

Ingeniería Mecánica

Determinación experimental del COP de
una bomba de calor asistida por energía
solar.

Modalidad: Proyecto de investigación

Versión Primera

Trimestre lectivo: 24-P

Datos de los alumnos:

Miguel del Angel Diego Armando 2202000406

Correo electrónico: al2202000406@azc.uam.mx

Firma: _____



Romero Montañez Kevin Axel 210204381

Correo electrónico: al210204381@azc.uam.mx

Firma: _____



Datos de la asesora:

Dra. Araceli Lara Valdivia

Categoría: Titular.

Departamento de adscripción: Energía.

Tel: 55-5318-9060

Correo: arlv@azc.uam.mx

Firma: _____

Datos del Co-asesor:

Dr. Ignacio Carvajal-Mariscal

Categoría: Titular.

Departamento de adscripción: Posgrado
en Ciencias en Ingeniería Mecánica,
ESIME Zacatenco, IPN.

Tel: 55 57296000 ext. 54884

Correo: icarvajal@ipn.mx

Firma: _____

Fecha: 31/07/2024

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Miguel del Angel Diego Armando

Firma

Romero Montañez Kevin Axel

Firma

Dra. Araceli Lara Valdivia

Firma

Dr. Ignacio Carvajal-Mariscal

Firma

1. Introducción

El uso de bombas de calor asistidas por energía solar de expansión directa (Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump, DXSAHP) es una solución viable en la transferencia de energía térmica. Estas bombas son más eficientes para calefacción y refrigeración en aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Pueden transformar la energía ambiental utilizando un colector solar tipo evaporador, lo que las hace superiores a otros dispositivos en términos de eficiencia. [1]

El funcionamiento de una bomba de calor DXSAHP comienza cuando el refrigerante absorbe calor del ambiente y de la radiación solar a través del evaporador, lo que incrementa su entalpía. Luego, el refrigerante vaporizado es comprimido, aumentando su temperatura y presión. El calor se transfiere entonces a un serpentín ubicado dentro de un tanque de agua, donde calienta el agua mientras el refrigerante se condensa parcialmente. Posteriormente, el refrigerante pasa por una válvula de expansión, se enfría, y regresa al evaporador para reiniciar el ciclo. Para determinar el COP, se utiliza la siguiente ecuación [2]:

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{compresor}}$$

Q_H = es el calor absorbido del medio caliente.

$W_{compresor}$ = Trabajo requerido por el compresor.

Este proyecto se enfoca en el análisis del estado actual de la bomba de calor que se construyó en el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Para ello, se revisarán los datos actuales de la bomba de calor y se analizará el rendimiento tras la sustitución de los colectores condensadores adaptados como evaporadores por colectores evaporadores, definidas por el Dr. Ignacio Carvajal-Mariscal, coasesor del proyecto. El objetivo es evaluar el coeficiente de rendimiento con los nuevos colectores a través de la experimentación y análisis.

2. Antecedentes

Las bombas de calor asistidas por energía solar (DXSAHP) combinan colectores solares con ciclos de compresión de vapor, aprovechando la energía solar para mejorar la eficiencia del sistema. Sporn y Ambrose establecieron un marco teórico relevante al modelar estas bombas en términos de refrigeración mediante compresión mecánica y captación solar [3]. Esta investigación es relevante para nuestra propuesta, ya que proporciona un marco teórico sobre cómo la integración solar puede mejorar la eficiencia de los sistemas de bomba de calor.

En el artículo "Mathematical thermal modeling of a direct expansion solar assisted heat pump using multi objective optimization based on the energy demand" [4], se analiza la eficiencia del refrigerante en la operación de la bomba de calor. Este artículo se utilizará como base para seleccionar el refrigerante y establecer los parámetros de operación de dicha bomba de calor.

Además, en el artículo mencionado anteriormente, la optimización y modelado matemático propuestos por el Dr. Jorge E. De León-Ruiz y el Dr. Ignacio Carvajal-Mariscal del IPN evaluaron el desempeño de una DXSAHP bajo condiciones ambientales específicas [4]. Utilizaron la primera ley de la termodinámica para calcular el calor producido a través de la condensación y el mínimo requerido por el volumen de agua en la unidad de almacenamiento térmico. Este modelo es relevante para **nuestra propuesta, ya que emplearemos un enfoque similar para la configuración de los colectores evaporadores,** en lugar de los colectores condensadores adaptados como evaporadores.

