



1 Proyecto de Investigación

Título:

Diseño, simulación y análisis energético-económico de una bomba de calor para preparación de agua caliente asistida por un sistema de microgeneración fotovoltaica conectado a la red con paneles solares termofotovoltaicos (PV/T).

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

La bomba de calor asistida por energía solar para la preparación de agua caliente ha demostrado ser una tecnología fiable y energéticamente eficiente. La mayor parte de estos equipos son accionados eléctricamente, presentando COPs de 1.5 a 4.0 dependiendo de las condiciones ambientales y de la temperatura de preparación del agua caliente. Por otro lado, ARCONEL aprobó la regulación 003/18 sobre microgeneración fotovoltaica en Ecuador. Así pues, en el caso de aplicaciones de la bomba de calor para calentamiento de agua, el sistema fotovoltaico puede suministrar la electricidad necesaria para el funcionamiento de este equipo. Además, como los paneles fotovoltaicos presentan un mejor rendimiento energético a bajas temperaturas y la bomba de calor es más eficiente cuando se utiliza el calor del sol para evaporar el refrigerante, el uso de paneles híbridos termofotovoltaicos (PV/T) enfriados directa o indirectamente por la evaporación del refrigerante da lugar a eficiencias energéticas globales muy elevadas. Es por ello que el presente proyecto pretende analizar diferentes opciones de diseño y control de estos sistemas mediante herramientas de simulación, así como conocer su viabilidad tecno-económica en diferentes zonas de Ecuador tanto para aplicaciones residenciales como industriales, como fase previa a un proyecto experimental.

Palabras clave (4-6):

PV/T, paneles híbridos termofotovoltaicos, bomba de calor, cogeneración, conexión a red.



2 Objetivos, relevancia, productos y resultados esperados de esta propuesta de investigación

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Diseñar y simular una bomba de calor asistida por paneles solares híbridos termofotovoltaicos (PV/T) para calentamiento de agua y generación de electricidad en aplicaciones residenciales e industriales y determinar su factibilidad tecno-económica en Ecuador.

2.1.2 Objetivos Específicos

a. Búsqueda de información.

1. Revisar el estado del arte de la bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua y generación de electricidad.
2. Determinar las posibles aplicaciones de la bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua y generación de electricidad tanto a nivel residencial como industrial, especialmente para Ecuador.
3. Determinar los datos meteorológicos de las zonas de estudio.

b. Simular energéticamente las principales configuraciones de bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua y generación de electricidad.

1. Identificar las principales configuraciones de una bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua y generación de electricidad tanto para aplicaciones residenciales como industriales.
2. Analizar diferentes herramientas de simulación energética de una bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua y generación de electricidad.
3. Simular energéticamente las configuraciones seleccionadas.
4. Seleccionar la/s mejor/es configuración/es y optimizar su diseño.

c. Determinar la factibilidad tecno-económica de una bomba de calor asistida por paneles PV/T para la preparación de agua caliente y generación de electricidad para uso residencial en Ecuador.

1. Determinar los principales factores socio-económicos de Ecuador.
2. Realizar el análisis de factibilidad económica.
3. Realizar un análisis comparativo con otras tecnologías energéticas convencionales para el calentamiento de agua.

2.2 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Estado del arte de la tecnología de bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua.
- b. Principales aplicaciones de la bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua.
- c. Principales configuraciones de la de la bomba de calor asistida por paneles PV/T para calentamiento de agua así como sus prestaciones energéticas en las zonas seleccionadas y su viabilidad tecno-económica.
- d. Diseño y optimización de la/s mejor/es configuración/es.
- e. Análisis tecno-económico comparativo con otras tecnologías energéticas convencionales para el calentamiento de agua.



3 Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación

La cogeneración de electricidad y calor para el calentamiento de agua mediante la tecnología de bomba de calor asistida por paneles termofotovoltaicos (PV/T) es una tecnología muy eficiente energéticamente que se ha comenzado a explorar a nivel de investigación, no estando todavía desarrollada comercialmente. La mayoría de estas investigaciones se han desarrollado en países de latitudes medias, no existiendo investigaciones en zonas ecuatoriales y andinas. En Ecuador, en principio y a falta de investigar a este respecto, esta tecnología presenta un gran potencial de desarrollo por diversas razones:

- Ecuador dispone de un recurso solar relativamente abundante (1000 a 2000 kWh/m², dependiendo de la zona) y de un clima muy favorable a lo largo de todo el año.
- En octubre de 2018 ARCONEL aprobó la regulación 003/18 sobre microgeneración fotovoltaica para la promoción de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en régimen de balance neto. Esto ofrece una gran oportunidad para el desarrollo de aplicaciones con tecnología fotovoltaica como la bomba de calor asistida por paneles PV/T.
- El consumo de agua caliente de baja temperatura para usos sanitarios es una necesidad importante en las zonas residenciales, especialmente en zonas del corredor inter-andino y en aplicaciones de la industria agroalimentaria, sector de gran relevancia socio-económica en Ecuador.

