



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO
SOLAR-GEOTÉRMICO PARA UNA VIVIENDA RÚSTICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTORES: KENLLY ERICK TORRES CEDILLO

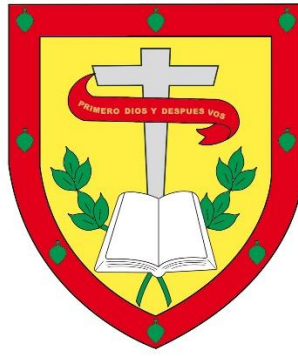
ERICK PATRICIO LEÓN PLAZA

DIRECTOR: DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ, MGS

CUENCA – ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO
SOLAR-GEOTÉRMICO PARA UNA VIVIENDA RÚSTICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

AUTORES: KENLLY ERICK TORRES CEDILLO

ERICK PATRICIO LEÓN PLAZA

DIRECTOR: DANIEL ORLANDO ICAZA ALVAREZ, MGS

CUENCA – ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Kenlly Erick Torres Cedillo y **Erick Patricio León Plaza** portadores de las cédulas de ciudadanía N° **0705536738** y **0106408776**. Declaramos ser autores de la obra: “**Estudio para la implementación de un sistema híbrido Solar-Geotérmico para una vivienda rústica**”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **17 de abril de 2023**


F:

Kenlly Erick Torres Cedillo

C.I. 0705536738


F:

Erick Patricio León Plaza

C.I. 0106408776

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Torres Cedillo Kenlly Erick, y León Plaza Erick Patricio bajo mi supervisión.

Ing. Daniel Icaza Orlando Alvarez MsC.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a toda mi familia, en especial a mi hermana, que me ayudado en este proceso de estudio sin ella no hubiera sido mi formación académica.

TORRES CEDILLO KENLLY ERICK

DEDICATORIA

En este presente trabajo hago una dedicatoria a mi madre por brindar su apoyo incondicional ya que sin eso no podría haber llegado a este punto de mi carrera profesional.

LEÓN PLAZA ERICK PATRICIO.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por protegerme de todo peligro y su bondad al permitirme vivir; Él siempre ocupará el primer lugar en mi corazón y vida, pues me ha otorgado mucho. La presencia de Dios ha sido esencial para lograr cada objetivo que me he propuesto. Expreso mi sincero agradecimiento a mis mentores y educadores por compartir sus conocimientos conmigo. Agradezco a mi padre, madre, hermanos, jefes y amigos por su confianza y apoyo constante en mi vida. También agradezco a mi hermana y cuñado, en especial a Paola Torres, por brindarme su apoyo de todas las maneras posibles.

TORRES CEDILLO KENLLY ERICK

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme de todo riesgo y por su bondad al permitirme vivir; Él siempre será mi prioridad en mi vida y en mi corazón, ya que me ha bendecido con mucho. La presencia de Dios ha sido fundamental para alcanzar cada uno de mis objetivos. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis mentores y educadores por compartir sus conocimientos conmigo. También estoy agradecido con mi padre, madre, hermanos, jefes y amigos por su confianza y apoyo constante en mi vida. Además, quiero mostrar mi gratitud a mi mamá, en especial a Sara Plaza, por brindarme su apoyo en todo momento y de todas las formas posibles.

LEÓN PLAZA ERICK PATRICIO.

RESUMEN

En el presente trabajo hicimos énfasis en buscar una factible solución al problema que tienen el sector rural que es la falta de suministro de energía eléctrica del Ecuador. Por la falta de líneas eléctricas en estas zonas, la mayoría de las veces sólo tienen acceso a suministros energéticos tradicionales por ejemplo el carbón vegetal. Abordamos este problema en específico seleccionando una vivienda rustica en Quingeo, ubicada en el Cantón Cuenca y se estudió un sistema híbrido de 2000 W compuesto por un sistema solar fotovoltaica y geotérmica. Se realizó un análisis del potencial solar del área y se encontró que las condiciones ambientales eran adecuadas para la implementación del sistema híbrido, con una radiación solar de 3219,61 Wh/m² tomados de estudios previos. El sistema híbrido utiliza paneles solares fotovoltaicos que generan electricidad al separar los electrones de las placas solares cuando entran en contacto con los rayos del sol, de igual forma se aprovecha el calor horizontal del suelo que armonizan con las paredes de adobe para mantener caliente cada uno de los ambientes, también podemos revertir el sistema si se necesita refrigeración en la vivienda. El sistema está compuesto de una célula solar con capacidad de 100W, también consta de una batería de gel de 100Ah, también posee un controlador de carga con una capacidad de 20A y por último el inversor que tiene una capacidad de 1000W que satisface la demanda energética de la pequeña vivienda.

Palabras clave: ecología, energía eléctrica, almacenamiento, rendimiento

ABSTRACT

In the present work, we emphasized looking for a feasible solution to the rural sector's problem: Ecuador's lack of electricity supply. Due to these areas' lack of power lines, they usually only have access to traditional energy supplies such as charcoal. We approached this problem by selecting a rustic house in Quingeo, located in Canton Cuenca. In addition, we studied a hybrid system of 2000 W composed of a solar photovoltaic and geothermal system. An analysis of the area's solar potential was carried out. It was found that the environmental conditions were suitable for implementing the hybrid system, with solar radiation of 3219.61 Wh/m² taken from previous studies. The hybrid system uses photovoltaic solar panels that generate electricity by separating the electrons from the solar panels when they come into contact with the sun's rays and also takes advantage of the horizontal heat from the ground that harmonizes with the adobe walls to keep each of the rooms warm; we can also reverse the system if cooling is needed in the house. The system is composed of a solar cell with a capacity of 100W; it also has a 100Ah gel battery, a charge controller with a power of 20A, and finally, the inverter with a total of 1000W that meets the energy demand of the tiny house.

Keywords: ecology, electric energy, storage, efficiency

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	3
CERTIFICACIÓN.....	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTOS.....	6
AGRADECIMIENTOS.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	11
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE FIGURAS	14
LISTA DE TABLA	15
LISTA DE ANEXOS	15
INTRODUCCIÓN.....	16
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	18
1.1 Objetivos.....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos.....	18
1.2 Alcance.....	18
1.3 Justificación.....	19
1.4 Metodología.....	19
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES.....	20
2.1 Generalidades de los sistemas de energía solar.....	20
2.2 Radiación solar.....	20
2.3 Energía geotermia.....	21
2.4 Determinación de la radiación e irradiación en una superficie.....	22
2.5 Instalaciones generadoras fotovoltaica.....	23
2.6 Sistemas fotovoltaico.....	23
2.6.1 Componentes de los sistemas fotovoltaicos.....	24

2.6.2 La importancia del sector residencial.....	25
2.7 Trabajos previos y revisión del estado del arte.....	25
2.8 Modelado matemático.....	32
2.9 Modelado simplificado.....	32
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	39
3.1 Resultados de monitoreo de temperatura y humedad.....	39
3.2 Análisis de la variabilidad de las condiciones ambientales.....	48
3.3 Modelado y simulación.....	56
3.4 Esquema geotérmico.....	56
CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	60
4.1 Diseño del sistema fotovoltaico.....	60
4.2 Diagrama de flujo para la producción de energía solar fotovoltaica.....	61
4.3 Implementación del sistema del sistema Fotovoltaico.....	65
4.4 Instalación del inversor.....	67
4.5 Instalación del panel solar.....	67
4.6 Temperatura media.....	68
4.7 Cálculo de la pendiente ideal.....	69
4.8 Cargas y consumo eléctrico en la vivienda.....	69
4.9 Niveles de radiación	70
4.10 Cálculo de potencia nominal con la siguiente ecuación.....	71
4.11 Cálculo de potencia pico con la siguiente ecuación.....	72
4.12 Cálculo del inversor.....	72
4.13 Cálculo del sistema acumulador.....	73
4.14 Cálculo del potencial geotérmico.....	73
4.15 Cálculo de coeficiente de rendimiento (COP).....	74
4.16 Bomba de calor	74
4.17 Cálculo de rendimiento de la Bomba de Calor.....	75
4.18 Cálculo de temperatura mínima(TL) y máxima(TH) de la tierra.....	75

4.19	Calculo de resistividad del tubo frente al flujo de calor.....	75
4.20	Calculo para la elección de la tubería colectora.....	76
4.21	Calculo de resistividad de tubo con respecto flujo de calor.....	77
4.22	Calculo de resistencia de la Tierra.....	77
4.23	Cálculo del intercambiador Geotérmico.....	77
4.24	Cálculo de profundidad de sondeo.....	78
4.25	Diseño del sistema geotérmico.....	78
4. 26	Resultados del sistema geotérmico	79
4.27	Análisis del sistema.....	81
CONCLUSIONES.....		82
RECOMENDACIONES.....		83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		85
ANEXOS		89
ANEXOS		90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología.....	4
Figura 2. Radicación solar.....	6
Figura 3. Energía geotérmica	7
Figura 4. Estructura de los paneles solares	9
Figura 5. Modelo físico simplificado del tejado fotovoltaico	17
Figura 6. Frecuencias naturales identificadas: (a) WTI; (b) WTII; y (c) WTIII.....	25
Figura 7. Resultados de la distribución de la temperatura en todo el periodo de monitorización: (a) Variación de la temperatura externa (ambiente); y (b) (c) (d) variaciones de las temperaturas internas de WTI, WTII y WTIII sección vertical media, (sensores B1, B3, B8 y B9).	26
Figura 8. Resultados de la variación de la temperatura interna de la sección transversal media horizontal (L3): (a) WTI; (b) WTII; y (c) WTIII.....	28
Figura 9. Resultados de los valores máximos de la variación de temperatura exterior (ambiente) y de la variación de temperatura interior registrados por los sensores B1 de cada pared	30
Figura 10. Resultados de la variación de la humedad en todo el periodo de seguimiento: (a) Variación de la humedad externa (ambiente), y (b) (c) (d) variaciones de la humedad interna de la sección vertical medio (sensores B1, B3, B8 y B9) y horizontal medio (sensores B2, B3, B4 y B5) del WTI, WTII y WTIII	33
Figura 11. Comparación entre la temperatura externa (ambiente) y la temperatura interna registrada por los sensores B3 de WTI, WTII y WTIII	33
Figura 12. Relación entre la temperatura ambiente exterior y la humedad: (a) Correlación entre la temperatura (ambiente) exterior y la humedad relativa; y (b) Variación de la humedad absoluta en todo el periodo de seguimiento.....	34
Figura 13. Comparación entre las primeras frecuencias y la distribución de temperatura/humedad durante todo el periodo de seguimiento	36
Figura 14 Distribución de la correlación entre la temperatura exterior e interior y la primera frecuencia de cada pared ensayada (los datos corresponden a 240 días de monitorización de seguimiento): (a) WTI; (b)WTII; y (c) WTIII. *N.E. indica coeficientes de determinación inferiores a 0, 1.....	41
Figura 15. Comparación entre las primeras frecuencias y la distribución de temperatura/humedad durante todo el periodo de seguimiento.....	41

Figura 16. Esquema de la máquina todo en uno: ventilación con recuperación de calor (en negro el bucle de funcionamiento)	42
Figura 17. Esquema de la máquina todo en uno. El esquema general muestra el funcionamiento de la bomba de calor en modo calefacción, las partes azules el funcionamiento en refrigeración libre, todo el sistema sin la parte roja (condensador) el funcionamiento para la producción de ACS.	43
Figura 18. Intercambiador de calor de suelo integrado en la cimentación del edificio.....	43
Figura 19. Mapa del Azuay y ubicación de Quingeo	44
Figura 20. Diagrama del sistema fotovoltaico	45
Figura 21. Diagrama de flujo general.....	46
Figura 22. Casa rustica de adobe	47
Figura 23. Panel solar de 100 W	47
Figura 24. Sensores de radiación	48
Figura 25. Niveles de radiación en paredes de adobe	48
Figura 26. Tejado de adobe y panel solar montado en el techo	49
Figura 27. Tejado de adobe y panel solar montado en el techo	50
Figura 28. Conexión del controlador a la batería	51
Figura 29. Conexión del controlador a la batería e inversor.....	52
Figura 30 Esquema del estudio de simulación del sistema energético.....	64
Figura 31 Temperaturas del aire ambiente medidas en funcionamiento de calefacción.....	65
Figura 32 Temperaturas del agua medidas dentro del depósito de ACS aguas sanitarias calientes.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Temperatura media de los meses.....	53
Tabla 2: Datos PVGIS.....	53
Tabla 3: Periodo de uso anual.....	54
Tabla 4: Cargas y consumo de la vivienda.....	55
Tabla 5: Niveles de radiación.....	56
Tabla 6: Potencias del inversor y módulos	58

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Instalación eléctrica	74
--------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el servicio de energía eléctrica es un servicio muy esencial para la vida cotidiana, que está unido a sectores residenciales, industriales, comerciales, etc. La energía solar ha experimentado varias etapas que se han dado al pasar de los años, por medio de que el planeta está pasando por cambios climáticos por la contaminación, por lo tanto, se busca nuevas fuentes de energías limpias. Además, los paneles solares permiten reducir la dependencia de la energía producida por las centrales eléctricas y ayudan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El desarrollo tecnológico siempre ha sido pieza clave para nuestro vivir con el cual afectamos al ecosistema contaminándolo a gran escala por el estamos tomando medidas con los cuales aliviar y contrarrestar la contaminación por ende se plantea nuevas formas de energía autosustentables que en este caso son la energía fotovoltaica que vamos a estar desarrollando.

Mediante el uso mayor de los recursos, que se derivan del petróleo, las energías renovables están tomando más acogida por sus beneficios aun así en el país no es muy conocida, pero gracias a las empresas como Solar7 Pools, CHINT, etc. Están incentivando a que obtén en sus hogares que utilicen las energías renovables. En este caso un claro ejemplo de energía sustentable son los paneles solares, en el Ecuador es un país apto para implementar dicho recurso por sus niveles de alta radiación solar, con este dato se sabe que sirve de manera productiva, se busca incentivar a las personas que recurran más a esta energía como ya sugerido en otros países, y siguiendo el ejemplo nuestro país que han estado promocionando la energía fotovoltaica pero aún está en una etapa de inicio. Hay proyectos para que el Ecuador tenga mayor producción de energía renovable incentivando a las viviendas que se den la oportunidad de aprovechar estas tecnologías que son totalmente energías renovables, además de esos beneficios traerá trabajo de mano de obra en el cual se abrirá un mercado para los obreros y por ende la economía se beneficiara más de ello.

El lugar que está ubicado la zona geográfica del país con referencia al sol es muy convincente, porque en el Ecuador la luz solar es frecuente y condensa, sin que este varíe de forma sorpresiva por la causa de cambios climáticos que están surgiendo en el planeta, otro punto a favor es que los rayos inciden de que cuando caen estas van de forma perpendicular con su ángulo definido con todo lo mencionado podemos ver que el país tiene buenas características para que se implementen energía fotovoltaica, por otro lado el mayor índice que se ha implementado es en las zona Rurales, que en algunos casos no tiene el servicio de energía eléctrico por ende se ven en la obligación de tomar el servicio de energía fotovoltaica(Valdiviezo Salas, 2014).

Instalar paneles solares en viviendas situadas en la ciudad de Cuenca, Ecuador, puede ser una buena opción para disminuir el consumo energético por lo tanto se disminuirán el consumo de derivados del petróleo. Sin embargo, es importante tener en cuenta algunos factores antes de tomar la decisión, como la orientación y la inclinación del tejado, la disponibilidad de espacio y la calidad de los paneles. Además, es necesario verificar si se cumplen con los requisitos legales y técnicos para la instalación de paneles solares en la zona. Se recomienda consultar con un profesional para un asesoramiento más detallado si es viable o no la implementación de dicho sistema fotovoltaico. En el sector de Macas de Quingeo, se optó por Implementar un sistema fotovoltaico en una vivienda en el sitio, incentivando a los moradores que también opten por este medio de energía. En el presente trabajo se basará en mostrar que tan eficiente es los sistemas fotovoltaicos de tal forma sea apto, seguro y viable para una vivienda de adobe en la parroquia Quingeo del cantón Cuenca.

CAPITULO 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 Objetivos

Objetivo general

Tenemos como objetivo general la implementación de energía solar a una vivienda proporcionando una fuente de energía renovable y sostenible, con la aplicación de este tipo de energía seremos independientes de combustibles fósiles y disminuir la huella de carbono. Además, la instalación de paneles solares, puede generar ahorros significativos en la energía y mejorar la eficiencia energética de la vivienda. El sistema híbrido funcionará por separado no como un conjunto el cual permitirá satisfacer las necesidades de la vivienda.

Objetivos específicos

- Independencia energética por medio del sistema fotovoltaico, esto influirá que sea independiente de la red eléctrica utilizando el recurso energético que nos brinda el panel solar.
- Reducir emisiones de CO₂ al utilizar este medio de energía fotovoltaica.
- Ahorro de energía, esto causa que gastemos menos dinero y recursos del planeta.
- Contribución a la transición energética, al adoptar paneles solares, se contribuye a un cambio de un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1.2 Alcance

En este proyecto, vamos a implementar un sistema basado en paneles solares en la parroquia Quingeo que pertenece a la al cantón Cuenca, teniendo como objetivo la economía del usuario porque se piensa disminuir el consumo de la red eléctrica que comúnmente el usuario paga por la prestación de servicio de energía de la red, en temas técnicos esto ayuda a que las viviendas remotas obtengan energía ya que por la manera tradicional suelen haber fallas en la red, y con los sistemas fotovoltaicos aparte de ayudar al ecosistema también solucionan dichos problemas de suministros de energía. Por la parte ambiental tratamos de reducir el CO₂ que se produce por utilizar la red eléctrica, y de este modo incentivemos a más personas ah que utilicen esta energía renovable que son los paneles solares.

1.3 Justificación

Para el diseño e implementación que estamos desarrollando, utilizaremos la energía fotovoltaica en el que se diseñara e implementara en una vivienda rustica que está ubicado en Ecuador, Cuenca Quingueo. La finalidad de esto es ayudar al medio ambiente reduciendo el CO2, utilizar menos la energía de la red, ahorrar costos de energía, y poseen una funcionalidad de 25 años. En resumen, instalar paneles solares es una inversión inteligente en términos de ahorro de energía, sostenibilidad y valor de su propiedad a largo plazo.

1.4 Metodología

En primer lugar, se procede a ajustar los datos meteorológicos, que engloban factores como la temperatura, los rayos del sol (radiación) y el viento, que determinan los parámetros que caracterizan las propiedades térmicas tanto de la cubierta como de los módulos fotovoltaicos del tejado. Luego, se emplea el software COMSOL (Modelado de procesos y equipos en ingeniería química) para establecer un modelo unidimensional de transferencia de calor no permanente. Con las condiciones térmicas de contorno se convierten en variables de entrada que permiten calcular el calor de la superficie del tejado y, posteriormente, la temperatura global del aire por encima de dicho tejado. Se sustituyen estas variables en la ganancia de calor interior y la carga de calefacción (o refrigeración) de la cubierta. De forma simultánea, el software TRNSYS (software de cálculo de lo que se conoce como procesos «transitorios» o cambiantes en los sistemas) configura el diagrama del sistema de rendimiento eléctrico para determinar la cantidad de energía generada por los módulos fotovoltaicos.

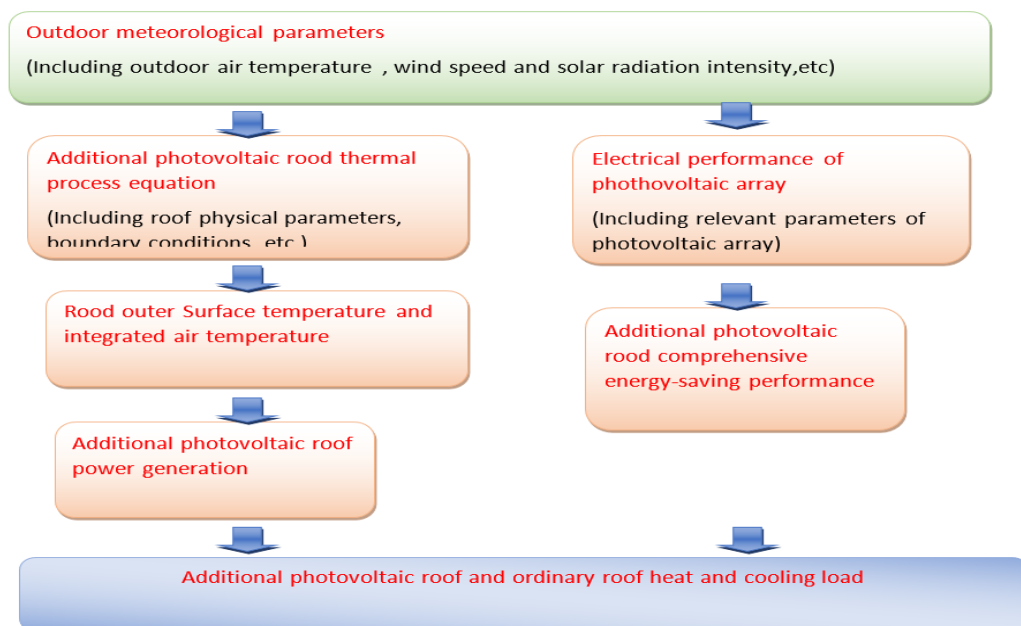


Fig. 1 Metodología

Fuente: Rediseñado (Wang et al., 2020)

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Generalidades de los sistemas de energía solar

Los sistemas energéticos fotovoltaicos de energía solar hacen la conversión de la luz solar a energía eléctrica. Las células solares contienen células fotoeléctricas que generan corriente eléctrica al recibir la radiación solar en una de sus caras. Esto provoca que los electrones se desplacen, generando corriente eléctrica. La electricidad producida a través de células fotovoltaicas es una fuente infinita y no contamina lo cual promueve el desarrollo sostenible, además fomenta el empleo a nivel local. La energía solar es una fuente de energía local que está presente prácticamente en todo el mundo, lo que ayuda a reducir la dependencia de las importaciones energéticas y a impulsar la creación de empleo y riqueza en la región, por lo tanto, utilizar la energía obtenida del sol estamos haciendo uso del desarrollo sostenible.

Es importante destacar de todos los beneficios que ofrece la energía solar, su capacidad de no emitir sustancias contaminantes al medio ambiente, lo que evita los perjuicios que estos pueden ocasionar al ecosistema y a la salud de las personas. Los efectos de las sustancias tóxicas pueden provocar la acidificación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, y también la corrosión de estructuras. En cambio, los contaminantes del aire pueden causar problemas del corazón y daños respiratorios como el asma, además, el sistema fotovoltaico está libre de contaminación por lo tanto es ideal, lo cual es especialmente importante considerando que cada vez tenemos menos petróleo. En resumen, la energía fotovoltaica es una tecnología renovable muy prometedora para combatir el cambio climático.

A diferencia de las energías convencionales como el gas, carbón, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son limitadas, la energía solar está disponible en todo el planeta, lo que las convierte en fuentes de energía renovable inagotables. Por lo tanto, son un componente clave para un sistema fotovoltaico sostenible permitiendo el desarrollo presente sin afectar a las futuras generaciones.

2.2 Radiación solar.

La radiación solar es una fuente de energía electromagnética que se emite por medio del sol. El rayo del sol es esencial para la vida en la Tierra, ya que es la fuente primaria de energía que impulsa los procesos biológicos y climáticos. Los rayos del sol inciden en la tierra mediante una forma de luz ultravioleta e infrarroja. Esta luz visible que se aprecia es la parte de la radiación solar que se puede ver y es responsable de la mayor parte de la iluminación

diurna. La radiación ultravioleta tiene una longitud de onda más corta que la luz visible y puede causar daño a la piel y al ADN. Como característica de la radiación infrarroja posee una singularidad que la onda es mucho más extensa y por ende esto produce una sensación de calor en la piel.