La tesis “Análisis de la influencia del ángulo de inclinación del colector-evaporador en el rendimiento de una bomba de calor de expansión directa asistida por energía solar” [5]. Se **centra** en el análisis de la variación de los ángulos **de las placas** para tener una mayor eficiencia, haciendo **uso de ecuaciones de energía solar** para determinar si el ángulo que se obtiene proporciona un mejor resultado, de esta tesis **tomaremos** como guía el análisis de variación de ángulo para la **calibración** de los colectores evaporadores **en la bomba de calor que se ha trabajado en etapas.**

La investigación “Análisis del rendimiento termodinámico de una bomba de calor asistida por energía solar utilizando un condensador con recirculación” [6], se **centra** en verificar el COP (Coeficiente de Rendimiento) obtenido **en la bomba de calor** cuando se recircula el refrigerante a través de un serpentín de cobre en el condensador, el cual calienta agua en un tanque. Este método mejora la transferencia de calor y la eficiencia del sistema. De esa investigación **se tomará en cuenta** la configuración para el calentamiento del agua sin recirculación.

3. Justificación

En el Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP) del IPN ESIME Zacatenco, se ha venido desarrollando un proyecto enfocado en la optimización del desempeño de una bomba de calor **solar** asistida por energía solar. Originalmente, esta bomba de calor operaba con una serie de colectores solares tipo condensador **adaptado como evaporador, expuesto** a condiciones variables de radiación solar directa. Durante su operación, se observaron periodos de calentamiento prolongados, lo que indicaba un rendimiento subóptimo, reflejado en un Coeficiente de Rendimiento (COP) menor al esperado para ciertas condiciones.

Como respuesta a estos resultados, se decidió sustituir los colectores condensadores adaptados como evaporadores originales por un conjunto de colectores tipo evaporadores, con el objetivo de mejorar el rendimiento térmico del sistema. Este cambio se espera que reduzca los tiempos de calentamiento y eleve el COP en comparación con la configuración anterior.

En este proyecto, se busca analizar la pertinencia de los cambios realizados desde una **perspectiva termodinámica y de transferencia de calor** mediante una evaluación experimental. Se **planea** realizar diez corridas experimentales para medir la variación de temperaturas y presiones bajo diferentes niveles de radiación solar directa, manteniendo flujos máscicos fijos. Con estos datos, se determinará tanto el COP ideal como el real de la bomba de **calor.**

4. Objetivos

Objetivo General

Hacer la determinación experimental del COP de la bomba de calor con distintas condiciones de radiación solar.

Objetivos Particulares:

Realizar 10 corridas experimentales de la bomba de calor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y atmosféricas de la Ciudad de México.

Medir la presión y temperatura de entrada y salida del intercambiador de calor durante la experimentación.

Medir la presión y temperatura de entrada y salida del colector evaporador durante la experimentación.

Analizar los datos obtenidos del funcionamiento de la bomba de calor para determinar el COP.

Comparar el COP de la bomba de calor con la configuración de los colectores solares evaporadores, con el COP registrado previamente en experimentos de los colectores condensadores adaptados como evaporadores.

5. Metodología:

La bomba de calor tipo DXSAHP obtiene calor mediante un sistema de recolección solar por radiación directa. Esto se realiza a través de colectores evaporadores en los cuales circula refrigerante. Este, a su vez, se dirige mediante un bombeo a un intercambiador de calor tipo serpentín, ubicado dentro del tanque de almacenamiento de agua, donde realiza una transferencia de calor por conducción.

Fase 1: Experimentación.

1. Realizar 3 corridas experimentales para determinar el COP de la bomba de calor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y usando 4 colectores evaporadores.
2. Realizar 3 corridas experimentales para determinar el COP de la bomba de calor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y usando 6 colectores evaporadores.
3. Realizar 4 corridas experimentales para determinar el COP de la bomba de calor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y usando 8 colectores evaporadores.
4. Medir la presión y temperatura de entrada y salida del intercambiador de calor durante la experimentación.
5. Medir la presión y temperatura de entrada y salida del evaporador durante la experimentación.
6. En la bomba de calor hay dos circuitos importantes: el del agua y el del refrigerante. Se verificará que la diferencia de temperatura no sea mayor a 10 °C.

Fase 2: Análisis de resultados.

1. Realizar un análisis termodinámico de la bomba de calor.

Fase 3: Resultado final.

1. Determinar el COP de la bomba de calor tipo DXSAHP.
2. Comparar analítica y experimentalmente los valores de COP obtenidos para la bomba de calor de colectores evaporadores con los valores de COP obtenidos en experimentos previos con colectores condensadores adaptados como evaporadores.

6. Normatividad

NMX-EC-17025-IMNC-2018

Título: Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

Descripción: Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los laboratorios que realizan ensayos y calibraciones, incluyendo aquellos que prueban bombas de calor. Garantiza que los laboratorios operen con competencia y generen resultados técnicamente válidos.