Es por ello que esta propuesta de investigación pretende indagar sobre la viabilidad técnica, energética y económica de esta tecnología. En caso de que los resultados sean favorables para usar esta tecnología para el calentamiento de agua, el paso siguiente sería el diseño y construcción de un dispositivo experimental para verificar y mejorar los resultados obtenidos en este estudio.

4 Productos esperados (marcar con una "X" al menos uno de los productos no señalados)

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Disertación a la Comunidad Politécnica (obligatorio);	X
b. Presentación de un artículo en formato de la Revista Politécnica (obligatorio)	X
c. Proyecto de Titulación;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	
g. Publicaciones científicas indexada en SCIMAGO-SCOPUS/WoS/SCIELO/Latindex Catálogo o un artículo en congreso indexado en SCOPUS.	

5 Descripción, metodología y diseño del proyecto

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

Ecuador dispone de un recurso solar relativamente abundante y de una climatología beneficiosa para el uso de la tecnología de bomba de calor, especialmente las bombas de calor asistidas por paneles solares híbridos termofotovoltaicos (PV/T). Por otro lado, las necesidades de agua caliente de baja temperatura en el sector residencial e industrial son relativamente importantes y la bomba de calor asistida por paneles (PV/T) es un sistema muy eficiente energéticamente para su preparación. La mayor parte de estos equipos son accionados eléctricamente, presentando coeficientes de desempeño (COP) de 1.5 a 4.0 dependiendo de las condiciones ambientales y de la temperatura de preparación del agua caliente. Se ha demostrado que el acoplamiento de un sistema fotovoltaico para generación eléctrica a estos equipos mejora de forma importante sus prestaciones



energéticas [1], [2], [3]. Además, como los paneles fotovoltaicos presentan un mejor rendimiento energético a bajas temperaturas y la bomba de calor es más eficiente cuando se utiliza el calor del sol para evaporar el refrigerante, el uso de paneles solares (PV/T) enfriados directa o indirectamente por la evaporación del refrigerante da lugar a eficiencias energéticas globales muy elevadas.

A pesar de todo ello todavía no se ha analizado la viabilidad de esta tecnología en zonas ecuatoriales y andinas. La mayor parte de los estudios sobre sistemas con bomba de calor asistida por paneles PV/T están enfocados para sistemas de calefacción de edificios o para sistemas combinados de calefacción y agua caliente sanitaria situados en latitudes medias [1], [2], [3]. Es sabido que la ubicación geográfica y climatología local tienen una gran influencia en el diseño, prestaciones energéticas y viabilidad económica de estos sistemas [4]. Herrando y Markides [5] realizaron un análisis techno-económico de estos sistemas para el Reino Unido, sugiriendo que para zonas en latitudes más bajas con mayor irradiación solar el diseño del panel PV/T y las condiciones operativas deben ser investigados. También indican que otros factores socioeconómicos locales como las políticas gubernamentales, incentivos, precios de la energía y perfiles de demanda energética, presentan una gran influencia en la viabilidad económica de estos sistemas. En este sentido ARCONEL aprobó en octubre de 2018 la regulación 003/18 de microgeneración fotovoltaica [6], marco regulatorio que puede resultar de gran ayuda para el impulso de esta tecnología en el Ecuador. Es por ello que el presente proyecto pretende analizar diferentes opciones de diseño y control de estos sistemas mediante herramientas de simulación, así como conocer su viabilidad techno-económica en diferentes zonas de Ecuador tanto para aplicaciones residenciales como industriales, como fase previa a un proyecto experimental.