La radiación solar es una fuente de energía infinita renovable, y por lo tanto esta fuente es muy popular para producir electricidad. Los paneles solares convierten la energía solar en electricidad, lo que los hace una alternativa eficiente y sostenible a los combustibles fósiles.



Fig. 2 Radiación solar

Fuente: (Admin, 2017)

2.3 Energía geotérmica

La energía geotérmica es una fuente de energía renovable que se la puede obtener a partir del calor interior de la Tierra. Se aprovecha el calor generado por la actividad volcánica y la descomposición de materiales radiactivos en el manto y en el centro de la tierra para producir electricidad o calor.

Esta forma de energía es muy versátil y puede ser utilizada tanto para calefacción y enfriamiento de edificios, además es una fuente de energía constante y confiable, a causa de que la temperatura del planeta tierra es relativamente constante a lo largo del tiempo.

Sin embargo, la energía geotérmica todavía es una fuente de energía limitada y su uso se concentra principalmente en algunas áreas geológicamente activas, como Islandia, Italia y los Estados Unidos. Además, la construcción de centrales geotérmicas puede tener impactos medioambientales negativos, como la liberación de gases contaminantes, aparte contaminan las aguas subterráneas por sus desechos.

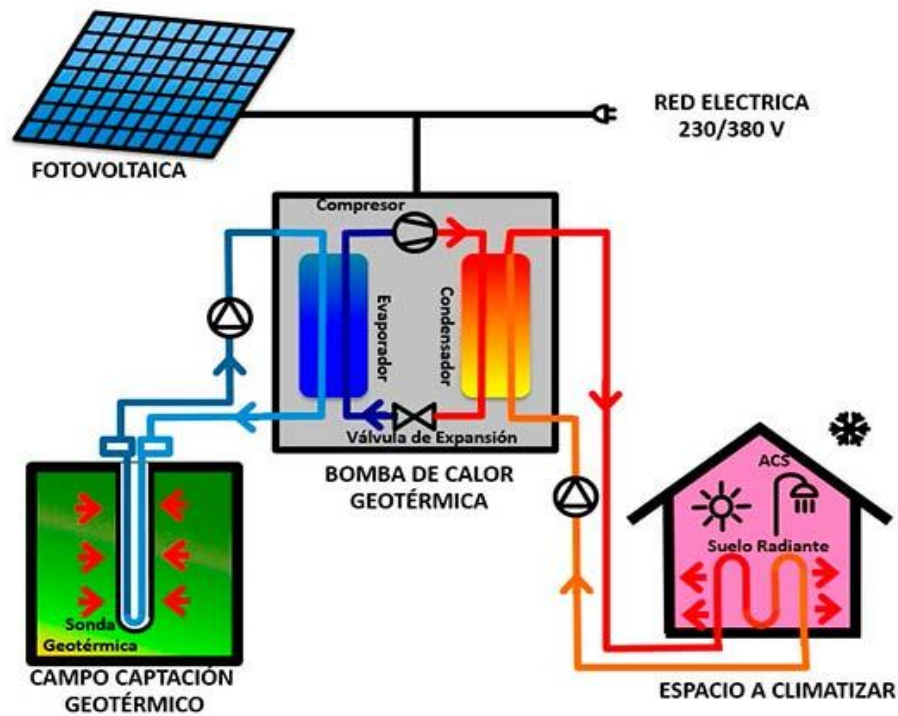


Fig. 3 Energía geotérmica

Fuente: (Aldariz, 2019)

2.4 Determinación de la radiación e irradiación en una superficie

Hay varios factores que influyen en la radiación solar y la irradiación en una superficie, pero aquí están algunos de los métodos más comunes para medirlos:

- Medición de radiación solar: Se puede medir la radiación solar utilizando un piranómetro, que es un tipo de sensor con el cual podemos calcular la intensidad de la radiación solar, estos dispositivos están disponibles en diferentes gamas de precisión y costo (Style, 2012).
- Uso de satélites: Los satélites que orbitan la Tierra también pueden utilizarse para medir la radiación solar y la irradiación en la superficie terrestre. Estos satélites utilizan sensores especializados para medir la intensidad de la radiación solar y producir mapas de radiación (Style, 2012).

La energía solar es energía electromagnética emitida por los rayos del sol, esta radiación solar es muy importante para el convivir de la humanidad en el planeta tierra, ya que es la fuente primaria de energía que impulsa los procesos biológicos y climáticos. Los dispositivos de medición de radiación son instrumentos que se utilizan para determinar la cantidad y la

intensidad de la radiación ionizante. La radiación ionizante es una forma de energía capaz de dañar los seres vivos y la materia producida por procesos naturales y artificiales.

Es importante tener en cuenta que la radiación solar y la irradiación pueden variar significativamente en función de la ubicación, la fecha y el clima. Por lo tanto, es importante realizar mediciones precisas y actualizarlas con frecuencia para obtener estimaciones precisas de la radiación solar y la irradiación en una superficie.

2.5 Instalaciones generadoras fotovoltaica.

Las instalaciones generadoras fotovoltaicas son sistemas que convierten la energía solar en electricidad. Estas instalaciones están compuestas por paneles solares fotovoltaicos que consisten en células solares que convierten la luz solar en corriente eléctrica. La corriente eléctrica generada se almacena en baterías y se puede utilizar de manera inmediata o se puede inyectar en la red eléctrica para su uso posterior.

Las instalaciones fotovoltaicas pueden ser de tamaño pequeño o grande, desde un sistema de paneles solares en una casa hasta una gran central fotovoltaica que suministra energía a miles de hogares y empresas. Estos sistemas son una alternativa eficiente y amigable con el medio ambiente a los sistemas tradicionales que producen generación de energía eléctrica, ya que no emiten gases de efecto invernadero ni generan residuos tóxicos. Además, la energía solar es un recurso renovable abundante y sirven para contribuir a disminuir la utilización de gas licuado de petróleo.

2.6 Sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos tienen características que hacen la conversión de la energía solar a energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos constan típicamente de paneles solares, que están compuestos por celdas solares que permiten hacer la conversión de energía solar a energía eléctrica utilizable, y un inversor que convierte la electricidad generada de CC (corriente continua) a CA (corriente alterna) que se puede utilizar en los hogares o edificios (Mejía et al., 2010).

Las células solares están diseñadas para capturar la luz del sol y convertirla en electricidad. Estos paneles están compuestos por unas series de celdas solares y permiten la conversión de la energía recolectada por el panel solar a electricidad. Estas células están hechas de materiales semiconductores, como el silicio, y están diseñadas para liberar electrones cuando la luz solar incide sobre ellas (Mejía et al., 2010).

El inversor es un dispositivo que convierte la energía generada por los paneles solares de corriente continua a corriente alterna, que es la forma en que la electricidad se suministra a la mayoría de los hogares y edificios. El inversor también supervisa el sistema y garantiza que

esté funcionando correctamente. Además de los paneles solares y el inversor, los sistemas fotovoltaicos también incluyen otros componentes, como baterías para el almacenamiento de la energía generada y un regulador que proteger las baterías de sobrecargas. Los sistemas fotovoltaicos son una fuente de energía limpia, lo cual más personas están optando a implementar en sus hogares por sus beneficios. Se utilizan para alimentar hogares, edificios, y vehículos eléctricos, entre otros usos (Mejía et al., 2010).

2.6.1 Componentes de los sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas solares convierten la energía producida por el sol en electricidad mediante paneles solares. Los elementos principales de un sistema de paneles solares son los siguientes:

- Paneles solares: son los dispositivos que convierten la energía del sol en electricidad. Están formados por células solares que están hechas de silicio y que absorben la energía solar y la convierten en electricidad.

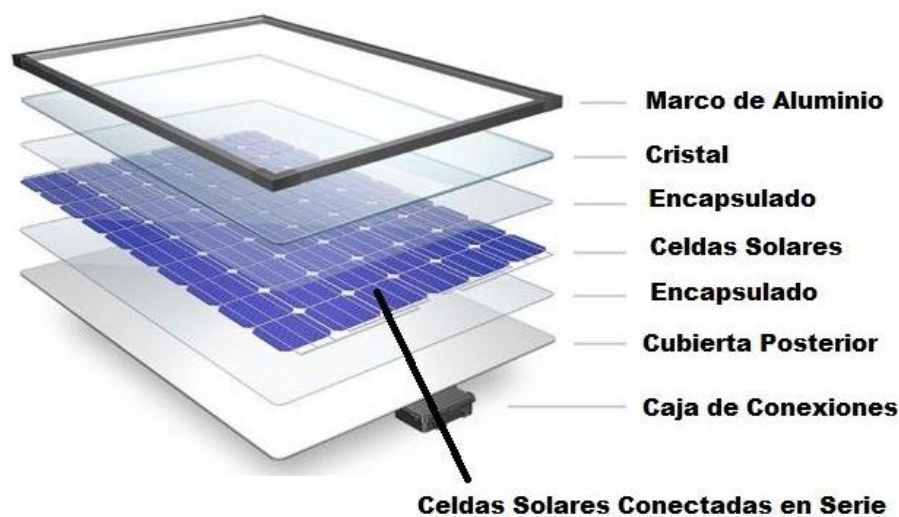


Fig. 4 Estructura de los paneles solares

Fuente: (<https://www.areatecnologia.com>, s. f.)

- Inversor: es el componente que convierte la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna que se puede utilizar en los hogares y las empresas.
- Baterías: son dispositivos que almacenan energía captada por los paneles solares para su consumo cuando hay días nublados.
- Controlador de carga: es el componente que regula la carga y descarga de las baterías para evitar sobrecargas y descargas excesivas.

- Cableado: se utiliza para conectar los diferentes componentes del sistema, como los paneles solares, el inversor, las baterías y el controlador de carga.
- Estructuras de montaje: son las estructuras que se utilizan para fijar los paneles en el techo o caso contrario en el suelo.
- Monitor de energía: es un elemento utilizado para la medición de la cantidad de energía que se genera y se consume en el sistema fotovoltaico.
- Protecciones eléctricas: son los dispositivos de protección contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones y otros problemas eléctricos que pueden dañar el sistema fotovoltaico.
- Elementos de conexión: son los componentes que se utilizan para conectar los paneles solares paralelo o también en serie para el alcance necesario tanto de corriente como de voltaje.

2.6.2 La importancia del sector residencial

Durante el periodo 2008-2018, se ha observado un aumento del 38% en el consumo de electricidad en el sector residencial del Caribe y América Latina, lo que también ha llevado a un incremento del 24% en el consumo per cápita en la región. En Ecuador, en los últimos diez años, el consumo eléctrico residencial ha aumentado en un 51%, y el número de clientes residenciales ha aumentado en un 29%. Además, el consumo mensual promedio en 2020 fue de 141,42 kWh, lo que representa un aumento del 16,5% con respecto al promedio de 2011. Este aumento en el consumo puede atribuirse a factores como el aumento del número de usuarios, la necesidad de mayor comodidad y la utilización de más dispositivos eléctricos en las edificaciones.

La utilización de paneles solares puede contribuir significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero, ya que la producción de energía eléctrica mediante recursos naturales no contamina con gases de dióxido de carbono. Si utiliza paneles solares, se puede reducir la dependencia de combustibles fósiles como el carbón o el petróleo, que son las principales fuentes que emiten gases contaminantes al medio ambiente.

2.7 Trabajos previos y revisión del estado del arte

(Elavarasan et al., 2020) analizan a fondo tres estados indios, Karnataka, Gujarat, Tamil Nadu, que, en la cima de la producción de energía renovable en la India, y discuten el escenario energético mundial en comparación con la situación Hindu. Además, analizan las barreras con el cual se permite desarrollar la energía renovable y las políticas del gobierno indio para promover la generación de energía renovable. Se estudió esto en base para ayudar

a académicos, investigadores y legisladores de la India a comprender mejor las perspectivas del país en cuanto a energía renovable.

(Icaza et al., 2022) examinan el Sistema Energético Eléctrico Sudamericano y su capacidad para incorporar fuentes de energía renovable como parte de la transición hacia sistemas energéticos libres de combustibles fósiles. El caso ecuatoriano es de particular interés ya que históricamente ha dependido en gran medida de combustibles fósiles, En este estudio, se presenta un análisis detallado del sistema eléctrico ecuatoriano y se utiliza el software Energyplan (Plan Energético) para proponer fuentes de energía renovable factibles y sus porcentajes de participación para abastecer la proyección de la demanda para el año 2050 satisfacer la demanda proyectada para el año 2050 y lograr un sistema eléctrico ecuatoriano 100% renovable. Se espera que la capacidad instalada en 2050 sea de 20 GW, lo que requerirá una producción anual de 72,24 TWh. Las fuentes de energía que tendrán el mayor impacto en la matriz energética ecuatoriana son la hidroeléctrica 6,03 GW, la solar fotovoltaica 5,5 GW y la eólica 5,64 GW.

(Cevallos-Sierra & Ramos-Martin, 2018) realizan el estudio de una gran lista de publicaciones GIS para seleccionar una metodología para identificar áreas adecuadas para el desarrollo de proyectos energéticos convencionales que no son renovables, con el fin de estimar la energía máxima que estas tecnologías podrían aportar a un sistema de energía eléctrica nacional y se aplica a la República del Ecuador. Mediante el uso de SIG (Sistema de Información Geográfico) buscan identificar los sitios donde se podrían ubicar potenciales plantas de energías renovables, y se recomienda inicialmente ubicaciones geográficas para la instalación de torres de medición de recurso solar y eólico, con el fin de obtener información más detallada sobre su comportamiento. Como resultado, se identificaron las áreas con mayor potencial para el desarrollo. Estos resultados muestran que la energía solar fotovoltaica es la tecnología con áreas más adecuadas en el país y demuestra un potencial particularmente grande en dos regiones: la región insular y la región Andina, especialmente en las provincias de Loja, Pichincha y las islas Galápagos.

(Barragán-Escandón et al., 2022) analizan que es necesita incorporar fuentes de energía limpia debido al crecimiento del consumo eléctrico y la contaminación resultante. Sin embargo, el avance tecnológico en la adopción de la energía eólica y solar fotovoltaica se ve obstaculizado por una serie de barreras en el contexto ecuatoriano. Esta investigación ha identificado las principales barreras para estas dos tecnologías mediante un enfoque de triangulación que involucra una revisión de la literatura y una encuesta. La uniformidad de las respuestas confirma que la falta de política energética, la regulación insuficiente, el financiamiento insuficiente, los subsidios a los combustibles y la incertidumbre de los

inversionistas son factores importantes que los diferentes actores deben considerar para encontrar mecanismos para reducir su impacto y garantizar la viabilidad un nuevo proyecto.

(Echegaray-Aveiga et al., 2018) realizan un estudio, utilizando un modelo matemático para estimar el potencial de energía solar incidente en Ecuador, utilizando datos de 27 estaciones meteorológicas entre 2004 y 2014. Analizaron la heliofanía registrada en las estaciones de dos formas, por región y por altitud. Los resultados indican que el valor medio del potencial energético solar estimado para la serie de 2004-2014 fue de 4.378 (kW-h/m² día). La región del Altiplano presentó la mayor radiación solar estimada en el país debido a su altitud. En esta zona, los rayos solares que inciden en la superficie están menos distorsionados por factores como el ozono, la nubosidad u otros gases atmosféricos, lo que aumenta la radiación solar total.

(García et al., 2019) realizan una revisión a la situación energética actual de Ecuador y cómo se han incorporado generadores fotovoltaicos en su sistema nacional. También se evalúa el potencial energético para una carga promedio en las cuatro regiones del país, utilizan el atlas solar y datos meteorológicos de un año para seleccionar las ubicaciones del sistema en estudio, utilizan el software Homer PRO para el dimensionamiento técnico y análisis económico. Los resultados muestran que la región insular tiene el costo nivelado de energía (COE) más bajo, que es de \$0.529, una autonomía de 22.7 horas y una carga eléctrica insatisfecha del 0.06% anual.

(Meral & Dinçer, 2011) analizan los diferentes factores que afectan la operación y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, como la tecnología de celdas PV (Paneles fotovoltaicos), las condiciones ambientales y la selección del equipo requerido. Expresan que no hay mucho estudio que presente todos los factores que afectan la eficiencia y el funcionamiento de todo el sistema fotovoltaico en la literatura. Este documento proporciona una revisión detallada de estos factores y también incluye sugerencias para el diseño de sistemas más eficientes. La descripción detallada presentada será útil para las personas que trabajan en la teoría, el diseño y/o la aplicación de células fotovoltaicas

(Siecker et al., 2017) realizan una revisión detallada de los diversos métodos para un enfriamiento eficaz de los sistemas fotovoltaicos, siendo crucial para aumentar su eficiencia y alargar su vida útil. Se discuten varias tecnologías de enfriamiento, incluyendo sistemas de enfriamiento de concentración de seguimiento flotante, sistemas híbridos solares fotovoltaicos/térmicos refrigerados por agua o aire forzado, y paneles solares con técnicas de refrigeración por inmersión en agua o revestimientos transparentes, entre otro, como objetivo principal de esta revisión es dar una comprensión detallada de cada tecnología mencionada anteriormente, incluyendo su rendimiento y área de aplicación, concluyendo que cualquier

tecnología adecuada seleccionada para enfriar paneles fotovoltaicos debe ser simple, confiable y permitir el uso del calor térmico extraído para mejorar la eficiencia de conversión general.

(Lundheim et al., 2021) presento una investigación para los países nórdicos, la adopción de paneles solares no ha sido tan generalizada como en otras partes de Europa. Este artículo tuvo como objetivo examinar cómo los propietarios de viviendas que han mostrado interés en los paneles solares tienen la intención de convertirse en clientes piloto en un esquema innovador para instalar paneles solares. Para este análisis, se utilizaron principalmente la teoría del comportamiento planificado, complementada por las normas descriptivas y la innovación como rasgo de personalidad. Los datos se recopilaron a través de una encuesta en línea y se analizaron los resultados de 577 participantes. La muestra consistió en personas que han dado un paso activo hacia la instalación de paneles solares en su residencia en respuesta a una llamada de un proveedor de energía local. Los resultados indicaron que el control conductual percibido tiene la mayor influencia en la intención. Además, ser innovador influye positivamente en la intención, mientras que ser escéptico ante la innovación tiene un efecto negativo. Las actitudes, sin embargo, solo tienen un impacto marginalmente significativo en la intención de este grupo objetivo. Los resultados de este estudio pueden proporcionar recomendaciones para dar forma a los mensajes a favor de los paneles solares dirigidos a personas que tienen una actitud positiva hacia ellos, pero aún no han decidido instalarlos.

(Ponce-Jara et al., 2022).compararon paneles fotovoltaicos de trayectoria solar fijos y de doble eje para medir la cantidad de energía cosechada en la ciudad costera de Manta, Ecuador. Se utilizó un sistema de monitoreo IoT basado en plataformas Raspberry Pi3 y Arduino para recopilar mediciones de radiación solar, intensidad de luz, temperatura, corriente y voltaje de cada minuto para ambos sistemas. Los resultados que se obtienen muestran que el sistema de seguimiento de doble eje produce un 19,62% más de energía en promedio que el sistema estático, lo que representa un aumento del 8,62% en comparación con un estudio anterior realizado en una región ecuatorial similar utilizando un sistema de seguimiento en un solo eje.

(Angumba et al., 2022) proponen un sistema híbrido que combina un sistema fotovoltaico con la explotación del calor proveniente de sumideros volcánicos. Se investiga específicamente el caso de Baños en Cuenca, Ecuador, teniendo como objetivo de satisfacer la demanda eléctrica y carga térmica en la zona cercana a asentamientos humanos, mejorando así el bienestar de las viviendas aprovechando las condiciones únicas del lugar.

Se estudia el sistema de manera aislada, sin considerar su conexión con la red eléctrica pública.

(Tina et al., 2012) examinan los sistemas de paneles solares sumergidos (PVS) en relación al aumento de su eficiencia bajo condiciones de alta irradiación y temperatura ambiente. Realizan un estudio de los efectos ópticos y térmicos mediante pruebas experimentales y modelos matemáticos con el fin de determinar el incremento de eficiencia por efectos de enfriamiento. También analizan el rendimiento de los PVS (Prototype Verification System) a diferentes profundidades en el agua, y se emplean los resultados de experimentos en paneles de silicio cristalino para validar los modelos utilizados.

(Xu et al., 2018) analizan sobre el reciclaje de paneles solares comentan que, si bien los esfuerzos en la actualidad se centran en mejorar la eficiencia, no consideran el reciclaje de los mismos cuando ya termina su vida útil ya que el reciclaje ayuda a ahorrar recursos por consiguiente reduciendo costos de producción, actualmente el tema reciclaje enfrenta problemas más grandes siendo uno de ellos una economía viable pero no tóxica para los recicladores.

(Bassoud et al., 2021) realizaron un estudio que consiste en evaluar el confort térmico en una casa antigua hecha de adobe en Argelia los materiales de construcción son de recursos locales es decir que había a su alrededor las casas permitía alto aislamiento térmico ofreciendo confort térmico y humedad durante épocas de calor extremo a comparación de edificaciones modernas de hierro y hormigón. Registraron temperaturas neutras de 31.52 °C, también concluyeron alta adaptación a viviendas hechas de adobe debido a su confort térmico.

(Mendoza Ruiz & Quiroz Siccha, 2021) analizan el uso del adobe como sistema constructivo para mejorar el confort térmico en edificaciones residenciales en el Distrito 4 de Huamachuco, utilizaron un enfoque descriptivo y aplicado y, a través de un estudio cuantitativo no experimental relacionado, encontraron que la mayoría de las viviendas de adobe carecen de calefacción debido a Estado de autoconstrucción y mantenimiento Mal confort. En conclusión, promover el uso correcto de los sistemas de construcción de Adobe y brindar capacitación en construcción de edificios a los residentes del Distrito 4 de Huamachuco ayudará a desarrollar habilidades de autosuficiencia, cooperación y capacitación para mejorar el uso de los sistemas de construcción y el confort de las casas termo Adobe.

(Holguino Huarza et al., 2018) evalúan el confort térmico en una cámara de ensayo construida con materiales de altura de los Andes peruanos, incluyendo adobe y andesita utilizados como acumuladores térmicos. En estudios experimentales determinaron valores de conductividad térmica de 0.176, 0.149 y 0.118 W/mK para adobe, yeso y paja, respectivamente. El sistema de batería térmica HP almacena el equivalente a 8305 MJ de

energía térmica, lo que hace que la temperatura dentro de HP en invierno sea un 63,83 % y 68,83 % superior a la temperatura promedio respectivamente.

(Hermawan et al., 2015a) analizan las discrepancias entre las casas construidas con ladrillos y madera en relación con el bienestar térmico de sus habitantes. Se comparan los resultados de las mediciones con un ensayo en el campo. Los datos obtenidos de las mediciones de las variables térmicas, calculadas muestran que ocho casas con paredes de madera tienen un promedio de 1,01 °C, mientras que ocho casas con paredes de ladrillo expuesto tienen un promedio de 1,71 °C de temperatura. Los resultados de las mediciones de campo indican que los habitantes de las casas con paredes de madera experimentan una mayor sensación de confort térmico en comparación con los habitantes de las casas con paredes de ladrillo expuesto.

(Sathiparan et al., 2022) se enfocan en comprender el confort térmico de unidades de vivienda construidas con materiales comunes de pared, como ladrillos cocidos, bloques de cemento y arena, y bloques de tierra estabilizada con cemento. Se observaron modelos de temperatura y humedad dentro y fuera de la casa para comparar el impacto de las herramientas de mampostería. Tres modelos con los cuales se realizó el análisis de confort térmico se utilizaron para comparar el rendimiento de los modelos de casa: modelo de confort de estado estacionario, modelo de criterios adaptativos y modelos deterministas de acuerdo con la Norma Europea Estándar Británica (BS EN) 16798, CIBSE TM52 y ANSI/ASHRAE 55. Los resultados indican que las unidades de vivienda construidas con bloques de tierra estabilizada con cemento y ladrillos de arcilla cocida son significativamente más cómodas en términos de variaciones de temperatura y humedad, lo que resulta en un menor consumo de energía y una reducción de la temperatura interior. Por lo tanto, estos materiales se consideran una opción adecuada para la construcción de viviendas energéticamente eficientes.

(Hermawan et al., 2015b) analizan la diferencia entre viviendas tradicionales con muros de madera en zonas costeras y montañosas, y utilizar los resultados para establecer la teoría del confort térmico adaptativo. Para ello, se utilizó un enfoque cuantitativo mediante la medición de variables térmicas como temperatura, temperatura del globo, velocidad y humedad relativa, utilizando herramientas de medición térmica. La región montañosa elegida fue Wonosobo Regency, mientras que la región costera seleccionada fue Demak Regency. Los resultados muestran que la diferencia promedio entre las viviendas de la zona costera fue de +0.73, mientras que en las viviendas de la zona montañosa fue de -0.81. Se concluyó que el sesgo en las casas de madera en la zona montañosa es mayor que en la zona costera, y que el valor para las viviendas en la costa fue de -0.28 y para las viviendas en la montaña fue de -1.12.

(Castañeda, 2012) comparte la experiencia de un equipo profesional que ha estado trabajando en Colombia para construir proyectos y prototipos de viviendas utilizando varias tecnologías e innovaciones. Tecno tierra ha desarrollado varias propuestas que permiten investigar y demostrar los diversos aspectos de la construcción con tierra, incluyendo sus beneficios y limitaciones. El trabajo presenta dos viviendas con tecnologías innovadoras, donde se abordaron temas como la tecnología, la salud, la energía, la gestión ambiental, la coordinación modular y el uso de materiales menos contaminantes, además, se analizó el ciclo de vida de la construcción y se promovió el diseño y la gestión sostenible.

(Zander, 2020) se enfocan en las motivaciones pasadas y futuras para la adopción de paneles solares en los tejados, así como en las barreras percibidas por las personas a la hora de adoptarlos. Los resultados de la escala mejor-peor demostraron que las motivaciones para las adopciones pasadas y futuras no diferían significativamente y que predominaban las motivaciones económicas, especialmente para los propietarios de viviendas.

(Kaya et al., 2019) examinan cómo el software de dimensiona sistemas, que subvencionó el equipo de instalación terminas en hogares rurales en Polonia, puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la contaminación del aire. Los resultados de encuestas del análisis de regresión muestran que el precio de compra de los paneles solares aumenta con la edad del encuestado y la ubicación del hogar, pero disminuye con el nivel de educación del encuestado en general, los resultados sugieren que los programas de apoyo a utilizar energías netamente renovables pueden ser efectivos en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de GEI en hogares rurales, y que los subsidios a los paneles solares pueden ser una herramienta valiosa para alcanzar estos objetivos.

(Fikru, 2020) examina los factores que influyen en los ahorros en las facturas de electricidad para los adoptantes de energía solar en cuatro estados de EE. UU. Utilizando un modelo multinivel para considerar las diferencias en las políticas estatales y las regulaciones locales, evalúan el efecto de estos factores sobre los ahorros después de tener en cuenta las características del hogar. Los resultados indicaron que los adoptantes solares ubicados en códigos postales con mayor penetración de energía fotovoltaica tienen mayores ahorros de verano, lo que sugiere que las políticas locales que facilitan la adopción generalizada de paneles solares pueden aumentar el valor privado de la energía solar, que las calculadoras de ahorro solar pueden personalizarse para incluir estas características de la casa y los residentes.

2.8 Modelado matemático

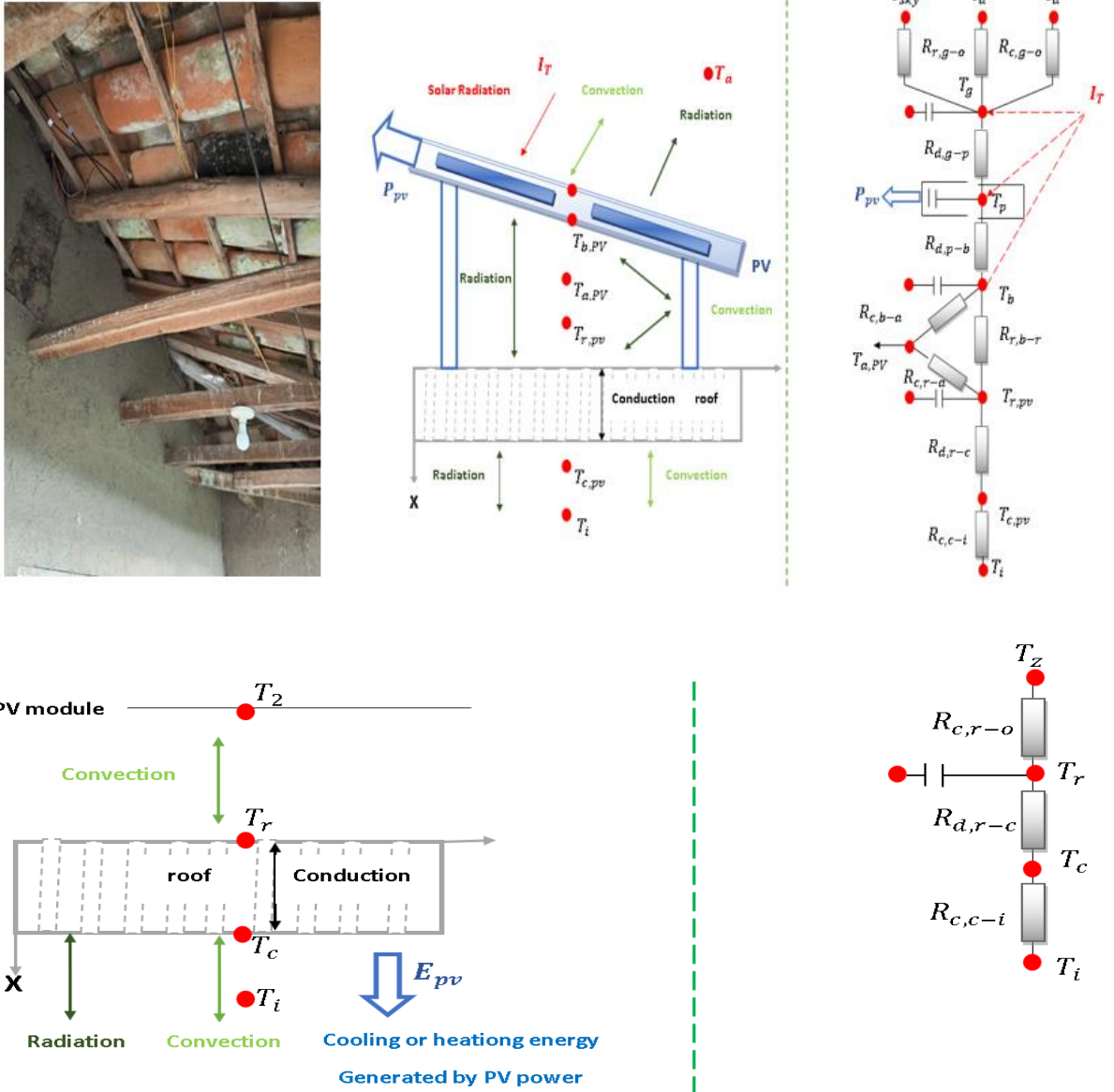


Fig. 5. Modelo físico simplificado del tejado fotovoltaico.

Fuente: Kenly Torres, Erick León, Autor.

2.9 Modelado simplificado

El modelo complejo de física teórica que describe la transferencia de calor en un techo con un panel fotovoltaico montado típicamente incluye la combinación de convección, radiación y direccionamiento de calor, como se muestra en la fig. 5. Debido a la complejidad de este modelo, es difícil obtener una solución analítica general. Para abordar esto, se hacen suposiciones específicas para los paneles solares montados en techos más comunes. En

primer lugar, se supone que la transferencia de calor a través de los paneles fotovoltaicos y el techo es unidimensional y tiene una conducción de calor inestable, ya que las dimensiones laterales de los paneles y el techo son mucho mayores que su grosor. En segundo lugar, se supone que hay suficiente espacio entre los paneles fotovoltaicos montados horizontalmente y el techo para evitar la acumulación de calor debajo de los paneles. Por lo tanto, la capa límite de transferencia de calor por convección que se genera debido a la alta temperatura de la parte posterior de un panel fotovoltaico no afecta la superficie exterior del techo. En tercer lugar, se supone que la cantidad de radiación recibida por el techo de los edificios circundantes es insignificante. Por último, según la suposición, se considera que la temperatura de la capa de aire sobre el techo es la misma que la temperatura del aire ambiente. Dado que se cumplen estas suposiciones, el modelo de transposición de calor del techo que se presenta en la figura 5 (Wang et al., 2020).

El traspaso de calor se puede expresar de la siguiente manera:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\lambda_n}{\rho_n c_n} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

En la ecuación dada, λ representa la conductividad térmica del material del techo en unidades de $W/(m \cdot K)$, ρ representa la densidad del material del techo en unidades de kg/m^3 , y C representa la capacidad calorífica del material del techo en unidades de $J/(kg \cdot K)$ se visualiza en la fórmula 2 y 3 (Zander, 2020).

Parte (a): Techo equipado con un panel fotovoltaico instalado.

$$-\lambda_n \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x = \delta} = h_i (T - T_i) \quad (2)$$

$$-\lambda_r \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x = 0} = h_{c,r-a} (T_{z,pv} - T) \quad (3)$$

Donde $T_z, pv(\tau)$ representa la temperatura del aire sobre el panel fotovoltaico en Kelvin, integrada desde encima del techo. $T_a(\tau)$ es la temperatura del aire ambiente en Kelvin. α_r es el almacenamiento que absorbe la superficie exterior del techo, sin unidades. q_{br} representa la radiación entre la superficie exterior del techo y la parte posterior del panel fotovoltaico en unidades de W/m^2 . Se representa por $h_c, r-a$, puede ser calculado utilizando el modelo de convección de ASHRAE (Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción). En condiciones de sombreado se denota como ISDI (Escuela de Negocios

y Tecnología de la Era Digital.), y se calcula mediante la ecuación (6) (Hermawan et al., 2015b).

La disipación de calor por radiación de onda larga entre la superficie exterior del techo y los alrededores es también considerada como:

$$T_{Z,PV}(\tau) = T_a(\tau) + \frac{\alpha_r I_{SDI}(\tau) + q_{br}(\tau) - VF \cdot q_{lw}(\tau)}{h_{c,r-a}(\tau)} \quad (4)$$

La temperatura del aire interior se representa como T1 en Kelvin y se considera constante en la ecuación. (Hermawan et al., 2015a).

La condición límite en la superficie exterior para diferentes techos fotovoltaicos se presenta a continuación:

$$h_{c,r-a} = e + fV \quad (5)$$

$$I_{SDI} = I_{DI} \cdot VF \quad (6)$$

$$q_{lw} = \epsilon_C \sigma_b [F_a(T_C^4 - T_a^4) + F_{sky}(T_C^4 - T_{sky}^4) + F_{gr}(T_C^4 - T_{gr}^4)] \quad (7)$$

En las ecuaciones (5) -(7) (Hermawan et al., 2015a), las variables e y f representan los coeficientes de velocidad del viento. Los coeficientes VF y r son adimensionales y representan el factor de vista de la superficie del techo, respectivamente. Tr denota la temperatura de la superficie exterior del techo en Kelvin, mientras que Tgr representa la temperatura del suelo en Kelvin. Por último, σ_b es la constante de Stefan-Boltzmann. La temperatura del panel posterior de los paneles fotovoltaicos, indicada por Tb, se puede obtener a partir de la fórmula empírica para la temperatura trasera de los módulos fotovoltaicos en el rendimiento eléctrico se expresa en la ecuación 8 (Cevallos-Sierra & Ramos-Martin, 2018).

$$T_b(\tau) = T_a + I_T \cdot \exp(a + bV) \quad (8)$$

La ecuación (8) utiliza los coeficientes empíricos a y b, que son -3.562 y -0.07862, respectivamente, y la velocidad del viento en m/s, denotada como V, para obtener la temperatura del cielo como vemos en la siguiente ecuación (Cevallos-Sierra & Ramos-Martin, 2018).

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5} \quad (9)$$

Parte (b) se refiere a un techo que tiene paneles fotovoltaicos adheridos firmemente representadas en las siguientes formulas (Echegaray-Aveiga et al., 2018):

$$-\lambda_n \frac{\partial T}{\partial x} l_{x=0} = h_{c,g-a}(T_{zc} - T) \quad (10)$$

$$T_{zm}(\tau) = T_a(\tau) + \frac{\alpha_c I_T(\tau) - q_{1W}(\tau)}{h_{c,g-a}(\tau)} \quad (11)$$

En esta parte, T realiza la representación de la temperatura del medio ambiente integrada en K, $h_{c,g-a}$ denota el coeficiente de transferencia de calor por convección de la cubierta del techo en $W/(m^2 \cdot K)$, I_T denota la intensidad total de la radiación incidente en W/m^2 , α_c representa la capacidad de absorción de la superficie del techo, una cantidad adimensional. La transferencia de calor por radiación entre la superficie exterior del techo y el entorno circundante de los paneles fotovoltaicos se denota como $q_w(\tau)$ en W/m^2 .

Esta parte se refiere a un techo ordinario sin paneles fotovoltaicos adicionales mediante la siguiente sección (Echegaray-Aveiga et al., 2018):

$$-\lambda_r \frac{\partial T}{\partial x} l_{x=0} = h_{c,r-a}(T_{zc} - T) \quad (12)$$

$$T_{zc}(\tau) = T_a(\tau) + \frac{\alpha_R I_T(\tau) - q_{1W}(\tau)}{h_{c,r-a}(\tau)} \quad (13)$$

La temperatura del techo se resuelve utilizando los métodos mencionados anteriormente, donde T_{zc} representa la temperatura del aire integrado en un techo ordinario en K. Para analizar cómo el sombreado afecta la ganancia de calor del techo bajo condiciones de temperatura dadas, se utiliza el factor de respuesta periódica (PRF) junto con métodos discretos para calcular la ganancia de calor por conducción en función del tiempo. Luego, se utilizan los métodos del factor de tiempo de radiación (RTF) para convertir la ganancia de calor en una temperatura del techo.

La ganancia de calor se calcula para cada hora mediante la siguiente formula (García et al., 2019).

$$q_{\theta} = A(\sum_{j=0}^{23} Y_j t_{z,\theta-j\Delta\tau} - t_i \sum_{j=0}^{23} Y_j) \quad (14)$$

La ganancia de calor total transferida al interior se divide en contribuciones de calor. El calor ganado convierte directamente la carga en refrigeración por convección, mientras que el calor ganado por radiación se convierte en carga de enfriamiento por radiación mediante el uso del RTF. En el caso del techo, los componentes de radiación y convección representan el 0,84 de las ganancias totales de calor, mientras que el 0,16 restante se debe a la convección en la siguiente formula(García et al., 2019).

La carga de enfriamiento horaria de un techo está dada por:

$$Q_{\theta} = 0.84 \sum_{j=0}^{23} r_j \cdot q_{\theta-j\Delta\tau} + 0.16q_{\theta} \quad (15)$$

Los beneficios proporcionados por la instalación de paneles fotovoltaicos en la parte superior del techo pueden desglosarse en dos categorías: la ganancia de sombreado y la generación de energía, que resultan en ahorro de costos e ingresos.

La ganancia diaria de sombreado de los paneles fotovoltaicos puede ser determinada mediante la siguiente fórmula 16 (García et al., 2019).

$$Q_z = \sum_{\theta=0}^{23} Q_{n\theta} - Q_{PVS} \quad (16)$$

En la fórmula 17 (Ponce-Jara et al., 2022) se puede expresar la generación de energía diaria de un techo fotovoltaico como $P_{pv\theta}$, representa la carga horaria de refrigeración o calefacción de un techo sin paneles fotovoltaicos expresada en W, y $P_{pv\theta}$.

La cantidad de calor ganado por hora se determina por medio de:

$$E_{pv} = \sum_{\theta=0}^{23} P_{PV\theta} \times COP \quad (17)$$

En la siguiente ecuación 18 (Ponce-Jara et al., 2022) se puede calcularse la potencia generada por un techo fotovoltaico en un momento como E_{pv} en Q_z , Después de calcular el efecto integral de un techo fotovoltaico en el consumo energético del edificio, se introduce el índice de eficiencia del ahorro de energía general de un techo fotovoltaico, denominado η_{sys} , con el objetivo de compararlo con un techo ordinario y promover su aplicación.

Este índice se expresa como:

$$\eta_{sys} = \frac{E_{pv} + Q_z}{I_T} \quad (18)$$

Con el fin de evaluar la consistencia entre los resultados experimentales y teóricos, así como verificar la precisión del modelo propuesto, se utilizaron el índice de error relativo medio (MRE) y el error de precisión porcentual (PAE) como medidas de evaluación.

Estas métricas se calcularon mediante las fórmulas (Tina et al., 2012):

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|C_i - M_i|}{M_i} \quad (19)$$

$$PAE = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |C_i - M_i|}{M} \quad (20)$$

La letra C_i representa el resultado obtenido a partir de la simulación y M representa el resultado obtenido a partir del experimento.

Es posible expresar (Eltayeb et al., 2023) la corriente de salida del modelo SPV de la siguiente manera:

$$I = I_{pH} - I_D - I_{sh} \quad (21)$$

En este caso, se tienen las variables I_{ph} , I_D e I_{sh} , que representan la corriente SPV (A), la corriente a través del diodo (A) y la corriente a través de la resistencia de derivación R_{sh} (A), (Eltayeb et al., 2023).

La corriente SPV se calcula a partir de estas variables.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \frac{G}{1000} \quad (22)$$

En este contexto, se tienen las variables I_{sc} , K_i , T y G , que representan la corriente de cortocircuito (SC) (A), el coeficiente de CC del circuito fotovoltaico en las condiciones de prueba normal ($T = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ y $G = 1000 \text{ W/m}^2$), la temperatura de funcionamiento ($^\circ\text{C}$) y la irradiación solar (W/m^2) (Eltayeb et al., 2023).

La corriente a través del diodo se expresa como:

$$I_D = I_o \left[\frac{q(v + IR_s)}{nkTN_s - 1} \right]$$

(23)

La ecuación 23 (Eltayeb et al., 2023) tiene variables q , n , R_S , k , N_s e I_0 , que representan la carga eléctrica (1.6×10^{-19} C), el factor de idealidad del diodo (1.3), la resistencia en serie (Ω), la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K), el número de celdas en serie y la corriente de saturación del diodo, respectivamente.

La corriente de saturación del diodo se define como.

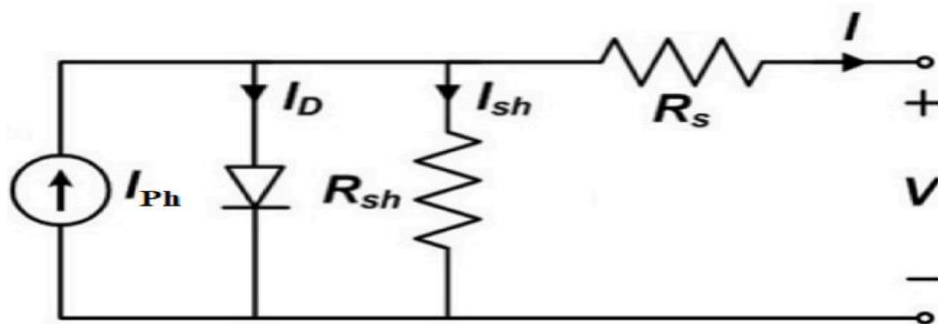
$$I_0 = I_{rs} \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \cdot e^{\left[\frac{qEg_0\left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T}\right)}{nK}\right]} \quad (24)$$

En este contexto, se tienen las variables T_n , Eg_0 e I_{rs} , que representan la temperatura nominal (298 °K), la energía de banda prohibida del semiconductor (1.1 eV) y la (I) de saturación respectivamente.

La corriente de saturación inversa de la celda se calcula como la siguiente ecuación (Eltayeb et al., 2023).

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\left[e^{\left(\frac{qV_{OC}}{nkTN_S}\right)} - 1\right]} \quad (25)$$

Por último, se obtiene la corriente de derivación del modelo fotovoltaico.



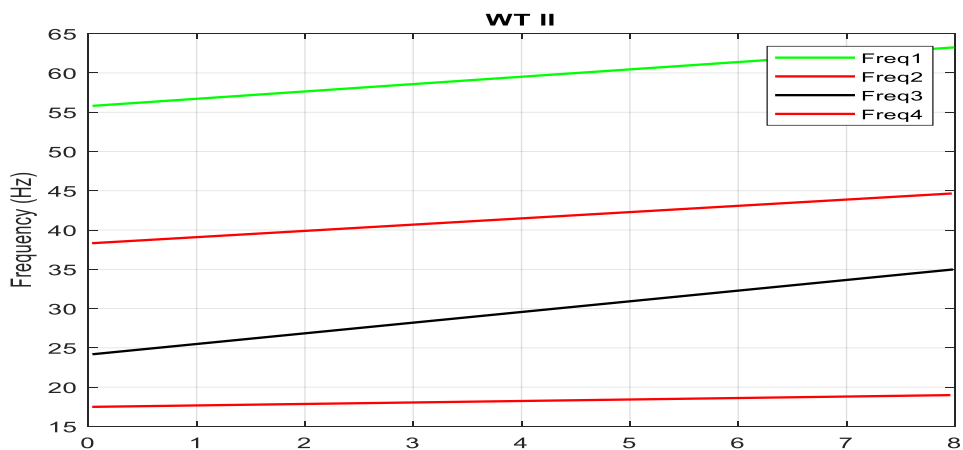
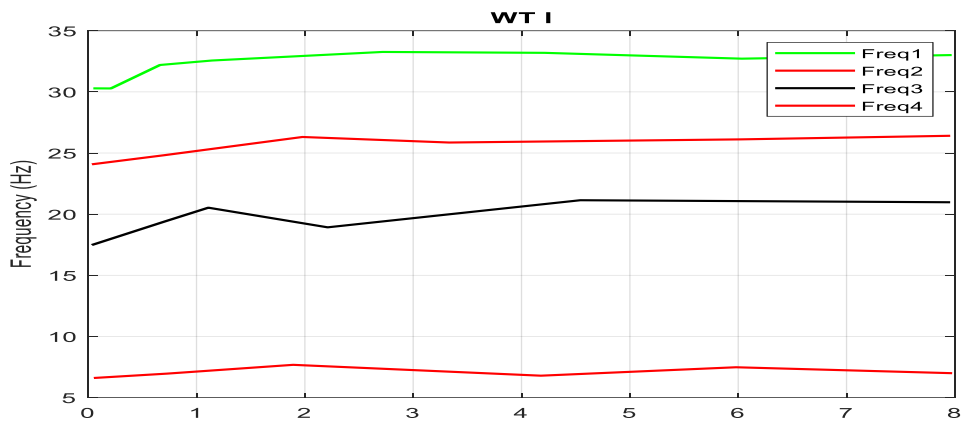
Esquema de circuito equivalente para SPV.

$$I_{sh} = \frac{V + IR_{sh}}{R_{sh}} \quad (26)$$

CAPITULO 3 DESARROLLO

3.1 Resultados de monitoreo de temperatura y humedad

La temperatura y la humedad ubicados en los muros de adobe son fenómenos no uniformes y dependientes del tiempo, influenciados por factores como la humedad y la temperatura ambiente, el viento, la radiación solar y la inercia térmica como se aprecia en la fig. 6. Para comprender estos procesos, se llevó a cabo un estudio detallado en dos cortes transversales representativos de cada muro de adobe. Este análisis incluyó secciones verticales y horizontales medias, con sensores ubicados en la interfaz entre la cimentación de hormigón y las paredes. Los resultados indican que la temperatura interna varía significativamente a lo largo de la altura y ancho de la pared, mientras que la humedad interna se distribuye de manera constante.



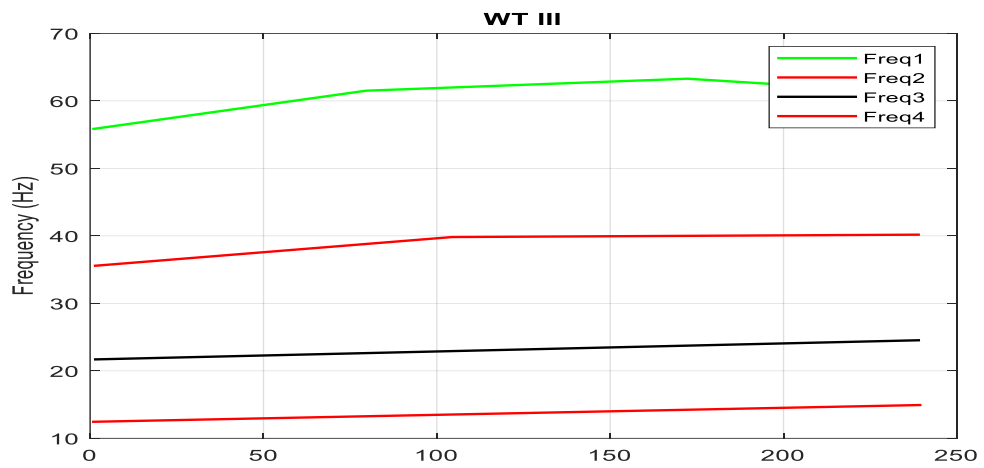
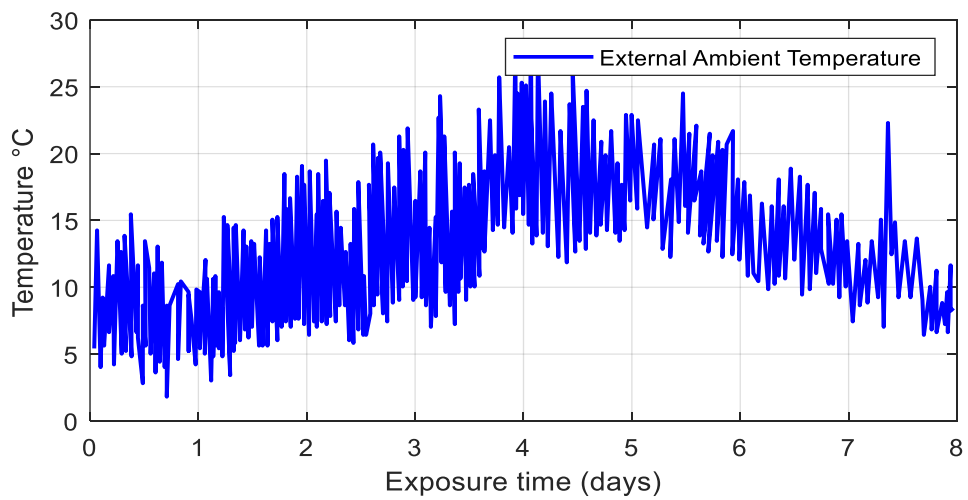


Fig. 6 Frecuencias naturales identificadas: (a) WT I; (b) WT II; y (c) WT III.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.



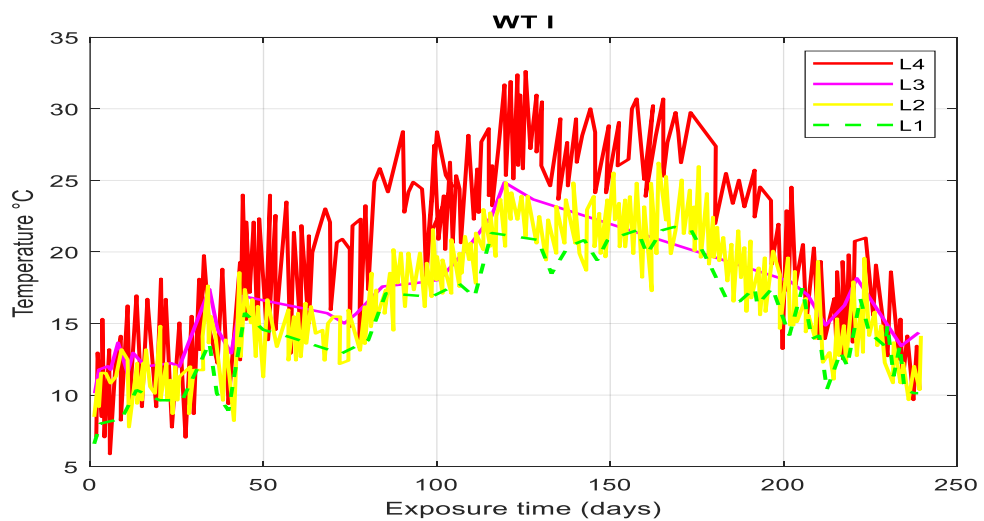
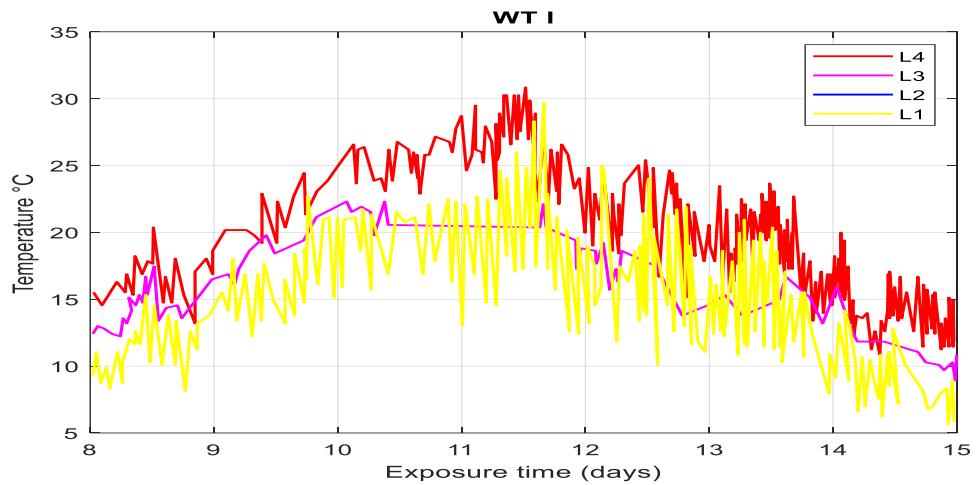
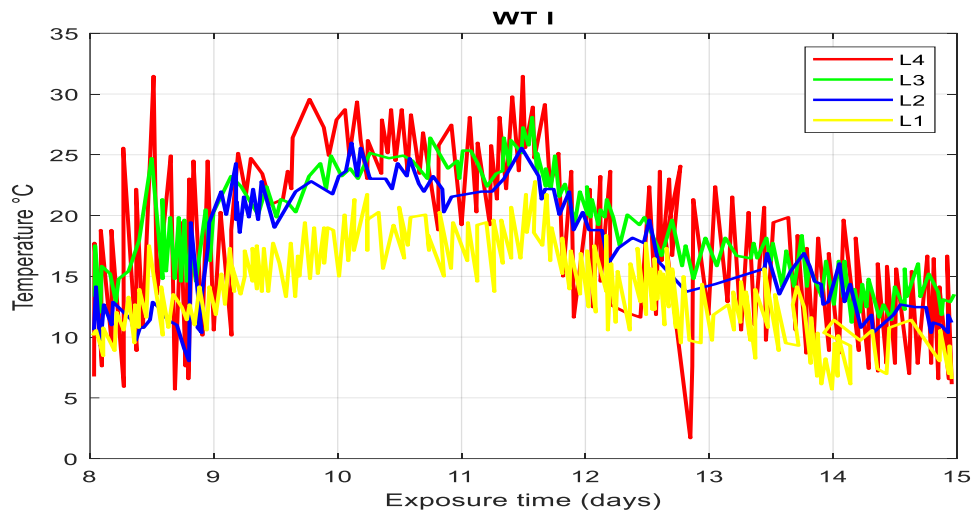
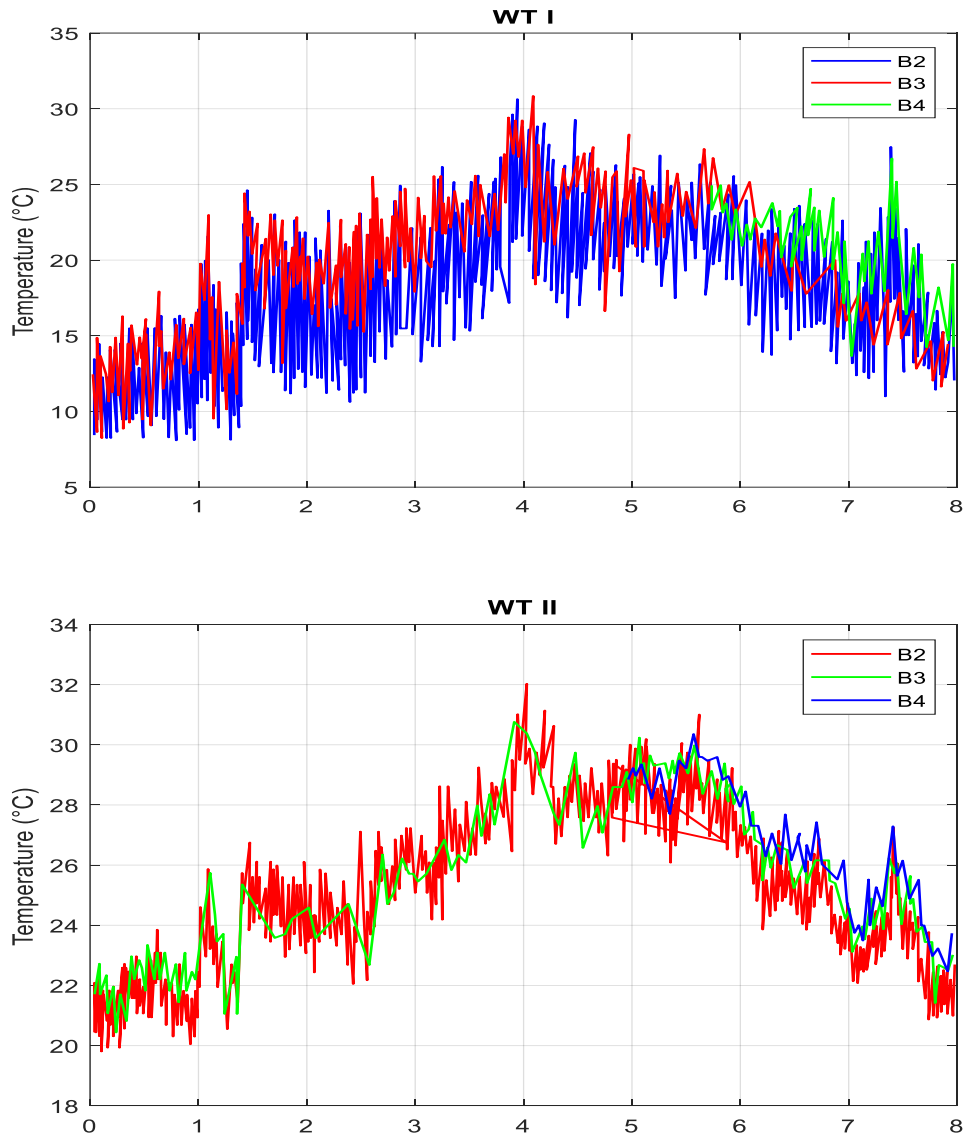


Fig. 7 Resultados de la distribución de la temperatura en todo el periodo de monitorización: (a) Variación de la temperatura externa (ambiente); y (b) (c) (d) variaciones de las temperaturas internas de WTI, WTII y WTIII sección vertical media, (sensores B1, B3, B8 y B9).

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

A continuación, la figura 8 muestra el gradiente de temperatura interna del sensor en la sección transversal horizontal promedio de tres paredes L3. Los resultados mostraron que, en la misma sección transversal, a la misma altura y en la sección media, pero en el sentido longitudinal, la magnitud y tendencia de los cambios de temperatura registrados por cada sensor fueron similares; A medida que aumenta el espesor de la pared, la magnitud del cambio de temperatura disminuirá.



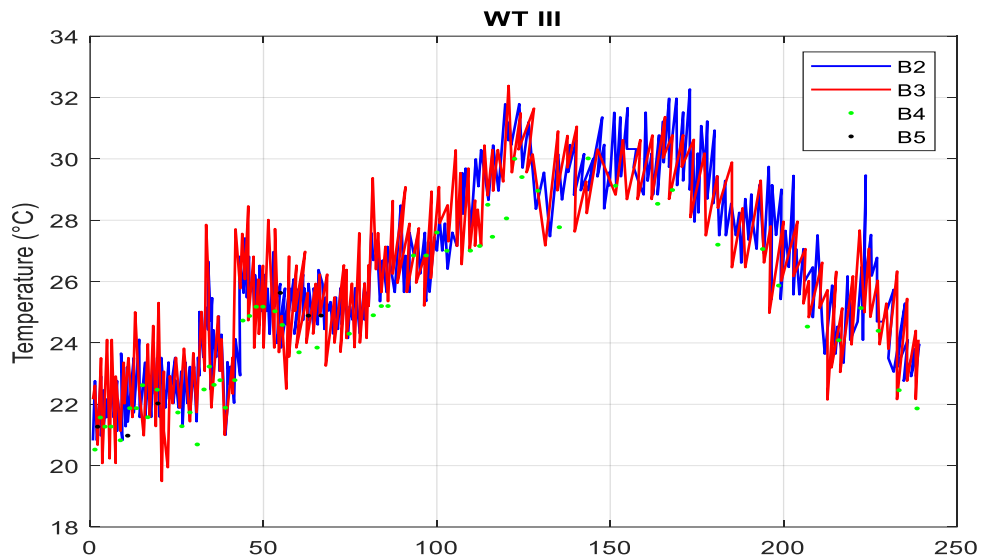
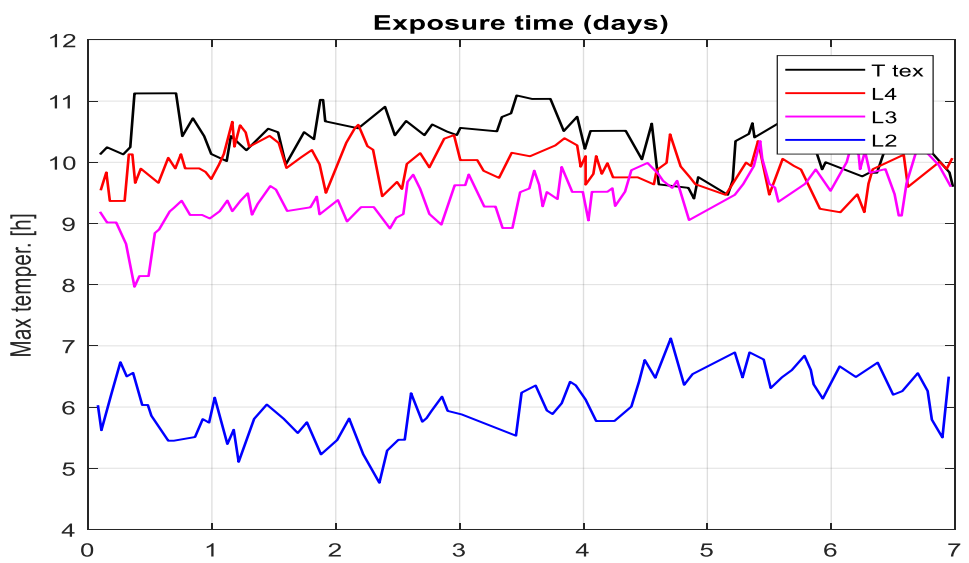
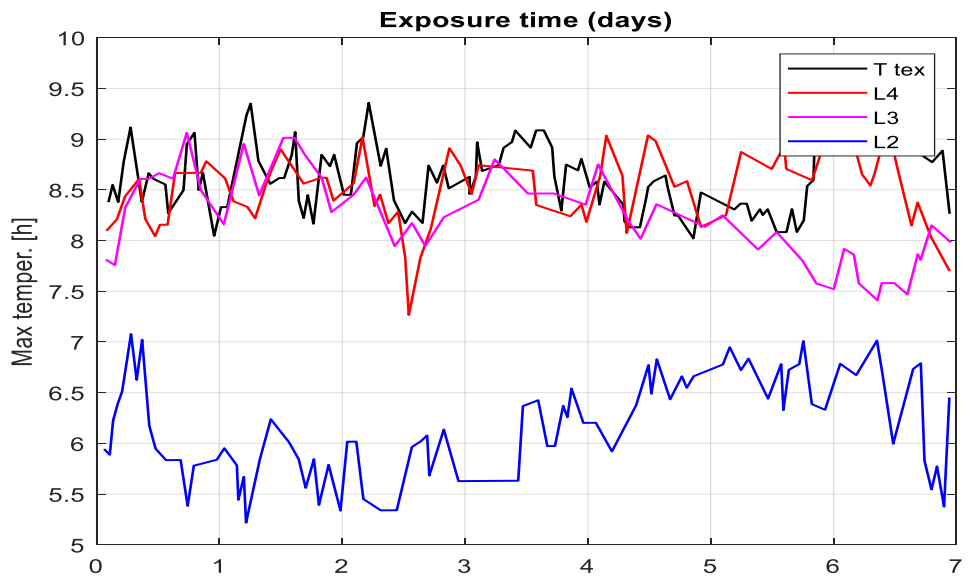


Fig. 8 Resultados de la variación de la temperatura interna de la sección transversal media horizontal (L3): (a) WTI; (b) WTII; y (c) WTIII.

Fuente:(<https://www.areatecnologia.com>, s. f.)

Las imágenes 9a-c ilustran los momentos en que se alcanzó la temperatura máxima del ambiente externo y la temperatura interna registrada por los sensores B1, B3 y B8, ubicados en el centro de las secciones transversales L4, L3 y L2. Se observa que la temperatura máxima del ambiente externo fue registrada alrededor de las 12:00 horas, mientras que la temperatura interna máxima registrada por el sensor B1 en la sección transversal L4 ocurrió entre las 17:00 y las 19:00 horas. Estos resultados indican que la temperatura interna aumenta en el centro de la sección transversal incluso cuando la temperatura ambiente externa disminuye. El análisis de pared a pared reveló que la temperatura máxima registrada por todos los sensores internos en el WTI fue alrededor de las 17:00 horas, mientras que en el WTII se registró entre las 19:00 y las 21:00 horas y en el WTIII entre las 18:00 y las 22:00 horas, mostrando variaciones temporales más amplias para paredes de mayor grosor.



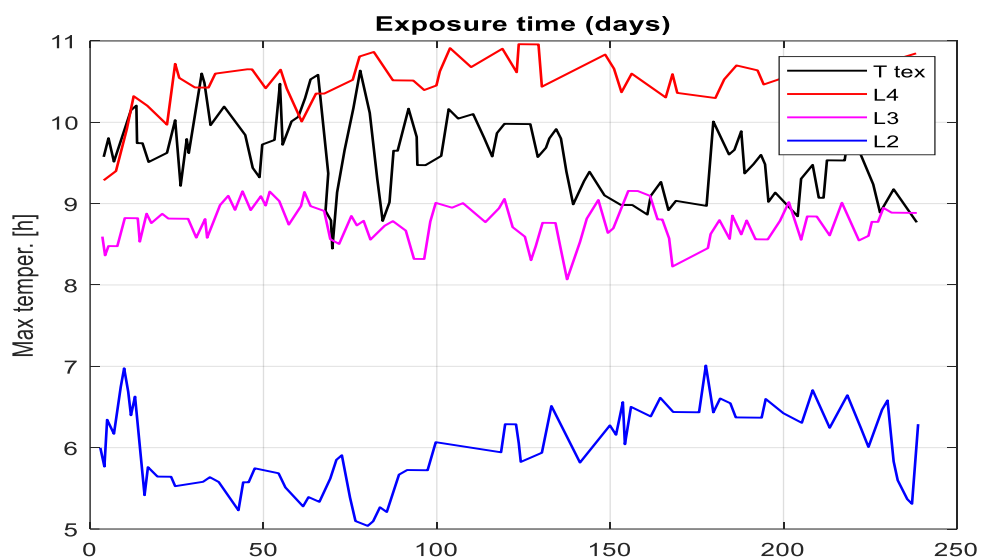
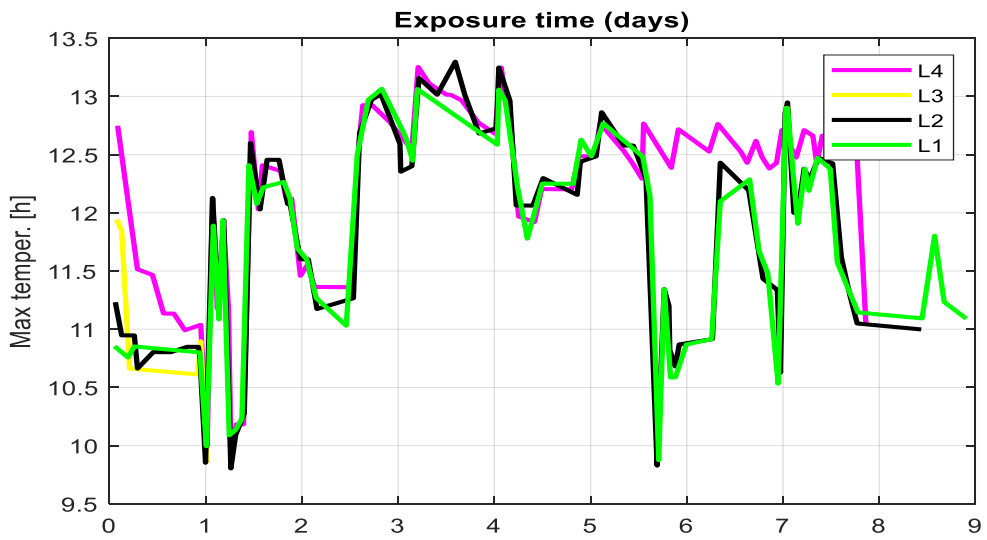
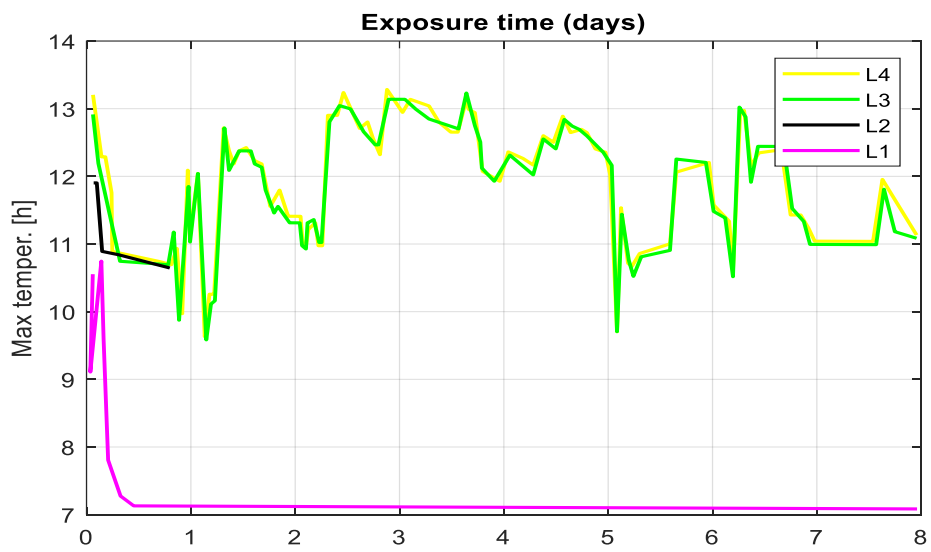
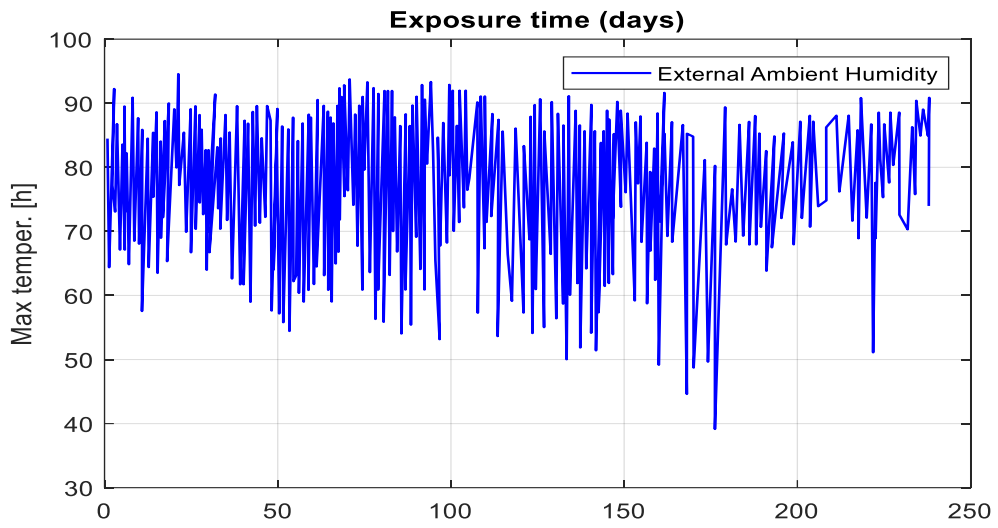
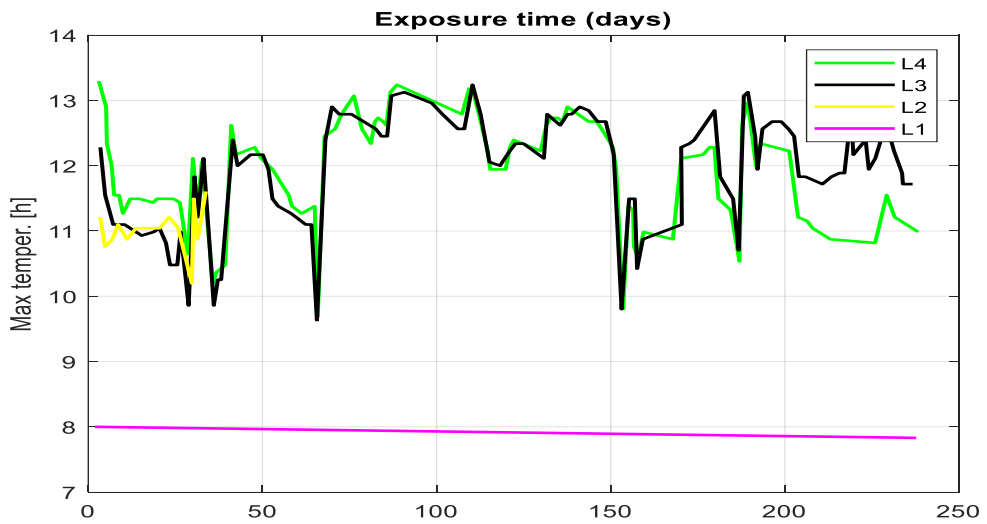
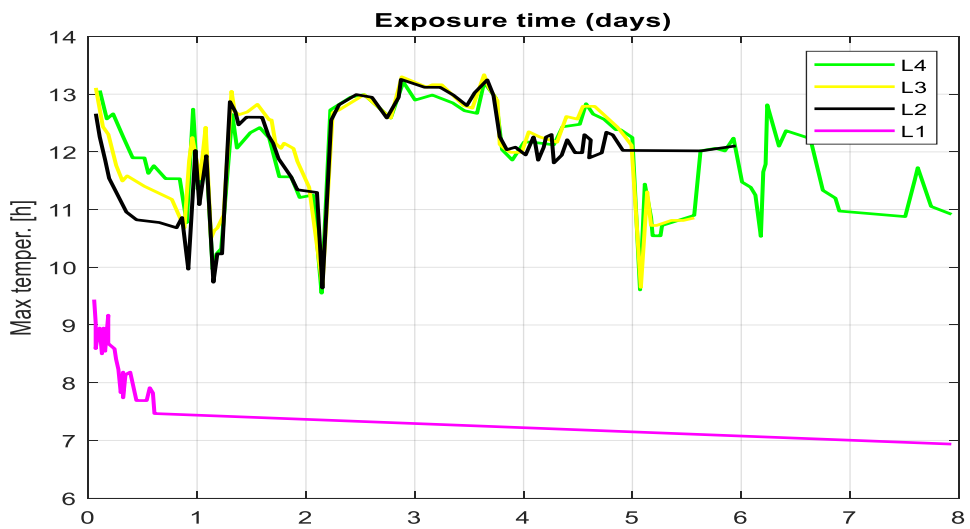
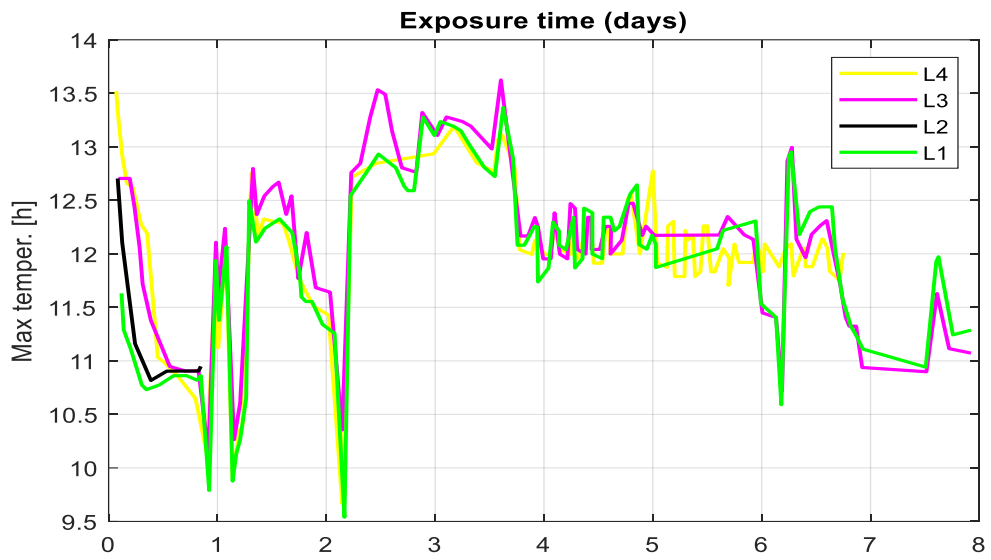


Fig. 9 Resultados de los valores máximos de la variación de temperatura exterior (ambiente) y de la variación de temperatura interior registrados por los sensores B1 de cada pared.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

La Figura 9 muestra la humedad exterior (ambiente) e interior registrada durante el período de monitoreo. Debido a las variaciones diurnas (ambientes) exteriores (Figura 12a), la humedad (ambiente) exterior muestra variaciones diurnas con un valor máximo de 99% en Lima en septiembre a fines de invierno y un valor mínimo de 38% en marzo. en el verano Lima tiene un máximo de 99% cálido a fines del invierno en septiembre y un mínimo de 38% en el verano de marzo. No se encontró una tendencia estacional clara para la humedad externa, mientras que las mediciones de la humedad de las paredes internas mostraron un comportamiento casi constante en el tiempo con un valor promedio de 11-13% en alturas medias (Fig. 1). 10b-d), y valores más bajos (alrededor del 7%) en la interfaz pared/base de hormigón (sensor B9 en la sección L1). Los resultados no mostraron correlación entre las mediciones de humedad externa e interna. Además, los valores de humedad interior de las tres paredes fueron similares en tendencia y magnitud, no mostrando variación diurna ni estacional durante el periodo de monitoreo. La razón de esto puede ser el tipo y la resolución del sensor utilizado, que solo registra la resistencia local del material como una medida indirecta de la humedad interna. Como medida indirecta de la humedad interna. Por estas razones, no se realizó un análisis adicional de los datos de humedad interior.





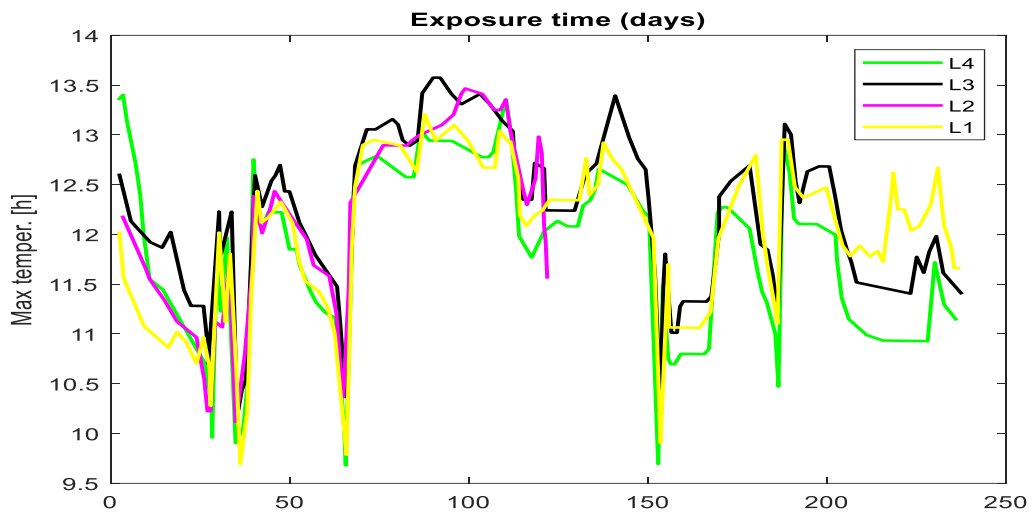


Fig. 10 Resultados de la variación de la humedad en todo el periodo de seguimiento: (a) Variación de la humedad externa (ambiente), y (b) (c) (d) variaciones de la humedad interna de la sección vertical medio (sensores B1, B3, B8 y B9) y horizontal medio (sensores B2, B3, B4 y B5) del WTI, WTII y WTIII.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

3.2 Análisis de la variabilidad de las condiciones ambientales

Aquí visualizamos comparaciones por medio de los registros de temperatura externa e interna para las paredes de adobe, se colocaron los sensores en la mitad de la pared de adobe.

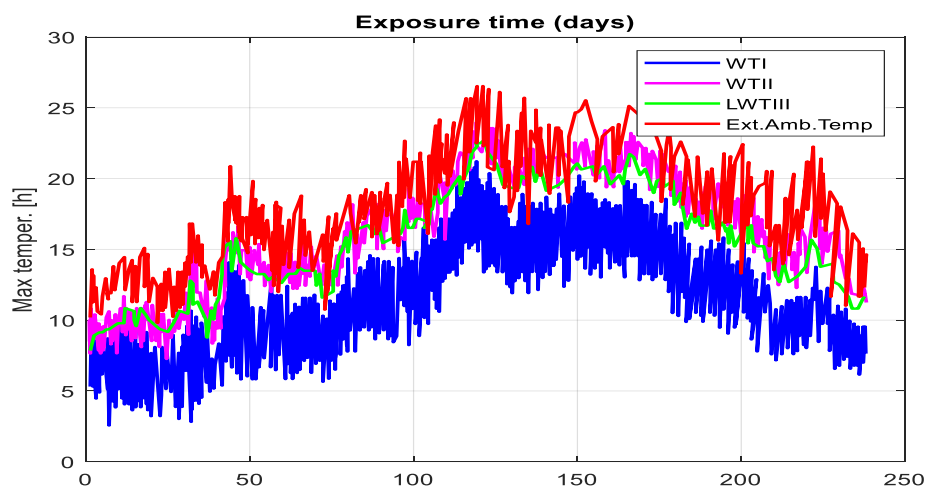


Fig. 11 Comparación entre la temperatura externa (ambiente) y la temperatura interna registrada por los sensores B3 de WTI, WTII y WTIII.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

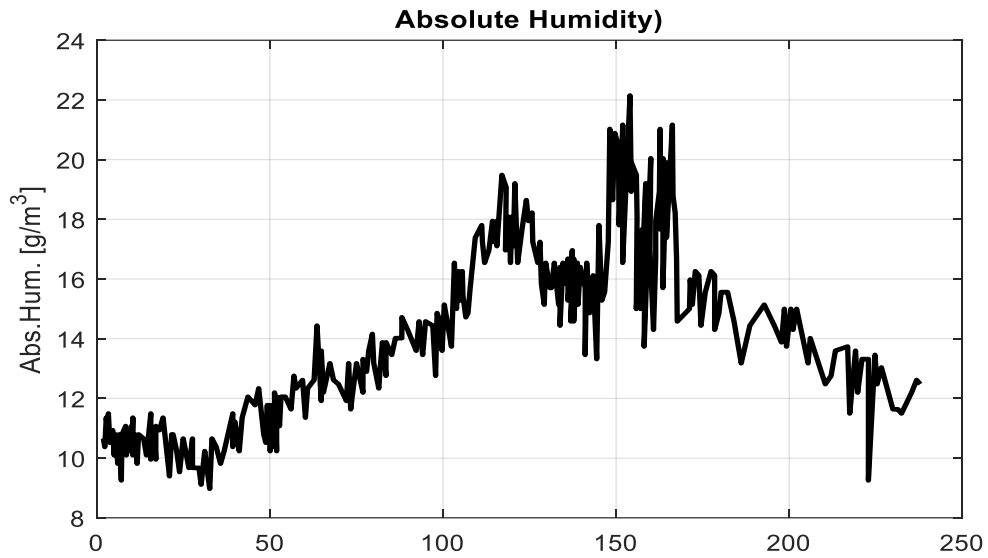
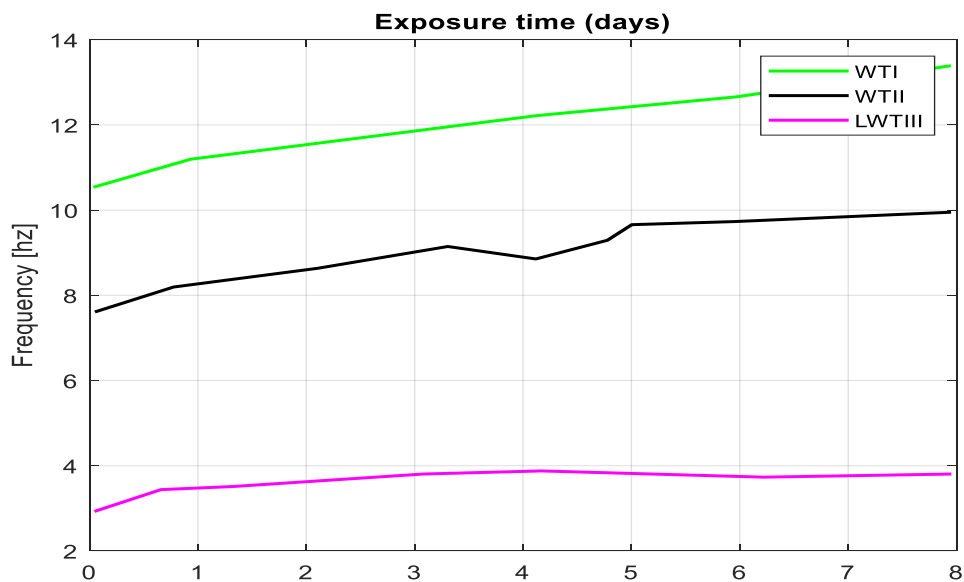
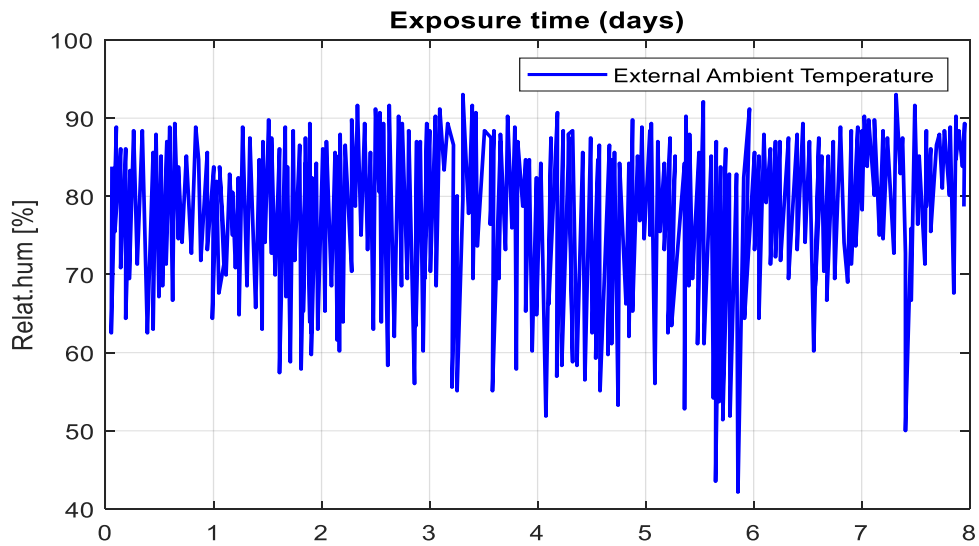
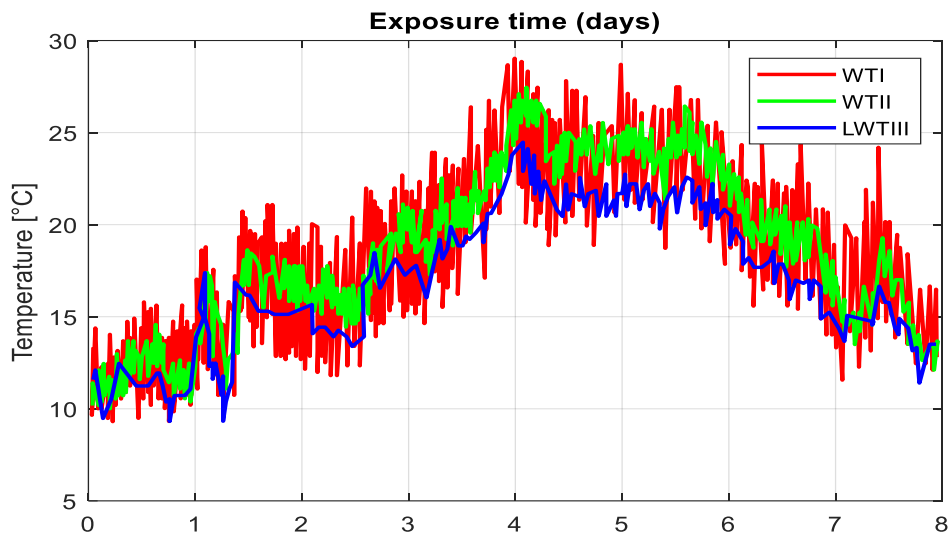
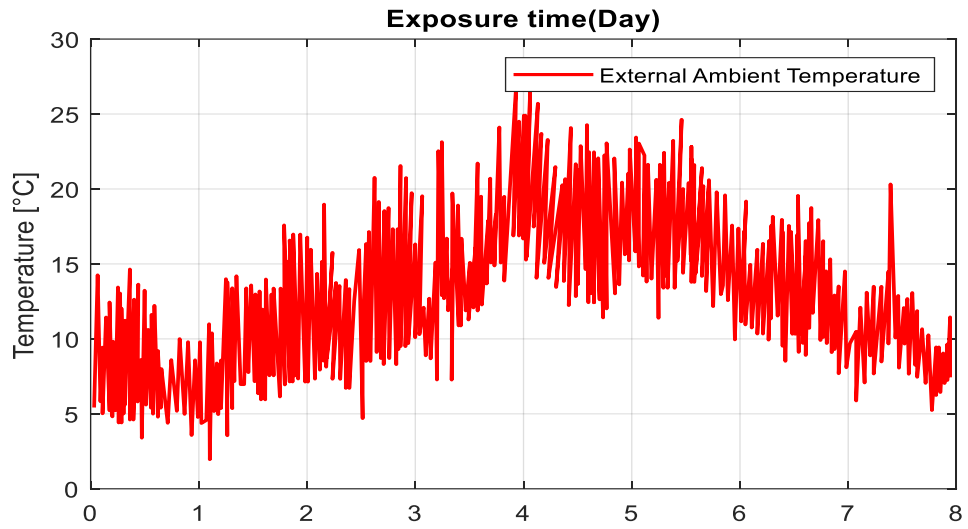


Fig. 12 Relación entre la temperatura ambiente exterior y la humedad correlación entre la temperatura (ambiente) exterior y la humedad relativa.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

Según los resultados, se observa que la temperatura dentro de las paredes alcanza valores más elevados y se mantiene durante un periodo mayor que la temperatura exterior. Este fenómeno se debe a varios factores ambientales, como son la temperatura, la dirección del viento, la exposición solar, la orientación de las paredes y la inercia térmica. Además, la inercia térmica es la razón por la cual las temperaturas mínimas internas son superiores a las mínimas externas.