Aplicación: Asegura que las bombas de calor probadas en laboratorios mexicanos cumplen con los estándares de rendimiento y seguridad.

NOM-ENER-011-ENER-2012

Título: Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo cuarto (incluye bombas de calor).

Descripción: Establece los requisitos de eficiencia energética que deben cumplir los acondicionadores de aire tipo cuarto, incluyendo las bombas de calor, para su comercialización en el territorio nacional.

Aplicación: Esta norma aplica pruebas específicas para determinar la eficiencia energética de las bombas de calor, promoviendo el uso de tecnologías más eficientes y reduciendo el consumo de energía en el país.

NOM-023-ENER-2018

Título: Eficiencia energética de bombas centrífugas para agua potable y sistemas de calefacción (incluye bombas de calor geotérmicas).

Descripción: Define los requisitos mínimos de eficiencia energética para bombas centrífugas utilizadas en sistemas de agua potable y calefacción, incluyendo bombas de calor geotérmicas.

Aplicación: Busca asegurar que las bombas de calor geotérmicas y otros sistemas de bombeo utilizados en aplicaciones de calefacción sean energéticamente eficientes, contribuyendo a la reducción del consumo de energía.

NOM-008-SCFI-2002

Título: Sistema General de Unidades de Medida.

Descripción: Establece las unidades de medida a utilizar en los productos, procedimientos, servicios y actividades en el país, asegurando la uniformidad en la medición de rendimiento y eficiencia de las bombas de calor.

Aplicación: Asegura que todas las mediciones relacionadas con el rendimiento y la eficiencia de las bombas de calor se realicen de manera uniforme y estandarizada.

7. Cronograma de actividades

UEA para la que se solicita autorización:



No.	Actividades Trimestre 24-P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Verificar que los componentes de la bomba de calor funcionen correctamente						X	X					
2	Analizar y evaluar diferentes condiciones de operación de la bomba de calor.								X				
3	Realizar 10 corridas experimentales para determinar el COP de la bomba de calor, teniendo en cuenta las condiciones ambientales.									X	X	X	X
4	Se verificará que la diferencia de temperatura no sea mayor a 10 °C.									X	X	X	X
5	Registrar datos para su posterior análisis.									X	X	X	X

No.	Actividades Trimestre 24-O	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Realizar un análisis termodinámico de la bomba de calor.	X	X	X									
2	Determinar el COP de la bomba de calor tipo DXSAHP.				X								
3	Comparar analítica y experimentalmente los valores de COP obtenidos para la bomba de calor de colectores evaporadores con los valores de COP obtenidos en experimentos previos con colectores condensadores adaptados como evaporadores.				X	X							
4	Elaboración de reporte final					X							

8. Entregables

Reporte Final.

9. Terminología

COP: Coeficiente de rendimiento.

DXSAHP: Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pump.

LABINTHAP: Laboratorio de ingeniería térmica e hidráulica aplicada.

10. Referencias

- [1] J.E. De León-Ruiz, I. Carvajal-Mariscal, 2015, "Modelo matemático y diseño de una bomba de calor de expansión directa asistida por energía solar para calentamiento de agua" tesis, Laboratorio de ingeniería térmica e hidráulica aplicada, Instituto Politécnico Nacional, ESIME, UPALM, CDMX, 07738, México.
- [2] Y. A. Çengel and M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 8th ed., New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2015.
- [3] Sporn, P., and Ambrose, R. E., 1955, "New Solar Heat Pump System," J. Sol. Energy Sci. Eng., 2(4), pp. 235-241.
- [4] J. E. De León-Ruiz, and I. Carvajal-Mariscal, "Mathematical Thermal Modeling of a Direct Expansion Solar Assisted Heat Pump Using Multi Objective Optimization Based on the Energy Demand," *Energies*, vol. 11, no. 1773, 2018, pp. 1-27.
- [5] Universidad Politécnica Salesiana, 2020, "Análisis de la Influencia del Ángulo de Inclinación del Colector/Evaporador en el Rendimiento de una Bomba de Calor de Expansión Directa Asistida por Energía Solar," Tesis, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18545>.
- [6] Elsevier, 2020, "Performance of a Shallow Solar Pond Coupled with a Heat Pump Cycle for Thermal Energy in Net Zero-Energy Buildings," *Energies*, Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/358>.

11. Infraestructura

Instalaciones del laboratorio de ingeniería térmica e hidráulica aplicada (LABINTHAP), IPN Zacatenco.

12. Asesoría complementaria:

No es necesaria.

13. Publicación o difusión de los resultados:

No se publicará.