La primera parte del proyecto es conocer el estado del arte de esta tecnología y obtener información acerca de las aplicaciones residenciales e industriales que requieren consumo de agua caliente a baja temperatura. Paralelamente se determinarán los datos meteorológicos en las zonas de estudio consultando diversas fuentes como el INAMHI, municipios etc. Seguidamente se identificarán y modelizarán las configuraciones de estos sistemas para la simulación de los mismos en entornos de simulación energética como TRNSYS o similares. En la literatura ya existen algunas investigaciones que detallan algunas configuraciones y ecuaciones de modelización [1], [2], [7], [8], [9], [10], [11]. Por último, se optimizarán las mejores configuraciones y se realizará el correspondiente análisis techno-económico tomando como base sistemas convencionales para el calentamiento de agua. Con los resultados obtenidos se estará en la disposición de decidir acertadamente si resulta adecuado presentar un nuevo proyecto con financiación para el montaje de un dispositivo experimental que valide y mejore los mismos.

Referencias:

- [1] Mohanraj M, Belyayev Y, Jayaraj S, Kaltayev A. Research and developments on solar assisted compression heat pump systems – A comprehensive review (Part A : Modeling and modifications). *Renew Sustain Energy Rev* 2017;1–34. doi:10.1016/j.rser.2017.08.022.
- [2] Mohanraj M, Belyayev Y, Jayaraj S, Kaltayev A. Research and developments on solar assisted compression heat pump systems – A comprehensive review (Part-B : Applications). *Renew Sustain Energy Rev* 2017;1–32. doi:10.1016/j.rser.2017.08.086.
- [3] Bellos E, Tzivanidis C. Multi-objective optimization of a solar assisted heat pump-driven by hybrid PV. *Appl Therm Eng* 2019;149:528–35. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.12.059.
- [4] Qu M, Chen J, Nie L, Li F, Yu Q, Wang T. Experimental study on the operating characteristics of a novel photovoltaic/thermal integrated dual-source heat pump water heating system. *Appl Therm Eng* 2016;94:819–26. doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.10.126.
- [5] Herrando M, Markides CN. Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: Techno-economic considerations. *Appl Energy* 2016;161:512–32. doi:10.1016/j.apenergy.2015.09.025.
- [6] ARCONEL. 003-18, Microgeneracion Fotovoltaica, 2018, Quito, Ecuador
- [7] Fine JP, Friedman J, Dworkin SB. Detailed modeling of a novel photovoltaic thermal cascade heat pump domestic water heating system. *Renew Energy* 2017;101:500–13. doi:10.1016/j.renene.2016.08.063.



- [8] Kong XQ, Li Y, Lin L, Yang YG. Modeling evaluation of a direct-expansion solar- assisted heat pump water heater using R410A, Évaluation par modélisation d'un chauffe-eau à pompe à chaleur solaire à détente directe fonctionnant au R410A. Int J Refrig 2017;76:136–46. doi:10.1016/j.ijrefrig.2017.01.020.
- [9] Amo A Del, Martínez-gracia A, Bayod-rújula AA, Cañada M. Performance analysis and experimental validation of a solar-assisted heat pump fed by photovoltaic-thermal collectors. Energy 2019;169:1214–23. doi:S0360544218324897.
- [10] Ammar AA, Sopian K, Alghoul MA, Elhub B, Elbreki AM. Performance study on photovoltaic/thermal solar-assisted heat pump system. J Therm Anal Calorim 2018;6. doi:10.1007/s10973-018-7741-6.
- [11] Kamel RS, Fung AS, Dash PRH. Solar systems and their integration with heat pumps : A review. Energy Build 2015;87:395–412. doi:10.1016/j.enbuild.2014.11.030.

6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
No aplica	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
	Computadoras personales	Oficinas del Departamento de Ingeniería Mecánica (DIM)

6.2 Breve justificación del equipo requerido

No aplica.

6.3 Fondos Adicionales

No aplica.

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNOS SIN FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADOS

ANEXO 4 - DECLARACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica

Investigación aplicada

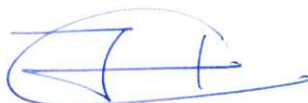
TÍTULO DEL PROYECTO

Diseño, simulación y análisis energético-económico de una bomba de calor para preparación de agua caliente asistida por un sistema de microgeneración fotovoltaica conectado a la red con paneles solares termofotovoltaicos (PV/T).

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que todos los bienes adquiridos en proyecto permanecerán bajo la custodia y responsabilidad del director de proyecto durante la ejecución del mismo.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.



Firma del Director del Proyecto
Nombre: Jesús López Villada
C.I.: 1754795936



DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada y avalada por el Consejo del Departamento de, en sesión del día mediante resolución No.

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.

Firma del Jefe del Departamento
Nombre: Jesús Portilla Yandún
C.I.: