados ambientales generados por la implementación del nuevo sistema de paneles solares en la vivienda proporciona datos significativos sobre la reducción de emisiones de carbono y el cambio hacia un modelo de consumo energético más sostenible.

4.3.1. Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Como se puede observar en la experiencia de un sistema de paneles solares monocristalinos, de aproximadamente 6kW de capacidad, instalados en Casablanca, produce anualmente 3370.89 kWh de energía y evita la emisión de 2023 kgCO₂ en el mismo período (Amine Haibaoui, 2017); esto da un valor unitario de 0.6 kgCO₂/kWh y dado que nuestro sistema generará de forma mensual un promedio de 786 kWh de electricidad a partir de paneles solares, esto significaría que en un solo año, se evitaría la emisión de 5659.2 kgCO₂ al medio ambiente.

4.3.2. Consumo de Energía Renovable vs. Convencional

La producción de 786 kWh mensuales a partir de fuentes solares permitió cubrir el 100% de la demanda eléctrica de la vivienda, eliminando así la necesidad de consumir 9432 kilovatios-hora de electricidad convencional anualmente.

La adopción de este enfoque sostenible redujo significativamente la huella de carbono relacionada con la generación de electricidad.

Estos resultados cuantificados subrayan de manera concreta los beneficios ambientales derivados de la transición hacia un modelo de energía renovable, evidenciando la capacidad de la vivienda para alcanzar la neutralidad de carbono y contribuir positivamente a la mitigación del cambio climático a través de la reducción de emisiones y la adopción de prácticas energéticas sostenibles.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta Tesis representa un hito significativo, ya que aborda el panorama energético de una residencia desde una perspectiva totalizadora. El cálculo del déficit energético anual, llevado a cabo bajo las condiciones actuales de operación del Sistema, arroja resultados contundentes al establecer que la potencia faltante para alcanzar un estado NET ZERO es de 2.5 kW. Este dato crítico se erige como piedra angular que guía el diseño e implementación de estrategias para la optimización energética.

Un componente esencial de su estudio es la estimación práctica de la cantidad histórica de la hora solar del sitio, que es de 3.46 Horas solares (o kWh/m²). Esta evaluación se basó en los datos de ciertas mediciones del sistema fotovoltaico existente en el sitio actualmente en operación. Se encontraron que los datos comparados con los programas PVSyst más utilizados tenían una gran desviación en la base de datos METEONORM, pero excelente concordancia con los datos de las NASA; lo que refleja la importancia y precisión de la precisión en la determinación de las horas solares disponibles.

Estratégicamente se seleccionaron y dimensionaron los equipos adicionales necesarios para cubrir el déficit identificado, destacando un total de 6 paneles solares Bifaciales Monocristalinos (JAM72D30 530/MB/1500V) y 1 inversor Inteligente On Grid 3kW (THINKPOWER S3000TL) que se erigen como elementos fundamentales para materializar la visión NET ZERO de la residencia, incorporando tecnología de última generación y la más eficiente disponible en el mercado.

Los resultados técnicos, económicos y ambientales derivados de este proyecto se presentan de manera detallada en el capítulo 4 de este documento. El análisis exhaustivo ofrece evidencia contundente no solo de la eficacia técnica y la viabilidad económica del proyecto, sino también del impacto ambientalmente positivo que se deriva en la transición hacia fuentes de energía sostenibles. En conjunto, este trabajo no solo contribuye al conocimiento académico sobre los sistemas fotovoltaicos, sino que además establece un modelo práctico y replicable para la transición hacia la autosuficiencia energética en comunidades y residencias similares.

Referencias

- A.J. Marszal, J. B. (2010). Net Zero Energy Buildings - Calculation Methodologies versus National Building Codes. *EuroSun Conference*. Graz, Austria.
- Amine Haibaoui, B. H. (2017). Performance Indicators For Grid-Connected PV Systems: A Case Study In Casablanca, Morocco. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)* , 58 - 63.
- ARCERNNR. (05 de abril de 2021). Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021 de la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-001/2021. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ARCERNNR. (30 de NOVIEMBRE de 2022). PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2023. *RESOLUCIÓN NRO. ARCERNNR-025/2022*. ECUADOR.
- ARCERNNR-AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (05 de Abril de 2021). Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica. *Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021 de la REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-001/2021*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- ASAMBLEA NACIONAL DEL ECUADOR. (21 de MAYO de 2018). LEY ORGANICA DEL SERVICIO PUBLICO DE ENERGIA ELÉCTRICA. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- Cabrera Córdova, J. D. (2023). Revisión sistemática de criterios Net-Zero a considerar para edificios universitarios en Cuenca-Ecuador. *Universidad Católica de Cuenca*.
- ENCALADA, M. J. (2022). ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA OPERACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DOMICILIARIOS PARA LA CIUDAD DE CUENCA.
- Fernández, P. Q. (2013). ZERO ENERGY BUILDINGS: ¿REALIDAD O FICCIÓN? *TRABAJO FINAL DE GRADO*. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, Madrid, España.
- GAIBOR, B. X. (2020). ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN CONSUMIDORES RESIDENCIALES EN ÁREAS RURALES AISLADAS. *TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO ELÉCTRICO*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- GOBIERNO DEL ECUADOR. (19 de MARZO de 2019). LEY ORGÁNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. *LEY ORGÁNICA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA*. QUITO, PICHINCHA, ECUADOR.
- INOCAR, I. O. (2023). BOLETÍN TÉCNICO - ERFEN Nro. 08-2023 . *COMITÉ NACIONAL PARA EL ESTUDIO REGIONAL DEL FENÓMENO EL NIÑO*.
- Iyiegbuniwe, E. (01 de 2014). Net-zero energy: A case study on renewable energy and policy issues at Richardsville Elementary School, Kentucky. *International Journal of Energy Technology and Policy*, págs. 61-79.
- Luis Daniel López Fernández, B. C. (2022). DISEÑO ELÉCTRICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO ON GRID PARA EL COMPLEJO DE CONCIERTIZACIÓN Y CUIDADO DEL MAR, YUBARTA. *Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL, Guayaquil.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (2018). *PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD*. QUITO.
- Ms. Bhavana Kushwah, M. H. (2023). Net Zero Energy Building. *LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING*.
- Muñoz-Salcedo, M., Ortíz-Mata, J., & Peci-López, F. (2023). Evaluation and optimization of Energy supply in Near to Zero Energy Buildings on the Ecuadorian Coast. *IEEE Xplore*.
- NACIONES UNIDAS. (s.f.). *Llegar a las emisiones netas cero*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero->

3. Apéndices y anexos

- Hoja Técnica de paneles solares JAM72S20-455MR
- Hoja Técnica de Inversor On Grid, de 5kW modelo S5000TL

