

**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica.

**Nombre del Proyecto de Integración (PI):** "Diseño y construcción de un colector solar de tubos concéntricos de agua con caloportadores de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)".

**Modalidad:** Proyecto de Tecnológico.

**Versión:** Primera

**Trimestre Lectivo:** 24-I



**Datos del alumno:**

Nombre: Kevin Gabriel Galeana Cedeño.

Matrícula: 2183004099

Correo electrónico: al2183004099@azc.uam.mx

---

Firma

**Datos del asesor:**

Nombre: M en C. Carlos Alejandro Vargas.

Categoría: Titular.

Departamento de adscripción: Ciencias básicas.

Teléfono: 55 2325 5918

Correo electrónico: cvargas@azc.uam.mx

---

Firma

**Datos del co-asesor:**

Nombre: Dr. Valeriano Salomón Álvarez Salazar

Categoría: Asociado

Departamento de adscripción: Energía.

Teléfono: 56 1869 0266

Correo electrónico: vsas@azc.uam.mx

---

Firma

Fecha: 26/04/2024

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.

---

Galeana Cedeño Kevin Gabriel

---

M en C. Carlos Alejandro Vargas

---

Dr. Valeriano Salomón Álvarez Salazar

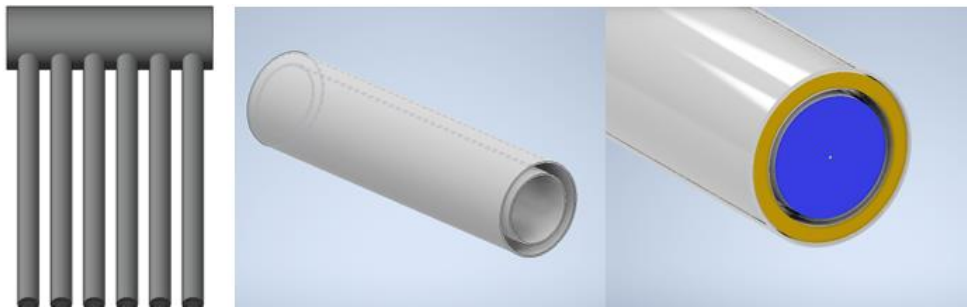
## 1. Introducción

Hoy en día México y el resto del mundo atraviesan por una crisis climática que se ha venido agudizando en los últimos años. Por tal motivo es necesario reducir el consumo de energía proveniente de fuentes fósiles, que resultan extremadamente contaminantes. Una alternativa emergente de gran utilidad es la energía solar. México cuenta con una posición geográfica y extensión territorial idónea para el aprovechamiento de este recurso.

Como una medida para atenuar esta problemática, desde hace años se han desarrollado calentadores solares para uso doméstico, los cuales tienen la finalidad de sustituir las fuentes energéticas comunes (electricidad, gas). Teniendo en cuenta las bajas temperaturas que estos necesitan para operar, las cuales oscilan entre los 40 °C y 60 °C, resulta conveniente su implementación para el ahorro energético.

Los procesos de transferencia de calor se han expandido a diversos campos de la tecnología, sin embargo, los fluidos convencionales, que se emplean en estos sistemas de transferencia de calor, poseen bajas conductividades térmicas y una tasa baja de transferencia de calor. Los caloportadores son fluidos que transportan por medio de un sistema de transmisión de calor la energía térmica desde un punto a otro dentro de un determinado sistema, comúnmente este tipo de fluidos trabajan en sistemas cerrados [1]. Por lo anterior, se plantea que mediante la utilización de estos fluidos sea posible mejorar las propiedades termo-físicas de ciertos líquidos como el agua, aceites o líquidos refrigerantes, mediante la adición de nanopartículas. Estas partículas se analizan a través de técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido (del inglés: SEM) [2].

En este proyecto se plantea el diseño de un colector solar de agua, como se muestra en la Figura 1, que busca obtener una mayor eficiencia mediante la implementación de caloportadores de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ). Este material posee una alta gama de aplicaciones en la industria. Cuenta con orbitales atómicos que se encuentran separados por un ancho de banda de 3.2 eV que lo convierte prácticamente en un aislante. Por razones termodinámicas, su estructura es deficiente en la presencia de oxígenos, con lo cual se generan estados cerca de la banda de conducción, convirtiéndolo en un material semiconductor [3].



**Figura 1.** Prototipo de colector solar con tubos concéntricos. Imagen propia.

## 2. Antecedentes

En el año 2019 en la Universidad Autónoma Metropolitana se realizó el diseño de un calentador solar plano de superficie selectiva para aplicaciones de baja temperatura [4]. En dicho proyecto se buscó la forma de aprovechar las energías limpias que se encuentran disponibles en el país mediante el desarrollo de una placa absorbadora en la que sea posible obtener la mayor cantidad de irradiación solar. Además, se realizó un estudio de los materiales que tuvieran mejores propiedades, para ser empleados como aislantes térmicos y aumentar la eficiencia térmica. En este proyecto se tomará como base dicho estudio para realizar la selección de los materiales del colector solar.

En el año de 2021, Pita'-Cantos et al., publicaron en la revista de Ingeniería Mecánica Vol. 21 un artículo donde se hizo un análisis paramétrico del desempeño térmico de calentadores solares planos de circulación forzada de aire [5]. Modelaron y simularon el colector solar mediante las técnicas de la dinámica de los fluidos computacional. Realizaron la variación de los parámetros de longitud y altura del canal de aire, así como de las condiciones del horario y día, la radiación solar incidente y la velocidad del aire. Obtuvieron la relación del rendimiento térmico de estos parámetros. El análisis publicado es de suma importancia, debido a que proporcionará las bases para realizar las pruebas que se plantean llevar a cabo en este proyecto, así como las condiciones y parámetros que en el incidan.

En el año 2016, Pedraza Luque, P., en la Universidad de Sevilla publicó su tesis respecto al análisis de los nanofluidos y su aplicación como fluido HTF (del inglés: Heat Transfer Fluids) [6]. La investigación abordó a detalle el análisis de los fluidos de trabajo denominados caloportadores, a los cuales se les han adicionado partículas que mejoran sus propiedades conductivas, así como las aplicaciones de cada uno de estos tipos de fluido. Se hizo énfasis en los fluidos caloportadores como agentes conductores en los sistemas fotovoltaicos, donde se establecen ciertas consideraciones y parámetros de operación, los cuales serán considerados en la realización del colector solar.

## 3. Justificación

Los sistemas de captación solar que se emplean actualmente se basan en la irradiancia solar que en ellos incide. Existen determinadas zonas y temporadas del año, donde no se alcanzan los niveles de irradiancia deseados, lo cual no permite que los colectores solares cumplan con su propósito. Para resolver esto, se continúan empleando fuentes de energía no renovables, como gas o electricidad para alcanzar las temperaturas preestablecidas.

La implementación de la nanotecnología en los colectores solares pretende incrementar su eficiencia. Permitiendo a estos, requerir menos energía solar para alcanzar las temperaturas de operación, así como, prolongar el almacenamiento del líquido a la temperatura deseada. Disminuyendo el uso de fuentes externas y en su mayoría contaminantes, que se emplean cuando el colector solar no cuenta con las condiciones climatológicas idóneas para su funcionamiento.

## 4. Objetivos

### Objetivo general

Diseñar y construir un colector solar de tubos concéntricos de agua, que cuente con caloportadores de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

### Objetivos particulares

Obtener nanopartículas de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) mediante la molienda de partículas mesoscópicas.

Determinar las propiedades físicas y químicas de partículas esféricas nanoestructuradas para estimar su conductividad.

Caracterizar las nanopartículas por medio de Microscopía Electrónica de Barrido.

Determinar la cantidad de nanopartículas en el fluido caloportador, mediante pruebas de calorimetría.

Diseñar y construir un prototipo de colector solar de tubos concéntricos con caloportadores de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

Evaluar el colector solar con y sin el uso de caloportadores de dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ).

Comparar los resultados experimentales con los datos obtenidos de una simulación empleando el software *ANSYS Fluent*.

## 5. Descripción técnica

El concentrador solar contará con tubos concéntricos mediante los cuales se pretende mantener separados el agua potable, destinada para el uso doméstico, del fluido caloportador. Dicho fluido se encontrará en la parte exterior de los tubos, con la finalidad de estar en contacto directo con la irradiancia solar.

- El colector solar contará con 6 tubos concéntricos de cuarzo de 1 pulgada de diámetro.
- Capacidad del termotanque de almacenamiento de 40 litros.
- Temperaturas de operación que oscilarán entre los 40 °C y 75 °C.
- La longitud de los tubos será de 1 metro.
- La cantidad de nanopartículas en el fluido caloportador se determinará mediante pruebas de calorimetría.

## 6. Normatividad

Norma Oficial Mexicana NMX-ES-002-NORMEX-2007, Definiciones y terminología del Calentamiento Solar de Agua (CSA). Establece todos los conceptos y la simbología que se emplea en el campo de desarrollo tecnológico de la energía solar como una fuente alternativa de energía limpia [7].

Norma Oficial Mexicana NOM-027-ENER/SCFI-2018, Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares. Establece todas las especificaciones de rendimiento térmico, ahorro de gas (para calentadores solares que tengan este respaldo). Así como los requisitos de seguridad se estipulan para calentadores solares de uso doméstico y comercial, con una capacidad no mayor a 500 litros [8].

Norma Oficial Mexicana NMX-ES-001-NORMEX-2005, Rendimiento térmico y funcionalidad para colectores solares. Estipula los métodos que deben de realizarse para determinar y evaluar el rendimiento térmico y su respectiva funcionalidad de los calentadores solares que emplean como fluido de trabajo el agua [9].

## 7. Cronograma de actividades

UEA para la que se solicita autorización.

- Proyecto de Integración en Ingeniería Mecánica I.

	Actividades del trimestre 24-P	Semana											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Diseñar el sistema intercambiador de calor.	■	■	■	■								
2	Realizar la molienda de partículas mesoscópicas.	■											
3	Determinar las propiedades físicas y químicas de las nanopartículas.		■										
4	Caracterizar mediante SEM las nanopartículas.			■									
5	Realizar las pruebas de calorimetría.				■								
6	Construir el colector solar e incorporar las nanopartículas de TiO <sub>2</sub> .					■	■	■	■	■			
7	Realizar las pruebas experimentales y la simulación computacional de transferencia térmica.										■	■	
8	Comparar los resultados del uso de TiO <sub>2</sub> en el colector solar.											■	
9	Redactar reporte final.							■	■	■	■	■	■

## 8. Entregables.

Prototipo funcional del colector solar.

Graficas comparativas de eficiencia térmica.

Reporte Final.

## 9. Referencias bibliográficas.

- [1] González Jiménez, P., 2022, "Estado del arte de fluidos caloportadores para tecnología CSP", Tesis, Escuela Técnica Superior de Ingenierías, Universidad de Sevilla.
- [2] V-D Hodoroaba, 2016, "Characterisation of nanoparticles by means of high-resolution SEM/EDS in transmission mode", *IOP Conference Series, Materials Science and Engineering*, pp. 2-4.
- [3] Tuesta, E. G., & Gutarra, A., 2004, "Aplicaciones electrocrómicas y fotocatalíticas del dióxido de titanio". *Revciumi*, 8(2), pp. 32.
- [4] López Romero A. I., 2019, "Diseño de un calentador solar plano de superficie selectiva para aplicaciones de baja temperatura", Tesis, UAM-A.
- [5] Pita'-Cantos, Lenin, Juan José González-Bayón, & Alberto Menéndez-Pérez. 2018. "Análisis Paramétrico Del Desempeño Térmico de Calentadores Solares Planos de Aire de Circulación Forzada." *Ingeniería Mecánica*, 21 (3): 153–60. <https://ebSCO.uam.elogim.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=133573269&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
- [6] Pedraza Luque, P., 2016, "Análisis de los Aplicación como Análisis de los Nanofluidos y su aplicación como Fluido HTF", Tesis, Escuela Técnica Superior de Ingenierías, Universidad de Sevilla.
- [7] Norma Mexicana, 2007, "Definiciones y terminología del Calentamiento Solar de Agua (CSA)", NMX-ES-002- NORMEX-2007.
- [8] Norma Mexicana, 2018, "Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares", NOM-027-ENER/SCFI-2018.
- [9] Norma Mexicana, 2005, "Rendimiento térmico y funcionalidad para colectores solares de agua". NMX-ES-001-NORMEX-2005

## 10. Terminología.

Mesoscópica. Proviene del vocablo griego mesos, que hace referencia a medio. Hace referencia a una escala dimensional que se ubica entre el nivel macroscópico de las cosas y la escala microscopía, es decir a nivel atómico.

## 11. Infraestructura.

Laboratorio de Sistemas Complejos I W-209.

Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP), SEPI ESIME Zacatenco.

## 12. Asesoría complementaria.

Dr. Ignacio Carvajal Mariscal.

Coordinador Académico del Doctorado en Energía del Instituto Politécnico Nacional.

Dr. Fernando Aragón Rivera

Profesor con categoría de asociado, adscrito al Departamento de Energía.

## 13. Publicación o difusión de los resultados.

Se pretende publicar en el XVI Congreso Iberoamericano Ingeniería Mecánica 2024.