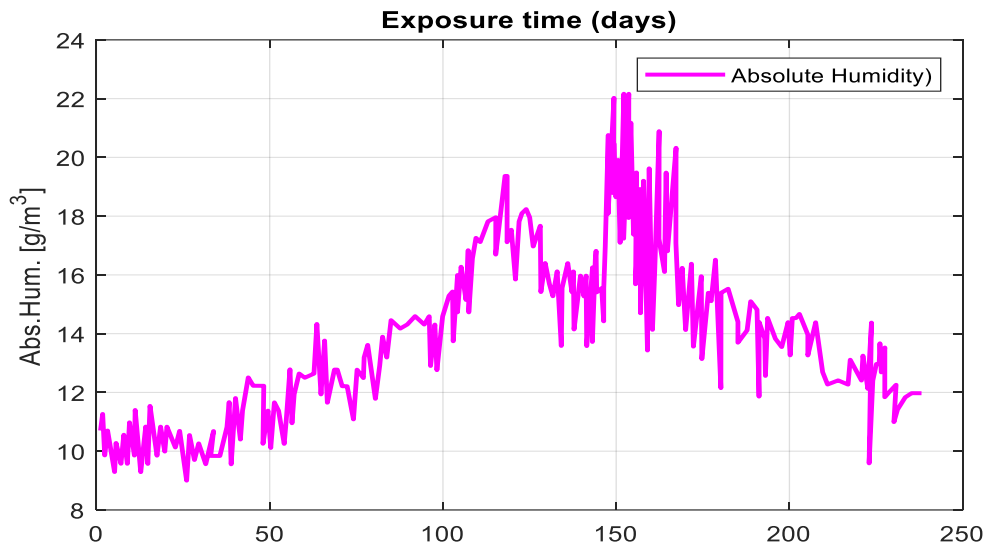
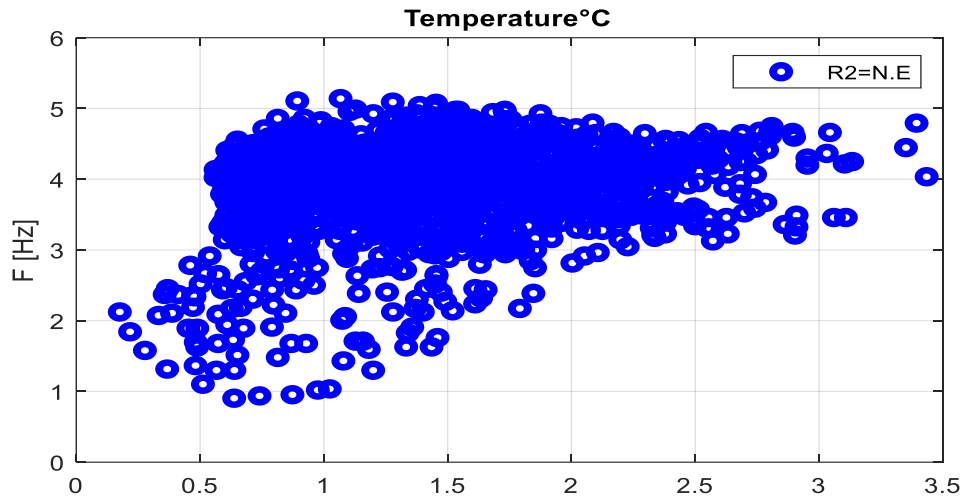


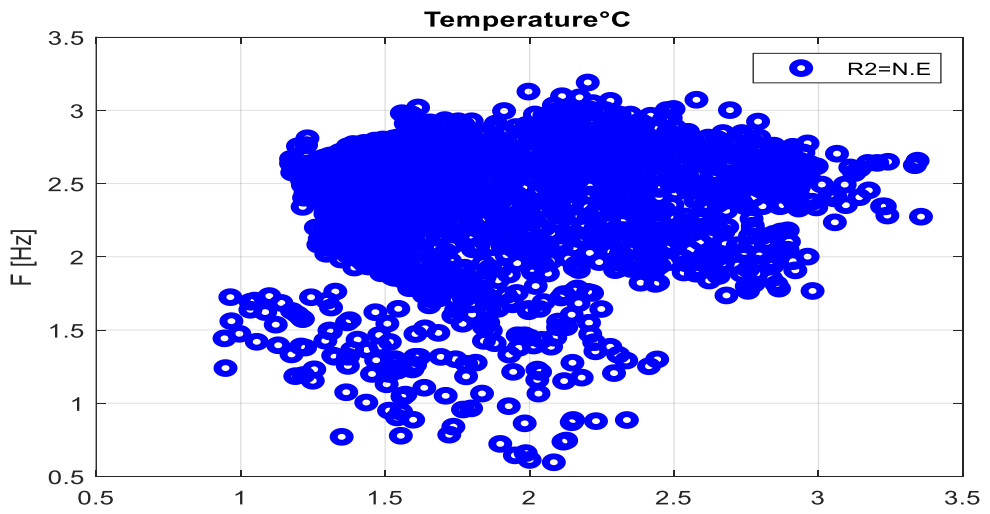
Fig. 13 Comparación entre las primeras frecuencias y la distribución de temperatura/humedad durante todo el periodo de seguimiento.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

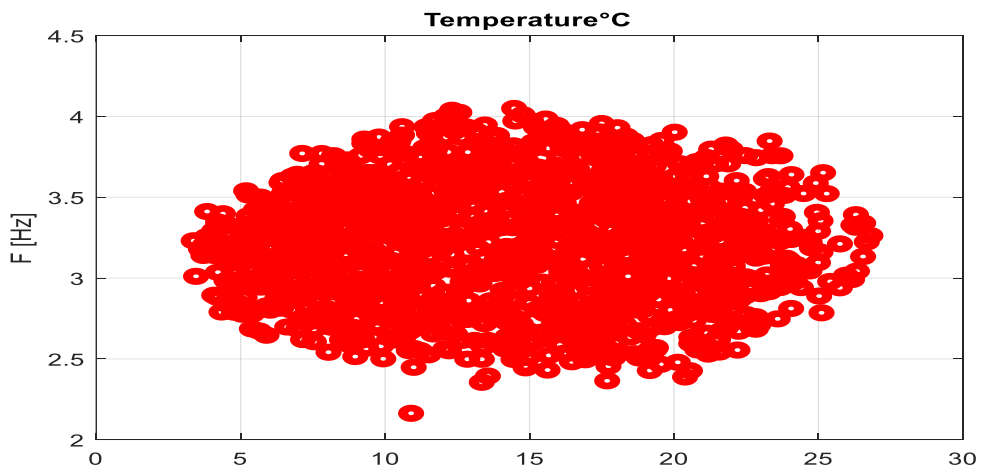
En la Figura 13 se presenta la distribución de correlación de la primera frecuencia de cada pared durante todo el periodo de vigilancia de 240 días, tanto antes (datos brutos) como después (datos procesados) de aplicar el procedimiento de filtrado. Los gráficos muestran un cambio significativo en la frecuencia debido al periodo de secado y a los efectos estacionales, lo cual se refleja en una distribución no uniforme de los puntos. Esta distribución no uniforme es más evidente en los gráficos de temperatura de las paredes WTII y WTIII, debido a que experimentaron un periodo de secado más prolongado y a los cambios estacionales en la variable de temperatura. La figura 13 (datos filtrados), por su parte, muestra la distribución de correlación de los datos procesados con el procedimiento de filtrado. Como se puede apreciar, la distribución no uniforme de puntos que estaba presente en los gráficos con datos brutos ha sido eliminada. Se observan coeficientes de correlación elevados con una tendencia negativa.



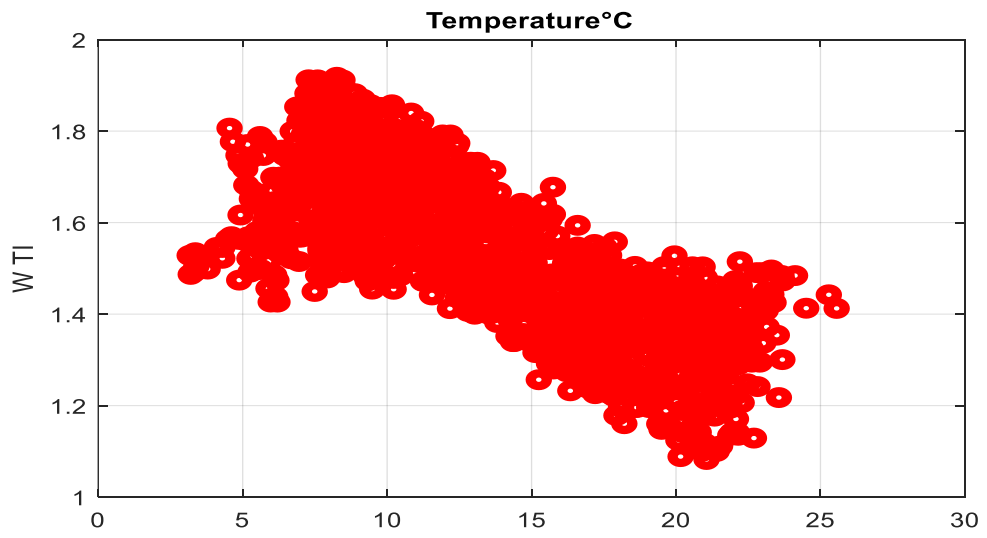
a)



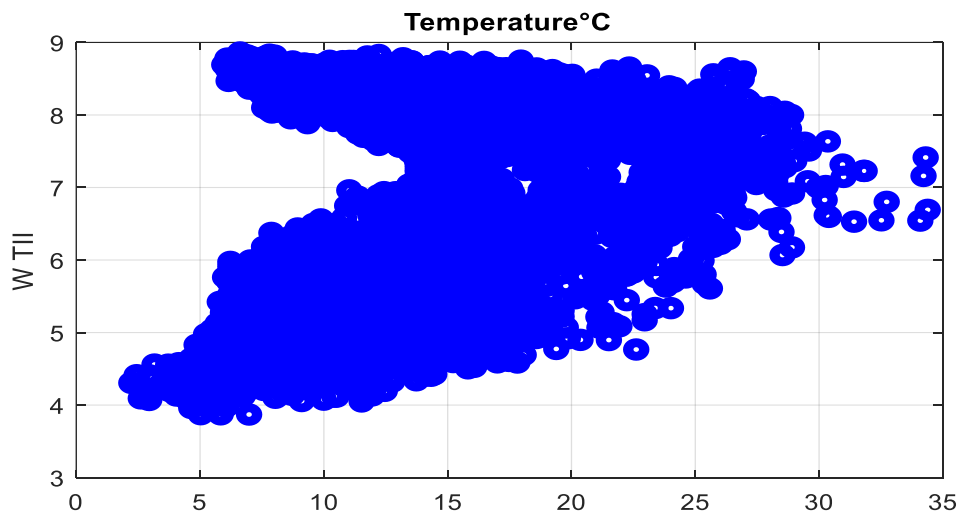
b)



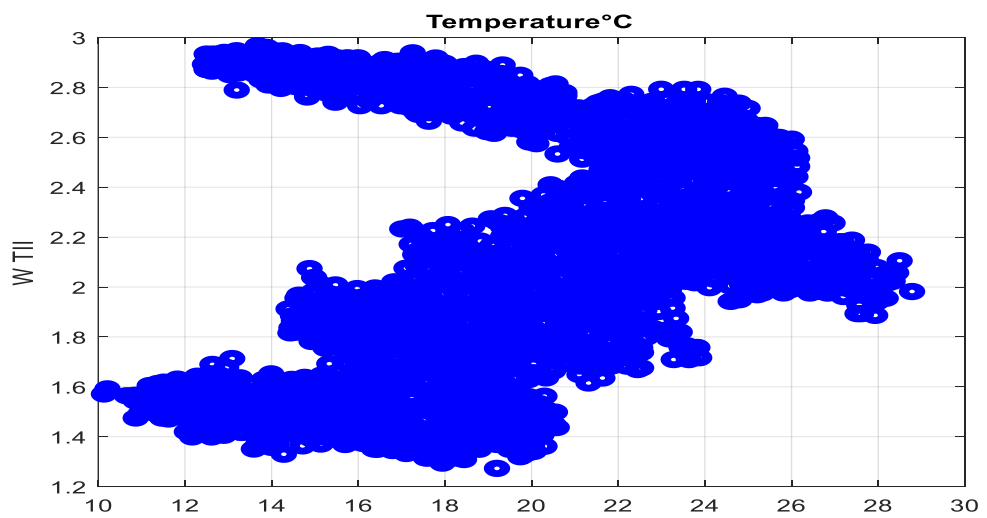
c)



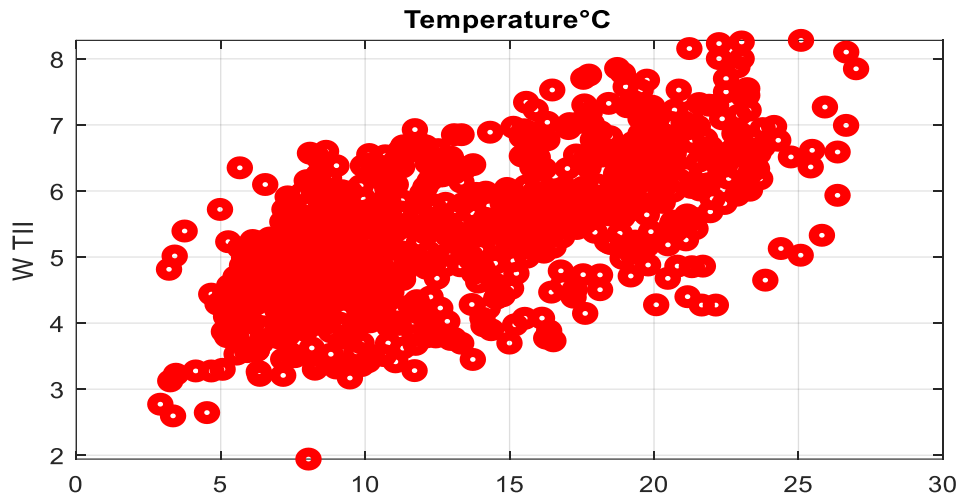
d)



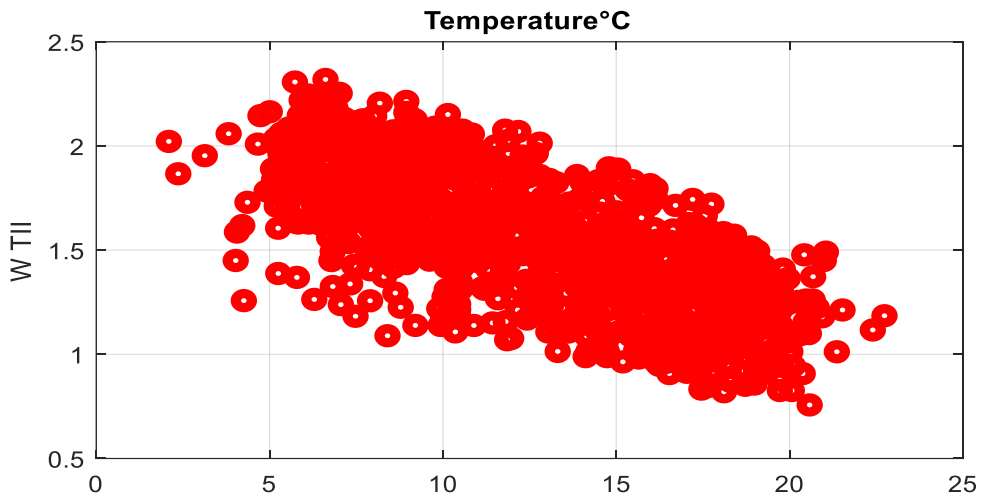
e)



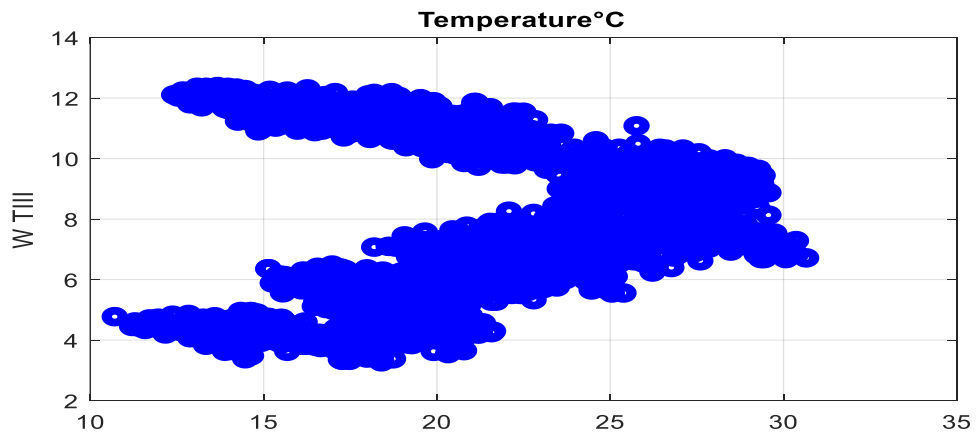
f)



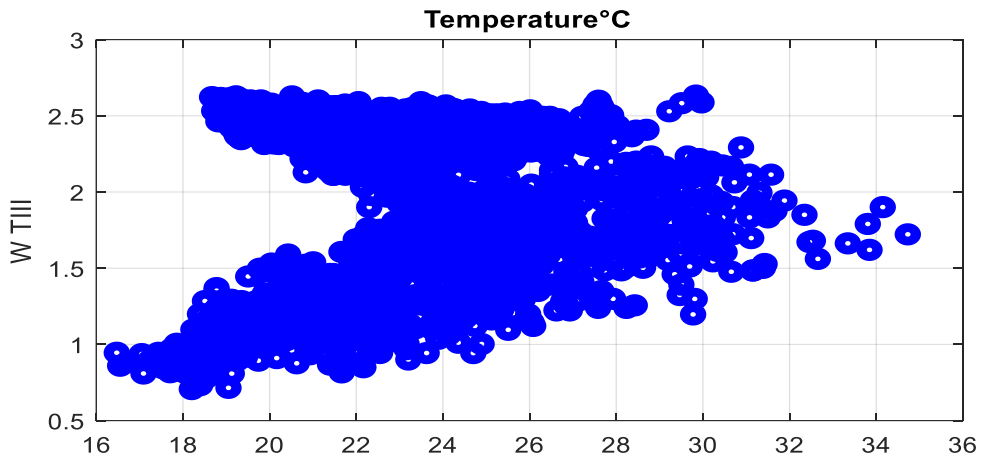
g)



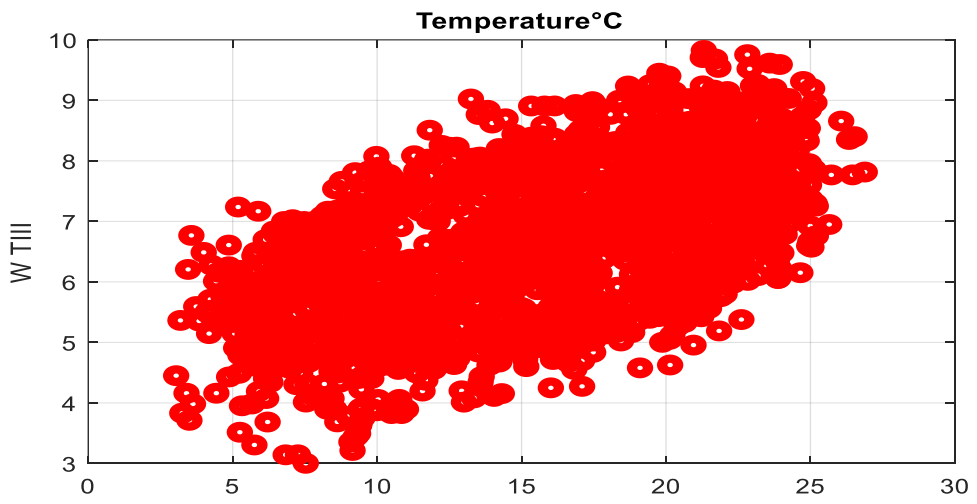
h)



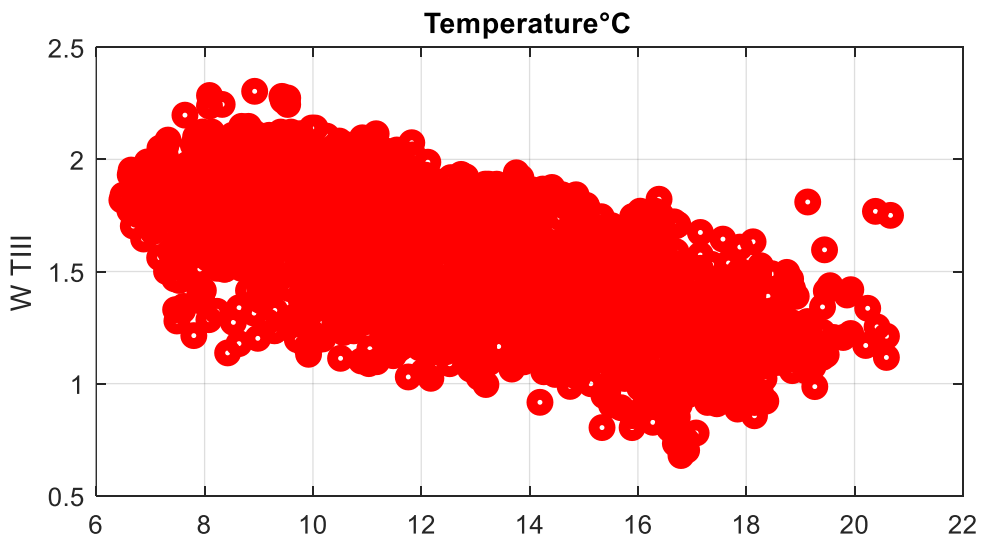
i)



j)



k)



l)

Fig. 14 Distribución de la correlación entre la temperatura exterior e interior y la primera frecuencia de cada pared ensayada (los datos corresponden a 240 días de monitorización de seguimiento): (a) WTI; (b)WTII; y (c) WTIII. *N.E. indica coeficientes de determinación inferiores a 0, 1.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

3.3 Modelado y simulación

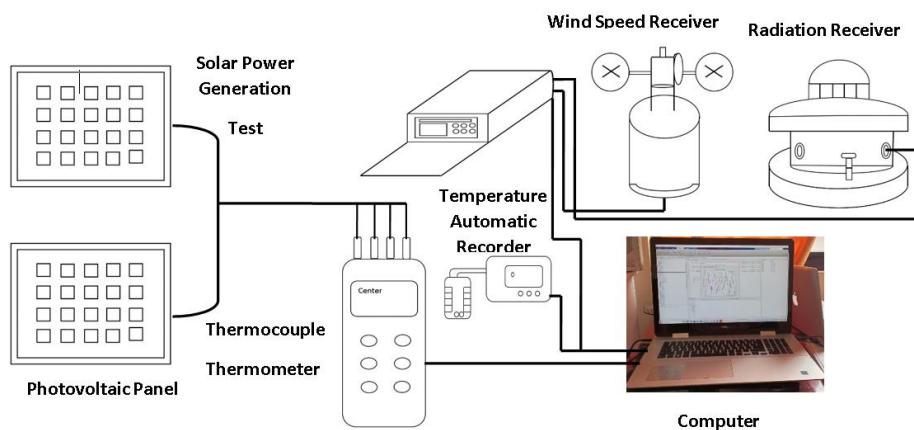


Fig. 15 Comparación entre las primeras frecuencias y la distribución de temperatura/humedad durante todo el periodo de seguimiento.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

3.4 Esquema geotérmico proyectado

Tenemos que la ventilación que recupera el calor integra el uso de una Unidad de Recuperación de Calor a contracorriente (HRU), en la cual el aire fresco del exterior, que es más frío, se calienta mediante el aire de escape, que es más cálido. Como resultado, tenemos que el aire fresco que sale del HRU es casi neutro. En algunos períodos, debido al buen nivel de aislamiento y a las ganancias de calor interiores del edificio, no es necesario calentarlo aún más en esta situación, el compresor de la bomba de calor no se activa y la absorción eléctrica se limita únicamente al funcionamiento de los ventiladores. La figura 16 muestra un esquema de la máquina todo en uno funcionando bajo estas condiciones (Bordignon et al., 2022).

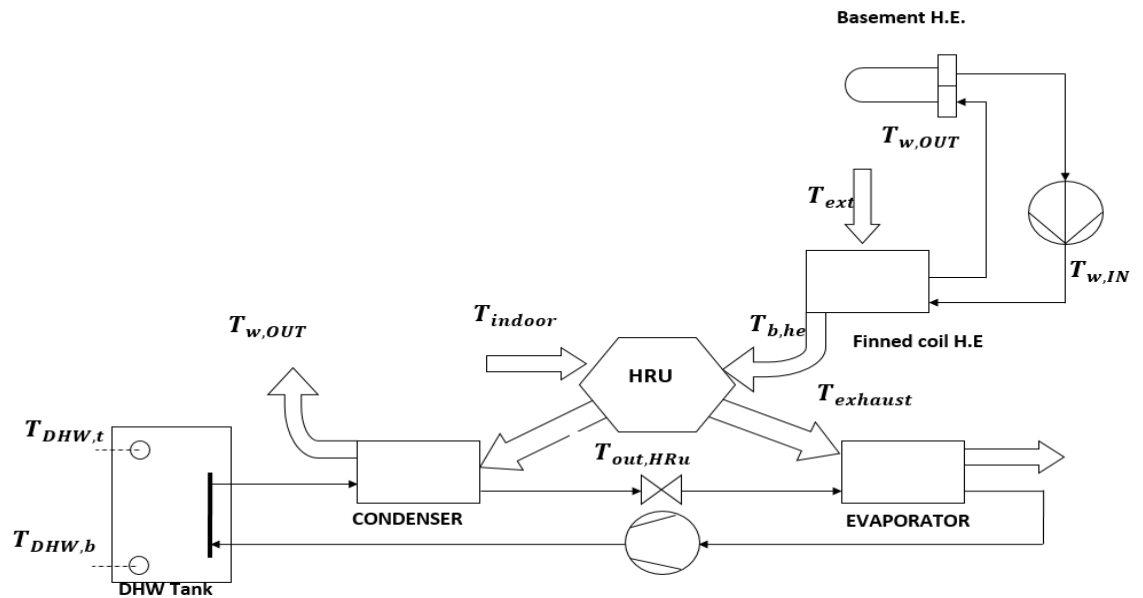


Fig. 16 Esquema de la máquina todo en uno: ventilación con recuperación de calor (en negro el bucle de funcionamiento).

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

La bomba de calor se utiliza en modo calefacción cuando la temperatura del aire fresco es demasiado baja no puede satisfacer por sí sola la demanda de calor del edificio. En este caso, la bomba de calor se activa y utiliza el aire de escape del recuperador de calor como fuente de calor para el evaporador. El fluido refrigerante se comprime y se inicia el proceso de condensación en el interior del intercambiador de calor del ACS (agua caliente sanitaria). Después, el fluido refrigerante se condensa aún más dentro de las aletas de la bobina, intercambiando calor con el aire fresco, si se requiere, se puede utilizar una resistencia eléctrica post-calentador para aumentar el calor del aire a la temperatura deseada. En este caso, el consumo eléctrico se relaciona con los ventiladores, el compresor y el postcalentador se muestran en la fig 17 (Bordignon et al., 2022).



Fig. 19 Mapa del Azuay y ubicación de Quingeo.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 Diseño del sistema fotovoltaico

La estructura del sistema fotovoltaico consta de varios componentes, que incluyen el panel fotovoltaico, un controlador de carga, un inversor y una batería.

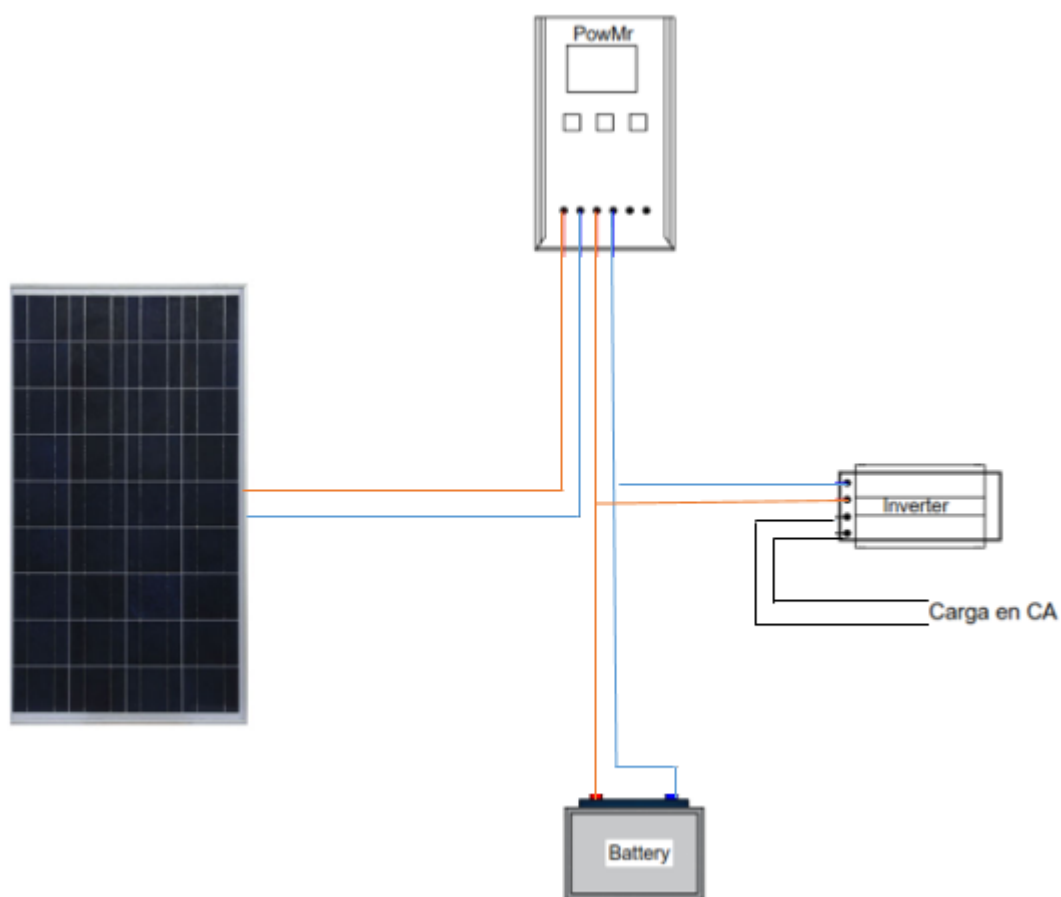


Fig. 20 Diagrama del sistema fotovoltaico.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

4.2 Diagrama de flujo para la producción de energía solar fotovoltaica

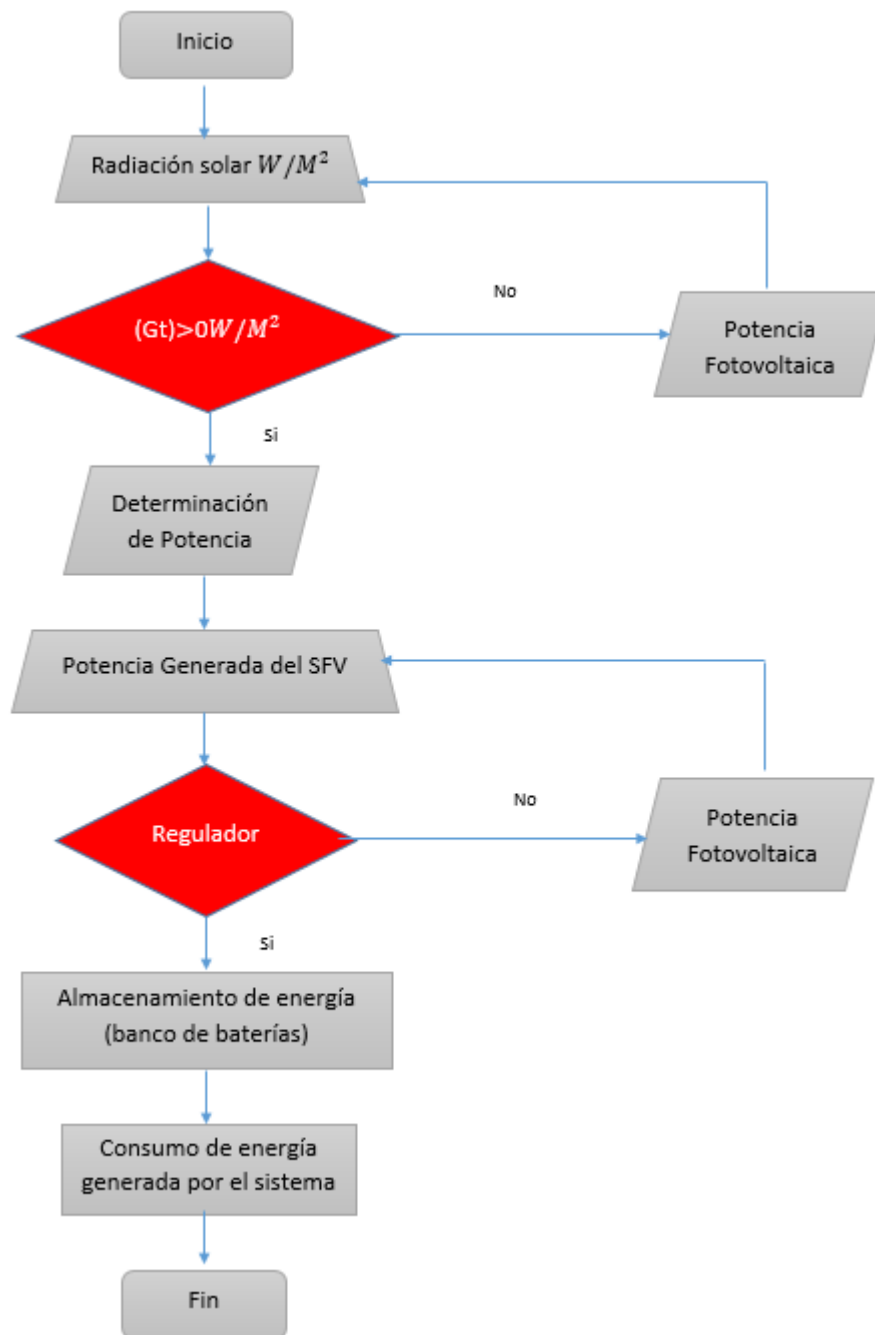


Fig. 21 Diagrama de flujo general.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

4.3 Implementación del sistema del sistema Fotovoltaico

Esta la vivienda rustica de adobe ubicada en Ecuador, Cuenca Quingeo, donde se ubicará la instalación del sistema fotovoltaico en el cual se implementará 4 focos, 1 toma y 3 interruptores como se visualiza en la figura 22.



Fig. 22 Casa rustica de adobe.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

En primer lugar, se toma al panel solar y se lo pone con una inclinación en la que radiación solar con mayor fluidez, se recomienda poner cerca del inversor y batería por la longitud del cable esto se puede apreciar en la figura 23.



Fig. 23 Panel solar de 100 W.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

En la figura 24 se parecía donde se ubica los sensores de radiación para ver si era factible la vivienda en implementar paneles solares.



Fig. 24 Sensores de radiación.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

Tomas de una cámara para ver la incidencia de la radiación a través de las paredes de adobe como se aprecia tiene una gran propiedad que absorbe el calor como se visualiza en figura 25.



Fig. 25 Niveles de radiación en paredes de adobe.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

En esta toma que se hizo con el panel solar en el tejado de la vivienda vemos que se tiene una incidencia decente todo eso absorbe el panel solar y también una foto del tejado.



a)



b)

Fig. 26 Tejado de adobe y panel solar montado en el techo.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

Aquí tenemos una foto de una pared de madera apreciamos que absorbe poca radiación solar en comparación a la pared de adobe esta se puede apreciar en figura 26.



Fig. 27 Tejado de adobe y panel solar montado en el techo.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

En primer lugar, se procedió a fijar el controlador de carga en la pared utilizando pernos de tripa de pato de 2 pulgadas de ancho y 1/2 pulgada de alto. El controlador utilizado es el modelo MPPT120D de Solar Charge Controller, que cuenta con una pantalla dual LCD (pantalla de cristal líquido), medidor remoto e interfaz de comunicación estándar para facilitar la extensión de la aplicación del usuario y satisfacer diferentes necesidades de monitoreo. Además, se utilizan componentes de alta calidad para mejorar el rendimiento del sistema y lograr una eficiencia de conversión del 82% con respecto al inversor. También tiene una velocidad de seguimiento de potencia máxima muy rápida para garantizar una eficiencia óptima.

El controlador es capaz de identificar y seguir precisamente el punto de máxima potencia del pico de ondas múltiples, y su potencia de entrada máxima real garantiza la seguridad del equipo. Los niveles de tensión de funcionamiento del lugar de mayor potencia de la matriz fotovoltaica son amplios y puede identificar automáticamente un voltaje de 12/24V. Además, cuenta con varios modos de control de carga, incluyendo el modo general, modo de control de luz, modo de tiempo dual y modo de cargador puro. En esta instalación, el controlador está configurado en modo general.



a)



b)

Fig. 28 Conexión del controlador a la batería.

Fuente: Kenly Torres, Erick León, Autor

Para proteger el sistema acumulador de las condiciones ambientales adversas, como la lluvia y la humedad, que pueden reducir su vida útil y capacidad de carga, se ha instalado en el techo de la vivienda. Para no tener el problema que la batería baje su rendimiento por estar en el suelo, se colocó encima de una tabla de madera de 2 cm de espesor y un caucho de 3 cm de espesor.

4.4 Instalación del inversor

El Modified Sine Wave Power Inverter marca Sungrow modelo M-500W cuenta con un inversor que incluye varias características de protección, como protección térmica contra sobretensiones, protección contra fallas. Además, ofrece una alta eficiencia y sobretensión, tecnología de baja interferencia, una salida USB de 5V 1A para cargar dispositivos y un interruptor de encendido/apagado con 2 indicadores LED. El inversor también tiene un ventilador de refrigeración que se enciende automáticamente cuando alcanza el 30% de potencia y viene con una garantía de 1 año. Se alimenta con 12V tomados del sistema acumulador a través de cables AWG número 10, respetando estrictamente la polaridad para evitar dañar el equipo.

4.5 Instalación del panel solar

El panel solar monocristalino de 100W y 12V consta de 32 células monocristalinas con vidrio templado de 3.2mm de grosor para una alta transmisión y eficiencia en la recolección de los rayos solares. Tiene un peso de 10.3kg y dimensiones de 1290x760x30mm. Para soportar el panel en el tejado de la casa, se diseñó una estructura metálica con cuatro perfiles de ángulo sujetos al panel y a la estructura de madera de la casa mediante pernos de 1/4". Los ángulos metálicos de 3 cm se usaron para sujetar el panel en cada esquina con pernos de 1/4". La estructura se montó en el tejado de la casa que tiene una inclinación de 35 grados, lo que beneficia la captación de la radiación solar y facilita la caída de la lluvia y la suciedad.

Para la conexión del panel solar se utilizaron conectores dobles hembra y macho con cable AWG número 10 resistente a altas temperaturas y conectados al controlador.



Fig. 29 Conexión del controlador a la batería e inversor.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor

4.6 Temperatura media

Tabla 1: Temperatura media del ambiente.

Año	Mes	Tm
2022	Marzo	24.9
2022	Abril	25.5
2022	Mayo	25.8
2022	Junio	25.1
2022	Julio	24.2
2022	Agosto	23.3
2022	Septiembre	23.5
2022	Octubre	23.2
2022	Noviembre	23.6
2022	Diciembre	24.4
2023	Enero	24.8
2023	Febrero	24.2

Fuente: (Flores Avila & Curiñaupa Perez, 2021)

Tabla 2: Datos PVGIS

Datos PVGIS

Latitud: -3.026950

Longitud: -78.904664

Datos de extraídos para la radiación: PVGIS-NRSDV

H(i)_m: Ángulo de irradiación (kwh/m2/mes)

Fuente: Autores

4.7 Cálculo de la pendiente ideal

Tabla 3: Periodo de uso anual

TIPO DE INSLALACIÓN	PERÍODO DE USO	INCLINACIÓN OPTICA
Instalación para Viviendo	Anual	$B=3.7 +0.69x(lat)$

Fuente: (Flores Avila & Curiñaupa Perez, 2021)

Para el correcto cálculo de inclinación ideal tentativamente en un periodo anual se utiliza la siguiente ecuación:

$$\beta = 3.7 + 0.69 * (lat) \quad (27)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \beta &= \text{Inlcinacion óptica} \\ Lat &= \text{Latitud} \end{aligned} \quad (28)$$

Aplicación de la formula

$$\begin{aligned} \beta &= 3.7 + 0.69 * (-3.02^\circ) \\ \beta &= 5.7838^\circ = 5.78 \end{aligned} \quad (29)$$

4.8 Cargas y consumo eléctrico en la vivienda

Con el objetivo de tener un correcto funcionamiento de los equipos consumidores de energía eléctrica es indispensable realizar el sobredimensionamiento del sistema. Para lo cual primero se enlista los consumos utilizados posterior definir capacidad de la inversión finalizando con el sistema generador. A partir de estos 3 cálculos se podrá dimensionar tanto el regulador de carga y las baterías requeridas.

Tabla 4: Cargas y consumo de la vivienda

Cantidad	Equipo	Potencia Individual	Potencia Acumulada	Tiempo	Energía
#	Descripción	[W]	[W]	[horas]	[Wh]
4	Focos	4	16	4	64x0.7=44.8
1	Radio	25	25	2	50
1	Celular	5	5	4	20
TOTALES			70		114.8

Fuente: Autores

4.9 Niveles de radiación

Se sugiere realizar el dimensionamiento en base a peores escenarios. La selección de datos se toman de meses que tienen baja cantidad de horas de radiación solar.

Tabla 5: Niveles de radiación

Año	Mes	H(i)_m	Días	Hora Solar Pico	Temperatura Media
2022	Marzo	151.27	31	5.35	24.9
2022	Abril	148.12	30	5.52	25.5
2022	Mayo	165.41	31	5.41	25.8
2022	Junio	165.18	30	5.34	25.1
2022	Julio	167.41	31	5	24.2
2022	Agosto	160.20	31	5.15	23.3
2022	Septiembre	154.87	30	5.83	23.5
2022	Octubre	159.4	31	5.2	23.2
2022	Noviembre	174.7	30	5.35	23.6
2022	Diciembre	155.68	30	5.92	24.4
2023	Enero	160.26	31	4.89	24.8

2023	Febrero	177.20	28	5.12	24.2
------	---------	--------	----	------	------

Fuente: Autor

Procedemos a hacer el cálculo del consumo máximo mediante la siguiente fórmula:

$$E_{CM} = 1.2 * C \quad (30)$$

Donde:

E_{CM} = Máximo consumo de energía

C = Consumo

Aplicación de la fórmula:

$$E_{CM} = 1.2 * C = 1.2 * 114.8 Wh$$

$$E_{CM} = 137.76 Wh$$

4.10 Cálculo de potencia nominal con la siguiente ecuación:

$$E = P_n * t * PR \quad (31)$$

Donde:

P_n = Potencia Nominal

E = Energía

t = tiempo que se usa (HSP)

$$PR = \frac{E}{t * P_n}$$

Aplicación de la fórmula:

$$P_n = \frac{E}{t * PR}$$

$$P_n = \frac{137.76 Wh}{4.89 * 0.6570} = 42.87 W$$

4.11 Cálculo de potencia pico con la siguiente ecuación:

$$P_p = 1.2 * P_n$$

(32)

Donde:

$$P_p = \text{Potencia Pico}$$

Aplicación de la fórmula:

$$P_p = 1.2 * 42.87 \text{ W} = 51.44 \text{ W}$$

Cálculo de cantidad de módulos fotovoltaicas con la siguiente ecuación:

$$No_{Mod} = \frac{P_p}{P_{mod}}$$

(33)

Donde:

$$No_{Mod} = \text{Numero de paneles solares}$$

$$P_{mod} = \text{Potencia del panel solar}$$

Aplicación de la fórmula:

$$No_{Mod} = \frac{53.96 \text{ W}}{100 \text{ W}} = 0.51 = 1 \text{ Panel soLA}$$

4.12 Cálculo del inversor

Para el correcto dimensionamiento del inversor debemos considerar la potencia pico como referente de cuantos paneles se calculó por carga de modulo fotovoltaico obteniendo como resultado que potencia requerimos al momento de adquirir el inversor.

$$P_p = No_{Mod} * \text{Capacidad del Módulo}$$

(34)

Aplicación de la fórmula:

$$P_p = 1 * 100 \text{ W} = 100 \text{ w}$$

Para una correcta selección del inversor debe tener un rango de aceptación dentro de 1.1 y 1.3 teniendo en cuenta de no caer en sobredimensionamientos o faltas de capacidad.

Tabla 6: Potencias del inversor y módulos

Potencia del Inversor	Potencia Total de Módulos	Rango 1.1-1.3
500 VA	100 W	1.120
800 VA	100 W	0.700
1200 VA	100 W	0.467

Fuente: Autor

4.13 Cálculo del sistema acumulador

Para determinar la capacidad de la batería se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{SB} = \frac{E_{CM} * D_{AUT}}{V_{SB} * MPD} \quad (35)$$

Donde:

C_{SB} = Capacidad de la batería

E_{CM} = Energía de consumo Máximo

D_{AUT} = Autonomía en días

V_{SB} = Voltaje de las baterías

MPD = Maxima profundidad de descarga

Aplicación de la fórmula:

$$C_{SB} = \frac{E_{CM} * D_{AUT}}{V_{SB} * MPD} = \frac{114.8 \text{ Wh} * 6 \text{ días}}{12\text{VDC} * 70\%} = 82\text{Ah}$$

Batería sugerida:100Ah

4.14 Cálculo del potencial geotérmico

Una vez conocido las especificaciones como vida útil del sistema de transformación de energía el resultado de la energía ya convertida es calculado mediante la siguiente fórmula:

Capacidad Potencia (MW)

$$= (T_R T_a) x \frac{((1 - \phi) C_p r x p_r x \phi x C_p w x p_w) x V x R F x C E}{P L x L F} \quad (36)$$

Donde:

$P_r; P_w$: Densidad de fluido y Densidad de rocas ($\frac{kg}{m^3}$)

Cp_r : Calor específico de rocas ($\frac{kJ}{kg-^{\circ}c}$)

Cp_w : Calor específico de fluidos geotérmicos ($\frac{kJ}{kg-^{\circ}c}$)

T_r : Promedio de temperatura del reservorio ($^{\circ}c$)

\emptyset : Porosidad (%)

V: Volumen del reservorio (km³)

RF: Factor de recuperación (%)

CE: Eficiencia de transformación de Calor a Electricidad (%)

PL: Pronóstico de vida útil del Sistema instalado (años)

LF: Factor de carga (%)

4.15 Cálculo de coeficiente de rendimiento (COP)

COP es la relación proporcionada por la bomba de calor (Total) y el consumo eléctrico para su generación (Total) dicha energía que es utilizada en su mayoría por el compresor de la bomba. Para calcular el COP se emplea la fórmula de eficiencia de Carnot(EC) también el factor de proximidad (α) que son datos de operación de la bomba.

$$COP = \frac{Q \text{ total}}{W \text{ total}} \quad (37)$$

$$Q \text{ total} = Q \text{ suelo} + W \text{ total}$$

$$COP = \alpha \epsilon_c$$

$$\epsilon_c = \frac{T_{hot}}{T_{hot} - T_{cold}} \quad (38)$$

4.16 Bomba de calor

Para la correcta selección de la bomba de calor se toma en cuenta las cargas térmicas de la calefacción mismas que son resultado de un estudio de acuerdo al diseño de la vivienda

4.17 Cálculo de rendimiento de la Bomba de Calor

Rendimiento de la bomba de calor es el resultado de dividir la potencia entregada a cambio para resultados

Entonces cuando la bomba trabaja calentando se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$COP = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

(39)

4.18 Cálculo de temperatura mínima(TL) y máxima(TH) de la tierra

Para calcular temperaturas tanto máximas como mínimas en un ciclo anual se emplea las siguientes formulas:

$$T_L = T_M - A_S * e^{(-x_S * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}})}$$

(40)

$$T_H = T_M + A_S * e^{(-x_S * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}})}$$

(41)

Donde:

A_S : Oscilación de temperatura en la superficie

T_M : Temperatura seca media de la tierra

A_S : Mínimo de temperatura de la tierra

T_H : Máxima temperatura de la tierra

x_S : Profundidad

4.19 Calculo de resistividad del tubo frente al flujo de calor

Para calcular la resistividad del tubo de calor se emplea la siguiente formula:

$$R_p = \frac{1}{2\pi K_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)$$

(42)

Donde:

D_{ext} : Medida exterior del tubo

D_{int} : Medida interior del tubo

K_p : Transferencia térmica del material que está en los tubos

Cálculos de distancia de intercambiador enterrado

Para calcular la distancia del intercambiador se emplea la siguiente fórmula:

$$L_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción} * \frac{COP - 1}{COP} * (R_p + R_s * f_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}} \quad (43)$$

Donde:

$Q_{calefacción}$: Potencia de calefacción térmica

COP: Coeficiente de rendimiento de la bomba

R_p : Resistividad de la tubería

R_s : Resistividad del terreno

$f_{calefacción}$: Factor de la utilidad del calefactor

T_{MIN} : Mínima temperatura del agua

4.20 Cálculo para la elección de la tubería colectora

Para elección de la correcta tubería se aplica la siguiente fórmula:

$$RE = \frac{4 * Q}{\pi * \sigma D} > 2300 \quad (44)$$

Donde:

Q: Caudal m³/s

ϑ : Viscosidad cinemática m²/s

D: Diámetro de tubería

Reemplazando la fórmula tenemos los siguientes datos para calcular la viscosidad cinemática:

$$Q = .00654 \frac{m^3}{s}$$

$$\vartheta = 2.2257 * 10^{-5} m^2/s$$

Reemplazo de datos en la ecuación general:

$$RE == \frac{4 * 6.54 * 10^{-3}}{\pi * 2.257 * 10^{-5} * 2300} > D$$

$$D > 160mm$$

(45)

Con los cálculos obtenidos se procede a seleccionar la tubería correspondiente.

4.21 Cálculos de resistividad de tubo con respecto flujo de calor

Una vez teniendo los datos de tubo reemplazamos en la formula antes mencionada:

$$R_p = \frac{1}{2\pi Kp} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)$$

(46)

$$R_p = \frac{1}{2\pi\left(\frac{43W}{m.k}\right)} * \ln\left(\frac{180}{166.2}\right)$$

$$R_p = 0.029 m.k/w$$

4.22 Cálculos de resistencia de la Tierra

En ese caso la resistividad de la tierra es inversamente proporcional a la conductividad del sitio.

$$R_s = 0.0119m.k/w$$

(47)

4.23 Cálculo del intercambiador Geotérmico

La fórmula para calcular la cantidad de calor que aporta el terreno es la siguiente

$$Q_{sondeo} = Q_{calefacción} * \frac{\beta_a - 1}{\beta_a}$$

(48)

Donde:

βa : factor de eficiencia al año

Reemplazando en la formula general quedaría de la siguiente manera:

$$Q_{sondeo} = 373.55kW * \frac{3.43 - 1}{3.34} = 261.70kW \quad (49)$$

Una vez teniendo el aporte de calor que va a dar el terreno se seleccionará la potencia adecuada de la bomba.

4.24 Cálculo de profundidad de sondeo:

Donde

Calor especifico:84W/M

Q sondeo :261.70Kw

Aplicación de la fórmula:

$$L_{sondeo} = \frac{261.70kW}{84W/m} = 3115.4m \quad (50)$$

4.25 Diseño del sistema geotérmico

En la fig. 29 se aprecia la estructura del modelo integrado desarrollado en TRNSYS (software de cálculo de procesos cambiantes en los sistemas). Se utiliza el modelado Tipo 56 para la envolvente del edificio, con el fin de obtener los perfiles de carga térmica de la casa unifamiliar. También se utiliza el Tipo 62 para simular el funcionamiento de la máquina todo en uno, y el Tipo 534 para simular el depósito de aguas caliente sanitaria. Además, se pueden distinguir los componentes que simulan la estrategia de control para el encendido y apagado de la resistencia eléctrica, y para establecer los modos de producción de calefacción, refrigeración y aguas calientes sanitaria. Estos controles se combinan usando las calculadoras, y los caudales de aire suministrados y extraídos de la unidad compacta se dividen y se utilizan como entradas al modelo de construcción, como se describe en la siguiente subsección (Bordignon et al., 2022).

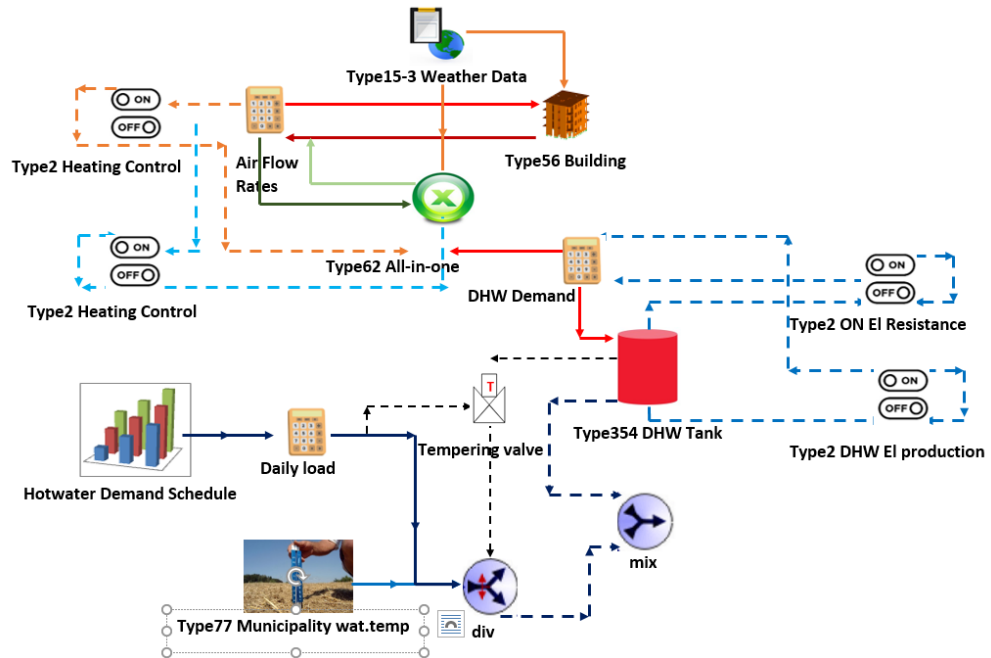
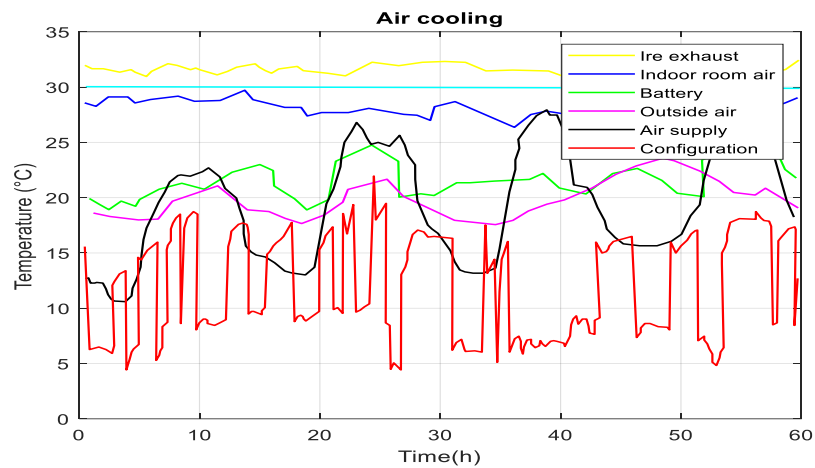


Fig. 30 Esquema del estudio de simulación del sistema energético.

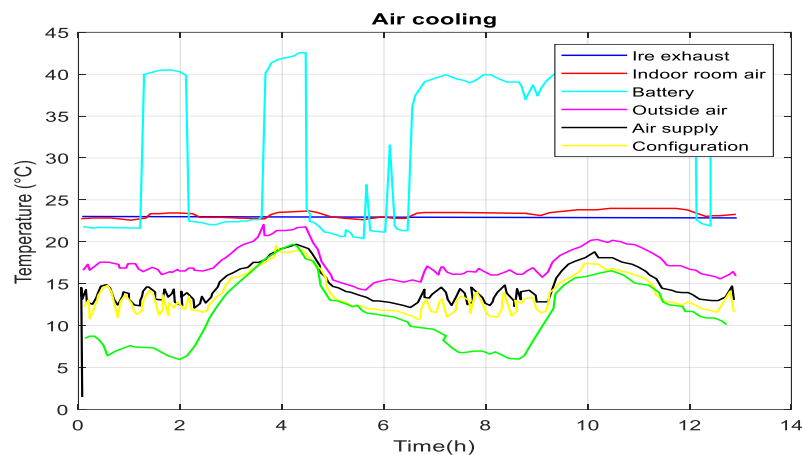
Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

4. 26 Resultados del sistema geotérmico

La figura 30 a y b exhibe algunos ejemplos que ilustran valores medidos que pueden ser útiles para comprender el cómo funciona la bomba de calor en sistemas referentes a refrigeración y calefacción. La figura 30 a presenta cuatro días típicos de verano en los que el edificio necesita refrigeración de espacios. Cuando el refrigerante se condensa dentro del depósito de ACS (aguas calientes sanitarias), lo que provoca un aumento de la temperatura en el cuarto, porque el enfriador no lo enfría. Este fenómeno también ocurre durante los ciclos antilegionela semanales. Por su parte, la figura 30 b muestra la temperatura ambiente del aire durante los días 22 y 26 de enero. Cuando se necesita calefacción de espacios, el refrigerante de la bomba de calor se condensa parcialmente dentro del depósito de ACS e intercambia calor de manera parcial con el aire (Bordignon et al., 2022).



a)



b)

Fig. 31 Temperaturas del aire ambiente medidas en funcionamiento de calefacción.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

En relación al desempeño de calefacción, se puede apreciar en la figura 31 las temperaturas del agua en la sección superior e inferior del depósito de aguas calientes sanitarias (ACS), mientras que en la gráfica previa se presentan las temperaturas del aire ambiente durante los días 30 y 31 de octubre. Cuando se requiere calefacción ambiental con una temperatura establecida de 23 °C, parte del refrigerante de la bomba de calor se condensa en el depósito de ACS y parte intercambia calor con el aire, como se puede observar en las gráficas. En cambio, si solamente se necesita producir ACS con una temperatura establecida de 48 °C en la sección inferior del depósito, la bomba de calor se configura en modo ACS, y el calor se intercambia únicamente con el agua. El modo de ventilación se emplea cuando se alcanza el punto de ajuste dentro de la habitación, y no se requiere ACS, como se puede notar en la tarde del día 30 de enero.

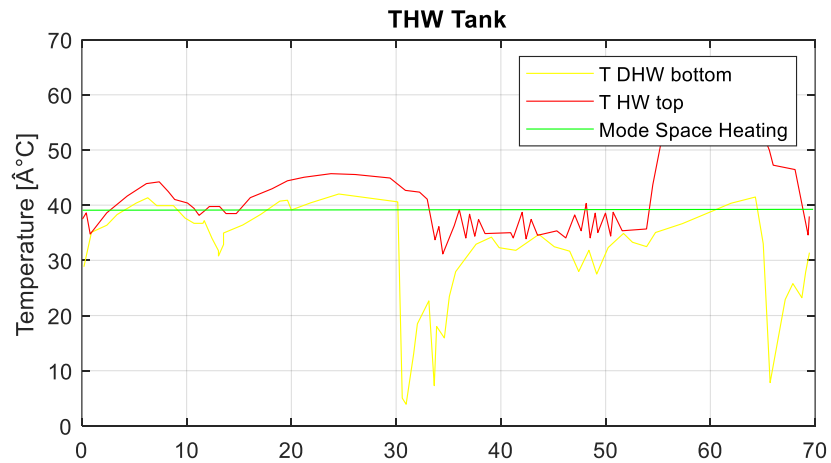


Fig. 32 Temperaturas del agua medidas dentro del depósito de ACS aguas sanitarias calientes.

Fuente: Kenlly Torres, Erick León, Autor.

4.27 Análisis del sistema

El sistema híbrido no está interconectado por que la parte fotovoltaica, es para suministrar la energía eléctrica en la vivienda, mientras tanto la energía geotérmica mediante una bomba de calor funciona transfiriendo calor a través de un circuito cerrado que contiene un refrigerante a través de un ciclo termodinámico que involucra los procesos de compresión, condensación, expansión y evaporación.

CONCLUSIONES

- La independencia energética se puede lograr utilizando sistemas fotovoltaicos, lo que permite prescindir de la red pública eléctrica y utilizar la energía producida por los paneles solares. Además, el uso de esta energía renovable reduce las emisiones de CO₂ y permite aprovechar los recursos energéticos disponibles en sitio volviéndolo autónoma la vivienda. Al tener paneles se logró la autonomía completa de la vivienda y con ello se contribuye al cambio de un sistema energético más amigable y sostenible con el medio ambiente. Hemos analizado el desempeño de los materiales tales como, adobe, madera, y bloque y se destaca que se mantiene el calor en mayor cantidad en el adobe tal como se ha visto en las tomas termo graficas se puede lograr que no baje de 8 grados C con el sistema geotérmico este calor es el adecuado para que una persona no sienta sofocación y si sus deseos son de mayor calor puede emplear abrigos.
- Según el análisis llevado a cabo, se determinó que la zona cuenta con un recurso solar de 3219,61 (Wh/m²/día), lo que lo hace adecuado para realizar el diseño e implementación de un sistema que pueda satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda de adobe en Quingeo, esta vivienda consume un total de 114.8 (Wh/día) de energía diariamente.
- La propuesta indica que, tras llevar a cabo los cálculos correspondientes, se necesitará un panel fotovoltaico de 100 W, una batería de gel con capacidad de 100Ah, también adquirimos un controlador de carga con capacidad de 20 Amperios y por ultimo un inversor de 1000 W. Estos componentes trabajarán en conjunto para generar un promedio de 530 Wh de energía al día.
- Luego de llevar a cabo el montaje físico del sistema y realizar el análisis teórico correspondiente, los resultados obtenidos nos llevan a resumir que se han alcanzado los objetivos previamente planteados y aprobados para la implementación del proyecto.
- Lo que se busca es aprovechar el calor horizontal del suelo que según otras experiencias que se aborda en la literatura son posibles de implementarlo para calentamiento de ambientes y con una bomba es posible revertir el enfriamiento de acuerdo a las necesidades del usuario. Adicionalmente el sistema solar fotovoltaico permitirá suministrar la energía eléctrica para una vivienda de campo. Nótese que el sistema geotérmico evitaría que se incluya un mayor banco de baterías y por ende se encarezca el equipamiento en general.

- Los hogares que utilizan energía geotérmica tienen varias ventajas, como una alta eficiencia energética, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y bajos costos de mantenimiento a largo plazo. Como resultado, se convierte en una opción sostenible y rentable para aquellos que buscan calentar y enfriar sus hogares de manera eficiente.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los futuros estudiantes que obtén por realizar su tesis de pregrado profundicen sus conocimientos con trabajos bastantes prácticos que les permita palpar la realidad de las comunidades en especial de lugares con alto índice de pobreza.
- Si el usuario ya cuenta con electricidad desde las instalaciones de energía solar y desea añadir más componentes para su hogar, se sugiere añadir más paneles solares adicionales según lo requiera el consumo de la vivienda, con el fin de aumentar la potencia generada del sistema y garantizar operación de los equipos de forma adecuada y eficiente.
- Es necesario llevar a cabo investigaciones para determinar si es viable instalar dispositivos de protección contra descargas atmosféricas, tales como puntas captadoras (pararrayos), en los paneles fotovoltaicos para evitar causar daños al sistema fotovoltaico.
- En esta tesis se recomienda como trabajo futuro el experimentar más a detalle con sistemas geotérmicos que pueden ser muy útiles en viviendas, inclusive en algunos sitios específicos, como el patrimonio cultural de Quingeo puede llegar a formar distritos de calor dado que sus casas de adobe se encuentran apegadas unas con otras.
- En vista de futuros proyectos similares, creemos que los beneficiarios de estos sistemas deberían demostrar un mayor compromiso hacia la universidad en términos de colaboración con los estudiantes y la responsabilidad del cuidado.
- El análisis económico referente a la planilla eléctrica no ha sido motivo de análisis en esta tesis lo cual puede ser abordado como trabajo futuro en una nueva investigación.

- Cuando se quiera aumentar la carga, podremos implementar el sistema geotérmico porque según el estudio de la vivienda es óptimo instalar el sistema geotérmico para suplir dicha necesidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Admin. (2017, mayo 10). *Disrupción de la energía solar en Bolivia*.

<https://fundacionsolon.org/2017/05/10/disrupcion-de-la-energia-solar/>

Aldariz, I. F. (2019, febrero 20). ▷ *Energía geotérmica y Geotermia* 🌍 ⚡ ✓. Greenteach.

<https://www.greenteach.es/energia-geotermica/>

Angumba, P., Cárdenas, A., & Icaza, D. (2022). Geothermal and Solar Energy Applied to Air

Conditioning and Electricity Generation for Homes: Case study Baños in Cuenca-Ecuador.

2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid), 407-413.

<https://doi.org/10.1109/icSmartGrid55722.2022.9848548>

Barragán-Escandón, A., Jara-Nieves, D., Romero-Fajardo, I., Zalamea-Leon, E. F., & Serrano-Guerrero,

X. (2022). Barriers to renewable energy expansion: Ecuador as a case study. *Energy Strategy*

Reviews, 43, 100903. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.100903>

Bassoud, A., Khelafi, H., Mokhtari, A. M., & Bada, A. (2021). Evaluation of summer thermal comfort in

arid desert areas. Case study: Old adobe building in Adrar (South of Algeria). *Building and*

Environment, 205, 108140. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108140>

Bordignon, S., Carnieletto, L., & Zarrella, A. (2022). An all-in-one machine coupled with a horizontal

ground heat exchanger for the air-conditioning of a residential building. *Building and*

Environment, 207, 108558. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108558>

Castañeda, L. E. G. (2012). CASA PRIOR: *Construcción con Tierra*, 3-16.

Cevallos-Sierra, J., & Ramos-Martin, J. (2018). Spatial assessment of the potential of renewable

energy: The case of Ecuador. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1154-1165.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.015>

Echegaray-Aveiga, R. C., Masabanda, M., Rodríguez, F., Toulkeridis, T., & Mato, F. (2018). Solar

Energy Potential in Ecuador. *2018 International Conference on eDemocracy & eGovernment*

(ICEDEG), 46-51. <https://doi.org/10.1109/ICEDEG.2018.8372318>

- Elavarasan, R. M., Shafiullah, G. M., Padmanaban, S., Kumar, N. M., Annam, A., Vetrichelvan, A. M., Mihet-Popa, L., & Holm-Nielsen, J. B. (2020). A Comprehensive Review on Renewable Energy Development, Challenges, and Policies of Leading Indian States With an International Perspective. *IEEE Access*, *8*, 74432-74457. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988011>
- Eltayeb, W. A., Somlal, J., Kumar, S., & Rao, S. K. (2023). Design and analysis of a solar-wind hybrid renewable energy tree. *Results in Engineering*, *17*, 100958. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100958>
- Fikru, M. G. (2020). Determinants of electricity bill savings for residential solar panel adopters in the U.S.: A multilevel modeling approach. *Energy Policy*, *139*, 111351. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111351>
- Flores Avila, A. J., & Curiñaupa Perez, S. C. (2021). *Diseño de un sistema geotérmico vertical de baja entalpía de 1613.36 mwh para mantener las condiciones de confort en el hotel casa andina select en Moquegua*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6962>
- García, J. L., Jurado, F., & Larco, V. (2019). Review and resource assessment, solar energy in different region in Ecuador. *E3S Web of Conferences*, *80*, 01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198001003>
- Hermawan, Prianto, E., & Setyowati, E. (2015a). The Difference of Thermal Performance between Houses with Wooden Walls and Exposed Brick Walls in Tropical Coasts. *Procedia Environmental Sciences*, *23*, 168-174. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.026>
- Hermawan, Prianto, E., & Setyowati, E. (2015b). Thermal Comfort of Wood-wall House in Coastal and Mountainous Region in Tropical Area. *Procedia Engineering*, *125*, 725-731. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.114>
- Holguino Huarza, A., Olivera Marocho, L., & Escobar Copa, K. U. (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, *20*(3), 289-300. <https://doi.org/10.18271/ria.2018.394>

- <https://www.areatecnologia.com>. (s. f.). *Paneles Solares*. Recuperado 14 de febrero de 2023, de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- Icaza, D., Borge-Diez, D., & Galindo, S. P. (2022). Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador. *Renewable Energy*, *182*, 314-342. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.126>
- Kaya, O., Klepacka, A. M., & Florkowski, W. J. (2019). Achieving renewable energy, climate, and air quality policy goals: Rural residential investment in solar panel. *Journal of Environmental Management*, *248*, 109309. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109309>
- Lundheim, S. H., Vesely, S., Nayum, A., & Klöckner, C. A. (2021). From vague interest to strong intentions to install solar panels on private homes in the North – An analysis of psychological drivers. *Renewable Energy*, *165*, 455-463. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.034>
- Mendoza Ruiz, Y., & Quiroz Siccha, L. M. (2021). El adobe como sistema constructivo para el confort térmico de las viviendas del Sector 4 en Huamachuco, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/67496>
- Meral, M. E., & Dinçer, F. (2011). A review of the factors affecting operation and efficiency of photovoltaic based electricity generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(5), 2176-2184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.01.010>
- Ponce-Jara, M. A., Velásquez-Figueroa, C., Reyes-Mero, M., & Rus-Casas, C. (2022). Performance Comparison between Fixed and Dual-Axis Sun-Tracking Photovoltaic Panels with an IoT Monitoring System in the Coastal Region of Ecuador. *Sustainability*, *14*(3), 1696. <https://doi.org/10.3390/su14031696>
- Sathiparan, N., Subramaniam, D. N., Malsara, K. G. N., & Akmal, M. S. M. (2022). Thermal comfort analysis of fired-clay brick, cement-sand block and cement stabilized earth block masonry house models. *Innovative Infrastructure Solutions*, *7*(2), 147. <https://doi.org/10.1007/s41062-022-00744-9>

- Siecker, J., Kusakana, K., & Numbi, B. P. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 79*, 192-203.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.053>
- Style, O. (2012). *Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. Oliver Style.
- Tina, G. M., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., & Scandura, P. F. (2012). Optical and thermal behavior of submerged photovoltaic solar panel: SP2. *Energy, 39*(1), 17-26.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.053>
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*.
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5447>
- Wang, D., Qi, T., Liu, Y., Wang, Y., Fan, J., Wang, Y., & Du, H. (2020). A method for evaluating both shading and power generation effects of rooftop solar PV panels for different climate zones of China. *Solar Energy, 205*, 432-445. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.009>
- Xu, Y., Li, J., Tan, Q., Peters, A. L., & Yang, C. (2018). Global status of recycling waste solar panels: A review. *Waste Management, 75*, 450-458. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.036>
- Zander, K. K. (2020). Unrealised opportunities for residential solar panels in Australia. *Energy Policy, 142*, 111508. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111508>

ANEXO: VISTAS PRINCIPALES DE UNA PEQUEÑA VIVIENDA RURAL



a)



b)



c)



d)



e)



f)

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Kenlly Erick Torres Cedillo** y **Erick Patricio León Plaza** portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 0705536738 y 0106408776. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Estudio para la implementación de un sistema híbrido Solar-Geotérmico para una vivienda rústica”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **17 de abril de 2023**

F: 
Kenlly Erick Torres Cedillo
C.I. 0705536738

F: 
Erick Patricio León Plaza
C.I. 0106408776