

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica



**Síntesis y análisis de la conductividad térmica de nanofluidos de plata
considerando el efecto de la radiación solar**

Tesis presentada por el Bachiller:

Aguilar Mostajo, Luis Angel

ORCID: 0009-0005-4689-5238

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Asesor (a):

Dr. Alcazar Rojas, Herman Enrique

ORCID: 0000-0002-7651-9269

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 22 de Diciembre del 2023

Dictamen: 007762-C-EPIMMEM-2023

Visto el borrador del expediente 007762, presentado por:

2016600061 - AGUILAR MOSTAJO LUIS ANGEL

Titulado:

**SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE NANOFLUIDOS DE PLATA
CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA RADIACION SOLAR**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECANICO

**29361846 - CHIRE RAMIREZ EMILIO
DICTAMINADOR**



**06426119 - ALVAREZ FLOREZ DARWIN REYNALDO
DICTAMINADOR**



**29685318 - CASTRO VALDIVIA JORGE LUIS
DICTAMINADOR**



Síntesis y análisis de la conductividad térmica de nanofluidos de plata considerando el efecto de la radiación solar

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

6%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

dspace.ups.edu.ec

Internet Source

1%

2

eprints.ucm.es

Internet Source

1%

3

media.suub.uni-bremen.de

Internet Source

1%

4

dokumen.tips

Internet Source

1%

5

Submitted to Polytechnic of Turin

Student Paper

1%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography Off

DEDICATORIA

Con profunda gratitud, dedico este trabajo de investigación a mi abuela, pilar fundamental en mi vida, y a mis padres, Edward y Edith, por su apoyo incondicional y la motivación constante que me han brindado a lo largo de estos años. A mi tía Marlene, expreso mi más sincero agradecimiento por sus valiosos consejos y su constante consideración hacia mi persona



AGRADECIMIENTOS

Con profunda emoción, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, por ser el pilar fundamental en mi vida y por su apoyo incondicional a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí, por darme la oportunidad de cumplir mis sueños y metas, y por alentarme a desarrollar mis habilidades, las cuales se ven reflejadas en este trabajo de investigación. Su amor, paciencia y comprensión han sido mi mayor impulso para seguir adelante.

A mis queridos amigos, quienes me han acompañado en este largo proceso, les agradezco de todo corazón por su apoyo y amistad. Han sido un soporte invaluable en los momentos más difíciles y han compartido conmigo alegrías y celebraciones. Su presencia ha hecho que este camino sea más llevadero y enriquecedor. Agradecer a las dos instituciones que permitieron convertirme en la persona que soy hoy en día, al Colegio San José y la Universidad Católica de Santa María, por brindarme una educación de calidad.

Expreso mi más sincero agradecimiento al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María, por haberme permitido ser partícipe del proyecto 2019 - Fondo Docente Tiempo Completo 27495-R-2020 "Ruptura del agua por proceso foto-catalítico, sobre catalizadores a base de grafeno modificados por Óxido de Cobre". Agradezco especialmente al Dr. Leopoldo Alcázar y al Dr. Hermann Alcázar por su invaluable apoyo y por haberme brindado la oportunidad de desarrollar esta tesis.

GRACIAS A TODOS

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo de tesis es sintetizar y analizar la conductividad térmica de nanofluidos considerando el efecto de la radiación solar. Además, se busca brindar una alternativa para la implementación de nanofluidos de plata en colectores solares, con el objetivo de mejorar su eficiencia y aprovechar al máximo la energía solar.

Para ello, se sintetizaron nanopartículas de plata variando la cantidad de reactivos, como el pH, el nitrato de plata, el ácido cítrico y el ácido ascórbico. Estas nanopartículas se almacenaron y se utilizaron concentraciones de 25%, 50% y 75% combinadas con agua destilada para evaluar la conductividad térmica variando el porcentaje de radiación solar.

La muestra GRUPO C-100%-75% obtuvo la mejor conductividad térmica entre todas las muestras evaluadas. Se sintetizó con un pH de 10.3 y 0.2 ml de nitrato de plata, lo que generó nanopartículas de plata al 75%. Posteriormente, se mezcló con agua destilada al 25%, obteniendo una conductividad térmica de $0.793713 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a una temperatura de 21.5°C .

Palabras Clave: contaminación ambiental, nanofluido, energía solar, conductividad térmica, radiación solar.

ABSTRACT

The main objective of this thesis work is to synthesize and analyze the thermal conductivity of nanofluids considering the effect of solar radiation. In addition, it seeks to provide an alternative for the implementation of silver nanofluids in solar collectors, with the aim of improving their efficiency and maximizing the use of solar energy.

To this end, silver nanoparticles were synthesized by varying the amount of reagents, such as pH, silver nitrate, nitric acid and ascorbic acid. These nanoparticles were stored and concentrations of 25, 50 and 75% combined with distilled water were used to evaluate the thermal conductivity by varying the percentage of solar radiation.

The sample GROUP C-100%-75% obtained the best thermal conductivity among all the samples evaluated. It was synthesized with a pH of 10.3 and 0.2 ml of silver nitrate, which generated 75% silver nanoparticles. Subsequently, it was mixed with 25% distilled water, obtaining a thermal conductivity of 0.793713 W/m-K at a temperature of 21.5°C.

Keywords: environmental pollution, nanofluid, solar energy, thermal conductivity, solar radiation.

ÍNDICE

	<u>Pág.</u>
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
1. GENERALIDADES	3
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	8
1.2.1 Justificación ambiental.....	8
1.2.2 Justificación tecnológica.....	8
1.2.3 Justificación económica.....	9
1.2.4 Justificación social	9
1.3 HIPÓTESIS	9
1.4 OBJETIVOS.....	10
1.4.1 Objetivo General.....	10
1.4.2 Objetivos Específicos.....	10
1.5 VARIABLES	10
1.5.1 Variables independientes	10
1.5.2 Variables dependientes	10
1.6 ALCANCES.....	10
1.7 LIMITACIONES	11
CAPITULO II.....	12
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. ANTECEDENTES	13
2.2. ENERGÍA SOLAR	19
2.3. SISTEMA SOLAR TÉRMICO.....	20
2.3.1. Colectores Solares.....	21
2.3.2. Fluidos de transferencia de calor	22
2.4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	23
2.4.1. Termorreflexión transitoria.....	23

2.4.2. Omega – 3	24
2.4.3. Métodos de la fuente de plano transitorio	25
2.4.4. Método transitorio del hilo caliente	26
2.5. NANOPARTÍCULAS Y NANOFLUIDOS	28
2.5.1. Estabilidad de los nanofluidos	28
2.6. PROPIEDADES DE ABSORCIÓN DE CALOR	29
2.7. PROPIEDADES TERMOFÍSICAS	31
2.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS NANOFLUIDOS	35
2.8.1. Efecto del agente estabilizador en la síntesis de nanopartículas de plata	35
2.8.2. Efecto del pH en la síntesis de nanopartículas de plata	36
2.8.3. Síntesis de nanopartículas de plata con diferentes formas	36
2.8.4. Tamaño de partícula	37
2.8.5. Forma de partícula	37
2.8.6. Material de partículas y fluido base	37
2.8.7. Temperatura	38
2.9. ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE NANOFLUÍDOS	39
2.9.1. Óxido de aluminio	39
2.9.2. Óxido de cobre	42
2.9.3. Óxido de titanio	43
2.9.4. Óxido de hierro	45
2.9.5. Plata	46
CAPÍTULO III	49
3. METODOLOGÍA	50
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	50
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	50
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACION	52
3.4.1. Variables independientes	52
3.4.2. Variables dependientes	52
3.4.3. Numero de ensayos	52
3.5. MATERIALES Y EQUIPOS	53
3.5.1. Materiales	53
3.5.2. Equipos	54
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACION DE DATOS	54
3.6.2. Preparación del coloide de nanopartículas de plata	57
3.6.3. Evaluación de la conductividad térmica	57

CAPITULO IV.....	65
4. RESULTADOS Y DISCUCIÓN.....	66
4.1. Resultados de la Evaluación de la conductividad térmica	66
4.2. Resultados de la Evaluación de la conductividad térmica versus radiación solar.	79
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIA.....	85



ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1. 1. Ranking de contaminación ambiental América Latina y el Caribe	3
Figura 1. 2. Matriz energética del Perú	4
Figura 1. 3. Esquema de colector de tubos evacuados	5
Figura 1. 4. Ejemplos de diferentes nanofluidos	6
Figura 1. 5. Porcentaje de estudios por cada tipo de nano particulado	8
 Figura 2. 1. Mapa mundial de irradiación solar.....	 20
Figura 2. 2. Esquema sistema solar térmico.....	21
Figura 2. 3. Reflector con sistema de seguimiento.....	22
Figura 2. 4. Configuración típica de la muestra utilizada para medir las propiedades térmicas.....	23
Figura 2. 5. Esquema típico de la medición omega-3	24
Figura 2. 6. Método de la fuente de plano transitorio	25
Figura 2. 7. Método de Hilo caliente	26
Figura 2. 8. Técnica del hilo caliente	27
Figura 2. 9. Procesos que tienen lugar en las partículas desnudas de TiO ₂ tras la excitación UV.....	44
Figura 2. 10. Ilustración esquemática de las aplicaciones de la fotocatalisis.....	44
 Figura 3. 1. Metodología del trabajo de tesis.....	 51
Figura 3. 2. Celda solo funcionaba en posición vertical.....	58
Figura 3. 3. Construcción de la nueva celda.....	59
Figura 3. 4. Conexiones eléctricas	59
Figura 3. 5. Adquisición de datos	60
Figura 3. 6. Ejemplo del proceso de toma de datos.....	61
Figura 3. 7. Simulador solar.....	61
Figura 3. 8. Sensores de temperatura PT100 con conexión a Arduino.....	62
Figura 3. 9. Códigos de Arduino	63
Figura 3. 10. Conexión final del sistema de toma de datos bajo radiación solar	63
Figura 3. 11. Conexión final del sistema de toma de datos bajo radiación solar	64
 Figura 4. 1. Conductividad térmica de la muestra GRUPO A-25	 67

Figura 4. 2. Conductividad térmica de la muestra GRUPO A-50%.....	68
Figura 4. 3. Conductividad térmica de la muestra GRUPO A-75%.....	68
Figura 4. 4. Conductividad térmica del GRUPO A con diferentes concentraciones y % de radiación solar.	69
Figura 4. 5. Conductividad térmica de la muestra GRUPO B-25%.....	70
Figura 4. 6. Conductividad térmica de la muestra GRUPO B-50%.....	71
Figura 4. 7. Conductividad térmica de la muestra GRUPO B-75%.....	71
Figura 4. 8. Conductividad térmica de la muestra GRUPO B.....	72
Figura 4. 9. Conductividad térmica de la muestra GRUPO C-25%.....	73
Figura 4. 10. Conductividad térmica de la muestra GRUPO C-50%.....	73
Figura 4. 11. Conductividad térmica de la muestra GRUPO C-75%.....	74
Figura 4. 12. Conductividad térmica de la muestra GRUPO C	75
Figura 4. 13. Conductividad térmica de la muestra GRUPO D-25%.....	76
Figura 4. 14. Conductividad térmica de la muestra GRUPO D-50%.....	76
Figura 4. 15. Conductividad térmica de la muestra GRUPO D-75%.....	77
Figura 4. 16. Conductividad térmica de la muestra GRUPO D	78
Figura 4. 17. Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO A.....	79
Figura 4. 18. Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO B.....	80
Figura 4. 19. Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO C.....	81
Figura 4. 20. Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO D.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
Tabla 3. 1. Número de ensayos para determinar la conductividad térmica.....	52
Tabla 3. 2. Soluciones para obtención de AgNPs.....	55
Tabla 3. 3. Proceso de síntesis de AgNp's utilizado actualmente	56
Tabla 4. 1. Mejores muestras de GRUPOS A, B, C y D	79



ABREVIATURAS Y LISTAS DE SÍMBOLOS

Abreviaturas

NF	Nanofluidos
NP	Nanopartícula
NPsAg	Nanopartículas de Plata
OA	Ácido Oleico
PVP	Polivinilpirrolidona
SAR	Tasa de Absorción Específica
FPC	Colectores solares de placa plana
ETC	Colector solar de tubos al vacío
CPC	Concentrador de componente parabólico
DAC	Colector de absorción directa
LSPR	Resonancia de Plasmón Superficial Localizado
DSSC	Células Solares Sensibilizadas por Colorante
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MWCNT	Nanofluidos de Agua de Nanotubos de Carbono de Pared Múltiple
DASC	Colector Solar de Absorción Directa
NaBH ₄	Borohidruro de Sodio
PVP	Polivinilpirrolidona
ZnO	Oxido de Zinc
TiO ₂	Dioxido de Titanio
CO _x	Monóxido de Carbono
NO _{xy}	Oxido de Nitrogeno
TPS	Fuente Plana Transitoria
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
ISO	Organización Internacional de Normalización
SI	Sistema Internacional
CNT	Conductividad Térmica de Nanofluidos
MRI	Imágenes por Resonancia Magnética
UV-VIS	Espectroscopia ultravioleta-visible

Lista de símbolos

Al ₂ O ₃	alúmina
I_{λ}	Intensidad de la Radiación Espectral
f_v	Fracción de volumen de las nanopartículas
$Q_{e\lambda}$	Eficiencia de extinción de las nanopartículas individuales
$\sigma_{e\lambda, \text{agua}}$	Coefficiente de extinción del fluido base
$\sigma_{a\lambda}$, $\sigma_{s\lambda}$ y $\sigma_{e\lambda}$	Coefficientes de absorción, dispersión y extinción,
η_w	Indice de Refracción del agua
a_n y b_n	Coefficientes de dispersión de Mie
ΔQ	Capacidad calorífica

INTRODUCCIÓN

Los nanofluidos de plata, compuestos por fluidos que albergan nanopartículas de plata en suspensión, presentan una conductividad térmica superior, lo que los hace más eficientes para transferir calor. La radiación solar, como fuente de calor aprovechable, permite calentar estos fluidos. La incorporación de nanopartículas de plata mejora su capacidad para absorber la radiación solar, incrementando así su eficiencia en la captación de esta energía para diversas aplicaciones, como sistemas de refrigeración, calefacción solar y nanofluidos para biomedicina. La investigación en este campo busca optimizar la síntesis de nanofluidos de plata, comprender los mecanismos de transferencia de calor y absorción de radiación solar, e integrarlos en dispositivos para evaluar su rendimiento.

Es por ello por lo que este trabajo de tesis se dividirá en cuatro (4) capítulos, que son los siguientes:

- CAPITULO 1: En este capítulo, se centrará en el planteamiento del problema, justificación, objetivos generales como específicos y definición de variables dependientes e independientes.
- CAPITULO 2: En este capítulo, se tratará de antecedentes como también conceptos específicos como generales para el entendimiento del trabajo de tesis.
- CAPITULO 3: En este capítulo, abarca la metodología a utilizar, los materiales e instrumentos, como también los procedimientos experimentales.
- CAPITULO 4: Este capítulo terminara con la parte experimental, resultados y discusión de dichos resultados.



CAPITULO I

1. GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

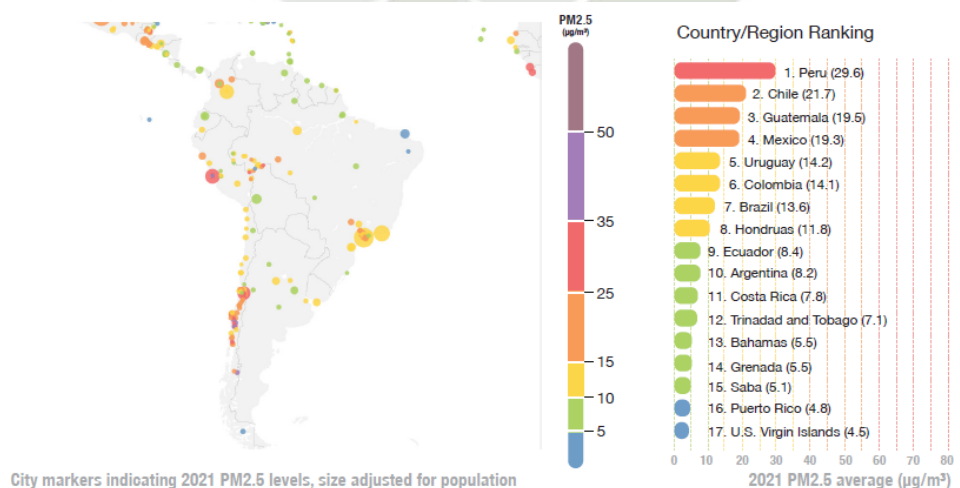
El uso de la energía solar para sistemas de calentamiento de aguas está fuertemente influenciado por las propiedades de captación de energía radiante de sus fluidos de carga.

Dentro de los principales temas tratados a nivel mundial, y del cual nuestro país no queda ajeno, es el de la contaminación ambiental. De acuerdo con el informe realizado por World Air Quality el Perú se encuentra ubicado en el puesto número 26 a nivel mundial y en el primer lugar en Latinoamérica de los países con mayor contaminación ambiental, (IQAir Staff Writers 2021). Como se observa en la Figura 1.1.

Uno de los motivos por los cuales se presentan estos datos de contaminación en nuestro país es por la falta de uso y aprovechamiento de las energías limpias que tenemos a la mano como son la energía eólica, hidroeléctrica, geotérmica, solar, etc. Según la Cámara de Comercio de Lima tan solo el 10% de energía generada en el país proviene de energías limpias (Cámara de comercio de Lima 2022).

Figura 1.1.

Ranking de contaminación ambiental América Latina y el Caribe

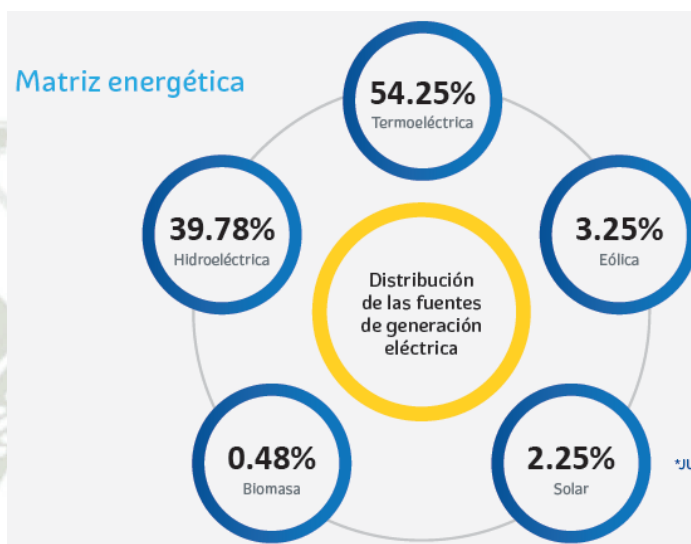


Nota: (IQAir Staff Writers 2021)

El aprovechamiento del sol o energía radiante es de los principales medios de generación de energía limpia. Siendo nuestro territorio uno de los más idóneos para su aprovechamiento debido al clima con el que contamos, sin embargo, en nuestro país solo

contamos con 7 centrales solares las cuales, según el MINEM, que representan tan solo el 2.25% del total de la electricidad generada a nivel nacional, de acuerdo a la Figura 1.2 (Osinergrmin 2021).

Figura 1. 2.
Matriz energética del Perú



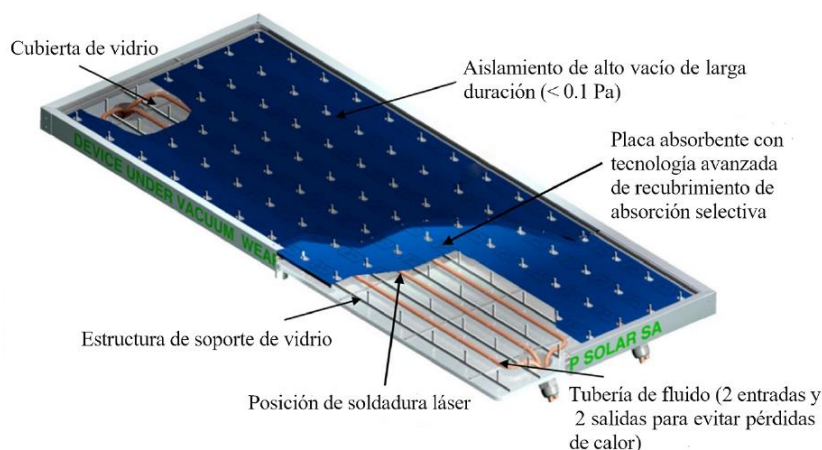
Nota: (Osinergrmin 2021)

El elemento principal en el sistema de captación o aprovechamiento solar son los colectores solares, encargados de transferir la energía solar a un fluido. Uno de los principales retos en el ámbito de la energía solar térmica radica en la eficiencia de captación de energía radiante por parte de los colectores solares. Si bien estos dispositivos permiten aprovechar la energía del sol para diversos fines, como el calentamiento de agua o la generación de electricidad, su eficiencia actual presenta limitaciones.

En el caso de los colectores solares de placa plana, su eficiencia promedio alcanza un 34%, mientras que en los de tubos evacuados puede llegar hasta el 46.3% (Albizzati 2016). El esquema de un colector de tubos evacuados se presenta en la Figura 1.3.

Figura 1. 3.

Esquema de colector de tubos evacuados



Nota: (Carrión-Chamba, Murillo-Torres, and Montero-Izquierdo 2022)

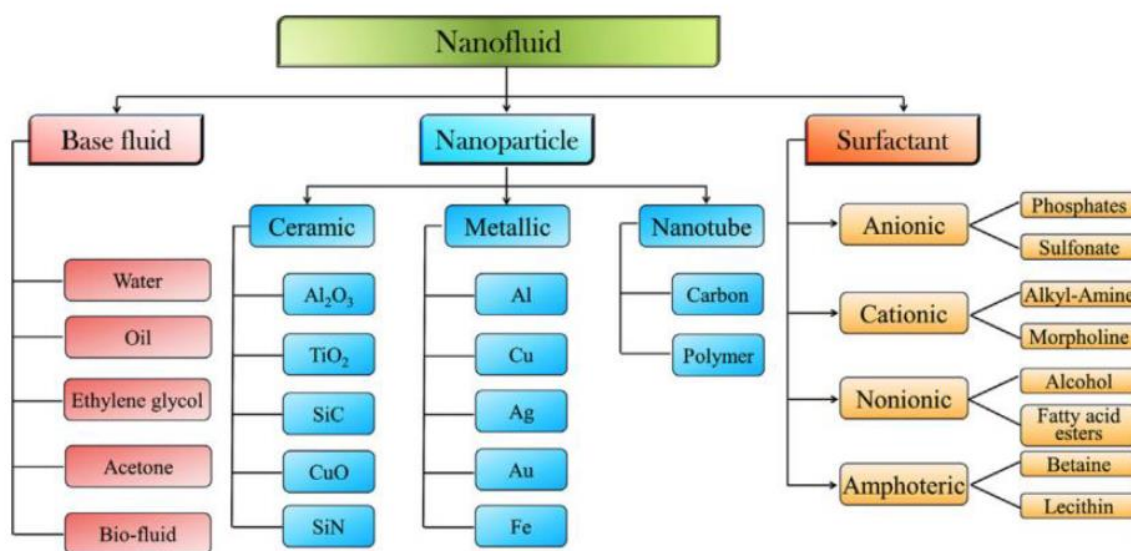
En la actualidad se analizan diferentes mejoras para un mayor aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, se ha llegado a un límite en los avances tecnológicos que involucran el diseño estructural o diferentes configuraciones para obtener una mayor captación solar. Actualmente, se está optando por el estudio y aplicación de fluidos con mayores propiedades conductivas las cuales permitan incrementar la eficiencia en la absorción de la energía radiante (Guinot and Tutora -Leonor Hernández López 2020).

La conductividad térmica es una propiedad importante que nos indica que tan fácil es la conducción del calor a través de los diferentes materiales o compuestos. Su importancia, para nuestro caso de calentamiento solar, radica en saber el tipo de material que nos conviene utilizar de acuerdo con la función que se necesite. Esto es, incremento del ahorro energético, reducción de costos y adición de mejoras. Una parte de las investigaciones se basan en métodos de medición de conductividades térmicas ya conocidas y otras abarcan el tema de la mejora de dicha propiedad. Esta mejora de la conductividad es posible con el uso de nanoparticulados suspendidos en fluidos base.

La nanotecnología ha revolucionado el campo de la ciencia de materiales, permitiendo la creación de partículas diminutas, denominadas nanopartículas, con tamaños que van desde 1 a 100 nanómetros. Estas minúsculas partículas han abierto un sinfín de posibilidades para el desarrollo de nuevos materiales con propiedades únicas.

En este contexto, surge el concepto de nanofluidos, definidos como dispersiones coloidales de fluidos que contienen nanopartículas de uno o varios materiales, en un fluido base (McGrail et al. 1995). En la Figura 1.4 se observa que los nanoparticulados se dividen en cerámicos, metálicos y nanotubos, donde es necesario el uso de un surfactante para permitir que los diversos nanoparticulados se mantengan en suspensión. A lo largo de los años se han estudiado y caracterizado diferentes tipos de nanofluidos, teniendo aún un amplio campo sin cubrir dando oportunidad a poder generar nuevas investigaciones.

Figura 1. 4.
Ejemplos de diferentes nanofluidos



Nota: (Campos Leyton 2018)

Una de las principales opciones hoy en día para la optimización de diferentes propiedades como las físicas, químicas y biológicas es el nanofluidos con nanopartículas de plata. Esta opción presenta una amplia gama de aplicaciones dependiendo de su tamaño, forma y estabilidad. Son empleadas en diferentes campos como la biotecnología, medicina, ingeniería, tratamiento de agua, etc. (Rosalia C. E y Siannah M.D. 2021). La principal aplicación que se le suele dar al nanofluido de plata es como agente bactericida en la industria alimentaria, siendo el campo de la ingeniería tomado con una menor importancia. La caracterización de sus propiedades es un punto importante en su investigación. La síntesis puede darse de diferentes maneras, siendo uno de los métodos más fáciles y rápidos el

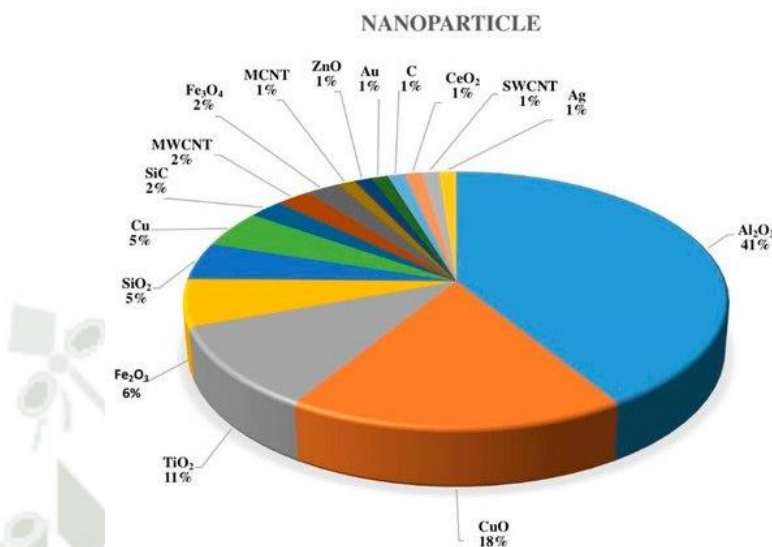
químico. De esa manera es posible su pronta implementación en los diferentes sistemas que lo requieran, como es en nuestro caso el de los colectores solares (Sánchez et al. 2017).

Los colectores solares térmicos funcionan a base de concentrar y absorber la luz solar, convertirla en calor y transferir este calor a un fluido de trabajo que puede ser líquido o gaseoso. Los fluidos de trabajo pueden ser agua, aceite, sal fundida, nitrógeno del aire o helio, que fluyen a través de los colectores. Mejorar la transferencia de calor y la conductividad térmica de dichos fluidos de trabajo puede aumentar la eficiencia. Se sugirió agregar nanopartículas sólidas al fluido de trabajo común para mejorar la conducción térmica efectiva. El uso de nanopartículas, en lugar de partículas con tamaños del orden de micrómetros, disminuye los problemas asociados con la erosión y la corrosión de los componentes, así como la sedimentación y la obstrucción. Dicho esto, las nanopartículas de plata presentan características que permiten su implementación en colectores solares (Minardi and Chuang 1975).

El campo de investigación del uso de nanofluidos para colectores solares es muy amplio, quedando demostrado en la cantidad de artículos que pueden encontrarse al respecto, sin embargo, la mayoría de estos se centran en un solo tipo de nanofluido (Olia et al. 2019). Como se puede observar en la Figura 1.5, la gran mayoría de trabajos de investigación, papers, artículos, etc., se basan o se centran en el estudio de principalmente 3 tipos de nano particulados. En el caso del nano particulado de plata se cuenta únicamente con el 1% de estudios realizados. Una cantidad de información bastante limitada teniendo en cuenta las potenciales características que presenta y los elevados beneficios que nos puede ofrecer en diferentes campos de aplicación, siendo uno de los más importantes una mejora de la eficiencia en los colectores solares.

Figura 1. 5.

Porcentaje de estudios por cada tipo de nano particulado



Nota: (Olia & Goodarzi, 2021)

Es por lo descrito anteriormente, el presente tema de tesis se basará en el estudio de la conductividad térmica, a través de la capacidad de absorción de radiación solar del nanofluidos de plata. Presentará variaciones de pH y concentrado de nitrato de plata en su síntesis química, debido a la importancia del control de tamaño de las nanopartículas, se usará un simulador solar en el cual se variará la cantidad de radiación emitida y, finalmente el método utilizado para la toma de datos será el del hilo caliente transitorio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 Justificación ambiental

En la actualidad es necesario el uso de fuentes de energías limpias para la preservación de nuestro planeta, en este grupo se encuentra la energía solar la cual requiere para su funcionamiento de colectores los cuales, a mayor eficiencia mayor aprovechamiento de la radiación solar, por lo cual el estudio de los nanofluidos para su implementación en este campo es de vital importancia ya que son uno de los principales medios de mejora que se puede ofrecer.

1.2.2 Justificación tecnológica

La síntesis y el análisis de la conductividad térmica de nanofluidos de plata, tomando en cuenta el efecto de la radiación solar, se perfilan como un área de investigación con un

enorme potencial tecnológico. Esta línea de estudio abre las puertas al desarrollo de nuevos materiales con propiedades extraordinarias, capaces de revolucionar diversos sectores.

Los nanofluidos de plata, compuestos por fluidos que albergan nanopartículas de plata en suspensión, presentan una conductividad térmica superior a la del fluido original, lo que los convierte en candidatos ideales para optimizar la transferencia de calor en diversas aplicaciones. La radiación solar, como fuente de calor aprovechable, permite calentar estos fluidos de manera eficiente. La incorporación de nanopartículas de plata mejora su capacidad para absorber la radiación solar, incrementando así su eficacia en la captación de esta energía para diversas aplicaciones, como sistemas de refrigeración, calefacción solar y nanofluidos para biomedicina.

Los avances en esta área de investigación podrían conducir al desarrollo de nuevos materiales con propiedades específicas para cada aplicación. Estos nuevos materiales podrían utilizarse en una amplia gama de sectores, como la industria energética, la electrónica, la biomedicina y la industria automotriz.

1.2.3 Justificación económica

Dentro del ámbito económico, los colectores de nanofluidos de plata pueden mejorar la eficiencia en la transferencia de calor en comparación con los colectores solares tradicionales. Esto podría conducir ahorros de energía en aplicaciones como la refrigeración, la calefacción y la generación de energía.

1.2.4 Justificación social

Dentro del ámbito social, podría tener un impacto positivo en la sociedad, ya que podrían contribuir a mejorar el medio ambiente y aumentar el acceso a la energía.

1.3 HIPÓTESIS

Es posible sintetizar y analizar la conductividad térmica de nano fluidos de plata considerando el efecto de la radiación solar

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Sintetizar y analizar la conductividad térmica de nanofluidos de plata considerando el efecto de la radiación solar

1.4.2 Objetivos Específicos

- Sintetizar nanopartícula de plata, mediante método químico.
- Sintetizar nanofluidos de plata.
- Evaluar la conductividad térmica bajo el efecto de radiación solar, usando el método del hilo caliente.

1.5 VARIABLES

1.5.1 Variables independientes

- Concentración de nitrato de plata (%)
- Porcentaje Radiación solar (%)
- Cantidad de agua destilada (%)

1.5.2 Variables dependientes

- Conductividad térmica ($\text{W/m}^{\circ}\text{k}$)

1.6 ALCANCES

En la presente investigación se busca caracterizar y determinar el efecto de la radiación solar en la conductividad térmica de nanofluidos con nanopartículas de plata. Determinar la mejor opción de síntesis en la cual se nos brinde las mejores características. Posteriormente se podrá emplear para diferentes objetivos como es la mejora de eficiencia de los colectores solares lo cual contribuiría con el aprovechamiento de la energía solar y reducir los gases contaminantes que dañan nuestro planeta que se emanan al utilizar otros métodos de producción de energía.

1.7 LIMITACIONES

Para realizar la síntesis de nanofluidos y las simulaciones de radiación solar, se requiere un laboratorio equipado con los materiales y equipos necesarios. Además, es necesario contar con un ambiente adecuado para almacenar los reactivos.

También las mediciones de conductividad térmica se realizarán con un equipo fabricado en la universidad, ya que no se tiene disponible uno normalizado.





CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

El vertiginoso avance de la ciencia y la tecnología, sumado al crecimiento exponencial de la población, ha incrementado de forma considerable nuestra dependencia energética para el desarrollo social. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles tradicionales en los procesos de combustión genera graves problemas de contaminación ambiental, poniendo en riesgo la salud del planeta y el bienestar de las futuras generaciones.

En este contexto, el desarrollo de tecnologías de energías nuevas y renovables, especialmente aquellas relacionadas con la energía solar, se convierte en una necesidad imperiosa para garantizar un futuro sostenible. La energía solar, abundante, limpia e inagotable, ofrece un enorme potencial para satisfacer nuestras demandas energéticas de manera sostenible.

Apostar por la energía solar implica no solo proteger el medio ambiente, sino también impulsar la independencia energética, generar nuevos empleos y promover el desarrollo económico sostenible. La investigación y el desarrollo de tecnologías solares eficientes y accesibles son fundamentales para aprovechar al máximo este recurso natural inagotable, Otanicar, Phelan, and Golden (2009); Vijayaraghavan, Ganapathisubbu, and Santosh Kumar (2013). Sin embargo, en la actualidad, la eficiencia de utilización de la energía solar es aun relativamente baja, existen muchos desafíos que superar antes de lograr su utilización eficiente. En las últimas décadas, el uso de nanofluidos como medio de trabajo en colectores solares ha dado buenos resultados, Ladjevardi et al. (2013); Tooraj Yousefi et al. (2012); T. Yousefi et al. (2012). El nanofluidos es una suspensión de partículas de tamaño nanométrico (1–100 nm) en un fluido base convencional, que fue utilizado por primera vez por Choi (1995). Los nanofluidos muestran características únicas en muchos aspectos, la conductividad térmica del líquido, la viscosidad del líquido y el coeficiente de transferencia de calor tienen una mejora sustancial, Nguyen et al. (2007); H. Xie et al. (2002); Yu et al. (2011). En comparación con las suspensiones con partículas de tamaño milimétrico o micrométrico, los nanofluidos muestran una mejor estabilidad, propiedades reológicas y

conductividades térmicas considerablemente más altas, Li et al. (2009); Wang and Mujumdar (2007); Yu et al. (2007).

Estas características únicas han atraído la atención de más y más investigadores y ahora es posible usar nanofluidos como fluido de trabajo en aplicaciones de captación solar, Kameya and Hanamura (2011); Mahian et al. (2013).

En los últimos años, muchos investigadores han estudiado los efectos de los nanofluidos en los colectores solares, tanto de forma experimental como teórica. Se utilizaron una serie de nanomateriales en colectores solares y se discutió su eficiencia de absorción Hordy et al. (2014); Lenert and Wang (2012); Lu, Liu, and Xiao (2011); Su, Kulacki, and Davidson (2014). Por ejemplo, se investigó la aplicación de nanofluidos de grafito para la absorción directa de la radiación solar en un colector solar volumétrico, los resultados de la investigación demostraron que el empleo de nanofluidos de grafito como fluido de trabajo en colectores solares de placa plana supera significativamente el rendimiento obtenido con agua pura. Esta mejora en la eficiencia se atribuye principalmente a la conductividad térmica superior de los nanofluidos de grafito, la cual facilita la transferencia de calor desde el absorbedor del colector hacia el fluido circulante, Ladjevardi et al. (2013). En otro estudio, se exploró el efecto de la variación del pH en la eficiencia de un colector solar de placa plana utilizando nanofluidos de agua con nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT). Los resultados experimentales revelaron que el pH del nanofluido juega un papel crucial en la transferencia de calor y, por ende, en la eficiencia del colector. Se encontró que un pH óptimo optimiza la dispersión de los MWCNT en el agua, mejorando la conductividad térmica del nanofluido y, en consecuencia, la eficiencia del colector solar, T. Yousefi et al. (2012). Los resultados mostraron que al aumentar o disminuir los valores de pH con respecto al pH del punto isoeléctrico, se incrementó el efecto positivo del nanofluidos sobre la eficiencia del colector solar. Los efectos de Al_2O_3 —También se investigaron experimentalmente nanofluidos acuosos de agua y negro de carbón como fluidos de trabajo sobre la eficiencia de los colectores solares (Han et al. 2011; Tooraj Yousefi et al. 2012). Se investigó teóricamente el efecto de diferentes parámetros sobre la eficiencia de un colector solar de absorción directa basado en nanofluidos de baja temperatura y el resultado mostró que un colector solar de absorción directa (DASC) que utiliza nanofluidos como fluido de trabajo funcionó mejor que un colector de placa plana (Tyagi, Phelan, and Prasher 2009).

La investigación en nanofluidos para aplicaciones de energía solar ha mostrado resultados prometedores, pero aún se encuentra en sus primeras etapas. Para que esta tecnología alcance su máximo potencial, es necesario abordar algunos desafíos importantes: (a) un posible desafío en la aplicación de nanofluidos a dispositivos térmicos solares es el alto costo de producir nanofluidos, por lo que la preparación de nanopartículas debería ser sencilla y económica. (b) La eficiencia de absorción no tiene una relación lineal con la concentración de nanopartículas, y los experimentos sobre el efecto del tamaño y la forma de las partículas en la eficiencia de conversión son relativamente pocos. Esencialmente, el mecanismo de transferencia de calor entre partículas, fluido base y luz incidente no está claro (c) La inestabilidad y la aglomeración de nanopartículas es otro problema por superar.

A gradientes de temperatura altos, la aglomeración de nanopartículas parece ser más grave que a gradientes de temperatura más bajos (Taylor et al. 2012). Las incertidumbres que rodean la relación entre la concentración de nanopartículas y la eficiencia de absorción de energía solar, así como la falta de datos sobre el efecto del tamaño y la forma de las partículas en la eficiencia de conversión, son factores que limitan el desarrollo y la implementación a gran escala de nanofluidos en colectores solares.

Las nanopartículas plasmónicas pueden servir como antenas para convertir la luz en campos eléctricos localizados (campos E) o como guías de ondas para dirigir la luz a las ubicaciones deseadas con precisión nanométrica. Cuando la nanoestructura es más pequeña que la longitud de onda de la luz, los electrones libres se pueden desplazar de la red de iones positivos (que consta de núcleos y electrones centrales) y oscilar colectivamente en resonancia con la luz. Esto se conoce como resonancia de plasmón de superficie localizada (LSPR) (Haes and Van Duyne. 2004). Las nanopartículas plasmónicas se han utilizado ampliamente en muchos campos, como superlentes, Fang et al. (2005), capas de invisibilidad, Alù and Engheta. (2008) y computación cuántica Chang et al. (2007). Las tecnologías convencionales como los microprocesadores y los dispositivos fotovoltaicos también podrían hacerse mucho más rápidos y eficientes con la integración de nanoestructuras plasmónicas (Atwater and Polman 2010; Ozbay 2006). De los metales, Ag probablemente ha jugado el papel más importante en el desarrollo de la nanopartícula plasmónica, y sus propiedades únicas lo hacen adecuado para la mayoría de las tecnologías plasmónicas de próxima generación (Rycenga et al. 2011). Las nanopartículas de plata se

sintetizan mediante una transformación fotoquímica novedosa de precursores acuosos de nanopartículas de plata, que se reduce con NaBH (Rycenga et al. 2011), (Chen et al. 2015).

Se han investigado distintos nanofluidos como nanotubos de carbono y grafeno (Mousavi et al. 2022), Alúmina (Xue 2003), oro y plata (M. Chen, He, and Zhu 2017), cobre (Li et al. 2008), etc. Dentro de todos los nanofluidos analizados algunos fueron tomando mayor importancia que otros, debido a su potencial y mejores características presentadas.

Para Parametthanuwat et al. 2015, presenta una investigación experimental del comportamiento de las propiedades térmicas de Nanofluidos (NF) basados en nanopartículas de plata al 0,5% en peso que contienen Ácido Oleico (OA) y tensioactivos de oleato potásico (OAK+) con concentraciones de 0,5, 1 y 1,5 wt% respectivamente. Los experimentos se llevaron a cabo de 20°C a 80°C. Se demostró que los NF con 1 % en peso de OAK+ producía la mayor mejora del comportamiento térmico, de aproximadamente el 28 % a 80°C en comparación con agua desionizada. El rendimiento térmico fue superior al de los fluidos base/nanofluido en aproximadamente un 80%. Además, el NF que contenía OAK+ mostró una conductividad térmica y una dinámica de la capacidad calorífica específica superiores que el agua desionizada en todas las condiciones experimentales de este estudio.

El experimento reológico mostró que la viscosidad de los NF dependía significativamente de la temperatura. A medida que aumentaba la velocidad de cizallamiento, aumentaba la tensión de cizallamiento de los NF; sin embargo, la viscosidad de los nanofluidos disminuyó primero y se estabilizó después. Además, se observó que el NF que contenía OAK+ a distintas temperaturas de funcionamiento presentaba un comportamiento newtoniano.

Mientras tanto para Chen et al. 2015, donde uso nanopartículas de plata plasmónica a un fluido de trabajo para mejorar su eficiencia de conversión térmica solar. Las nanopartículas de plata se sintetizaron mediante una novedosa transformación fotoquímica de precursores acuosos de nanopartículas de plata, que se redujeron mediante NaBH₄ utilizando polivinilpirrolidona (PVP) y citrato sódico.

Los resultados experimentales mostraron que los nanofluidos de plata funcionaban mucho mejor a concentraciones muy bajas que otros fluidos de trabajo a concentraciones relativamente altas expuestos tanto a luz solar simulada y natural. Bajo luz solar simulada, la eficiencia del nanofluido de plata es del 84,61% tras 5 min de irradiación con una concentración másica de 80,94 ppm, casi el doble que la del agua y también muy superior a la del nanofluido de ZnO (concentración másica de 1,02%) y el nanofluido de TiO₂ (concentración del 0,7%). La eficiencia del nanofluido de Ag de baja concentración mejoró con el aumento de la concentración de nanopartículas.

Con el aumento del tiempo de irradiación, tanto el incremento de temperatura como la SAR tienden a disminuir. Esto sugiere que el nanofluido tiene un mayor impacto en la transferencia de calor durante las primeras etapas de la exposición a la luz solar.

La concentración de nanofluido también juega un papel importante. A la concentración más baja de 20.24 ppm, se registró el valor más alto de SAR, alcanzando 827 W/g después de 5 minutos.

Con respecto a la aplicación de los nanofluidos de plata se realizaron investigaciones como, Chen M. He Y. 2026, donde se analizó la transferencia de calor transitorio unidimensional para analizar los efectos de la fracción de volumen de nanopartículas (NP), la altura del colector, el tiempo de irradiación, el flujo solar y el material NP en la eficiencia del colector. Los resultados numéricos también revelan una relación directa entre la eficiencia del colector y tanto la altura del colector como la fracción de volumen de nanopartículas (NP). La eficiencia aumenta a medida que se incrementan estos parámetros, pero alcanza un valor máximo en cada caso.

Una altura óptima del colector (~10mm) y la concentración de partículas (~0,03 %) logrando una eficiencia de colector del 90 % de la eficiencia máxima que se puede obtener en las condiciones utilizadas en la simulación. Sin embargo, la eficiencia del colector disminuye a medida que aumenta el tiempo de irradiación debido a la mayor pérdida de calor. Es deseable un alto flujo solar para mantener una alta eficiencia en un amplio rango de temperatura, lo que es beneficioso para la utilización de energía posterior. Los resultados del modelo también muestran que los nanofluidos de plata y oro obtienen eficiencias de

conversión fototérmica más altas que el nanofluido de dióxido de titanio porque sus espectros de absorción son similares al espectro de radiación solar y la concentración de

partículas ($\sim 0,03$ %) logrando una eficiencia de colector del 90 % de la eficiencia máxima que se puede obtener en las condiciones utilizadas en la simulación.

Sin embargo, la eficiencia del colector disminuye a medida que aumenta el tiempo de irradiación debido a la mayor pérdida de calor. Es deseable un alto flujo solar para mantener una alta eficiencia en un amplio rango de temperatura, lo que es beneficioso para la utilización de energía posterior. Los resultados del modelo también muestran que los nanofluidos de plata y oro obtienen eficiencias de conversión fototérmica más altas que el nanofluido de dióxido de titanio porque sus espectros de absorción son similares al espectro de radiación solar.

También tenemos investigaciones como Bandarra Filho et al. 2014, donde realizan un sistema de absorción directa basado en nanopartículas donde se ofrece una alternativa prometedora a los colectores solares convencionales. Este trabajo investiga experimentalmente las características de conversión fototérmica de una de las nanopartículas plasmónicas, es decir, la plata, en condiciones realistas. Los nanofluidos de plata estables se formulan a través de un homogeneizador de alta presión y los experimentos se llevan a cabo bajo la luz del sol en un techo con pruebas que se ejecutan continuamente durante 10 h. Los resultados muestran que las partículas de plata tienen una excelente capacidad de conversión fototérmica incluso en concentraciones muy bajas. Se puede obtener una mejora de hasta un 144 % en la energía térmica almacenada a la temperatura máxima para una concentración de partículas de 6.5 ppm.

El rendimiento de conversión fototérmica muestra un comportamiento transitorio y se logra mejor en el período de radiación inicial debido a la baja pérdida de calor y al fuerte efecto de resonancia de plasmón superficial de los nanofluidos de plata. Se obtiene una tasa de absorción específica inicial (SAR) casi constante, $\sim 0.6 \text{ kW/g}$, para concentraciones de nanopartículas de hasta 6.5 ppm, pero disminuye significativamente a concentraciones más altas, lo que se asocia con mayores interacciones partícula-partícula.

2.2. ENERGÍA SOLAR

Actualmente, los recursos energéticos se clasifican de tres maneras: recursos de energía nuclear, combustibles fósiles y recursos de energía renovable (Wahab et al. 2019).

El uso de gas natural, petróleo crudo, carbón y combustible nuclear para la generación de energía genera emisiones de COx, NOxy los rayos radiactivos que son responsables del calentamiento global durante más de un siglo. El nivel del mar aumenta día a día debido al aumento de la cantidad de gases de efecto invernadero que atrapan el calor irradiado por la superficie terrestre, lo que provoca el cambio climático (Dincer 2000). Para abordar estos problemas, los investigadores están interesados en fuentes alternativas para la generación de energía. Los sistemas de energía solar, eólica, de biomasa e hidráulica son recursos de energía renovable que proporcionan energía en un entorno limpio y seguro (Panwar, Kaushik, and Kothari 2011). Según los estudios realizados por Evans, Strezov y Evans en (2009) y por Demirbas en (2005), la energía producida a partir de recursos renovables se posiciona como la opción más sostenible, con un impacto ambiental mínimo en comparación con las fuentes de energía tradicionales.

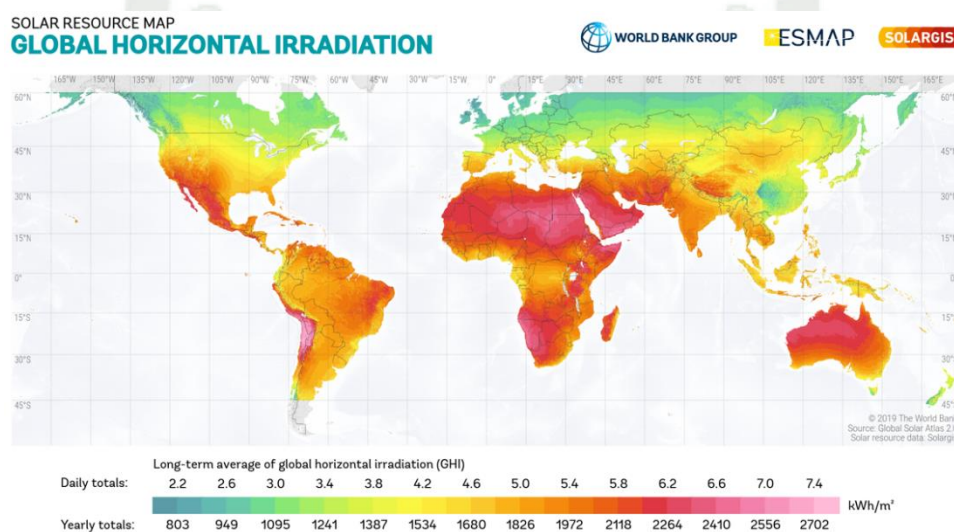
El crecimiento poblacional y el aumento en la calidad de vida impulsan un consumo de electricidad cada vez mayor, lo que pone en jaque la sostenibilidad del sistema energético actual. Los combustibles fósiles, principales fuentes de generación eléctrica, son recursos finitos y su uso trae consigo graves consecuencias ambientales.

La combustión de estos combustibles genera emisiones de dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y sus efectos adversos, como el aumento del nivel del mar, eventos climáticos extremos y alteraciones en los patrones de precipitación.

Además, la liberación de gases como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno durante la quema de combustibles fósiles produce lluvia ácida, con impactos negativos en los ecosistemas y la salud humana. La contaminación del aire, producto de las partículas y gases emitidos, también afecta la salud respiratoria y cardiovascular de las personas.

La energía solar, al ser limpia y una fuente de energía renovable, brinda una potencial solución al problema de la contaminación global. La energía proveniente del sol que llega hacia la superficie terrestre en una hora es mayor que el consumo mundial de energía de un año, tal como se observa en la Figura 2.1 (Chen et al. 2017).

Figura 2. 1.
Mapa mundial de irradiación solar



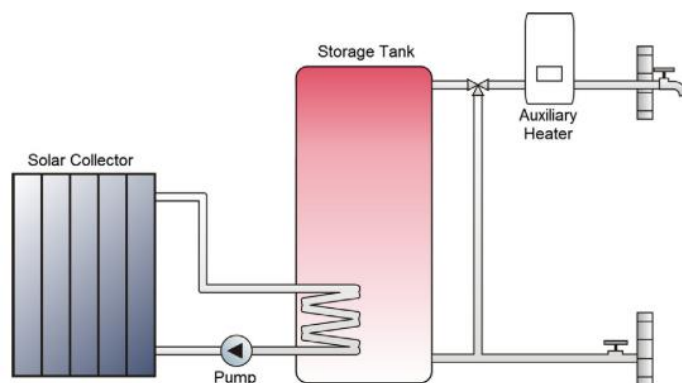
Nota: World Bank Group

2.3. SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Un Sistema solar térmico como se observa en la Figura 2.2, es el conjunto de equipos que, mediante la radiación solar, obtiene el incremento de temperatura de un fluido, siendo el más común el agua.

Existen diferentes tipos de configuraciones, como, por ejemplo, de circuito abierto y circuito cerrado. Siendo este último el que emplea un fluido de transferencia de calor el cual pasa a través del colector absorbiendo radiación para luego ingresar en el intercambiador (Campos Leyton 2018).

Figura 2. 2.
Esquema sistema solar térmico.



Nota: (Campos Leyton 2018)

2.3.1. Colectores Solares

Son mecanismos usados para captar la radiación solar y transferirla a un fluido. Su uso abarca desde sistemas de calefacción, climatización de piscinas, etc. Se pueden clasificar en dos grandes grupos, colectores estacionarios y colectores con sistemas de seguimiento.

A) Colectores solares estacionarios

No cuenta con sistema de seguimiento, en este grupo podemos encontrar:

- Colectores solares de placa plana FPC
- Colector solar de tubos al vacío ETC
- Concentrador de componente parabólico CPC
- Colector de absorción directa DAC

El colector de tipo CPC permite superar los 120°C pero tiene un elevado costo de adquisición. Los colectores usados para casas y edificios suelen ser los FPC por su bajo costo y facilidad de instalación. El colector DAC ha sido el más estudiado bajo el uso de fluidos con elevadas propiedades de absorción de radiación ultravioleta (Muhammad et al. 2016).

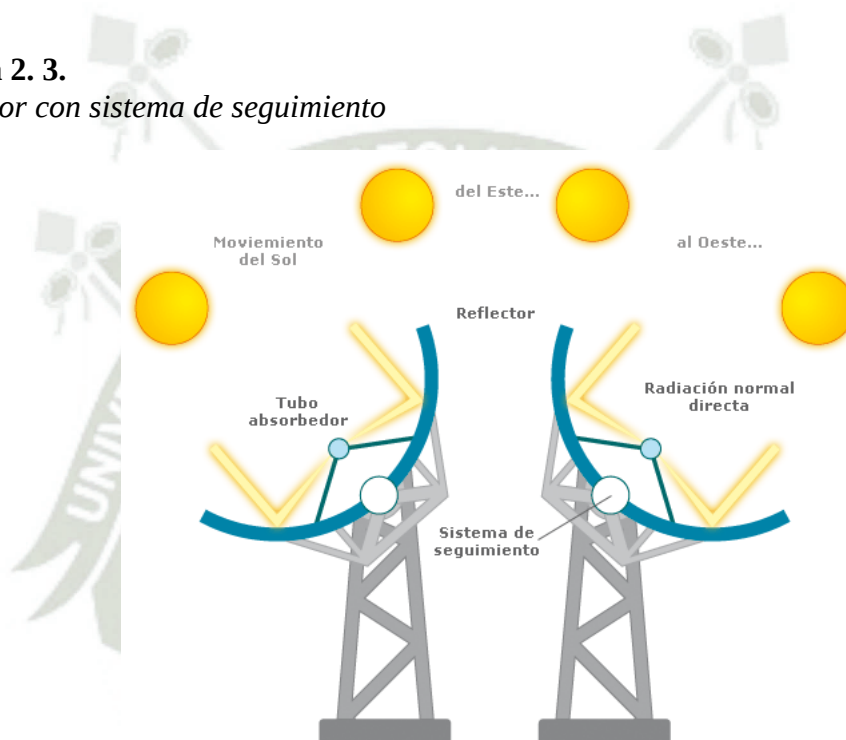
B) Colectores solares con sistemas de seguimiento

Este tipo de colectores como se observa en la Figura 2.3, posee movimiento en uno o dos ejes, permite seguir la trayectoria del sol durante todo el día. Concentra la radiación que

obtiene en un área pequeña debido a su geometría parabólica. Sin embargo, su costo de adquisición es demasiado elevado (Kalogirou 2004). Se pueden encontrar:

- Reflector lineal Fresnel
- De plato reflectante parabólico simple
- De plato reflectante parabólico compuesto

Figura 2. 3.
Reflector con sistema de seguimiento



2.3.2. Fluidos de transferencia de calor

Los fluidos de transferencia de calor son sustancias utilizadas para añadir o remover calor de un fluido de proceso. Tienen propiedades físicas y térmicas muy bien definidas por lo cual permite su empleo de una manera más efectiva. Hablando de la energía solar, son empleados para captar la radiación mientras se encuentran en circulación por el colector.

Según Materials Technology Institute , (2012) como principales características deben de ser anticongelantes, tener un elevado punto de ebullición, no ser corrosivo, alta capacidad calorífica y conductividad térmica y ser de bajo costo. Debido a todas las características mencionadas, no se tiene un fluido que cumpla estrictamente con todas ellas.

Dentro de los fluidos más utilizados se encuentra una mezcla de 60% agua y 40% etilenglicol, así como etanol, aceite y agua (Terra - Ecología práctica 2007). Una alternativa de solución frente al problema mencionado fue dopar diferentes fluidos base con partículas de tamaños milimétricos hasta los micrones. Estas partículas debían de presentar buenas características de conductividad térmica y absorción de radiación solar para compensar las propiedades faltantes de los fluidos de transferencia de calor, dado por, Muhammad et al. (2016)

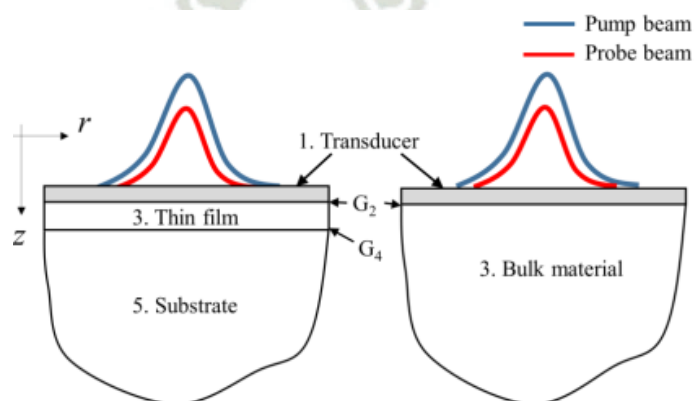
2.4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

2.4.1. Termorreflexión transitoria

La técnica de termorreflexión transitoria es un método de calentamiento y detección óptica sin contacto para medir las propiedades térmicas (conductividad térmica, capacidad calorífica y conductancia térmica interfacial) de materiales a granel y de película fina. Las muestras suelen estar recubiertas con una fina película metálica (aluminio o tungsteno), denominada capa transductora metálica, cuya reflectancia cambia con el aumento de la temperatura a la longitud de onda del láser. Esto permite detectar la respuesta térmica mediante la monitorización del cambio de reflectancia. La Figura 2.4 muestra diagramas esquemáticos de la configuración de la muestra para una película delgada y un material a granel que se mide utilizando haces de bomba y de sonda enfocados concéntricamente (Nishimura et al. 2016).

Figura 2. 4.

Configuración típica de la muestra utilizada para medir las propiedades térmicas



Nota: (Nishimura et al. 2016)

La técnica de termorreflexión se desarrolló principalmente en los años 70 y la década de 1980 cuando se utilizaron fuentes de luz de onda continua para calentar la muestra (Rosencwaig 1982). Con el avance del láser pulsado de pico y femtosegundo después de 1980, esta técnica ha sido ampliamente para el estudio de la interacción no-equilibrio electrón-fonón, la detección del transporte coherente de fonones coherente y el transporte térmico a través de interfaces (Ge, Cahill, and Braun 2006).

Esta técnica se ha desarrollado en los últimos años para medir la conductividad térmica anisotrópica de las películas delgadas y para sondear el transporte espectral de fonones (Schmidt, Cheaito, and Chiesa 2009).

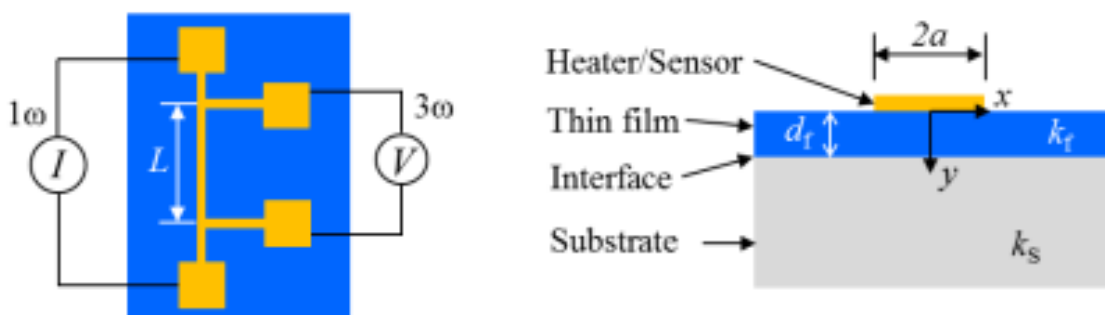
2.4.2. Omega – 3

El método de omega-3 se utiliza ampliamente para medir las propiedades térmicas tanto de materiales a granel como de películas delgadas.

Dicho método fue introducido por primera vez en 1990 por Cahill y colaboradores, en la siguiente Figura se muestra un esquema típico de la medición omega-3. La película delgada de interés se deposita en un sustrato. Una tira metálica se coloca sobre un sustrato. Las dimensiones de la tira metálica suelen ser media anchura $a = 10\text{-}50\ \mu\text{m}$ y la longitud $L = 1000\text{-}10000\ \mu\text{m}$, que se trata como infinitamente larga en el modelo matemático. La tira metálica sirve tanto de calentador eléctrico como de sensor de temperatura, como se muestra en la Figura 2.5. Por el calentador/sensor pasa una corriente alterna (Feser et al. 2013).

Figura 2. 5.

Esquema típico de la medición omega-3



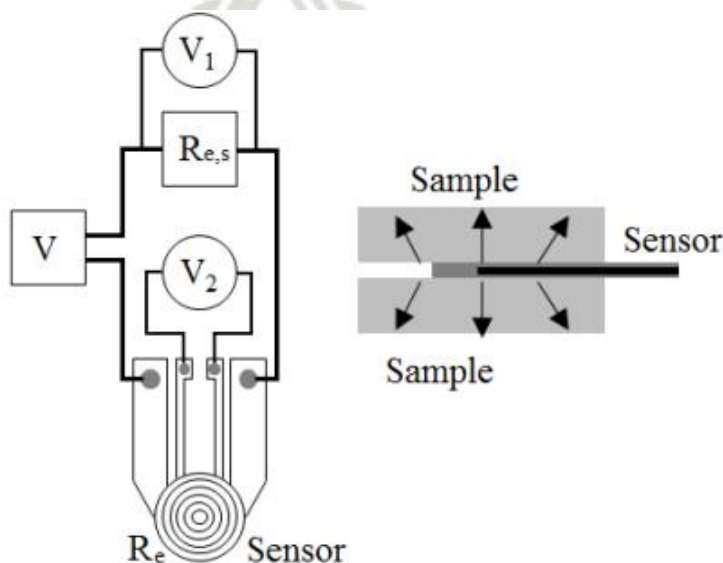
2.4.3. Métodos de la fuente de plano transitorio

El método de la fuente plana transitoria (TPS) utiliza una tira metálica fina o un disco como fuente de calor plana continua y a su vez como sensor de temperatura. El disco metálico se sella primero con aislamiento eléctrico y luego se intercala entre dos muestras idénticas en forma de losa. Todas las demás superficies de las muestras de ensayo están aisladas térmicamente.

Durante el experimento se necesita aplicar una pequeña corriente constante al disco metálico para poder calentarlo. Dado que el aumento de la temperatura del disco metálico depende en gran medida de las dos muestras de ensayo unidas a él, las propiedades térmicas de las muestras de ensayo son las mismas que las de los discos (Han et al. 2011).

Se pueden determinar las propiedades térmicas de las muestras de ensayo mediante el control del aumento de la temperatura durante un breve período de tiempo. Este período de tiempo suele ser de sólo unos segundos, de modo que el disco metálico puede considerarse en contacto con muestras de tamaño infinito durante todo el proceso de registro de señales transitorias. El esquema de este método se puede observar en la Figura 2.6. El aumento de temperatura en la superficie del sensor ΔT en función del tiempo puede ser medido. La precisión de la medición del sensor de temperatura suele ser de $\pm 0,01^\circ\text{C}$ (Astm D n.d.).

Figura 2. 6.
Método de la fuente de plano transitorio

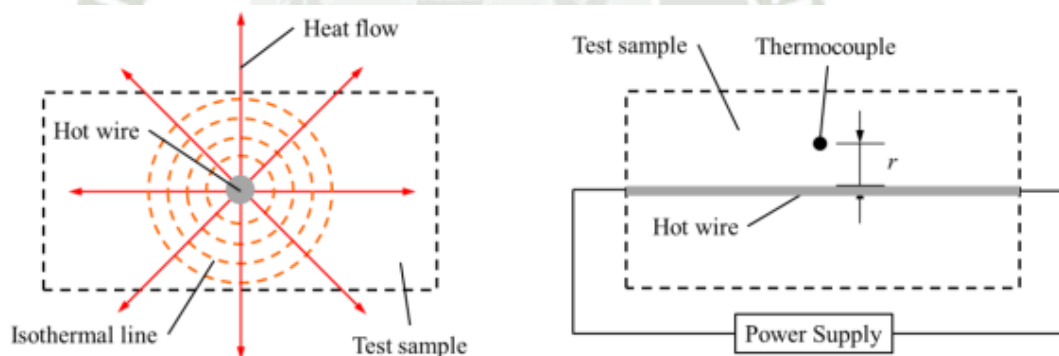


2.4.4. Método transitorio del hilo caliente

El método del hilo caliente es una técnica transitoria que mide el aumento de la temperatura a una distancia conocida de una fuente de calor lineal (es decir, un hilo caliente, normalmente de platino o tantalio) incrustado en la muestra de ensayo. Stalhane empleó este método en 1931 para medir la conductividad térmica de sólidos y polvos (Tian 2014).

El método supone un "flujo de calor radial unidimensional" idealizado dentro de la muestra de ensayo isotrópica y homogénea, que se basa en la suposición de que la fuente de calor lineal tiene una longitud infinita y un diámetro infinitesimal, como se muestra en la Figura 2.7.

Figura 2. 7.
Método de Hilo caliente



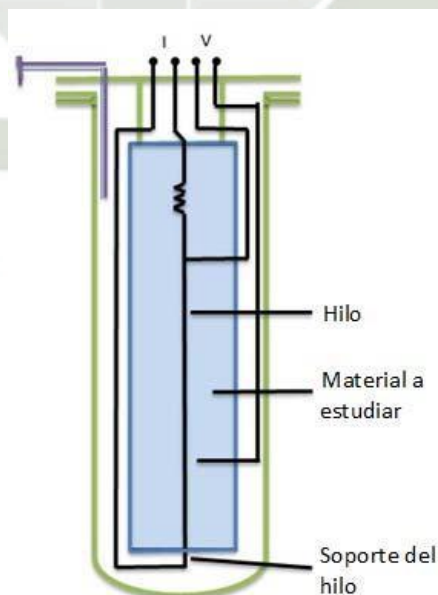
Cuando pasa una corriente eléctrica de intensidad constante a través del hilo caliente, la conductividad térmica de la muestra de ensayo de prueba puede derivarse del cambio de temperatura resultante a una distancia conocida del hilo caliente en un intervalo de tiempo conocido. Como se observa en la Figura 2.8. El método del hilo caliente se utiliza habitualmente para medir materiales de baja conductividad térmica, como los suelos, los núcleos de hielo y los refractarios como ladrillos, fibras refractarias, refractarios de plástico (Abu-Hamdeh, Khdaier, and Reeder 2001).

Este método también se ha utilizado comúnmente para medir la conductividad térmica de los líquidos. La norma ASTM C1113 y la ISO 8894 especifican más detalles sobre el aparato y el procedimiento de ensayo para la medición de refractarios mediante el método del hilo caliente.

El método transitorio del hilo caliente se destaca como un método dinámico de alta precisión para medir la conductividad térmica de nanofluidos. Este método utiliza una fuente lineal de calor, un fino hilo de platino de 0,002 pulgadas de diámetro, para eliminar experimentalmente el error causado por la convección natural, proporcionando datos confiables.

La técnica del hilo caliente, clasificada como método dinámico transitorio, emplea un flujo transitorio de calor para determinar la conductividad térmica. Se basa en la transferencia de calor controlada hacia un material y en la medición del cambio de temperatura provocado por la disipación del calor a través de la muestra, permitiendo así determinar las propiedades térmicas de transporte del material (Merello Portocarrero 2021).

Figura 2. 8.
Técnica del hilo caliente



La conductividad térmica se determina a partir de la potencia disipada por el hilo y la pendiente de la gráfica diferencia de temperatura contra logaritmo natural del tiempo.

Este método ofrece una medición precisa y confiable de la conductividad térmica en nanofluidos.

2.5. NANOPARTÍCULAS Y NANOFLUIDOS

"Nano" significa milmillonésima parte (10^{-9}). La nanotecnología explora estructuras de materia en esa escala, diminutas pero existentes desde siempre. Si bien estructuras naturales son nanométricas, la nanotecnología actual permite manipularlas con precisión, abriendo posibilidades revolucionarias en medicina, electrónica y energía (Bhushan 2017).

Las nanopartículas brindan un amplio campo de investigación en diferentes áreas como la medicina o ingeniería, se emplean para adicionar o mejorar propiedades específicas según los requerimientos presentados.

El nanofluido (nanocompuesto líquido) es una mezcla de una sustancia líquida (fluido base) y un material de tamaño nanométrico (nanopartícula) conformando una solución coloidal. Los nanofluidos superan a los fluidos convencionales en propiedades como viscosidad, difusividad térmica, conductividad térmica y coeficientes de transferencia de calor. Esto los hace ideales para aplicaciones de refrigeración y transferencia de calor (Javadi, Saidur, and Kamalisarvestani 2013).

Uno de los primeros trabajos de investigación fue realizado por (McGrail et al. 1995) en donde abarcó la empleabilidad de los nanofluidos en la mejora de la conductividad térmica.

2.5.1. Estabilidad de los nanofluidos

La estabilidad es un factor importante en los nanofluidos. De esta propiedad depende la aglomeración o una correcta dispersión de las partículas sobre el fluido base, siendo la primera, causante de sedimentación, lo que traería consigo una reducción en las propiedades térmicas. Si un nanofluido con mala estabilidad es empleado en un sistema con tuberías, este podría causar daños por corrosión y obstrucción.

Se considera que un nanofluido que posee una buena estabilidad está conformado por nanopartículas con doble capa eléctrica, esta característica permite que las nanopartículas se repelan unas a otras.

2.6. PROPIEDADES DE ABSORCIÓN DE CALOR

Los nanofluidos se distinguen por su conductividad térmica superior, que supera a la de los fluidos convencionales en la transferencia de calor, satisfaciendo así las demandas más exigentes. Además, el efecto LSPR optimizado amplifica la luz absorbida, impulsando su eficiencia fototérmica. Este efecto surge cuando la frecuencia de vibración de las nanopartículas, inducida por la luz, coincide con la frecuencia de la luz misma. En conjunto, estas propiedades excepcionales convierten a los nanofluidos en materiales de vanguardia para aplicaciones que requieren un manejo eficiente del calor y una respuesta fototérmica superior (Liu et al. 2023).

Debido a la dispersión y absorción de las nanopartículas, la intensidad incidente disminuye gradualmente con el aumento de la profundidad de propagación. La transferencia de energía en un medio absorbente, emisor y dispersor puede describirse mediante la ecuación de transporte radiactivo. Cuando la concentración del volumen de nanopartículas es inferior al 0,1 %, la dependencia direccional de la radiación puede despreciarse (Chen et al. 2016; Duan et al. 2018).

En este, la concentración de partículas es relativamente débil y los tamaños de partículas están en la escala nanométrica. El nivel de dispersión se reduce notablemente dentro del sistema (Gorji and Ranjbar 2017).

Esto conduce a una simplificación significativa en la ecuación de transporte radiactivo al eliminar los términos de dispersión. La ecuación de transporte radiactivo simplificada como:

$$\frac{\partial I_{\lambda}}{\partial y} = -(\sigma_{a\lambda} + \sigma_{s\lambda})I_{\lambda} = -\sigma_{e\lambda}I_{\lambda}$$

Donde I_λ es la intensidad de la radiación espectral, $\sigma_{a\lambda}$, $\sigma_{s\lambda}$ y $\sigma_{e\lambda}$ son los coeficientes de absorción, dispersión y extinción, respectivamente. Cuando el tamaño de partícula es muy pequeño y la concentración de volumen es inferior al 0,6%, se puede suponer que el nanofluido se trabaja en el régimen de dispersión independiente que requiere cálculos de propiedades ópticas relativamente simplificados (Taylor et al. 2011). La dispersión es independiente, por lo que las intensidades se pueden sumar de forma sencilla. El coeficiente de extinción de las nanopartículas viene dado por (Bohren and Huffman 2007):

$$\sigma_{e\lambda, nanopartículas} = \frac{3f_v Q_{e\lambda}}{2D}$$

Donde f_v es la fracción de volumen de las nanopartículas, D es el diámetro de las nanopartículas y $Q_{e\lambda}$ es la eficiencia de extinción de las nanopartículas individuales, que se puede calcular con base en la teoría de Mie (Bohren and Huffman 2007). Los campos internos y dispersos se expanden en un conjunto de modos normales descritos por armónicos vectoriales. Después de una serie de derivaciones, las secciones efectivas de dispersión y extinción se pueden expresar como (Bohren and Huffman 2007):

$$C_{sca} = \frac{\pi D^2}{2x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1)(|a_n|^2 + |b_n|^2)$$

$$C_{ext} = \frac{\pi D^2}{2x^2} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}(a_n + b_n)$$

Y la sección transversal de absorción es:

$$C_{abs} = C_{ext} - C_{sca}$$

Donde x es el parámetro de tamaño, dado por $x = \pi D \eta_w / \lambda$ con el índice de refracción del agua (η_w), y el diámetro exterior de la nanocapa (D), a_n y b_n son los coeficientes de dispersión de Mie de la nanoestructura recubierta a la que se hace referencia a (Bohren and Huffman 2007). La eficiencia de extinción $Q_{e\lambda}$ es la relación entre la sección transversal de

extinción y la sección transversal geométrica, como se muestra en la ecuación. Es la suma de la eficiencia de dispersión y la eficiencia de absorción.

$$Q_{e\lambda} = \frac{4C_{ext}}{\pi D^2}$$

El agua es casi transparente a la luz ultravioleta y visible. Mientras que en el infrarrojo cercano y en la banda de onda infrarroja, el agua es en realidad un absorbente mucho mejor que las nanopartículas utilizadas en este estudio. Por lo tanto, también se debe incorporar la absorción del fluido base. El coeficiente de extinción total del nanofluido es una simple suma del coeficiente de extinción del fluido base $\sigma_{e\lambda, agua}$, y el de las nanopartículas $\sigma_{e\lambda, nanopartículas}$. Se puede expresar como:

$$\sigma_{e\lambda, nanofluido} = \sigma_{e\lambda, agua} + \sigma_{e\lambda, nanopartículas}$$

La dispersión se puede despreciar en agua pura, por lo que el coeficiente de extinción del agua se puede calcular de la siguiente manera:

$$\sigma_{e\lambda, agua} = \frac{4\pi\kappa}{\lambda}$$

donde κ es la parte imaginaria del índice de refracción del agua.

2.7. PROPIEDADES TERMOFÍSICAS

La adición de nanopartículas al fluido base produce modificaciones en las propiedades termofísicas, como la conductividad térmica, la viscosidad y el calor específico, lo cual impacta en la transferencia de calor por convección. Estos cambios varían según el tipo de nanomaterial utilizado, y están influenciados por factores como la concentración de nanopartículas, su pureza, forma y tamaño (Gupta et al. 2017).

2.7.1. Calor específico

La capacidad calorífica, también conocida como calor específico o capacidad térmica específica (C) de una sustancia, es la cantidad de calor necesaria para elevar su temperatura

en un grado Kelvin. Se expresa en julios por Kelvin (J/K) en el sistema internacional (SI) (Benenson et al. 2006). La ecuación que relaciona la energía térmica con la capacidad calorífica es $\Delta Q = C\Delta T$, donde ΔQ es la energía térmica que entra o sale de la sustancia, y ΔT es el diferencial de temperatura. Por tanto, la capacidad calorífica es una variable extensa y depende simplemente de la cantidad de sustancia (Cengel, Boles, and Kanoğlu 2011). La capacidad calorífica de una mezcla de diferentes sustancias es la suma de las capacidades caloríficas individuales:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

La unidad de capacidad calorífica específica c en el sistema SI es el Joule por kilogramo-Kelvin, J/(kg-K).

La ecuación que relaciona la energía con la capacidad calorífica específica es $\Delta Q = cm\Delta T$. La capacidad calorífica específica corresponde al cociente entre la capacidad calorífica y la masa $c = C/m$, donde m es la masa total. La capacidad calorífica específica de una mezcla de sustancias es igual a la suma de las capacidades caloríficas individuales dividida por la masa total:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2 + \dots)}{(m_1 + m_2 + \dots)} = \omega_1c_1 + \omega_2c_2 + \dots,$$

Donde $\omega_i = m_i/m$ es la concentración masica de la i -ésima sustancia, propuesta por (Zhou et al. 2010).

Existen investigaciones que involucran experimentos sobre las capacidades caloríficas específicas de los nanofluidos. Por ejemplo, (S. Sinha 2004) midió la capacidad calorífica específica de una solución de nanotubos (nanofluido) mediante un calorímetro de CA. Otros, como (Q. B. He 2007) midió la capacidad calorífica específica del nanofluido de TiO_2 a base de agua y BaCl_2 con un calorímetro de barrido diferencial de flujo de calor. Pero (X. F. Peng 2007) midió la capacidad calorífica específica de Cu, Al, a base de agua.

Estos experimentos muestran que las capacidades caloríficas específicas de los nanofluidos son diferentes de las del fluido base y varían con el tamaño y la concentración volumétrica de las nanopartículas. En la mayoría de los casos, sin embargo, no hay datos experimentales disponibles para la capacidad calorífica específica, por lo que generalmente se han adoptado dos tipos de modelos para deducirla a partir del valor del fluido base y las nanopartículas. Una es macroscópica, que la capacidad calorífica específica de un nanofluido es igual al promedio en volumen de las capacidades caloríficas específicas del fluido base y las nanopartículas.

El otro es mesoscópico, que supone que el fluido base y las nanopartículas están en equilibrio térmico, respectivamente. Usando en su lugar la capacidad calorífica volumétrica, La capacidad calorífica volumétrica de un nanofluido se puede expresar como la suma de las capacidades caloríficas volumétricas del fluido base y las nanopartículas, utilizando sus respectivas concentraciones volumétricas. Estos modelos son equivalentes para concentraciones pequeñas, pero para concentraciones grandes los modelos son obviamente divergentes.

2.7.2. Viscosidad

La viscosidad es otro factor esencial para las aplicaciones de transferencia de calor ya que de ella depende la caída de presión y la potencia de bombeo. La viscosidad efectiva depende de la viscosidad del fluido tradicional utilizado como fluido base y la carga de partículas. Junto con estos, el diámetro de las partículas, la temperatura y el tipo de nanopartículas también afectan la viscosidad efectiva de los nanofluidos. Por lo tanto, se deben realizar más investigaciones sobre la viscosidad y los parámetros que afectan la viscosidad de los nanofluidos. El reómetro tipo pistón, el reómetro rotacional y el viscosímetro capilar son los instrumentos utilizados para determinar la viscosidad de los nanofluidos. Esta sección sobre viscosidad se enfoca tomando diferentes fluidos base (Gupta et al. 2017).

2.7.3. Transferencia térmica por convección

Sin duda, el parámetro que mejor caracteriza al nanofluido para algunas aplicaciones específicas, como el diseño de intercambiadores de calor, es el coeficiente de transferencia

de calor por convección $h[W/m^2K]$, cuyo incremento puede ser generalmente mayor que el incremento en el calor del propio nanofluido.

En este sentido, se vuelve muy crucial determinar o medir dicho coeficiente directamente en las condiciones de flujo típicas de la aplicación para la que se concibe el nanofluido (Colangelo et al. 2013).

Sin embargo, en la literatura solo se han reportado unos pocos artículos sobre este tema, y los resultados a menudo no son consistentes, tanto en lo que respecta a las condiciones experimentales como a la presentación de los resultados. De hecho, incluso en casos donde las condiciones experimentales son similares, algunos grupos informan resultados diferentes en cuanto a la relación entre el coeficiente de transferencia de calor por convección (h) h_e/h_m en función del número de Reynolds, otros reportan la relación del número de Nusselt Nu_e/Nu_m en función del número de Reynolds o del número de Peclet.

La discusión sobre el aumento del coeficiente de transferencia de calor por convección se subdivide según las condiciones de flujo: laminar versus turbulento, el aumento en el punto de ebullición en líquido estancado (ebullición en piscina) y el aumento del flujo de calor crítico en la ebullición en piscina.

2.7.4. Conductividad térmica

Se han realizado muchos experimentos e investigaciones teóricas para investigar el cambio en la conductividad térmica de los nanofluidos. La adición de nanopartículas en un fluido convencional aumenta la conductividad térmica. Esto se debe al movimiento browniano que es un mecanismo clave que controla el comportamiento térmico de las suspensiones fluidas de nanopartículas.

La segunda razón es la capa interfacial (nanocapa), es decir, las moléculas líquidas cerca de una superficie de partículas sólidas forman estructuras en capas. Estas estructuras en capas actúan como un puente térmico entre las nanopartículas y un líquido a granel y aumentan la conductividad térmica. Hay poca conexión entre esta nanocapa y las propiedades térmicas de las suspensiones sólido/líquido. Estas moléculas en capas están presentes en un estado físico intermedio, entre un líquido a granel y una partícula sólida. Es

probable que la nanocapa sólida de moléculas líquidas aumente la conductividad térmica más que el fluido convencional a granel (Kebinski, Eastman, and Cahill 2005).

Los estudios muestran que la conductividad térmica de los nanofluidos es mayor que la de los fluidos base (Chen and Xie 2009; Wei et al. 2009; Yu et al. 2010). La conductividad térmica de los nanofluidos se puede medir mediante varias técnicas, es decir, un aparato de hilo caliente transitorio, un analizador de constantes térmicas de disco caliente. Los investigadores han realizado experimentos tomando diferentes fluidos base (etilenglicol, propilenglicol, metanol, glicerol, aceite de engranajes, aceite de motor, parafina, etc.) y con diferentes nanopartículas.

2.8. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS NANOFLUIDOS

2.8.1. Efecto del agente estabilizador en la síntesis de nanopartículas de plata

Para Srinivas (2009) un agente estabilizador es un sustrato que idealmente previene la aglomeración de partículas. Los agentes estabilizantes forman una capa protectora que recubre la nanopartícula y esta capa aumenta el potencial zeta, por lo que evita la aglomeración de las nanopartículas. Los agentes estabilizantes incluyen tensioactivos, polímeros o iones que son responsables de aumentar el potencial zeta entre partículas, evitando así la aglomeración, controlando así el tamaño de partícula y la dispersión en un sistema coloidal.

Según Qin et al. (2010), el polímero utilizado como agente estabilizador se une a la partícula en uno de sus extremos, lo que genera una estructura que se asemeja a tentáculos alrededor de la partícula. Se ha observado que un pH alcalino y la presencia de citrato como agente dispersante favorecen la formación de nanopartículas de plata esféricas y monodispersas. Además, el uso del polímero polivinilpirrolidona (PVP) como agente estabilizador produce partículas más pequeñas con una distribución de tamaño uniforme. El PVP es conocido por su alta afinidad por el metal plateado y se une covalentemente a este último a través de sus grupos piridilo, ya que es un polímero hidrofóbico.

El estudio realizado por Irwin et al. (2010) reveló que los polímeros se unen a las nanopartículas de plata (AgNP) formando una micela alrededor de estas últimas. La

polivinilpirrolidona (PVP) tiene una carga parcial, lo que provoca una repulsión entre las partículas. Además, las moléculas de polímero requieren un buen solvente para alcanzar su máxima capacidad. Si el solvente permite que el agente estabilizador se extienda lejos de la partícula, entonces se considera un solvente efectivo; por otro lado, si el solvente hace que el agente estabilizador se colapse sobre la superficie de la partícula, entonces se considera un solvente pobre. Estas moléculas de polímero se colapsan cuando las nanopartículas se suspenden en un disolvente pobre, como ocurre con el pH ácido durante la síntesis basada en ácido ascórbico.

2.8.2. Efecto del pH en la síntesis de nanopartículas de plata

Cuando una sustancia con carga positiva o negativa se expone a un electrolito, los iones OH⁻ o H⁺ se adhieren a su superficie debido a la interacción electrostática, lo que altera la carga superficial. El punto de carga cero (pzc) es una propiedad de la superficie de un material y se define como el pH en el cual la superficie del material tiene una carga neta neutra o cero.

Se estima que el punto de carga cero de la plata es de pH 5,5. Qin et al. (2010) llevaron a cabo la síntesis de nanopartículas de plata, en la que el ácido ascórbico reducía el nitrato de plata a diferentes pH, y demostraron que aumentar el pH de 6 a 10,5 podía modificar el tamaño de las partículas de 73 nm a 31 nm. El pH alcalino y la presencia de citrato como agente dispersante promovieron la formación de nanopartículas de plata esféricas y monodispersas. Srinivas et al. (2009) también coinciden en que un pH alcalino (8.5-9.0) produjo nanopartículas monodispersas más pequeñas a una velocidad más rápida que un pH ácido.

2.8.3. Síntesis de nanopartículas de plata con diferentes formas

Varios estudios han indicado que las nanopartículas de plata con diversas formas tienen diferentes efectos sobre las bacterias. Jiang et al. (2011) sometieron esferas de nanopartículas de plata a la luz, lo que dio como resultado la formación de nanopartículas con diversas formas. Se observó que las diferentes formas se formaban en diferentes etapas de la maduración. Por ejemplo, los discos esféricos se formaban inmediatamente, mientras que las plaquetas triangulares surgían a medida que la reacción progresaba a temperaturas

elevadas, aproximadamente 40°C. Después de 48 horas de exposición, las suspensiones mostraban una estructura tridimensional icosaédrica.

2.8.4. Tamaño de partícula

El tamaño de la partícula es un parámetro significativo que afecta la conductividad térmica de los nanofluidos. Las nanopartículas se pueden sintetizar de varios tamaños, que van desde 5 y 100 nm. Paul, Pal, and Manna 2010, discutido sobre el efecto del tamaño de las nanopartículas en el fluido base. Teng et al. 2010, estudió el efecto del tamaño de las partículas en la relación de conductividad térmica de los nanofluidos de alúmina (Al_2O_3)/agua. Los resultados del experimento mostraron que la conductividad térmica de los nanofluidos aumenta con la disminución del tamaño de las partículas.

2.8.5. Forma de partícula

En el ámbito de los nanofluidos, dos tipos de partículas dominan la investigación: cilíndricas y esféricas. Las primeras, con su alta relación longitud-diámetro, presentan características únicas. H. Xie et al. (2002) fue pionero en estudiar el impacto de la forma de las nanopartículas (esféricas vs cilíndricas) en la conductividad térmica de los nanofluidos. Murshed, Leong y Yang (2008) profundizaron en este tema, explorando el efecto de ambas formas en la conductividad térmica de estos novedosos materiales.

2.8.6. Material de partículas y fluido base

En el mundo de los nanofluidos, la diversidad de materiales para las partículas es tan amplia como sus aplicaciones. Cerámica de óxido, carburos metálicos, nitruros, metales y no metales componen la paleta de opciones. Entre ellos, los nanotubos de carbono, tanto de pared simple como múltiple, destacan por su elevada conductividad térmica.

Para albergar a estas partículas, se emplean fluidos base de uso común como el agua, etilenglicoles/propilenglicoles, biofluidos y aceite de motor. La elección del fluido base depende de la aplicación específica del nanofluido, asegurando una transferencia de calor óptima.

Esta combinación de materiales abre un abanico de posibilidades para el desarrollo de nanofluidos con propiedades termofísicas superiores, atendiendo a las necesidades de diversas industrias (Gupta et al. 2017).

2.8.7. Temperatura

La conductividad térmica no es un valor estático, sino que baila al ritmo de la temperatura. Tanto la conductividad térmica del fluido base como la de las partículas influyen en este baile. El movimiento browniano y la agrupación de nanopartículas, dos fenómenos cruciales en los nanofluidos, también se ven afectados por los cambios de temperatura, impactando directamente en la conductividad térmica. Estudios como el de Yu et al. (2009) con nanopartículas de ZnO y el de Duangthongsuk y Wongwises (2010) con nanopartículas de TiO₂ en agua lo confirman: la conductividad térmica medida de los nanofluidos aumenta con la temperatura. En definitiva, la temperatura se erige como un factor clave que modula la conductividad térmica de los nanofluidos, abriendo un abanico de posibilidades para su optimización en diversas aplicaciones.

Kole and Dey. 2011, examinaron la mejora de la conductividad térmica de los nanofluidos de aceite para engranajes de CuO que depende del efecto de la temperatura. El resultado mostró que la mejora máxima de 10,4 % se obtuvo con 0,025 fracción de volumen de nanopartículas de CuO a temperatura ambiente, y aumenta hasta 11,9 % a 80°C de temperatura.

Mahbubul et al. (2013) exploraron la conductividad térmica del nanorefrigerante Al₂O₃/R141b en un rango de temperatura de 5 a 20°C, observando un aumento con el incremento de la temperatura. Un comportamiento similar fue descrito por (Ding et al. 2006) en nanofluidos de CNT-agua. Sin embargo, Suganthi et al. (2014) reportaron un comportamiento opuesto: la mayor mejora en la conductividad térmica se alcanzó a la temperatura más baja, disminuyendo con el aumento de la temperatura (de 10 a 30°C).

Los autores atribuyen este comportamiento al espesor de la capa molecular de etilenglicol, que aumenta con temperaturas más bajas. Esta disposición ordenada de las moléculas líquidas resulta en una mayor conductividad térmica que el líquido a granel.

Más allá de 30°C, no se observa mejora, posiblemente debido a que el aumento de la conductividad térmica por el movimiento browniano de las partículas se compensa con la disminución de la conductividad térmica por la reducción del espesor de las capas líquidas.

S. A. et al. (2014) también encontraron una mayor conductividad térmica en nanofluidos de arena en propilenglicol (46.2% para 2% en volumen) a 10°C.

2.9. ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE NANOFLUÍDOS

2.9.1. Óxido de aluminio

Las nanopartículas de Al_2O_3 se pueden sintetizar mediante muchas técnicas que incluyen sol-gel (Mirjalili, Hasmaliza, and Abdullah 2010), pirólisis (Kavitha and Jayaram 2006), hidrotermal (Wang et al. 2006), ablación láser (Wang et al. 2006), combustión en solución (Yatsui et al. 2000), plasma (Teoh, Liew, and Mahmood 2007), liofilización de sulfato soluciones (Ananthapadmanabhan et al. 1996), hidrólisis controlada de alcóxido metálico (Nieto, Tallón, and Moreno 2006) y métodos de aerosol (Ogihara et al. 1991). También se informa que para obtener productos Al_2O_3 nanocristalinos densos, la transformación de fase de γ a α tiene que ser detenida o el α - Al_2O_3 nanocristalino se deben utilizar polvos O_3 (Bhaduri, Bhaduri, and Zhou 1998; Bhaduri, Zhou, and Bhaduri 1996; Janbey et al. 2001).

Patil, Aruna, and Ekambaram 1997, exploró el efecto del tiempo de agitación en la síntesis de partículas de nano- α -alúmina. Las nanopartículas de alúmina se sintetizaron a través de la ruta del alcóxido utilizando un método sol-gel y se concluyó que la introducción de diferentes tiempos de agitación afectaba el tamaño de las partículas. El α - Al_2O_3 cristalino se puede sintetizar mediante el uso del método de combustión en solución (Venkateswara Rao 2013). En general, la síntesis por combustión es una excelente técnica para preparar materiales de alta temperatura, debido a su bajo costo, alto rendimiento y capacidad para lograr polvos de óxido complejo monofásico o multifásico de alta pureza en estado sintetizado (Agarwal et al. 2017).

Kole and Dey. (2010), prepararon varias suspensiones que contenían nanopartículas de Al_2O_3 (<50nm) en refrigerante de motor de automóvil. La conductividad térmica de los nanofluidos se ha investigado tanto en función de la concentración de nanopartículas de Al_2O_3 como de la temperatura entre 10 y 80°C. Zamzamian et al. 201, ha ilustrado las características mejoradas de transferencia de calor de Al_2O_3 3/EG nanofluidos. Xie et al. observó un aumento seguido de una disminución en la conductividad térmica con el tamaño de partícula para nanopartículas de alúmina en etilenglicol, así como en aceite de bomba para nanofluidos que contenían cinco tamaños diferentes de nanopartículas de alúmina (Patel, Sundararajan, and Das 2010).

Patel et al. realizó una investigación experimental sobre la mejora de la conductividad térmica de los nanofluidos de óxido. Huaqing Xie et al. 2002, observaron que la conductividad térmica de una suspensión de nanopartículas es relativamente mayor en fracciones de volumen más bajas, lo que genera una dependencia no lineal de la fracción de volumen de partículas.

Mintsa et al. midieron la conductividad térmica de nanofluidos de Al_2O_3 /agua (29 nm) con una concentración de volumen de hasta el 9 % en el rango de temperatura de 20°C a 40°C y observó que la conductividad térmica aumentaba con el aumento de la concentración de volumen y con la disminución del tamaño de partícula (Mintsa et al. 2009).

También proporcionaron nuevas expresiones de conductividad térmica para nanofluidos de agua y Al_2O_3 con tamaños de partículas de 47, 36 y 29 nm mediante el ajuste de la curva de sus datos experimentales internos. Sundar et al. conductividad térmica estimada de la mezcla de etilenglicol y agua basada en Al_2O_3 nanofluidos para concentraciones de partículas de hasta 0,8% y rango de temperatura de 15°C a 50°C (Sundar et al. 2013). También desarrollaron una nueva correlación basada en los datos experimentales para la estimación de la conductividad térmica de los nanofluidos. Beck et al. estudió la conductividad térmica de las nanopartículas de alúmina dispersas en etilenglicol e ilustró que el efecto de la fracción de masa o volumen de las nanopartículas en la conductividad térmica de los nanofluidos se puede correlacionar utilizando los modelos de (Beck, Sun, and Teja 2007). Sridhara et al. revisión preparada mediante la recopilación de resultados de varios estudios sobre nanofluidos Al_2O_3 (Sridhara and Satapathy 2011).

tabla 1 resume los resultados de algunos estudios experimentales sobre la mejora de la conductividad térmica utilizando nanofluidos Al_2O_3 .

En su estudio de 2007, Nnanna profundizó en el comportamiento de transferencia de calor de los nanofluidos impulsados por flotabilidad. Sus observaciones revelaron que la presencia de nanopartículas en estos flujos tiene un impacto significativo en sus propiedades termofísicas, alterando a su vez la tasa de transferencia de calor. Garoosi et al. investigó la convección natural de nanofluidos utilizando el modelo de Buongiorno. Garoosi et al. (2015), investigaron el efecto de la fracción de volumen, el tamaño y el tipo de las nanopartículas y la temperatura promedio de los nanofluidos en la tasa de transferencia de calor. Se observó que al reducir el diámetro de las nanopartículas y aumentar la temperatura promedio del fluido, aumenta la tasa de transferencia de calor. También se ha investigado el flujo de convección libre laminar magnetohidrodinámico transitorio de nanofluido que pasa por una superficie vertical (Freidoonimehr, Rashidi, and Mahmud 2015). Los resultados concluyeron que, al reducir la fracción de volumen de nanopartículas, mejora el coeficiente de fricción del pie. Beg et al. llevó a cabo una simulación de dinámica de fluidos computacional de la convección laminar de Al_2O_3 - bio-nanofluidos de agua (Bég et al. 2014) y encontró que el coeficiente de transferencia de calor aumenta claramente con el aumento de la concentración de partículas de nanofluido. De Risi et al. investigó la aplicación de nanofluidos de Al_2O_3 en sistemas de enfriamiento para turbinas eólicas (De Risi et al. 2014). Sidik et al. llevó a cabo una revisión del estado del arte sobre la aplicación de nanofluidos en sistemas de refrigeración de motores de vehículos (Sidik, Yazid, and Mamat 2015).

Aunque los nanofluidos de Al_2O_3 se han investigado extensamente, aún carecen de un estudio exhaustivo (Bashirnezhad et al. 2015). En la mayoría de las investigaciones sobre los nanofluidos de Al_2O_3 , los investigadores han utilizado las nanopartículas de Al_2O_3 disponibles en el mercado que no son rentables. En este trabajo se han utilizado nanopartículas de Al_2O_3 autosintetizadas para la preparación de nanofluidos que lo hacen rentable para la aplicación de problemas del mundo real. Síntesis de tamaño controlado de nanopartículas de Al_2O_3 cambiando la temperatura de combustión también se ha realizado en este estudio. Esto brinda una perspectiva novedosa para obtener el rango de conductividad térmica solo mediante el uso de nanopartículas de diferentes tamaños para el mismo fluido base, como se informa en la literatura, las características de transferencia de calor se alteran significativamente en correlación con el tamaño de las partículas, especialmente en el

régimen nano. Aunque la investigación existente ya ha esbozado estudios sobre estos nanofluidos, los estudios combinados en un solo trabajo son escasos (Sarkar 2011). Se encuentra disponible una literatura de revisión integral que combina los resultados de trabajos anteriores, pero no es ideal para comparar los resultados de diferentes experimentos.

La razón es que los diferentes experimentos tienen condiciones ambientales variables que pueden conducir a resultados incorrectos o sesgados.

Lomascolo et al. realizó una revisión sobre la transferencia de calor usando nanofluidos y concluyó que existen grandes discrepancias en los resultados informados, lo que indica la necesidad de estudios consistentes (Lomascolo et al. 2015).

2.9.2. Óxido de cobre

Las nanopartículas de óxido de cobre son una clase interesante de material que tiene propiedades multifuncionales con aplicaciones prometedoras en las áreas de catalizadores, baterías, medios de almacenamiento magnético, energía solar y superconductores, Carnes and Klabunde (2003); Frietsch et al. (2000); Sukhorukov et al. (1998).

Varios métodos han estado disponibles para sintetizar nanopartículas de óxido de cobre con diversas morfologías. Estas nanopartículas presentan grandes ventajas frente a los materiales convencionales debido a su gran área superficial. La formación de nanopartículas bien dispersas es un tema desafiante porque estas partículas tienden a aglomerarse con el tiempo y tienden a disminuir la energía superficial. Se logran velocidades de reacción muy altas cuando se usan nanopartículas altamente dispersas para hidrocraqueo, licuefacción de carbón, etc. El óxido de cobre se usa como catalizador ultra disperso (Bennici, Gervasini, and Ragaini 2003; You et al. 2002) en la mejora de petróleo pesado. Las nanopartículas de óxido de cobre también se usan en nanofluidos donde las nanopartículas dispersas se usan para aumentar la conductividad térmica de los fluidos.

Durante las últimas décadas, las investigaciones han utilizado métodos de dos pasos para preparar nanofluidos, por ejemplo, Eastman et al. n.d. utilizaron un método de dos pasos para preparar nanofluidos y demostraron que las partículas de cobre de tamaño nanométrico dispersas en etilenglicol tienen una conductividad térmica efectiva mucho más alta que el

etilenglicol puro. Aunque este método es económico, existe el problema del secado, almacenamiento y transporte. Además, el problema de la aglomeración y la obstrucción conduce a una reducción de la conductividad térmica de los nanofluidos.

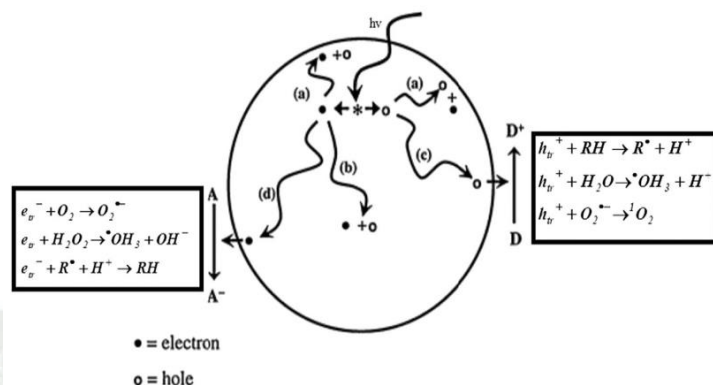
Como ejemplo de método de un solo paso, Jwo, Teng, and Chang 2007, prepararon un nanofluido de CuO-agua utilizando el método de arco de temperatura e indicaron una mejora de la conductividad térmica del nanofluido en un 9,6 %. Otro ejemplo; Kurihara et al. 1995, utilizó poliol como disolvente para preparar nanopartículas de cobre. Aquí, el inconveniente de este método es que la sal de cobre debe calentarse hasta su punto de ebullición. Recientemente, Zhu, Lin, and Yin 2004, desarrollaron un método químico nuevo y eficiente de un solo paso para preparar nanofluidos de cobre, y este método tiene ventajas en términos de controlar el tamaño de las partículas, reducir la aglomeración de las nanopartículas y producir nanofluidos a gran escala. De los estudios de la literatura, está muy claro que los nanofluidos de óxido de cobre tienen una alta conductividad térmica y también tienen buenas propiedades de transferencia de calor adecuadas para aplicaciones de ingeniería térmica (Manimaran et al. 2014).

2.9.3. Óxido de titanio

Hoy en día las nanopartículas de TiO_2 se utilizan ampliamente en muchas aplicaciones debido a su gran capacidad de descomposición de contaminantes orgánicos como superhidrofilidad, estabilidad química, larga durabilidad, no toxicidad, bajo coste y transparencia a la luz visible. Las propiedades fotocatalíticas del TiO_2 se deben a la formación de portadores de carga fotogenerados (huecos y electrones) que se produce al absorber la luz ultravioleta (UV) correspondiente al band gap. La Figura 2.9 muestra los procesos que tienen lugar en las partículas desnudas de TiO_2 desnudas tras la excitación UV (Abdin et al. 2013).

Figura 2. 9.

Procesos que tienen lugar en las partículas desnudas de TiO_2 tras la excitación UV.

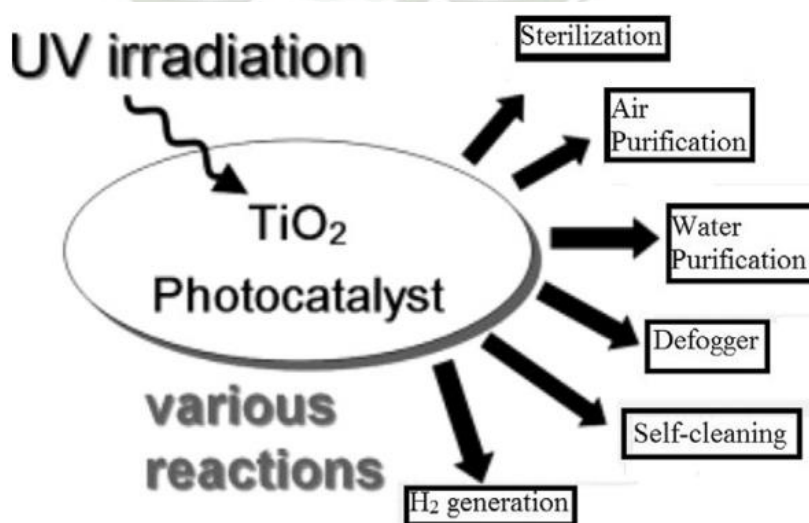


Nota: (Nakata and Fujishima 2012)

Los materiales de TiO_2 nanoestructurados se utilizan ampliamente no sólo en la fotocatalisis, sino también en células solares sensibilizadas por colorante (DSSC), baterías de iones de litio y pantallas electrocrómicas (Bao et al. 2008; Nakata and Fujishima 2012). Las nano hojas de TiO_2 (estructuras bidimensionales), con una superficie plana, baja turbidez y excelente adherencia a los sustratos aplicarse eficazmente en el vidrio autolimpiable. Esta estructura única podría proporcionar ventajas potenciales para la purificación, separación y almacenamiento (Nakata and Fujishima 2012). En la Figura 2.10 se muestra un esquema de las aplicaciones de la fotocatalisis.

Figura 2. 10.

Ilustración esquemática de las aplicaciones de la fotocatalisis



Nota: (Ochiai and Fujishima 2012)

2.9.4. Óxido de hierro

Recientemente, las nanopartículas de óxido de hierro (NP) han atraído mucha atención debido a sus propiedades únicas, como el super paramagnetismo, la relación superficie-volumen, una mayor superficie y una metodología de separación sencilla. Se han adoptado varios métodos físicos, químicos y biológicos para sintetizar NP magnéticas con una química de superficie adecuada (Ali et al. 2016).

Las nanopartículas compuestas de materiales ferromagnéticos y con un tamaño <10–20 nm exhiben una forma inimitable de magnetismo, es decir, super paramagnetismo. Los materiales ferromagnéticos incluyen metales elementales, aleaciones, óxidos y otros compuestos químicos que están magnetizados por un campo magnético externo. Este es un fenómeno importante que normalmente está presente sólo en los sistemas NP.

De Cuyper and Joniau 1988; Huber 2005, Debido a su baja toxicidad, sus propiedades superparamagnéticas, como el área de superficie y la relación de volumen, y su sencilla metodología de separación, las NP de óxido de hierro magnético (Fe_3O_4 y $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) han atraído mucha atención y son especialmente interesantes en el ámbito biomédico. Aplicaciones para la inmovilización de proteínas, como diagnóstico por imágenes por resonancia magnética (MRI), terapia térmica y administración de fármacos (Farhan Hasany et al. 2011).

La reactividad del hierro es importante en aplicaciones macroscópicas (particularmente en la oxidación), pero es una preocupación dominante en la nanoescala. (Wang and General 2005) El hierro finamente dividido se considera pirofórico. Éstas son las razones por las que las NP de hierro no captan mucha atención. La extrema reactividad del hierro hace que sea difícil de estudiar e inconveniente para las aplicaciones (Gupta, biomaterials, and 2005 2005). Sin embargo, las potentes propiedades magnéticas y catalíticas han desviado la atención hacia el potencial del hierro (Huber 2005).

Las NP de óxido de hierro pueden inducirse fácil y rápidamente a resonancia magnética mediante el autocalentamiento, la aplicación del campo magnético externo y también moviéndose a lo largo del campo de atracción. Los métodos sintéticos, la cristalización, el tamaño, la forma y la calidad de las NP de óxido de hierro afectan en gran medida estos

comportamientos. Es obvio que estos enfoques hacia la síntesis de NP de óxido de hierro bien cristalizadas y de tamaño controlado ofrecen más perspectivas para estas aplicaciones (Xu et al. 2014).

Las NP de óxido de hierro se han sintetizado utilizando métodos mecanoquímicos (es decir, descarga de arco de ablación láser, combustión, electrodeposición y pirólisis) y químicos (síntesis sol-gel, síntesis asistida por plantilla, micela inversa, hidrotermal, coprecipitación, etc.) (Sun et al. n.d.). Se pueden sintetizar diversas formas de óxidos de hierro (es decir, nanobarras, esferas porosas, nanocáscaras, nanocubos, cubos distorsionados y flores autoorientadas) utilizando protocolos sintéticos casi coincidentes, simplemente cambiando las sales de hierro precursoras. Estos novedosos protocolos son fáciles de implementar, económicos y controlan la forma de manera sostenible.

Fortin et al. 2007. Además de la síntesis (para producir una mayor compatibilidad en los biosistemas, una funcionalización adecuada y una conjugación molecular), la modificación de la superficie del óxido de hierro es muy importante. Para evitar la corrosión química inducida por la inestabilidad, la modificación de la superficie es el paso clave posterior a la síntesis para producir NP de hierro que sean biocompatibles y estables. También se pueden aplicar otros cambios que pueden dar lugar a propiedades físicas y químicas adicionales en las NP de óxido de hierro (Xu et al. 2014).

2..9.5. Plata

Las Las nanopartículas de metal (Ag o Au, en particular) han atraído un gran interés debido a la absorción de resonancia de plasmón de superficie localizada (LSPR) que generalmente ocurre en la parte ultravioleta-visible (UV-Vis) del espectro, es decir, en la región espectral donde la mayoría del flujo solar entrante se distribuye (Jing and Song 2017; Wu et al. 2015).

La región espectral UV-VIS es, por lo general, débilmente absorbida por la mayoría de los fluidos de transferencia de calor clásicos y, por lo tanto, la adición de nanopartículas mejorará su absorción (Jing and Song 2017; Wu et al. 2015). Plata es de mayor interés para aplicaciones de energía solar térmica debido a su mayor conductividad térmica, menor costo y la cantidad de rutas de síntesis robustas disponibles Beyene et al. (2017); Chen et al.

(2015); Iyahraja and Rajadurai. (2015); Patel et al. (2003); Seyhan et al. (2017). Las oscilaciones dentro de los campos electromagnéticos mejorados localmente establecidos a través de los fenómenos LSPR permiten ajustar con precisión las características de absorción de las estructuras en un rango espectral específico, específico para la aplicación Bastús et al. (2014); Khodashenas and Ghorbani (2019); Liz-Marzán 2004; Seyhan et al. (2017).

La gran superficie de las nanopartículas promueve las interacciones entre las nanopartículas y las especies químicas adicionales presentes en el nanofluido Dey, Kumar, and Samantaray (2017); Jama et al. (2016) , Ilyas, Pendyala, and Marneni (2014). Cada partícula experimenta fuerzas atractivas y repulsivas, Dey et al. (2017); Ilyas et al. (2014); Jama et al. (2016) y el delicado equilibrio dentro de un nanofluido entre estas fuerzas atractivas y repulsivas determina la tendencia de las nanopartículas a agruparse a través de un proceso llamado aglomeración, lo que afecta la capacidad del fluido permanezca estable, Dey et al. (2017); Ilyas et al. 2014; Jama et al. (2016).

Por lo general, las fuerzas moleculares atractivas son energéticamente más favorables y, por lo tanto, con el tiempo, las partículas dentro del fluido de dos fases se unen, formando agregados cada vez más grandes, desestabilizando el nanofluido a medida que continúa el proceso Azizian, Doroodchi, and Moghtaderi (2016); Pang, Jung, and Kang (2014); Wong and Castillo (2010). A medida que la distribución del tamaño de las partículas suspendidas se vuelve más amplia a través de la aglomeración de partículas, se produce una transformación inherente en las propiedades térmicas del nanofluido resultante, Dey et al. (2017); Ilyas et al. 2014; Jama et al. (2016).

La susceptibilidad de los nanofluidos a la aglomeración de partículas como los medios para reducir su energía superficial pueden controlarse mediante la modificación de la química superficial de las nanopartículas, L. Chen et al. (2017); Li et al. (2016); Patel et al. (2003); Seyhan et al. (2017). La adición de tensioactivos o agentes estabilizadores durante la preparación de nanofluidos ofrece una ruta simple y rentable para preparar nanofluidos estables; Chamsa-ard et al. (2017); Dey et al. (2017); Jama et al. (2016); Mesgari et al. (2016). Un agente estabilizador, que normalmente consiste en una cadena polimérica que contiene elementos hidrofóbicos e hidrofílicos en los extremos opuestos de la molécula, se une selectivamente a la superficie de las nanopartículas alterando las fuerzas repulsivas existentes entre las partículas vecinas dentro del nanofluido, Bastús et al. (2014); L. Chen et

al. (2017); Iyahraja and Rajadurai (2015); Zhang, Xu, and Wang (2018). La larga cadena polimérica puede reducir la transferencia de calor entre las nanopartículas estabilizadas y las moléculas de solvente circundantes, Mints et al. (2009); Seyhan et al. (2017); Timofeeva, Routbort, and Singh (2009); Wong and Castillo (2010). En consecuencia, en la búsqueda de nanofluidos altamente eficientes para aplicaciones de transferencia de calor, se requiere un compromiso entre las propiedades térmicas mejoradas de los fluidos y su estabilidad, este fue propuesto por, Dey et al. (2017); Liz-Marzán 2004; Patel et al. (2003); Qu et al. (2017); Seyhan et al. (2017) y Wang and Mujumdar (2007).

Por lo general, las nanopartículas utilizadas en los estudios de nanofluidos incorporan una distribución estrecha monomodo del tamaño de partícula, propuesto por: Li et al. 2016; Wong and Castillo (2010). Sin embargo, el uso de una distribución de tamaño de partículas polidispersa puede influir en la interacción entre los conjuntos colectivos de partículas y promover las propiedades térmicas del fluido base. Dentro de una distribución de tamaño de partículas tan amplia, las partículas de mayor tamaño forman una antena que acopla eficazmente los modos LSPR de orden superior disponibles en estas nanoestructuras a las partículas cercanas de menor tamaño. Estas partículas de menor tamaño pueden, a su vez, actuar como resonadores, creando regiones localizadas de "puntos calientes" (Sun, Khurgin, and Yang 2009).

El campo eléctrico mejorado establecido a través de una red de partículas interconectadas de este tipo es mayor en magnitud que el creado a través de distribuciones de tamaño de partículas angostas aisladas (Sun et al. 2009). Por lo general, las nanopartículas compradas comercialmente empleadas en el diseño y la caracterización de nanofluidos carecen de la variedad de morfologías, formas y tamaños de partículas (Amjad et al. 2018). Esto puede deberse principalmente al control del producto existente dentro de un entorno comercial, que requiere distribuciones de tamaño de partícula estrechas y morfologías similares para las nanopartículas como producto comercial. En consecuencia, en la búsqueda de investigación de nanofluidos eficientes y estables, la posibilidad de interacciones partícula-partícula entre diferentes formas y tamaños anisótropos ha sido, típicamente, pasada por alto. Sin embargo, tales interacciones pueden tener el potencial de mejorar la absorción y/o las capacidades térmicas de los nanofluidos (Yu et al. 2015).



CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

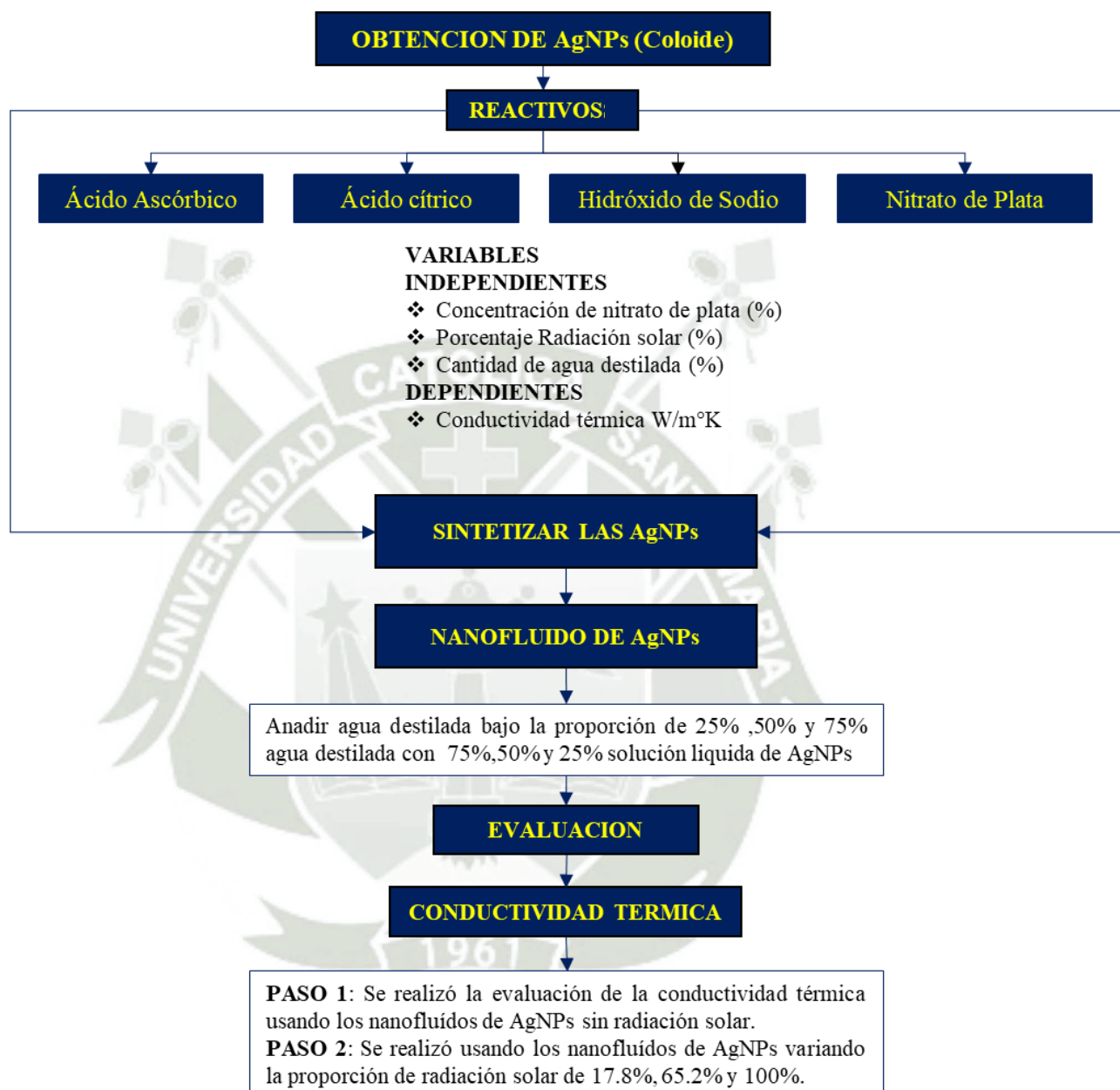
Dada la naturaleza experimental de la investigación, la cual se centra en establecer relaciones de causa-efecto y se dedica a sintetizar, comprobar, confrontar y confirmar teorías, y eventualmente, formular leyes.

En cuanto al nivel de la investigación, este es de carácter explicativo, ya que permitió identificar y explicar las causas o factores que determinan un fenómeno de la realidad a partir de un marco teórico establecido.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación utilizado fue experimental y cuantitativo, ya que se controlaron y manipularon las variables independientes en un entorno de laboratorio, y se cuantificó el efecto en las variables dependientes. Un resumen del trabajo de tesis se encuentra en la Figura 3.1.

Figura 3. 1.
Metodología del trabajo de tesis.



3.4. DISEÑO DE INVESTIGACION

En la investigación se utilizó el diseño experimental vasados en pruebas de tamaño de partícula más optimas como también en referencias bibliográficas.

3.4.1. Variables independientes

- ✓ Concentración de AgNPs (%)
- ✓ Porcentaje Radiación solar (%)
- ✓ Cantidad de agua destilada (%)

3.4.2. Variables dependientes

- ✓ Conductividad térmica (W/m[°]k)

3.4.3. Numero de ensayos

Los números de ensayo que se realizaran en este trabajo de tesis se encuentra detallado en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1.
Número de ensayos para determinar la conductividad térmica

Coloide (NpAg)	Agua destilada	Porcentaje Radiación solar	Codificación
GRUPO A-25%	75%	17.8%	GRUPO A-17.8%-25%
		65.2%	GRUPO A-65.2%-25%
		100%	GRUPO A-100%-25%
GRUPO A-50%	50%	17.8%	GRUPO A-17.8%-50%
		65.2%	GRUPO A-65.2%-50%
		100%	GRUPO A-100%-50%
GRUPO A-75%	25%	17.8%	GRUPO A-17.8%-75%
		65.2%	GRUPO A-65.2%-75%
		100%	GRUPO A-100%-75%
GRUPO B-25%	75%	17.8%	GRUPO B-17.8%-25%
		65.2%	GRUPO B-65.2%-25%
		100%	GRUPO B-100%-25%
GRUPO B-50%	50%	17.8%	GRUPO B-17.8%-50%
		65.2%	GRUPO B-65.2%-50%
		100%	GRUPO B-100%-50%
GRUPO B-75%	25%	17.8%	GRUPO B-17.8%-75%
		65.2%	GRUPO B-65.2%-75%
		100%	GRUPO B-100%-75%
GRUPO C-25%	75%	17.8%	GRUPO C-17.8%-25%

		65.2%	GRUPO C-65.2%-25%
		100%	GRUPO C-100%-25%
GRUPO C-50%	50%	17.8%	GRUPO C-17.8%-50%
		65.2%	GRUPO C-65.2%-50%
		100%	GRUPO C-100%-50%
GRUPO C-75%	25%	17.8%	GRUPO C-17.8%-75%
		65.2%	GRUPO C-65.2%-75%
		100%	GRUPO C-100%-75%
GRUPO D-25%	75%	17.8%	GRUPO D-17.8%-25%
		65.2%	GRUPO D-65.2%-25%
		100%	GRUPO D-100%-25%
GRUPO D-50%	50%	17.8%	GRUPO D-17.8%-50%
		65.2%	GRUPO D-65.2%-50%
		100%	GRUPO D-100%-50%
GRUPO D-75%	25%	17.8%	GRUPO D-17.8%-75%
		65.2%	GRUPO D-65.2%-75%
		100%	GRUPO D-100%-75%

Después de la obtención de las nanopartículas de plata como se observa en la tabla 3.2, cada combinación se denominará coloide, estos coloides se trabajarán a diferentes composiciones (25%,50% y 75%) para luego combinarlas con agua destilada y colocarlas a la celda y proceder a medir la conductividad térmica con diferentes porcentajes de radiación solar (17.8%, 65.2% y 100%), tal como se muestra en la tabla 3.1. con sus respectivas codificaciones.

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS

3.5.1. Materiales

- ✓ Acrílico
- ✓ Cloroformo 50ml
- ✓ Estaño (Sn)
- ✓ Pernos
- ✓ Tuercas
- ✓ Prensasaestopa
- ✓ Cable de cobre 1m
- ✓ Alambre de platino 40 mm
- ✓ Colectores tipo banana 2unidades
- ✓ Ácido cítrico ($C_6H_8O_7$ 2.781×10^{-3} M)
- ✓ Acido ascórbico ($C_6H_8O_6$ 4.635×10^{-4} M)
- ✓ Hidróxido de sodio (NaOH 0.1 M)

- ✓ Nitrato de plata (AgNO_3 0.1 M)
- ✓ Envases de vidrio de 500ml
- ✓ Vasos precipitados de 50ml
- ✓ Pipeta de 10 y 1ml
- ✓ Vidrio de reloj
- ✓ Gradillas
- ✓ Soporte Universal
- ✓ Agua destilada
- ✓ Matraz para destilación
- ✓ Tubos de ensayo graduados
- ✓ Agitadores de vidrio

3.5.2. Equipos

- ✓ Medidor de sobremesa (pH, Conductividad), marca Oakton modelo PC2700.
- ✓ Agitador magnético
- ✓ Termómetro digital casero para laboratorio, tipo lapicero.
- ✓ Fuente de alimentación marca BK PRECISION 9122A
- ✓ Módulo de adquisición de datos (tarjeta national instruments que se usara para aplicar el método del hilo caliente)
- ✓ Termistor PT100 3x30mm de 2 cables marca WZP.
- ✓ Software labView
- ✓ Microcontrolador, marca ARDUINO modelo UNO
- ✓ Balanza Analítica, marca RADWAG modelo AS 220.R2.
- ✓ Superficie Calefactora, marca IKA modelo C-Mag HP4
- ✓ Simulador Solar, marca SCIENCETECH modelo SciSun-300.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOPIACION DE DATOS

3.6.1. Proceso de sinterización de nanopartículas de plata

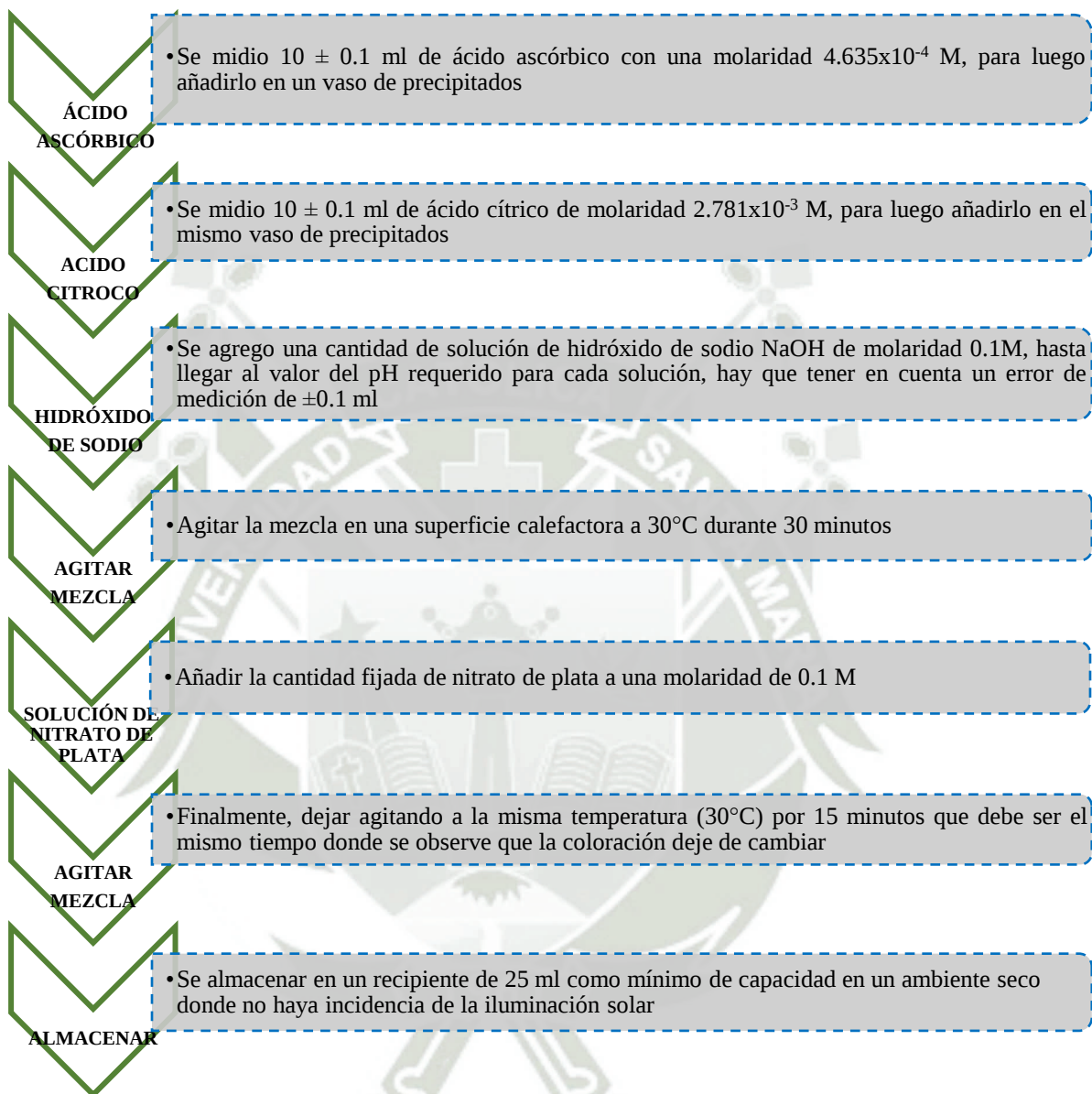
Para la preparación de las nanopartículas se optó por el método químico, debido al poco tiempo que requiere, para ello se usó reactivos como: Ácido cítrico, Acido ascórbico

Hidróxido de sodio y Nitrato de plata, siguiendo las siguientes mezclas, según la tabla 3.2. y el modo de preparación o paso que seguir se observan en la tabla 3.3.

Tabla 3. 2.

Soluciones para obtención de AgNPs

Nº	pH	Nitrato de plata (ml)	Ácido cítrico	ácido ascórbico	Codificación coloide
1	10.3	0.4	10ml	10ml	GRUPO A-25%
2	10.3	0.4	10ml	10ml	GRUPO A-50%
3	10.3	0.4	10ml	10ml	GRUPO A-75%
4	6.0	0.4	10ml	10ml	GRUPO B-25%
5	6.0	0.4	10ml	10ml	GRUPO B-50%
6	6.0	0.4	10ml	10ml	GRUPO B-75%
7	10.3	0.2	10ml	10ml	GRUPO C-25%
8	10.3	0.2	10ml	10ml	GRUPO C-50%
9	10.3	0.2	10ml	10ml	GRUPO C-75%
10	6.0	0.8	10ml	10ml	GRUPO D-25%
11	6.0	0.8	10ml	10ml	GRUPO D-50%
12	6.0	0.8	10ml	10ml	GRUPO D-75%

Tabla 3. 3.
Proceso de síntesis de AgNp's utilizado actualmente


Elaboración propia.

3.6.1.1. Cálculos para la preparación de soluciones

- Ácido cítrico al 2.781×10^{-3} M. Disolver 267.15 mg de ácido cítrico en 0.5 L de agua destilada

$$\frac{2.781 \times 10^{-3} \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{X}{0.5 \text{ L}}$$

$$X = 1.3905 \times 10^{-3} \text{ mol} \rightarrow 267.15 \text{ mg}$$

$$M = 192.124 \text{ g/mol}$$

- Ácido ascórbico al 4.635×10^{-4} M. Disolver 40.82 mg de ácido ascórbico en 0.5 L de agua destilada

$$\frac{4.635 \times 10^{-4} \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{X}{0.5 \text{ L}}$$

$$X = 2.3175 \times 10^{-4} \text{ mol} \rightarrow 40.82 \text{ mg}$$

$$M = 176.12 \text{ g/mol}$$

- Hidróxido de sodio al 0.1 M. Disolver 2.0 g en 0.5 L de agua destilada

$$\frac{0.1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{X}{0.5 \text{ L}}$$

$$X = 0.05 \text{ mol} \rightarrow 2.0 \text{ g}$$

$$M = 39.997 \text{ g/mol}$$

- Nitrato de plata 0.1 M. Disolver 8.49 g de nitrato de plata en 0.5 L de agua destilada

$$\frac{0.1 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = \frac{X}{0.5 \text{ L}}$$

$$X = 0.05 \text{ mol} \rightarrow 8.4935 \text{ g}$$

$$M = 169.87 \text{ g/mol}$$

3.6.2. Preparación del coloide de nanopartículas de plata

Para la preparación de coloide se usó las nanopartículas de plata a diferentes combinaciones (pH, nitrato de plata, porcentaje de radiación y agua destilada).

Para ello se realizará el siguiente paso:

- Añadir agua destilada bajo la proporción 25%, 50% y 100% de agua destilada en las diferentes proporciones de coloides, como se muestras en la tabla 3.1.

3.6.3. Evaluación de la conductividad térmica

A. Modificación de la celda de medición

Al iniciar las pruebas, nos encontramos con problemas en el diseño de la celda que se estaba utilizando. La celda solo funcionaba en posición vertical, como se observa en la

Figura 3.2, tenía teflón en la parte superior que impedía el paso de la luz, generando sombra. Además, las partes internas no estaban aisladas ni selladas, lo que permitía que el fluido se derramara y entrara en contacto con los componentes eléctricos.

El cuerpo de la celda estaba hecho de vidrio y tenía forma cilíndrica, lo que dificultaba la incidencia de la luz solar.

Figura 3. 2.

Celda solo funcionaba en posición vertical



Para diseñar la celda que requeríamos, se tuvieron en cuenta los siguientes cuatro puntos importantes:

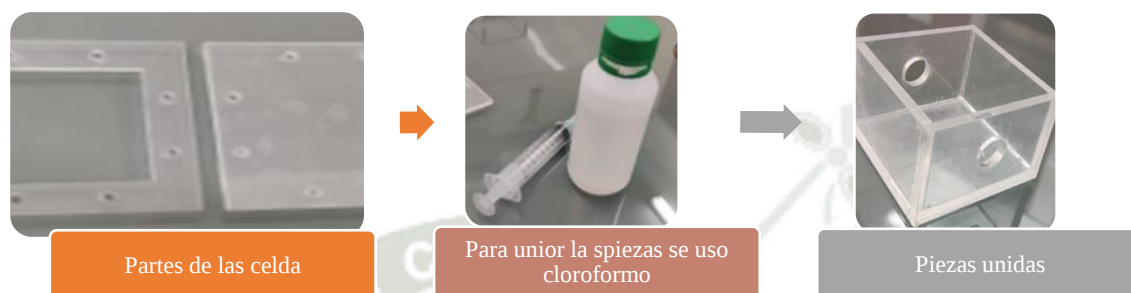
- ✓ Material transparente para permitir el paso de la luz.
- ✓ Conexiones horizontales para evitar sombras.
- ✓ Estanqueidad para evitar fugas.
- ✓ Medidas específicas del campo de irradiación, según el manual del simulador.

La nueva celda solar está fabricada de acrílico unido con cloroformo mediante una reacción química. En la parte superior, se colocaría una brida para sellar el recipiente. En los costados, se contaría con dos prensaestopas para generar un sello hermético en la parte de

los cables y generar tensión en el alambre de platino. El armado sigue como muestra la Figura 3.3.

Figura 3. 3.

Construcción de la nueva celda



Para las conexiones eléctricas se usará uniones de cable de cobre (diámetro 0.064") y el alambre de platino (diámetro 0.004") y se realizará mediante soldadura de estaño, como se muestra en la Figura 3.4.

Figura 3. 4.

Conexiones eléctricas



B. Calibración del equipo de conductividad térmica

Para iniciar la toma de datos, es necesario calibrar el equipo BK PRECISION 9122A siendo la fuente de alimentación, con una resistencia variable. El módulo de adquisición de datos fue fabricado con tarjeta de national instruments con tres resistencias, cuya medición utiliza un puente de Wheatstone, por lo que la calibración permite que el puente se encuentre en equilibrio.

La calibración se realiza al mínimo voltaje posible que genere un flujo de corriente. En este caso, el voltaje fue de 0.77 V y el flujo de corriente fue de 0.018 Amp.

C. Adquisición de datos

Posterior a la calibración realizaremos la toma de datos para lo cual elevamos el voltaje a un aproximado de 4.5V, voltaje de trabajo recomendado en la tesis de diseño, en el software se tendrá que introducir la longitud del hilo de platino, el número de pruebas que se desea realizar, el tiempo de duración de la prueba y el tiempo de reposo entre cada una, para que el fluido se pueda estabilizar. Tal como muestra la Figura 3.5.

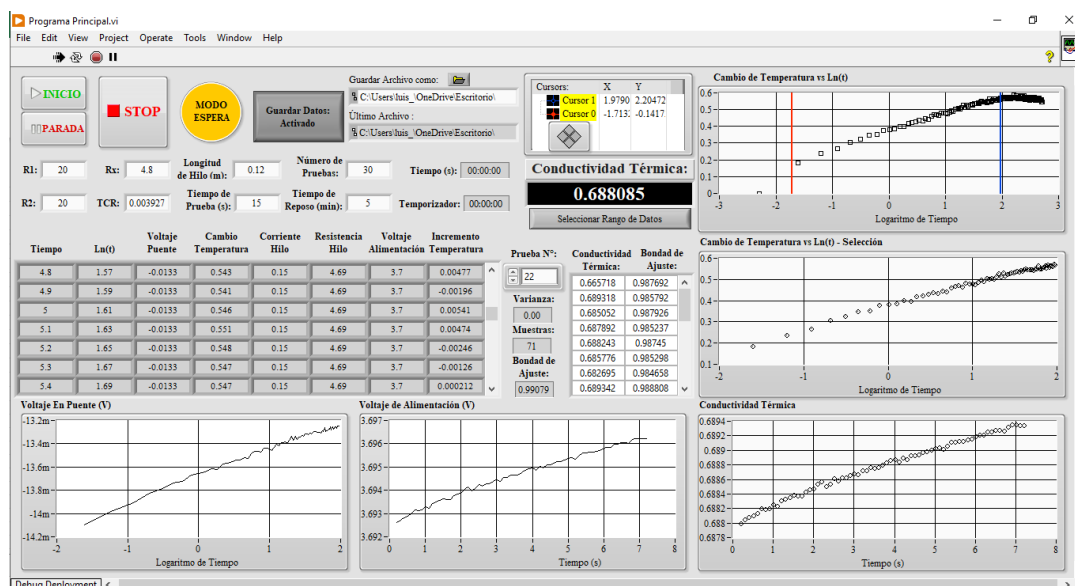
Figura 3. 5.
Adquisición de datos

Longitud de Hilo (m):	0.0814	Número de Pruebas:	10	Tiempo (s):	00:00:00
Tiempo de Prueba (s):	15	Tiempo de Reposo (min):	10	Temporizador:	00:00:00

En el lado derecho de la interfaz se muestran graficas de cambio de temperatura, conductividad térmica y voltaje de alimentación las cuales mostraran los datos obtenidos en cada muestra tomada los cuales se van almacenando en un archivo de Excel.

En la siguiente Figura 3.6 se muestra un ejemplo del proceso de toma de datos.

Figura 3. 6.
Ejemplo del proceso de toma de datos.



D. Toma de datos con radiación solar

Para este proceso, se requerirán los mismos elementos descritos en B, añadiendo lo siguiente, como se ve en las Figuras 3.7 a 3.11.

El simulador solar se encargará de medir la conductividad térmica de las diferentes muestras a analizar, a una altura de 50cm.

Figura 3. 7.
Simulador solar.



En la figura 3.8. se muestra los sensores de temperatura PT100 con las conexiones de Arduino a la vez se muestra los códigos de este, como se observa en la figura 3.19

Figura 3. 8.

Sensores de temperatura PT100 con conexión a Arduino.

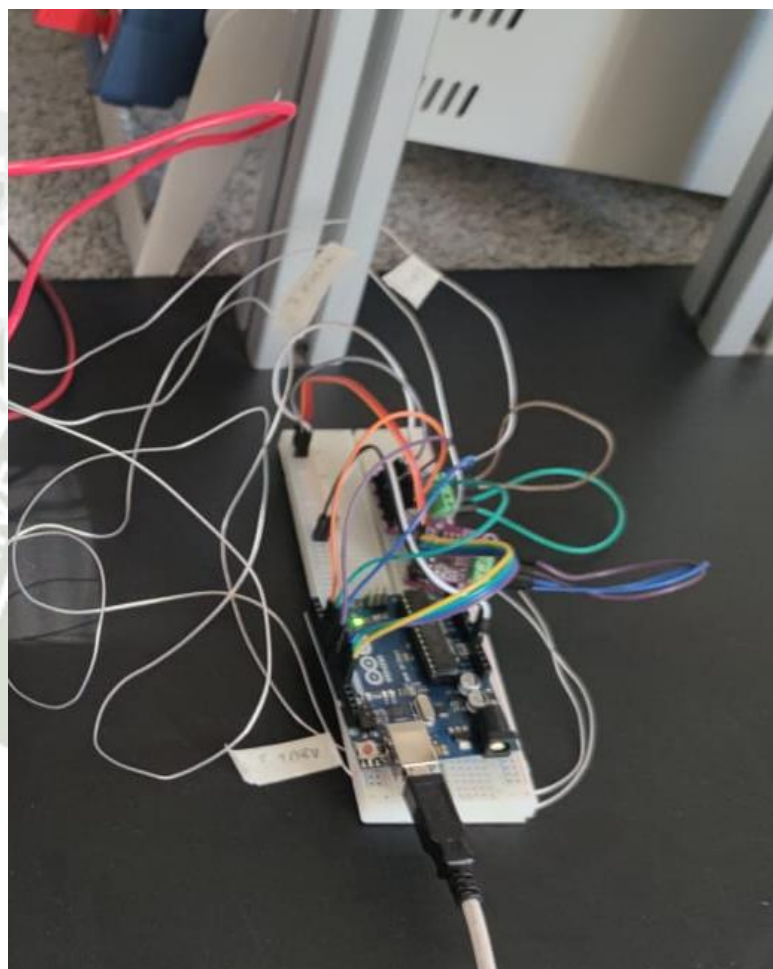


Figura 3. 9.*Códigos de Arduino*

```
#include <Adafruit_MAX31865.h>

// Use software SPI: CS, DI, DO, CLK
Adafruit_MAX31865 thermo1 = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13);
Adafruit_MAX31865 thermo2 = Adafruit_MAX31865(5, 6, 7, 8);
// use hardware SPI, just pass in the CS pin
//Adafruit_MAX31865 thermo = Adafruit_MAX31865(10);

// The value of the Rref resistor. Use 430.0 for PT100 and 4300.0 for PT1000
#define RREF      430.0
// The 'nominal' 0-degrees-C resistance of the sensor
// 100.0 for PT100, 1000.0 for PT1000
#define RNOMINAL1 100.16
#define RNOMINAL2 100.0
int ent = 0;
String Switch;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("<Preparado>");

  thermo1.begin(MAX31865_2WIRE); // set to 2WIRE or 4WIRE as necessary
  thermo2.begin(MAX31865_2WIRE);
}
```

En la Figura 3.10 se muestra la conexión final del sistema de toma de datos bajo radiación solar con muestra de nanopartícula de plata.

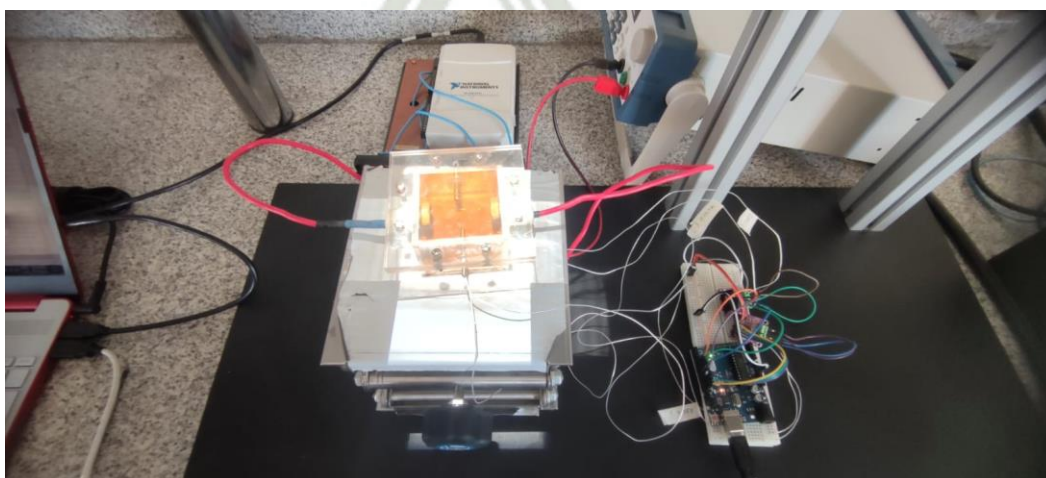
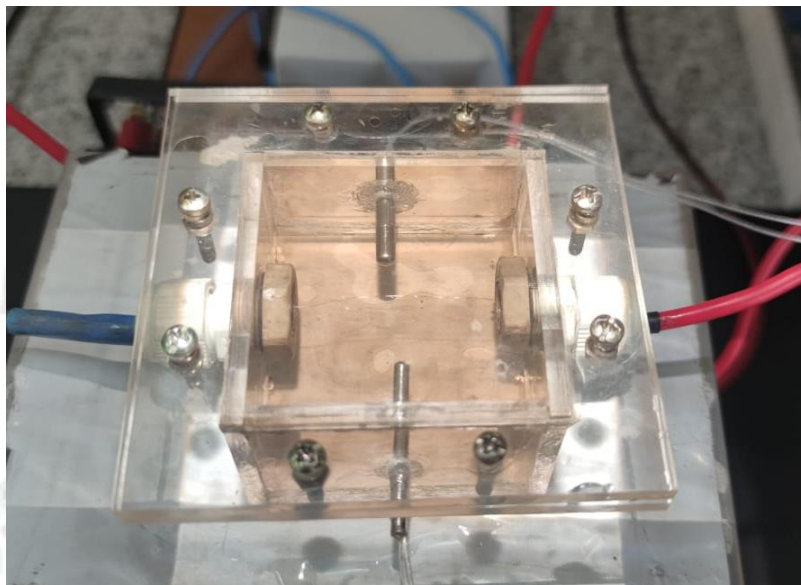
Figura 3. 10.*Conexión final del sistema de toma de datos bajo radiación solar*

Figura 3. 11.

Conexión final del sistema de toma de datos bajo radiación solar





CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la Evaluación de la conductividad térmica

La conductividad térmica se evaluó para cada combinación de nanopartículas con agua destilada, según se detalla en la tabla 3.1. Para ello, las nanopartículas se mezclaron con diferentes porcentajes de agua destilada, y la mezcla se colocó en la celda (microcolector) construida. Posteriormente, se midió la conductividad térmica por un periodo de 5min cada muestra.

Esta conductividad térmica se debe a dos factores; la alta conductividad térmica de la plata, ya que este metal tiene una conductividad térmica de 429 W/m.K a su vez es considerado mucho mayor que la de la mayoría de fluidos, al movimiento browniano que es un mecanismo clave que controla el comportamiento térmico de las suspensiones fluidas de nanopartículas, fenómeno aleatorio que se produce cuando las moléculas del fluido chocan con la nanopartícula, este movimiento agita las moléculas del fluido, lo que crea turbulencia, esta turbulencia ayuda a que el calor se transmita de una nanopartícula a otra, lo que aumenta la conductividad térmica del fluido y la capa interfacial (nanocapa), es decir, las moléculas líquidas cerca de una superficie de partículas sólidas forman estructuras en capas. Estas estructuras en capas actúan como un puente térmico entre las nanopartículas y un líquido a granel y aumentan la conductividad térmica. Es probable que la nanocapa sólida de moléculas líquidas aumente la conductividad térmica más que el fluido convencional a granel.

A. Conductividad térmica del GRUPO A

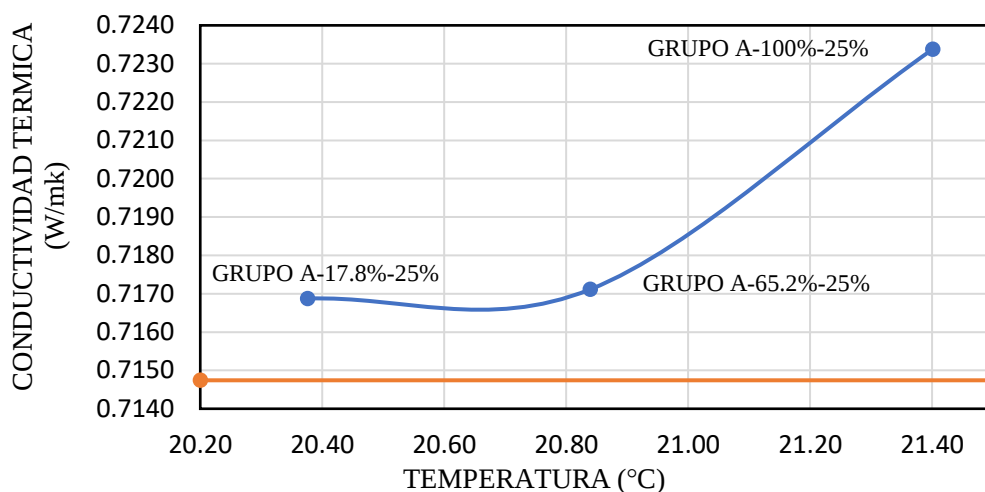
La figura 4.1 muestra los resultados de la conductividad térmica de las muestras del GRUPO A-25% comprendido por; GRUPO A-17.8%-25%, GRUPO A-65.2%-25% y GRUPO A-100%-25%. En la tabla se presentan dos líneas de colores diferentes. La línea naranja representa una prueba sin radiación solar. La curva azul representa la conductividad térmica variando la radiación solar de 17.8%, 65.2% y 100%, a una concentración de nanopartículas de plata del 25%.

Se observa que la conductividad térmica de 0.7169 W/m.K a 0.7234 W/m.K aumenta progresivamente con respecto a la temperatura de 20.38°C a 20.84°C en un tiempo de 5 minutos. Considerado al GRUPO A-100%-25% como la muestra con mayor conductividad térmica con respecto a las demás combinaciones o mezclas, esta combinación se trabajó con

una concentración de nanopartícula de plata del 25% con porcentaje de radiación solar de 100% (1 sol) y 75% de agua destilada.

Figura 4. 1.

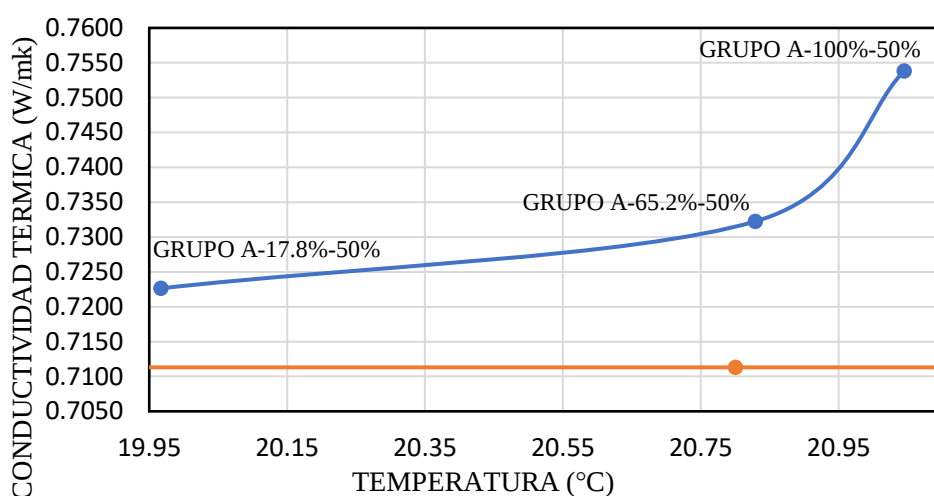
Conductividad térmica de la muestra GRUPO A-25



La figura 4.2. muestra los resultados del grupo A, pero con una concentración de nanopartícula de plata del 50%, GRUPO A-17.8%-50%, GRUPO A-65.2%-50% y GRUPO A-100%-50%. Se observa que la conductividad térmica es directamente proporcional con la temperatura, mostrando una conductividad térmica máxima de 0.7538W/m·K a una temperatura de 21°C. la muestra con este resultado es el GRUPO A-100%-50% (50% de concentración de nanopartícula de plata,% de radiación solar 100% (1 sol) y 50% agua destilada).

Figura 4. 2.

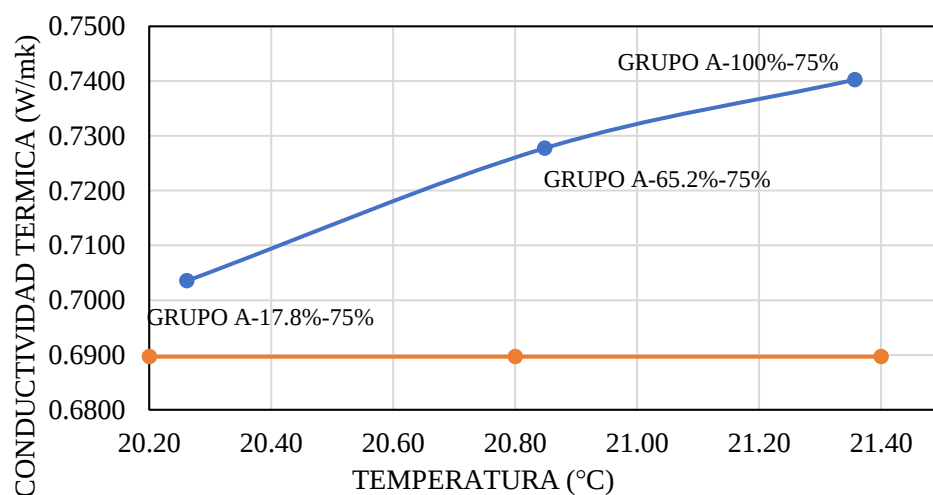
Conductividad térmica de la muestra GRUPO A-50%



La figura 4.3. muestra las combinaciones del GRUPO A-75%, dentro de este grupo están; GRUPO A-17.8%-75%, GRUPO A-65.2%-75% y GRUPO A-100%-75%. Se observa que la conductividad térmica aumenta progresivamente, hasta llegar a un punto máximo de 0.7402 W/m·K y a una temperatura máxima de 21.35°C con respecto a las demás combinaciones, Este máximo se alcanza con la muestra GRUPO A-100%-75%, que tiene la mayor concentración de nanopartículas de plata. La composición de esta muestra es 75% de nanopartículas de plata, 100% de radiación solar y 25% de agua destilada.

Figura 4. 3.

Conductividad térmica de la muestra GRUPO A-75%



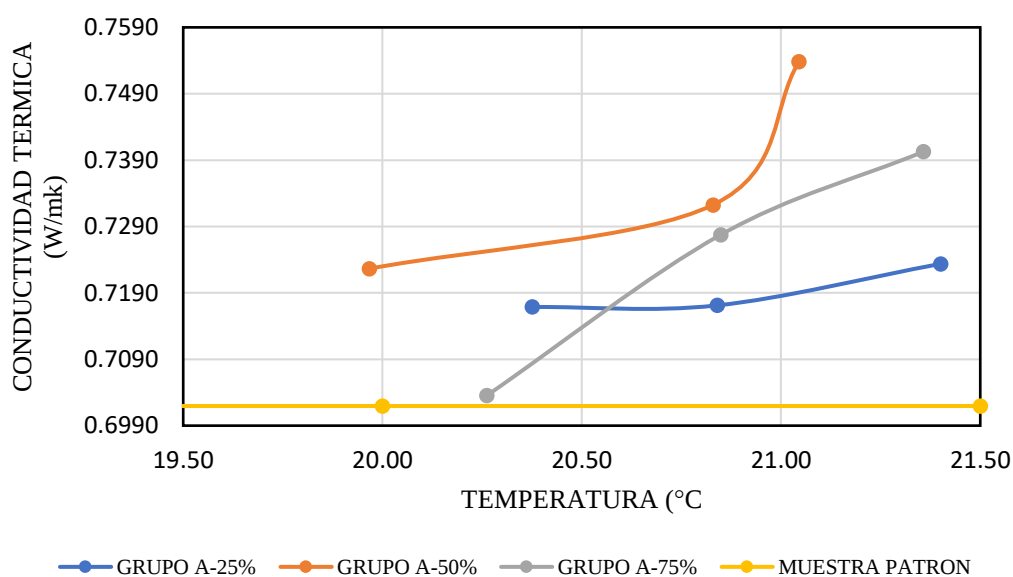
La figura 4.4 presenta un resumen del GRUPO A frente al comportamiento de la conductividad térmica. Demostrando que la concentración de nanopartículas de plata del 50%, presenta la mayor conductividad térmica. El valor máximo de conductividad térmica fue de 0,7538 W/m·K, a una temperatura de 21 °C.

Dentro de este grupo, se evaluaron diferentes porcentajes de radiación solar. La muestra que obtuvo la mayor conductividad térmica fue el grupo A-100%-50%, con una radiación solar del 100%. Esta muestra se obtuvo con nanopartículas de plata con un pH de 10.3, 0,4 ml de nitrato de plata, 10 ml de ácido cítrico y 10 ml de ácido ascórbico.

El aumento de la conductividad térmica se debe al aumento de la energía cinética de las moléculas del fluido. A medida que la temperatura aumenta, las moléculas del fluido se mueven más rápidamente, lo que facilita la transferencia de calor.

Figura 4. 4.

Conductividad térmica del GRUPO A con diferentes concentraciones y % de radiación solar.



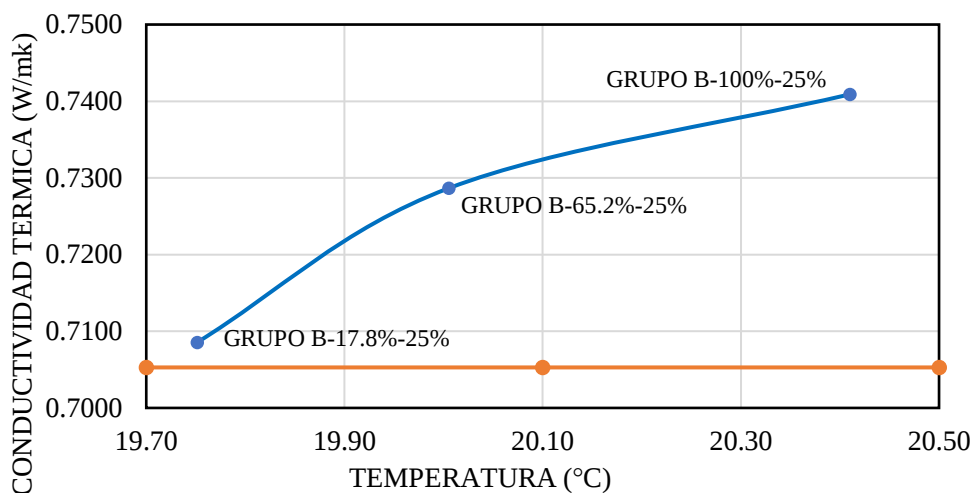
B. Conductividad térmica del GRUPO B

La figura 4.5. muestra los resultados de la conductividad térmica de la muestra GRUPO B-25% comprendido por; GRUPO B-17.8%-25%, GRUPO B-65.2%-25% y GRUPO B-100%-25%. Este quiere decir que se trabajara con concentraciones de nanopartícula de plata del 25% para estas muestras con diferentes porcentajes de radiación solar (17.8, 65.2 y 100%). Observamos que la muestra GRUPO B-100-25% (concentración de nanopartícula de plata al 25%, porcentaje de radiación solar al 100% y 75% de agua

destilada) presenta una conductividad térmica máxima de $0.7408 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a una temperatura de 20.4°C con respecto a las demás combinaciones.

Figura 4. 5.

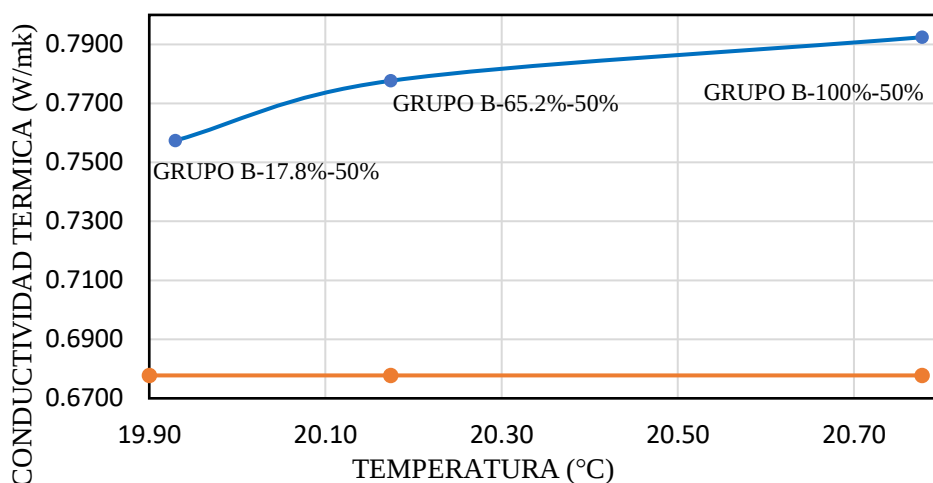
Conductividad térmica de la muestra GRUPO B-25%.



La figura 4.6. muestra la conductividad térmica de la muestra GRUPO B-50%, que comprende las combinaciones; GRUPO B-17.8%-50%, GRUPO B-65.2%-50% y GRUPO B-100%-50%, estas combinaciones se trabajaron con el 50% de concentración de nanopartícula de plata con diferentes porcentajes de radiación solar. Observamos que la conductividad térmica máxima es de $0.7924 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a una temperatura de 20.77°C , la muestra que obtuvo estos valores fue la muestra GRUPO B-100%-50% (50% de concentración de nanopartícula de plata, 100% de radiación solar y 50% de agua destilada).

Figura 4. 6.

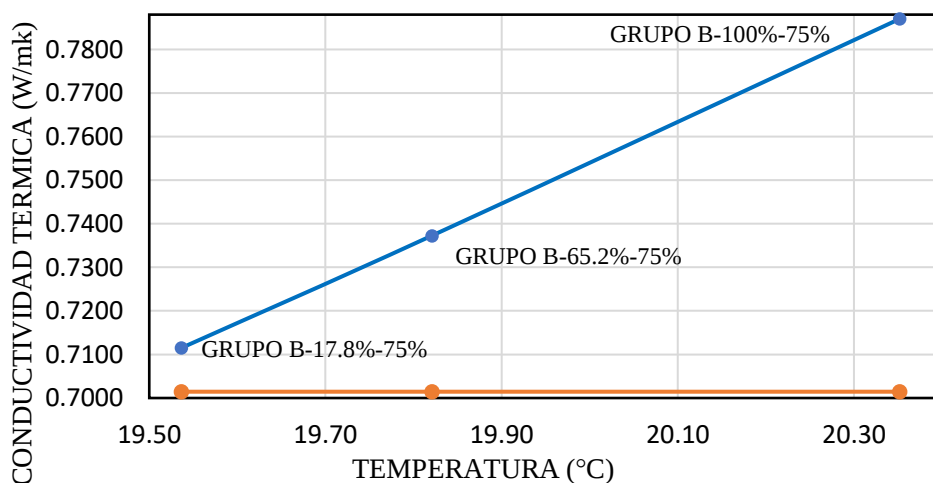
Conductividad térmica de la muestra GRUPO B-50%



La figura 4.7 muestra los resultados de la conductividad térmica del GRUPO B-75%, compuesta por las combinaciones GRUPO B-17.8%-75%, GRUPO B-65.2%-75% y GRUPO B-100%-75%. Se observa un aumento progresivo de la conductividad térmica a medida que aumenta la concentración del coloide o nanopartícula de plata. La muestra GRUPO B-100%-75% muestra una conductividad térmica máxima de 0.7870W/m·K a una temperatura de 20.35°C, esta muestra presenta 75% de concentración de nanopartícula de plata, 100% de radiación solar y 25% de agua destilada.

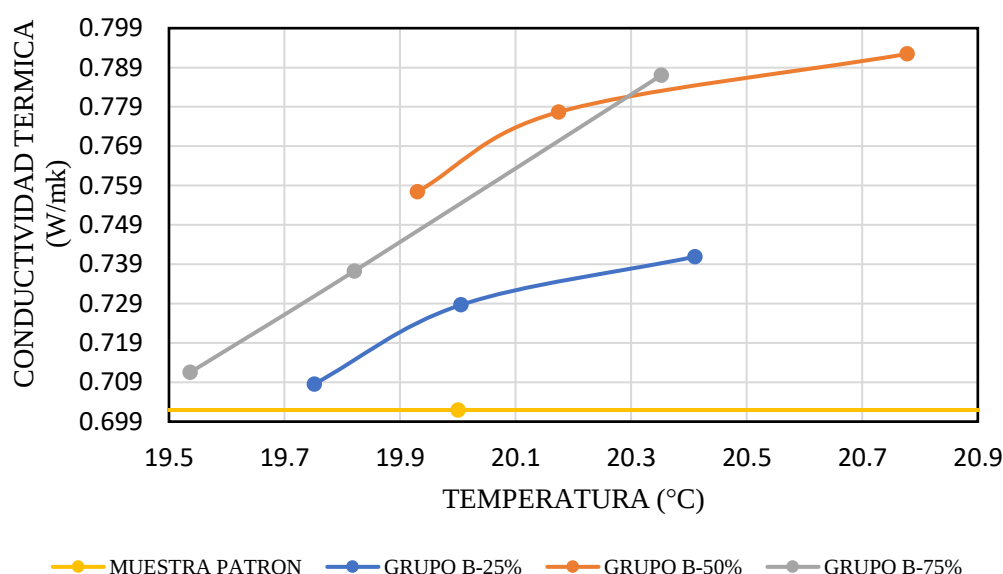
Figura 4. 7.

Conductividad térmica de la muestra GRUPO B-75%.



La Figura 4.8 presenta un resumen de las muestras del GRUPO B, donde se observa que la muestra GRUPO B-50% (compuesta por GRUPO B-100%-50), presenta una máxima conductividad térmica de 0.7924W/m·K y una temperatura de 20.7°C, esta muestra está constituida por un 50% de concentración de nanopartícula de plata, 100% de radiación solar (1 sol) con 50% de agua destilada. Las nanopartículas de plata se prepararon con un pH de 6.0, 0.4 ml de nitrato de plata, 10 ml de ácido cítrico y 10 ml de ácido ascórbico.

Figura 4. 8.
Conductividad térmica de la muestra GRUPO B.

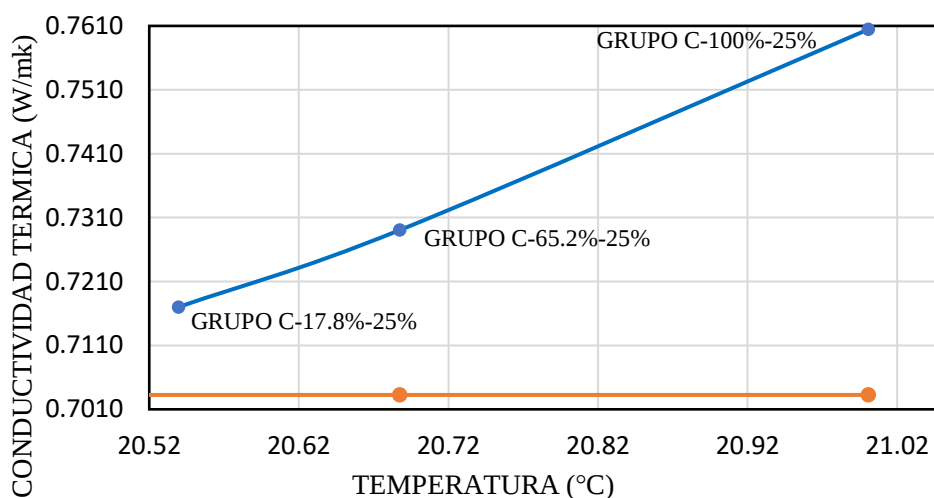


C. Conductividad térmica del GRUPO C

La figura 4.9 muestra los resultados de la conductividad térmica de las muestras del GRUPO C-25% compuesta por GRUPO C-17.8%-25%, GRUPO C-65.2%-25% y GRUPO C-100%-25%. La muestra GRUPO C-100%-25% presenta la máxima conductividad térmica, de 0.7604 W/m·K, a una temperatura de 21 °C. Esta muestra está compuesta por un 25% de nanopartículas de plata, un 100% de radiación solar y un 75% de agua destilada.

Figura 4. 9.

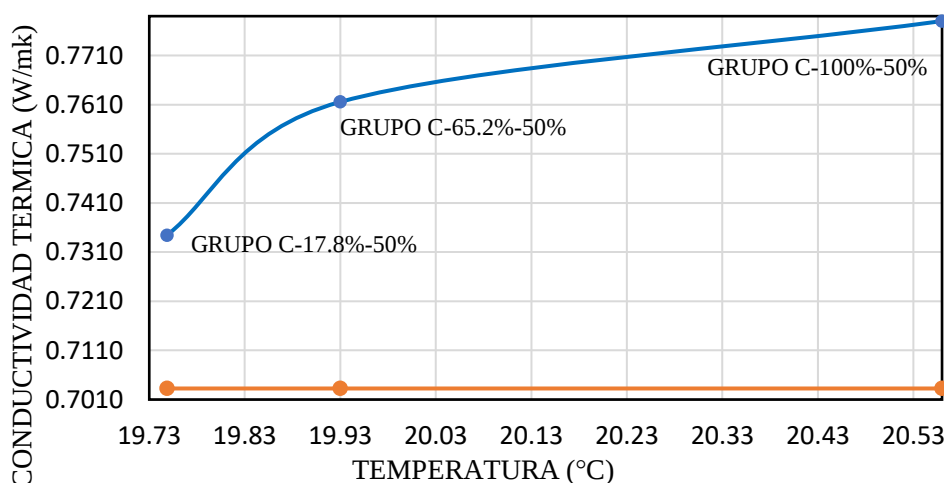
Conductividad térmica de la muestra GRUPO C-25%



La figura 4.10. muestra los resultados de la conductividad térmica del GRUPO C-50%, compuesta por: GRUPO C-17.8%-50%, GRUPO C-65.2%-50% y GRUPO C-100%-50%. La muestra GRUPO C-100%-50% presenta una máxima conductividad térmica de 0.7779W/m·K a una temperatura 20.55°C.

Figura 4. 10.

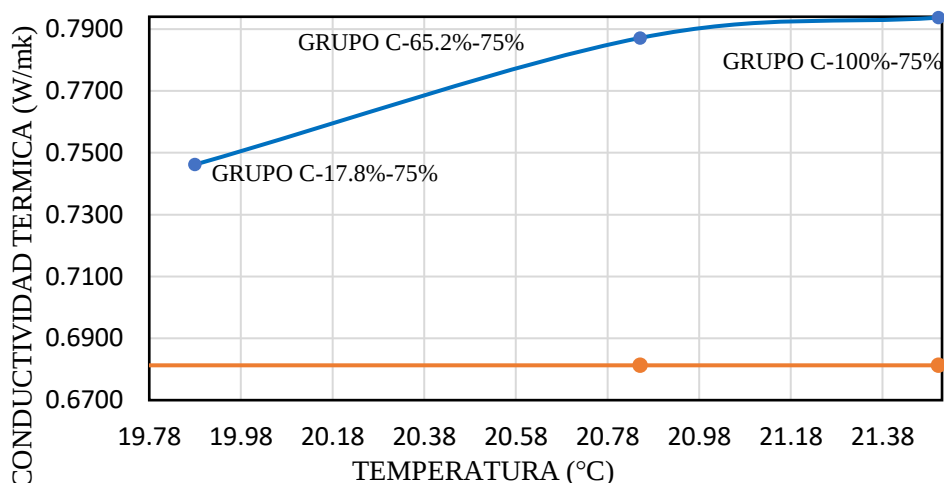
Conductividad térmica de la muestra GRUPO C-50%.



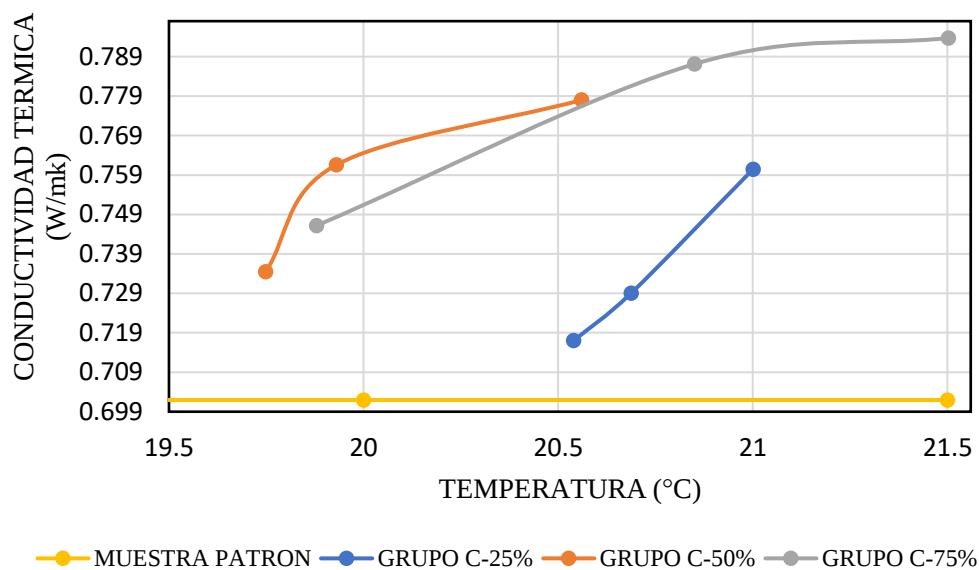
La figura 4.11 muestra los resultados de la conductividad térmica de las muestras del GRUPO C-75%. Se observa que la conductividad térmica es directamente proporcional a la temperatura, alcanzando un máximo de $0.7937 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a una temperatura de 21.50°C . El GRUPO C-100%-75% presenta los mejores resultados de todas las combinaciones.

Figura 4. 11.

Conductividad térmica de la muestra GRUPO C-75%.



La Figura 4.12 presenta un resumen de las muestras del GRUPO C, donde se observa que la muestra GRUPO C-75% (compuesta por GRUPO C-100%-75%), presenta una máxima conductividad térmica de $0.7937 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a una temperatura de 21.5°C , esta muestra está constituida por un 75% de concentración de nanopartícula de plata, 100% de radiación solar (1 sol) con 25% de agua destilada. Las nanopartículas de plata se prepararon con un pH de 10.3, 0.2 ml de nitrato de plata, 10 ml de ácido cítrico y 10 ml de ácido ascórbico.

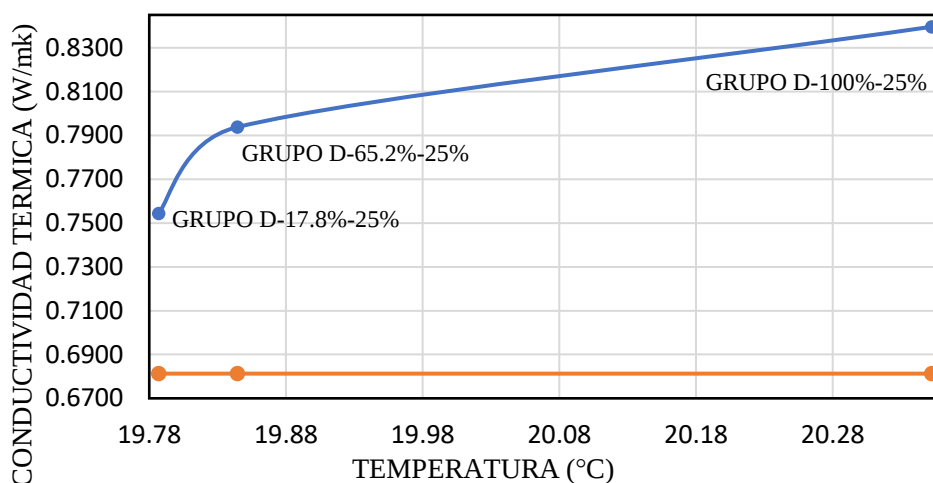
Figura 4. 12.
Conductividad térmica de la muestra GRUPO C


D. Conductividad térmica del GRUPO D

La figura 4.13 muestra los resultados de la conductividad térmica de las muestras del GRUPO D-25%. Se observa que la conductividad térmica y la temperatura aumentan de forma progresiva, alcanzando un máximo de 0.8395 W/m·K a una temperatura de 20.35 °C, con respecto a las demás muestras. Estos resultados corresponden a la muestra GRUPO D-100%-25%, que contiene un 25% de nanopartículas de plata, un 100% de radiación solar y un 75% de agua destilada.

Figura 4. 13.

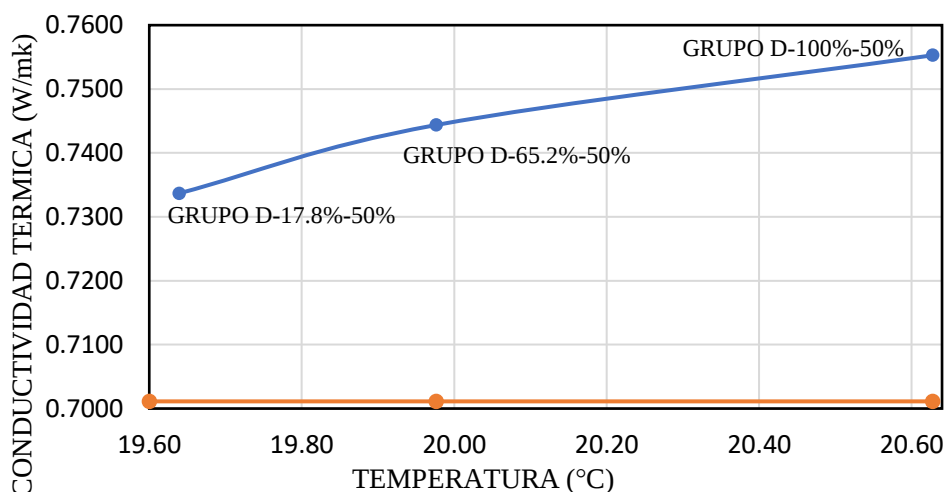
Conductividad térmica de la muestra GRUPO D-25%.



La figura 4.14 muestra los resultados de la conductividad térmica de las muestras del GRUPO D-50%. La muestra GRUPO D-100%-50%, que contiene un 50% de nanopartículas de plata, un 100% de radiación solar y un 50% de agua destilada, presenta una conductividad térmica de 0.7552 W/m·K a una temperatura de 20.62 °C.

Figura 4. 14.

Conductividad térmica de la muestra GRUPO D-50%.

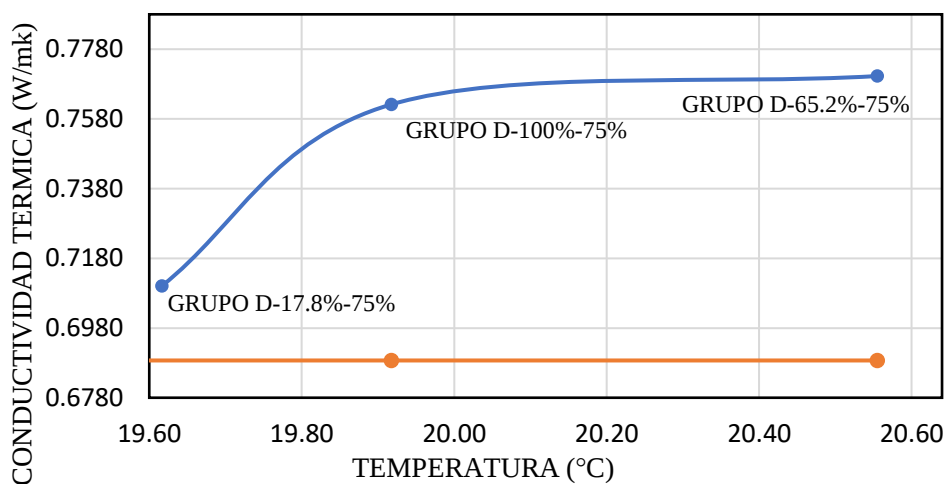


La figura 4.15 muestra los resultados de la conductividad térmica de las muestras del GRUPO D-75%. La muestra GRUPO D-75%, que contiene un 75% de nanopartículas de

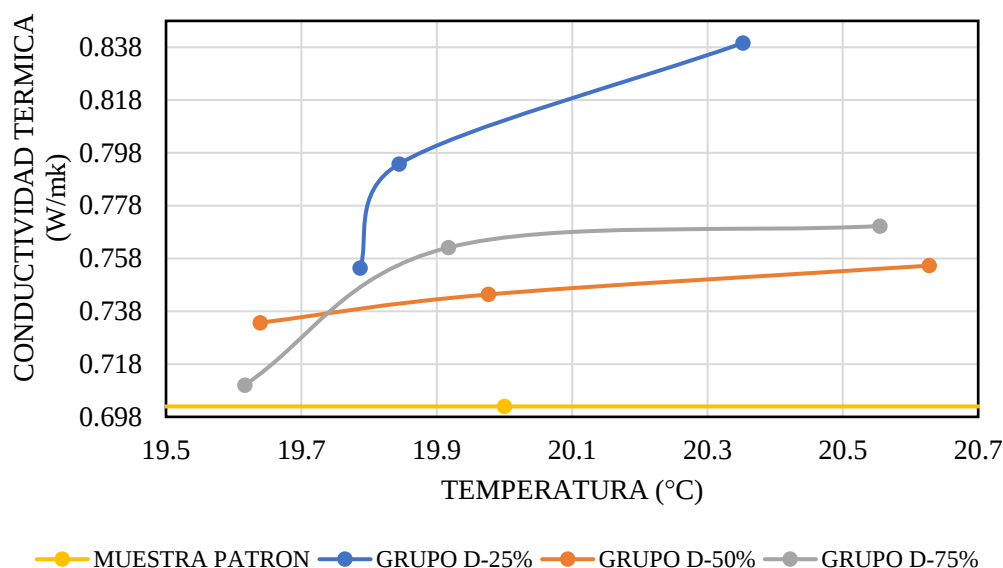
plata, un 100% de radiación solar y un 25% de agua destilada, presenta un máximo de conductividad térmica de 0.7702 W/m·K a una temperatura de 20.55 °C.

Figura 4. 15.

Conductividad térmica de la muestra GRUPO D-75%



La Figura 4.16 presenta un resumen de las muestras del GRUPO D, donde se observa que la muestra GRUPO D-25% (compuesta por GRUPO D-100%-25%), presenta una máxima conductividad térmica de 0.8395W/m·K a una temperatura de 20.35°C, esta muestra está constituida por un 25% de concentración de nanopartícula de plata, 100% de radiación solar (1 sol) con 75% de agua destilada. Las nanopartículas de plata se prepararon con un pH de 6.0, 0.8 ml de nitrato de plata, 10 ml de ácido cítrico y 10 ml de ácido ascórbico.

Figura 4. 16.
Conductividad térmica de la muestra GRUPO D


La tabla 4.1 muestra los mejores resultados de todos los grupos. Cada grupo presenta diferentes concentraciones de nanopartículas de plata, pH y nitrato de plata, pero todos tienen una radiación solar del 100%.

Al analizar los resultados con respecto a la conductividad térmica, se observa que la muestra GRUPO D-100%-25% presenta la máxima conductividad térmica de 0.839 W/m·K a una temperatura de 20.35 °C. Esto es significativamente mayor que la conductividad térmica de las otras muestras, pero el tamaño de las partículas de Plata es superior a la escala nanométrica lo cual no corresponde a la escala de 1-100nm, según el trabajo realizado por (Patiño 2023), donde muestra que al adicionar mayor cantidad de nitrato de plata excede el límite de tamaño de las nanopartículas.

Es por lo que, la combinación adecuada para obtener la máxima conductividad térmica es el GRUPO C-100%-75%, ya que este presenta un tamaño de nanopartícula, con un área poblacional de 100% de 94nm, la cual presenta los siguientes parámetros de síntesis:

- Nanopartículas sintetizadas con un pH de 10.3 y 0.2 ml de nitrato de plata.
- La cantidad de AgNPs fue del 75% mezclada con el 25% de agua destilada.
- Teniendo como conductividad térmica de 0.793713 W/m·K a una radiación solar del 100% o de 1 sol.

Tabla 4. 1.

Mejores muestras de GRUPOS A, B, C y D

MUESTRA	NANOPARTICULA DE PLATA		Conductividad térmica (W/m ² K)	Temperatura (°C)
	pH	Nitrato de plata (ml)		
GRUPO A-100%-50%	10.3	0.4	0.7538273	21.045
GRUPO B-100%-50%	6	0.4	0.792426	20.77
GRUPO C-100%-75%	10.3	0.2	0.793713	21.5
GRUPO D-100%-25%	6	0.8	0.839591	20.35

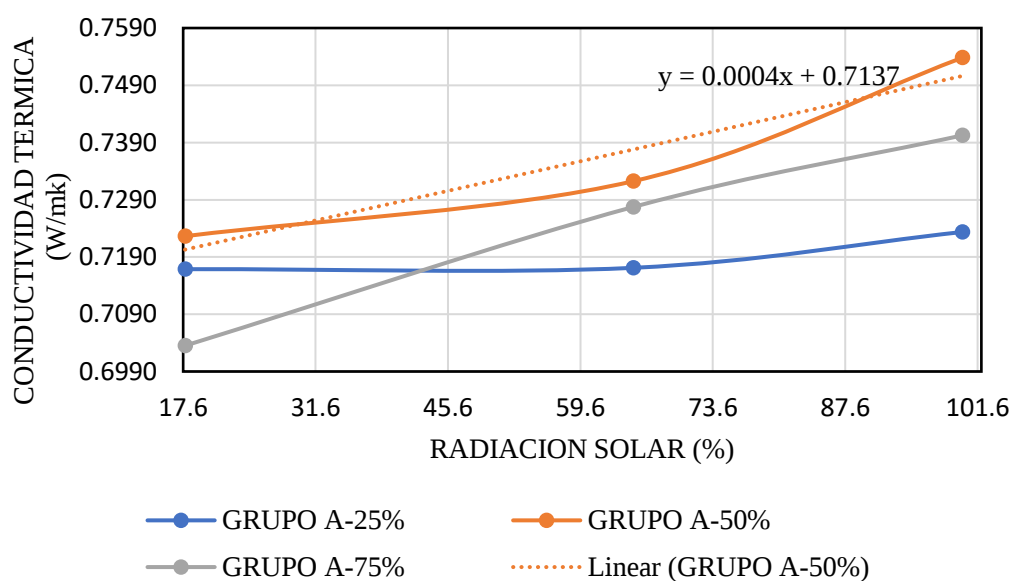
4.2. Resultados de la Evaluación de la conductividad térmica versus radiación solar.

A. Conductividad térmica del GRUPO A

La figura 4.17 muestra la relación entre la radiación solar y la conductividad térmica. Se observa que la conductividad térmica aumenta a medida que la radiación solar aumenta. La muestra que presenta la mayor conductividad térmica es la GRUPO A-50%, específicamente la muestra GRUPO A-100%-25%.

Figura 4. 17.

Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO A

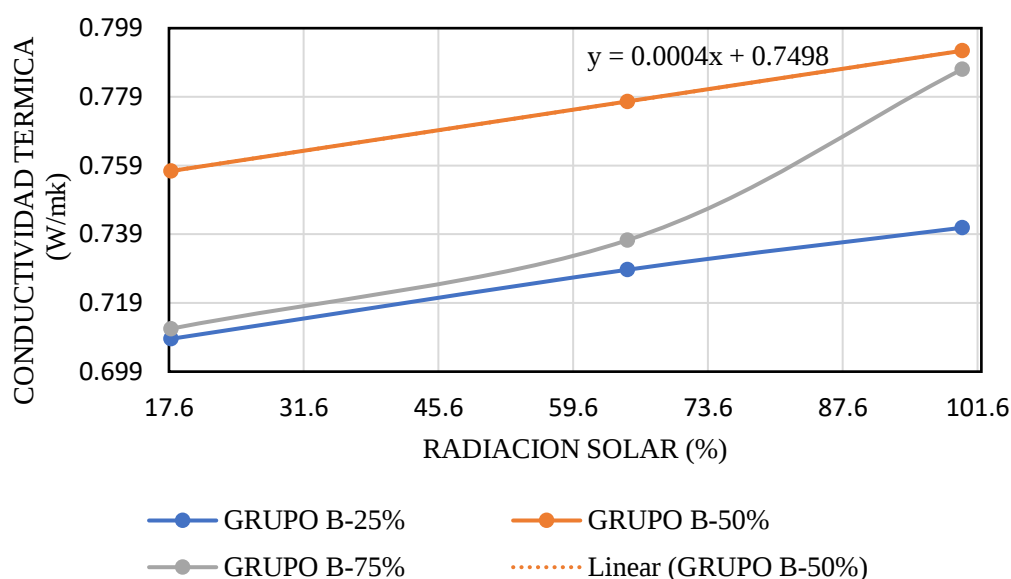


B. Conductividad térmica del GRUPO B

La figura 4.18 muestra la relación entre la radiación solar y la conductividad térmica conformado por el GRUPO B. Se observa que la conductividad térmica aumenta a medida que la radiación solar aumenta. La muestra que presenta la mayor conductividad térmica es la GRUPO B-100%-50%.

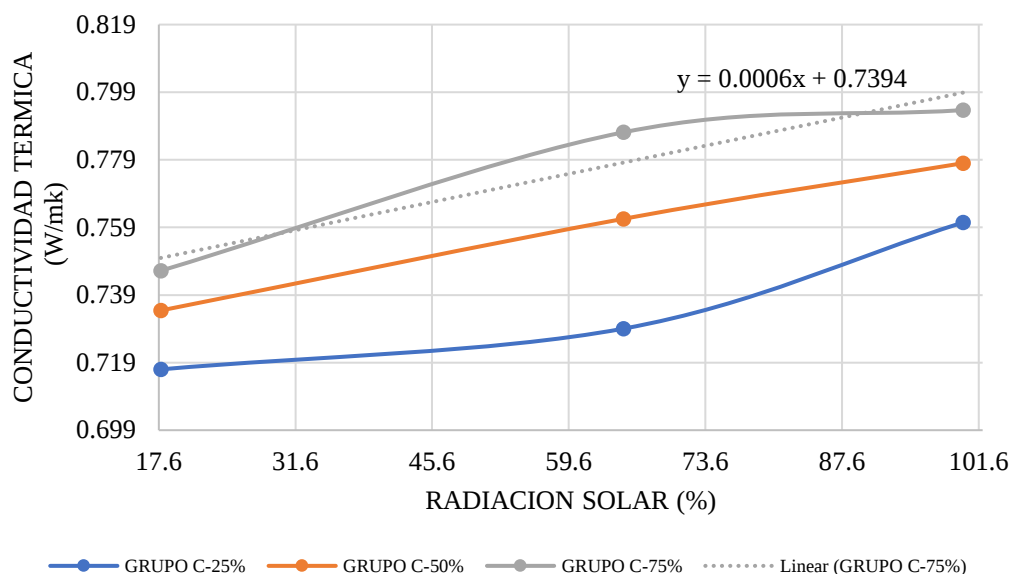
Figura 4. 18.

Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO B



C. Conductividad térmica del GRUPO C

La figura 4.19 muestra la relación entre la radiación solar y la conductividad térmica conformado por el GRUPO C. Se observa que la conductividad térmica aumenta a medida que la radiación solar aumenta. La muestra que presenta la mayor conductividad térmica es la GRUPO C-100%-75%.

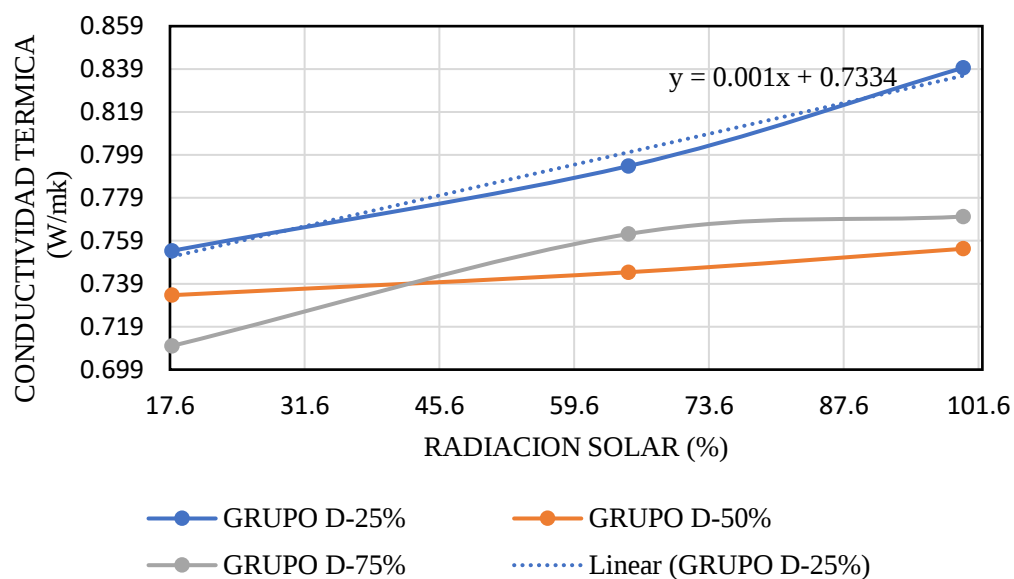
Figura 4. 19.
Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO C


D. Conductividad térmica del GRUPO D

La figura 4.20 muestra la relación entre la radiación solar y la conductividad térmica conformado por el GRUPO D. Se observa que la conductividad térmica aumenta a medida que la radiación solar aumenta. La muestra que presenta la mayor conductividad térmica es la GRUPO D-100%-25%.

Figura 4. 20.

Conductividad térmica Vs radiación solar del GRUPO D



En conclusión, podemos decir que la conductividad térmica aumenta mientras el porcentaje de radiación solar aumenta. Estos datos se pueden corroborar con la tabla 4.1.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Se logró sintetizar nanopartícula de plata, mediante método químico, este se utilizó según la aplicación que se pretendió dar en este trabajo, en colectores solares. Para ello se realizó un diseño de mezclas, tomando referencias de investigaciones previas, para poder determinar que combinación es adecuada, se varió; el pH y la concentración de nitrato de plata, estas combinaciones se muestran en la tabla 3.2.

SEGUNDO: Se logró obtener un coloide, con el objeto de evaluar el incremento de la conductividad térmica de un fluido base (agua destilada) del 25%, 50% y 75%.

TERCERO: La evaluación de la conductividad térmica demostró que la muestra GRUPO C-100%-75%, presenta mejores resultados a comparación de los demás grupos. Este presenta nanopartículas compuestas por pH de 10.3 con 0.2 ml de nitrato de plata, de este 75% para agregarle 25% de agua destilada para poder evaluar la conductividad térmica con un porcentaje de radiación solar del 100%. Se obtuvo una conductividad térmica de $0.793713 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ a una temperatura de 21.5°C .

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más evaluaciones, como la variación del tiempo de permanencia en el microcolector, para mejorar los resultados.
- Se recomienda aplicar este trabajo a nivel industrial para su implementación en colectores solares.
- Se recomienda usar reactivos de alta pureza para la síntesis de nanopartículas de plata.



REFERENCIA

- Abdin, Z., M. A. Alim, R. Saidur, M. R. Islam, W. Rashmi, S. Mekhilef, and A. Wadi. 2013. "Solar Energy Harvesting with the Application of Nanotechnology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26:837–52. doi: 10.1016/J.RSER.2013.06.023.
- Abu-Hamdeh, N. H., A. I. Khdair, and R. C. Reeder. 2001. "Comparison of Two Methods Used to Evaluate Thermal Conductivity for Some Soils." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 44(5):1073–78. doi: 10.1016/S0017-9310(00)00144-7.
- Agarwal, Ravi, Kamallesh Verma, Narendra Kumar Agrawal, and Ramvir Singh. 2017. "Sensitivity of Thermal Conductivity for Al₂O₃ Nanofluids." *Experimental Thermal and Fluid Science* 80:19–26. doi: 10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2016.08.007.
- Albizzati, Enrique. 2016. "Evaluación De La Sustentabilidad De Instalaciones Solares Con Colectores De Placa Plana Y Tubos Evacuados." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 32(3):315–22. doi: 10.20937/RICA.2016.32.03.06.
- Ali, Attarad, Hira Zafar, Muhammad Zia, Ihsan ul Haq, Abdul Rehman Phull, Joham Sarfraz Ali, and Altaf Hussain. 2016. "Synthesis, Characterization, Applications, and Challenges of Iron Oxide Nanoparticles." *Nanotechnology, Science and Applications* 9:49–67. doi: 10.2147/NSA.S99986.
- Alù, Andrea, and Nader Engheta. 2008. "Multifrequency Optical Invisibility Cloak with Layered Plasmonic Shells." *Physical Review Letters* 100(11):113901. doi: 10.1103/PHYSREVLETT.100.113901/FIGURES/5/MEDIUM.
- Amjad, Muhammad, Haichuan Jin, Xiaoze Du, and Dongsheng Wen. 2018. "Experimental Photothermal Performance of Nanofluids under Concentrated Solar Flux." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 182:255–62. doi: 10.1016/J.SOLMAT.2018.03.044.
- Ananthapadmanabhan, P. V., K. P. Sreekumar, N. Venkatramani, P. K. Sinha, and Patrick R. Taylor. 1996. "Characterization of Plasma-Synthesized Alumina." *Journal of Alloys and Compounds* 244(1–2):70–74. doi: 10.1016/S0925-8388(96)02440-1.

- Astm D. 2021. "Standard Test Method for Measurement of Thermal Effusivity of Fabrics Using a Modified Transient Plane Source (MTPS) Instrument 1." doi: 10.1520/D7984-21.
- Atwater, Harry A., and Albert Polman. 2010. "Plasmonics for Improved Photovoltaic Devices." *Nature Materials* 2010 9:3 9(3):205–13. doi: 10.1038/nmat2629.
- Azizian, Reza, Elham Doroodchi, and Behdad Moghtaderi. 2016. "Influence of Controlled Aggregation on Thermal Conductivity of Nanofluids." *Journal of Heat Transfer* 138(2). doi: 10.1115/1.4031730/384380.
- Bandarra Filho, Enio Pedone, Oscar Saúl Hernandez Mendoza, Carolina Lau Lins Beicker, Adonis Menezes, and Dongsheng Wen. 2014. "Experimental Investigation of a Silver Nanoparticle-Based Direct Absorption Solar Thermal System." *Energy Conversion and Management* 84:261–67. doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2014.04.009.
- Bao, Shu Juan, Chang Ming Li, Jian Feng Zang, Xiao Qiang Cui, Yan Qiao, and Jun Guo. 2008. "New Nanostructured TiO₂ for Direct Electrochemistry and Glucose Sensor Applications." *Advanced Functional Materials* 18(4):591–99. doi: 10.1002/ADFM.200700728.
- Bashirnezhad, Kazem, Mohammad Mehdi Rashidi, Zhigang Yang, Shahab Bazri, and Wei Mon Yan. 2015. "A Comprehensive Review of Last Experimental Studies on Thermal Conductivity of Nanofluids." *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 122(2):863–84. doi: 10.1007/S10973-015-4820-9/METRICS.
- Bastús, Neus G., Florind Merkoçi, Jordi Piella, and Victor Puentes. 2014. "Synthesis of Highly Monodisperse Citrate-Stabilized Silver Nanoparticles of up to 200 Nm: Kinetic Control and Catalytic Properties." *Chemistry of Materials* 26(9):2836–46. doi: 10.1021/CM500316K/SUPPL_FILE/CM500316K_SI_001.PDF.
- Beck, Michael P., Tongfan Sun, and Aryn S. Teja. 2007. "The Thermal Conductivity of Alumina Nanoparticles Dispersed in Ethylene Glycol." *Fluid Phase Equilibria* 260(2):275–78. doi: 10.1016/J.FLUID.2007.07.034.
- Bég, O. Anwar, M. M. Rashidi, M. Akbari, and A. Hosseini. 2014. "COMPARATIVE NUMERICAL STUDY OF SINGLE-PHASE AND TWO-PHASE MODELS FOR BIO-

NANOFLUID

TRANSPORT

PHENOMENA.”

<https://doi.org/10.1142/S0219519414500110> 14(1). doi: 10.1142/S0219519414500110.

Benenson, W., JW Harris, H. Stöcker, and H. Lutz. 2006. “Handbook of Physics.”

Bennici, Simona, Antonella Gervasini, and Vittorio Ragaini. 2003. “Preparation of Highly Dispersed CuO Catalysts on Oxide Supports for De-NO_x Reactions.” *Ultrasonics Sonochemistry* 10(2):61–64. doi: 10.1016/S1350-4177(02)00150-5.

Beyene, Hayelom Dargo, Adhena Ayaliew Werkneh, Hailemariam Kassa Bezabh, and Tekilt Gebregergs Ambaye. 2017. “Synthesis Paradigm and Applications of Silver Nanoparticles (AgNPs), a Review.” *Sustainable Materials and Technologies* 13:18–23. doi: 10.1016/J.SUSMAT.2017.08.001.

Bhaduri, S., S. B. Bhaduri, and E. Zhou. 1998. “Auto Ignition Synthesis and Consolidation of Al₂O₃–ZrO₂ Nano/Nano Composite Powders.” *Journal of Materials Research* 13(1):156–65. doi: 10.1557/JMR.1998.0021.

Bhaduri, S., E. Zhou, and S. B. Bhaduri. 1996. “Auto Ignition Processing of Nanocrystalline α -Al₂O₃.” *Nanostructured Materials* 7(5):487–96. doi: 10.1016/0965-9773(96)00030-X.

Bhushan, Bharat. 2017. “Introduction to Nanotechnology.” *Springer Handbooks* 1–19. doi: 10.1007/978-3-662-54357-3_1/COVER.

Bohren, Craig F., and Donald R. Huffman. 2007. “Frontmatter.” *Absorption and Scattering of Light by Small Particles* i–xiv. doi: 10.1002/9783527618156.FMATTER.

Cámara de comercio de Lima. 2022. “Perú Cuenta Con Amplio Potencial Para Desarrollo de Energías Renovables - La Cámara.” Retrieved August 13, 2023 (<https://lacamara.pe/peru-cuenta-con-amplio-potencial-para-desarrollo-de-energias-renovables/>).

Campos Leyton, Carlos Andrés. 2018. “Efecto de Distintos Nanofluidos En La Absorción de Radiación Solar.”

Carnes, Corrie L., and Kenneth J. Klabunde. 2003. “The Catalytic Methanol Synthesis over Nanoparticle Metal Oxide Catalysts.” *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 194(1–2):227–36. doi: 10.1016/S1381-1169(02)00525-3.

- Carrión-Chamba, Willian, Wilson Murillo-Torres, and Andrés Montero-Izquierdo. 2022. "A Review of the State-of-the-Art of Solar Thermal Collectors Applied in the Industry." *Ingenius* 2022(27):59–73. doi: 10.17163/INGS.N27.2022.06.
- Cengel, YA, MA Boles, and M. Kanoğlu. 2011. "Thermodynamics: An Engineering Approach."
- Chamsa-ard, Wisut, Sridevi Brundavanam, Chun Che Fung, Derek Fawcett, and Gerrard Poinern. 2017. "Nanofluid Types, Their Synthesis, Properties and Incorporation in Direct Solar Thermal Collectors: A Review." *Nanomaterials* 2017, Vol. 7, Page 131 7(6):131. doi: 10.3390/NANO7060131.
- Chang, Darrick E., Anders S. Sørensen, Eugene A. Demler, and Mikhail D. Lukin. 2007. "A Single-Photon Transistor Using Nanoscale Surface Plasmons." *Nature Physics* 2007 3:11 3(11):807–12. doi: 10.1038/nphys708.
- Chen, Leilei, Chao Xu, Jian Liu, Xiaoming Fang, and Zhengguo Zhang. 2017. "Optical Absorption Property and Photo-Thermal Conversion Performance of Graphene Oxide/Water Nanofluids with Excellent Dispersion Stability." *Solar Energy* 148:17–24. doi: 10.1016/J.SOLENER.2017.03.073.
- Chen, Lifei, and Huaqing Xie. 2009. "Silicon Oil Based Multiwalled Carbon Nanotubes Nanofluid with Optimized Thermal Conductivity Enhancement." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 352(1–3):136–40. doi: 10.1016/J.COLSURFA.2009.10.015.
- Chen, Meijie, Yurong He, and Jiaqi Zhu. 2017. "Preparation of Au–Ag Bimetallic Nanoparticles for Enhanced Solar Photothermal Conversion." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 114:1098–1104. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2017.07.005.
- Chen, Meijie, Yurong He, Jiaqi Zhu, Yong Shuai, Baocheng Jiang, and Yimin Huang. 2015. "An Experimental Investigation on Sunlight Absorption Characteristics of Silver Nanofluids." *Solar Energy* 115:85–94. doi: 10.1016/J.SOLENER.2015.01.031.
- Chen, Meijie, Yurong He, Jiaqi Zhu, and Dongsheng Wen. 2016. "Investigating the Collector Efficiency of Silver Nanofluids Based Direct Absorption Solar Collectors." *Applied Energy* 181:65–74. doi: 10.1016/J.APENERGY.2016.08.054.

- Colangelo, Gianpiero, Ernani Favale, Arturo De Risi, and Domenico Laforgia. 2013. "A New Solution for Reduced Sedimentation Flat Panel Solar Thermal Collector Using Nanofluids." *Applied Energy* 111:80–93. doi: 10.1016/J.APENERGY.2013.04.069.
- De Cuyper, M., and M. Joniau. 1988. "Magnetoliposomes - Formation and Structural Characterization." *European Biophysics Journal* 15(5):311–19. doi: 10.1007/BF00256482.
- Demirbas, Ayhan. 2005. "Potential Applications of Renewable Energy Sources, Biomass Combustion Problems in Boiler Power Systems and Combustion Related Environmental Issues." *Progress in Energy and Combustion Science* 31(2):171–92. doi: 10.1016/J.PECS.2005.02.002.
- Dey, Debashis, Pankaj Kumar, and Sikata Samantaray. 2017. "A Review of Nanofluid Preparation, Stability, and Thermo-Physical Properties." *Heat Transfer—Asian Research* 46(8):1413–42. doi: 10.1002/HTJ.21282.
- Dincer, Ibrahim. 2000. "Renewable Energy and Sustainable Development: A Crucial Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4(2):157–75. doi: 10.1016/S1364-0321(99)00011-8.
- Ding, Yulong, Hajar Alias, Dongsheng Wen, and Richard A. Williams. 2006. "Heat Transfer of Aqueous Suspensions of Carbon Nanotubes (CNT Nanofluids)." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49(1–2):240–50. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2005.07.009.
- Duan, Huiling, Liangliang Tang, Yuan Zheng, and Chang Xu. 2018. "Effect of Plasmonic Nanoshell-Based Nanofluid on Efficiency of Direct Solar Thermal Collector." *Applied Thermal Engineering* 133:188–93. doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.01.042.
- Duangthongsuk, Weerapun, and Somchai Wongwises. 2010. "An Experimental Study on the Heat Transfer Performance and Pressure Drop of TiO₂-Water Nanofluids Flowing under a Turbulent Flow Regime." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53(1–3):334–44. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2009.09.024.
- Eastman, JA, SUS Choi, S. Li, ... W. Yu-Applied physics, and undefined 2001. n.d. "Anomalous Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles." *Pubs.Aip.Org*.

- Evans, Annette, Vladimir Strezov, and Tim J. Evans. 2009. "Assessment of Sustainability Indicators for Renewable Energy Technologies." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(5):1082–88. doi: 10.1016/J.RSER.2008.03.008.
- Fang, Nicholas, Hyesog Lee, Cheng Sun, and Xiang Zhang. 2005. "Sub-Diffraction-Limited Optical Imaging with a Silver Superlens." *Science* 308(5721):534–37. doi: 10.1126/SCIENCE.1108759/SUPPL_FILE/FANG.SOM.PDF.
- Farhan Hasany, Syed, Iqbal Ahmed, Rajan Jose, S. F. Hasany, I Ahmed, and A. Rehman. 2011. "Systematic Review of the Preparation Techniques of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles." *Researchgate.NetSF Hasany, I Ahmed, J Rajan, A RehmanNanosci. Nanotechnol, 2012•researchgate.Net* 2012(6):148–58. doi: 10.5923/j.nn.20120206.01.
- Feser, Joseph P., Emory M. Chan, Arun Majumdar, Rachel A. Segalman, and Jeffrey J. Urban. 2013. "Ultralow Thermal Conductivity in Polycrystalline CdSe Thin Films with Controlled Grain Size." *Nano Letters* 13(5):2122–27. doi: 10.1021/NL400531F.
- Fortin, Jean Paul, Claire Wilhelm, Jacques Servais, Christine Ménager, Jean Claude Bacri, and Florence Gazeau. 2007. "Size-Sorted Anionic Iron Oxide Nanomagnets as Colloidal Mediators for Magnetic Hyperthermia." *Journal of the American Chemical Society* 129(9):2628–35. doi: 10.1021/JA067457E.
- Freidoonimehr, Navid, Mohammad Mehdi Rashidi, and Shohel Mahmud. 2015. "Unsteady MHD Free Convective Flow Past a Permeable Stretching Vertical Surface in a Nano-Fluid." *International Journal of Thermal Sciences* 87:136–45. doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2014.08.009.
- Frietsch, M., F. Zudock, J. Goschnick, and M. Bruns. 2000. "CuO Catalytic Membrane as Selectivity Trimmer for Metal Oxide Gas Sensors." *Sensors and Actuators B: Chemical* 65(1–3):379–81. doi: 10.1016/S0925-4005(99)00353-6.
- Garoosi, Faroogh, Leila Jahanshaloo, Mohammad Mehdi Rashidi, Arash Badakhsh, and Mohammed E. Ali. 2015. "Numerical Simulation of Natural Convection of the Nanofluid in Heat Exchangers Using a Buongiorno Model." *Applied Mathematics and Computation* 254:183–203. doi: 10.1016/J.AMC.2014.12.116.

- Ge, Zhenbin, David G. Cahill, and Paul V. Braun. 2006. "Thermal Conductance of Hydrophilic and Hydrophobic Interfaces." *Physical Review Letters* 96(18):186101. doi: 10.1103/PHYSREVLETT.96.186101/FIGURES/3/MEDIUM.
- Gorji, Tahereh B., and A. A. Ranjbar. 2017. "A Review on Optical Properties and Application of Nanofluids in Direct Absorption Solar Collectors (DASCs)." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 72:10–32. doi: 10.1016/J.RSER.2017.01.015.
- Guinot, Autora-Ivana, and Panadero Tutora -Leonor Hernández López. 2020. "Mejora de Colectores Solares de Absorción Directa Mediante Modelado de Nanofluidos."
- Gupta, AK, M. Gupta- biomaterials, and undefined 2005. 2005. "Synthesis and Surface Engineering of Iron Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications." *Elsevier*.
- Gupta, Munish, Vinay Singh, Rajesh Kumar, and Z. Said. 2017. "A Review on Thermophysical Properties of Nanofluids and Heat Transfer Applications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74:638–70. doi: 10.1016/J.RSER.2017.02.073.
- Haes, Amanda J., and Richard P. Van Duyne. 2004. "A Unified View of Propagating and Localized Surface Plasmon Resonance Biosensors." *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 379(7–8):920–30. doi: 10.1007/S00216-004-2708-9.
- Han, Dongxiao, Zhaoguo Meng, Daxiong Wu, Canying Zhang, and Haitao Zhu. 2011. "Thermal Properties of Carbon Black Aqueous Nanofluids for Solar Absorption." *Nanoscale Research Letters* 6:1–7. doi: 10.1186/1556-276X-6-457.
- Hordy, Nathan, Delphine Rabilloud, Jean Luc Meunier, and Sylvain Coulombe. 2014. "High Temperature and Long-Term Stability of Carbon Nanotube Nanofluids for Direct Absorption Solar Thermal Collectors." *Solar Energy* 105:82–90. doi: 10.1016/J.SOLENER.2014.03.013.
- Huber, Dale L. 2005. "Synthesis, Properties, and Applications of Iron Nanoparticles." *Small* 1(5):482–501. doi: 10.1002/SMLL.200500006.
- Ilyas, Suhaib Umer, Rajashekhar Pendyala, and Narahari Marneni. 2014. "Preparation, Sedimentation, and Agglomeration of Nanofluids." *Chemical Engineering & Technology* 37(12):2011–21. doi: 10.1002/CEAT.201400268.

- IQAir Staff Writers. 2021. "IQAir World Air Quality Report | IQAir." Retrieved August 13, 2023 (https://www.iqair.com/newsroom/WAQR_2021_PR).
- Irwin, Peter, Justin Martin, Ly Huong Nguyen, Yiping He, Andrew Gehring, and Chin Yi Chen. 2010. "Antimicrobial Activity of Spherical Silver Nanoparticles Prepared Using a Biocompatible Macromolecular Capping Agent: Evidence for Induction of a Greatly Prolonged Bacterial Lag Phase." *Journal of Nanobiotechnology* 8(1):1–12. doi: 10.1186/1477-3155-8-34/FIGURES/5.
- Iyahraja, S., and J. Selwin Rajadurai. 2015. "Study of Thermal Conductivity Enhancement of Aqueous Suspensions Containing Silver Nanoparticles." *AIP Advances* 5(5):57103. doi: 10.1063/1.4919808/978479.
- Jama, Mohamoud, Tejvir Singh, Seifelislam Mahmoud Gamaleldin, Muammer Koc, Ayman Samara, Rima J. Isaifan, and Muataz A. Atieh. 2016. "Critical Review on Nanofluids: Preparation, Characterization, and Applications." *Journal of Nanomaterials* 2016. doi: 10.1155/2016/6717624.
- Janbey, A., Ranjan K. Pati, Saad Tahir, and Panchanan Pramanik. 2001. "A New Chemical Route for the Synthesis of Nano-Crystalline α -Al₂O₃ Powder." *Journal of the European Ceramic Society* 21(12):2285–89. doi: 10.1016/S0955-2219(00)00322-8.
- Javadi, F. S., R. Saidur, and M. Kamalisarvestani. 2013. "Investigating Performance Improvement of Solar Collectors by Using Nanofluids." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28:232–45. doi: 10.1016/j.rser.2013.06.053.
- Jiang, X. C., W. M. Chen, C. Y. Chen, S. X. Xiong, and A. B. Yu. 2011. "Role of Temperature in the Growth of Silver Nanoparticles Through a Synergetic Reduction Approach." *Nanoscale Research Letters* 6(1):1–9. doi: 10.1007/S11671-010-9780-1/FIGURES/7.
- Jing, Dengwei, and Dongxing Song. 2017. "Optical Properties of Nanofluids Considering Particle Size Distribution: Experimental and Theoretical Investigations." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78:452–65. doi: 10.1016/J.RSER.2017.04.084.

- Jwo, Ching Song, Tun Ping Teng, and Ho Chang. 2007. "A Simple Model to Estimate Thermal Conductivity of Fluid with Acicular Nanoparticles." *Journal of Alloys and Compounds* 434–435(SPEC. ISS.):569–71. doi: 10.1016/J.JALLCOM.2006.08.229.
- Kalogirou, Soteris A. 2004. "Solar Thermal Collectors and Applications." *Progress in Energy and Combustion Science* 30(3):231–95. doi: 10.1016/J.PECS.2004.02.001.
- Kameya, Yuki, and Katsunori Hanamura. 2011. "Enhancement of Solar Radiation Absorption Using Nanoparticle Suspension." *Solar Energy* 85(2):299–307. doi: 10.1016/J.SOLENER.2010.11.021.
- Kavitha, R., and V. Jayaram. 2006. "Deposition and Characterization of Alumina Films Produced by Combustion Flame Pyrolysis." *Surface and Coatings Technology* 201(6):2491–99. doi: 10.1016/J.SURFCOAT.2006.04.022.
- Kebllinski, Pawel, Jeffrey A. Eastman, and David G. Cahill. 2005. "Nanofluids for Thermal Transport." *Materials Today* 8(6):36–44. doi: 10.1016/S1369-7021(05)70936-6.
- Khodashenas, Bahareh, and Hamid Reza Ghorbani. 2019. "Synthesis of Silver Nanoparticles with Different Shapes." *Arabian Journal of Chemistry* 12(8):1823–38. doi: 10.1016/J.ARABJC.2014.12.014.
- Kole, Madhusree, and T. K. Dey. 2010. "Thermal Conductivity and Viscosity of Al₂O₃ Nanofluid Based on Car Engine Coolant." *Journal of Physics D: Applied Physics* 43(31):315501. doi: 10.1088/0022-3727/43/31/315501.
- Kole, Madhusree, and T. K. Dey. 2011. "Role of Interfacial Layer and Clustering on the Effective Thermal Conductivity of CuO–Gear Oil Nanofluids." *Experimental Thermal and Fluid Science* 35(7):1490–95. doi: 10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2011.06.010.
- Kurihara, LK, GM Chow, PE Schoen-Nanostructured Materials, and undefined 1995. 1995. "Nanocrystalline Metallic Powders and Films Produced by the Polyol Method." *Elsevier*.
- Ladjevardi, S. M., A. Asnaghi, P. S. Izadkhast, and A. H. Kashani. 2013. "Applicability of Graphite Nanofluids in Direct Solar Energy Absorption." *Solar Energy* 94:327–34. doi: 10.1016/J.SOLENER.2013.05.012.

- Lenert, Andrej, and Evelyn N. Wang. 2012. "Optimization of Nanofluid Volumetric Receivers for Solar Thermal Energy Conversion." *Solar Energy* 86(1):253–65. doi: 10.1016/J.SOLENER.2011.09.029.
- Li, X. F., D. S. Zhu, X. J. Wang, N. Wang, J. W. Gao, and H. Li. 2008. "Thermal Conductivity Enhancement Dependent PH and Chemical Surfactant for Cu-H₂O Nanofluids." *Thermochimica Acta* 469(1–2):98–103. doi: 10.1016/J.TCA.2008.01.008.
- Li, Xiaoke, Changjun Zou, Wenjing Chen, and Xinyu Lei. 2016. "Experimental Investigation of β -Cyclodextrin Modified Carbon Nanotubes Nanofluids for Solar Energy Systems: Stability, Optical Properties and Thermal Conductivity." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 157:572–79. doi: 10.1016/J.SOLMAT.2016.07.030.
- Li, Yanjiao, Jing'en Zhou, Simon Tung, Eric Schneider, and Shengqi Xi. 2009. "A Review on Development of Nanofluid Preparation and Characterization." *Powder Technology* 196(2):89–101. doi: 10.1016/J.POWTEC.2009.07.025.
- Liu, Changhui, Long Geng, Tong Xiao, Qingyi Liu, Shuqi Zhang, Hafiz Muhammad Ali, Mohsen Sharifpur, and Jiateng Zhao. 2023. "Recent Advances of Plasmonic Nanofluids in Solar Harvesting and Energy Storage." *Journal of Energy Storage* 72:108329. doi: 10.1016/J.EST.2023.108329.
- Liz-Marzán, Luis M. 2004. "Nanometals: Formation and Color." *Materials Today* 7(2):26–31. doi: 10.1016/S1369-7021(04)00080-X.
- Lomascolo, M., G. Colangelo, ... M. Milanese-.... and Sustainable Energy, and undefined 2015. 2015. "Review of Heat Transfer in Nanofluids: Conductive, Convective and Radiative Experimental Results." *Elsevier*.
- Lu, Lin, Zhen Hua Liu, and Hong Sheng Xiao. 2011. "Thermal Performance of an Open Thermosyphon Using Nanofluids for High-Temperature Evacuated Tubular Solar Collectors: Part 1: Indoor Experiment." *Solar Energy* 85(2):379–87. doi: 10.1016/J.SOLENER.2010.11.008.

- Mahbubul, I. M., R. Saidur, and M. A. Amalina. 2013. "Thermal Conductivity, Viscosity and Density of R141b Refrigerant Based Nanofluid." *Procedia Engineering* 56:310–15. doi: 10.1016/J.PROENG.2013.03.124.
- Mahian, Omid, Ali Kianifar, Soteris A. Kalogirou, Ioan Pop, and Somchai Wongwises. 2013. "A Review of the Applications of Nanofluids in Solar Energy." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 57(2):582–94. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2012.10.037.
- Manimaran, R., K. Palaniradja, N. Alagumurthi, S. Sendhilnathan, and J. Hussain. 2014. "Preparation and Characterization of Copper Oxide Nanofluid for Heat Transfer Applications." *Applied Nanoscience (Switzerland)* 4(2):163–67. doi: 10.1007/S13204-012-0184-7/FIGURES/5.
- Materials Technology Institute. 2012. "Fabricante de Fluidos de Transferencia de Calor Térmico." Retrieved August 15, 2023 (<https://www.paratherm.com/>).
- McGrail, B. P., P. K. Thallapally, J. Blanchard, S. K. Nune, J. J. Jenks, and L. X. Dang. 1995. "Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles." *Nano Energy* 2(5):845–55. doi: 10.1016/J.NANOEN.2013.02.007.
- Merello Portocarrero, Gonzalo. 2021. "Diseño, Implementación y Calibración de Un Módulo de Medición de Conductividad Térmica de Líquidos Por El Método Transitorio Del Hilo Caliente." *Universidad Católica de Santa María*.
- Mesgari, Sara, Robert A. Taylor, Natasha E. Hjerrild, Felipe Crisostomo, Qiyuan Li, and Jason Scott. 2016. "An Investigation of Thermal Stability of Carbon Nanofluids for Solar Thermal Applications." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 157:652–59. doi: 10.1016/J.SOLMAT.2016.07.032.
- Minardi, John E., and Henry N. Chuang. 1975. "Performance of a 'Black' Liquid Flat-Plate Solar Collector." *Solar Energy* 17(3):179–83. doi: 10.1016/0038-092X(75)90057-2.
- Mintsa, Honorine Angue, Gilles Roy, Cong Tam Nguyen, and Dominique Doucet. 2009. "New Temperature Dependent Thermal Conductivity Data for Water-Based Nanofluids." *International Journal of Thermal Sciences* 48(2):363–71. doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2008.03.009.

- Mirjalili, F., M. Hasmaliza, and L. Chuah Abdullah. 2010. "Size-Controlled Synthesis of Nano α -Alumina Particles through the Sol–Gel Method." *Ceramics International* 36(4):1253–57. doi: 10.1016/J.CERAMINT.2010.01.009.
- Mousavi, Seyed Rasoul, Sara Estaji, Hediye Kiaei, Mohammad Mansourian-Tabaei, Sasan Nouranian, Seyed Hassan Jafari, Holger Ruckdäschel, Mohammad Arjmand, and Hossein Ali Khonakdar. 2022. "A Review of Electrical and Thermal Conductivities of Epoxy Resin Systems Reinforced with Carbon Nanotubes and Graphene-Based Nanoparticles." *Polymer Testing* 112:107645. doi: 10.1016/J.POLYMERTESTING.2022.107645.
- Muhammad, Mahmud Jamil, Isa Adamu Muhammad, Nor Azwadi Che Sidik, and Muhammad Noor Afiq Witri Muhammad Yazid. 2016. "Thermal Performance Enhancement of Flat-Plate and Evacuated Tube Solar Collectors Using Nanofluid: A Review." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 76:6–15. doi: 10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2016.05.009.
- Murshed, S. M. S., K. C. Leong, and C. Yang. 2008. "Investigations of Thermal Conductivity and Viscosity of Nanofluids." *International Journal of Thermal Sciences* 47(5):560–68. doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2007.05.004.
- Nakata, Kazuya, and Akira Fujishima. 2012. "TiO₂ Photocatalysis: Design and Applications." *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 13(3):169–89. doi: 10.1016/J.JPHOTOCHEMREV.2012.06.001.
- Nguyen, C. T., F. Desgranges, G. Roy, N. Galanis, T. Maré, S. Boucher, and H. Angue Mintsa. 2007. "Temperature and Particle-Size Dependent Viscosity Data for Water-Based Nanofluids – Hysteresis Phenomenon." *International Journal of Heat and Fluid Flow* 28(6):1492–1506. doi: 10.1016/J.IJHEATFLUIDFLOW.2007.02.004.
- Nieto, María Isabel, C. Tallón, and Rodrigo Moreno. 2006. "Synthesis of Gamma-Alumina Nanoparticles by Freeze Drying." *Advances in Science and Technology* 45:223–30. doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AST.45.223.
- Nishimura, Kazuhiro, Haidong Wang, Takanobu Fukunaga, Kosaku Kurata, and Hiroshi Takamatsu. 2016. "Measurement of In-Plane Thermal and Electrical Conductivities of Thin Film Using a

- Micro-Beam Sensor: A Feasibility Study Using Gold Film.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 95:727–34. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2015.12.047.
- Nnanna, A. G. Agwu. 2007. “Experimental Model of Temperature-Driven Nanofluid.” *Journal of Heat Transfer* 129(6):697–704. doi: 10.1115/1.2717239.
- Ochiai, Tsuyoshi, and Akira Fujishima. 2012. “Photoelectrochemical Properties of TiO₂ Photocatalyst and Its Applications for Environmental Purification.” *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 13(4):247–62. doi: 10.1016/J.JPHOTOCHEMREV.2012.07.001.
- Ogihara, Takashi, Hidenori Nakajima, Teruaki Yanagawa, Nobuo Ogata, Kokichi Yoshida, and Noritaka Matsushita. 1991. “Preparation of Monodisperse, Spherical Alumina Powders from Alkoxides.” *Journal of the American Ceramic Society* 74(9):2263–69. doi: 10.1111/J.1151-2916.1991.TB08294.X.
- Olia, Hamed, Mohammadamin Torabi, Mehdi Bahiraei, Mohammad Hossein Ahmadi, Marjan Goodarzi, and Mohammad Reza Safaei. 2019. “Application of Nanofluids in Thermal Performance Enhancement of Parabolic Trough Solar Collector: State-of-the-Art.” *Applied Sciences (Switzerland)* 9(3). doi: 10.3390/APP9030463.
- Osinermin. 2021. “Infografía Energética 2021 by Osinermin.” Retrieved August 13, 2023 (<https://issuu.com/osinermin/docs/infografia-energetica-2021>).
- Otanicar, Todd P., Patrick E. Phelan, and Jay S. Golden. 2009. “Optical Properties of Liquids for Direct Absorption Solar Thermal Energy Systems.” *Solar Energy* 83(7):969–77. doi: 10.1016/J.SOLENER.2008.12.009.
- Ozbay, Ekmel. 2006. “Plasmonics: Merging Photonics and Electronics at Nanoscale Dimensions.” *Science* 311(5758):189–93. doi: 10.1126/SCIENCE.1114849.
- Pang, Changwei, Jung Yeul Jung, and Yong Tae Kang. 2014. “Aggregation Based Model for Heat Conduction Mechanism in Nanofluids.” *International Journal of Heat and Mass Transfer* 72:392–99. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2013.12.055.

- Panwar, N. L., S. C. Kaushik, and Surendra Kothari. 2011. "Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(3):1513–24. doi: 10.1016/J.RSER.2010.11.037.
- Parametthanuwat, T., N. Bhuwakietkumjohn, S. Rittidech, and Y. Ding. 2015. "Experimental Investigation on Thermal Properties of Silver Nanofluids." *International Journal of Heat and Fluid Flow* 56:80–90. doi: 10.1016/J.IJHEATFLUIDFLOW.2015.07.005.
- Patel, Hrishikesh E., Sarit K. Das, T. Sundararajan, A. Sreekumaran Nair, Beena George, and T. Pradeep. 2003. "Thermal Conductivities of Naked and Monolayer Protected Metal Nanoparticle Based Nanofluids: Manifestation of Anomalous Enhancement and Chemical Effects." *Applied Physics Letters* 83(14):2931–33. doi: 10.1063/1.1602578.
- Patel, Hrishikesh E., T. Sundararajan, and Sarit K. Das. 2010. "An Experimental Investigation into the Thermal Conductivity Enhancement in Oxide and Metallic Nanofluids." *Journal of Nanoparticle Research* 12(3):1015–31. doi: 10.1007/S11051-009-9658-2/TABLES/2.
- Patil, Kashinath C., Singanahally T. Aruna, and Sambandan Ekambaram. 1997. "Combustion Synthesis." *Current Opinion in Solid State and Materials Science* 2(2):158–65. doi: 10.1016/S1359-0286(97)80060-5.
- Paul, G., T. Pal, and I. Manna. 2010. "Thermo-Physical Property Measurement of Nano-Gold Dispersed Water Based Nanofluids Prepared by Chemical Precipitation Technique." *Journal of Colloid and Interface Science* 349(1):434–37. doi: 10.1016/J.JCIS.2010.05.086.
- Q. B. He, M. W. Tong, and Y. D. Liu. 2007. "Measurement of Specific Heat of TiO₂-BaCl₂-H₂O Nano-Fluids with DSC." Retrieved August 24, 2023 ([https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Q.+B.+He%2C+M.+W.+Tong%2C+and+Y.+D.+Liu%2C+%E2%80%9CMeasurement+of+specificheat+of+TiO₂-BaCl₂-H₂O+nano-fluids+with+DSC%2C+%E2%80%9DRefrigeration%26+Air-Conditioning%2C+vol.+7%2C+no.+4%2C+pp.+19%E2%80%9322%2C+2007+%28Chinese%29&btnG=](https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Q.+B.+He%2C+M.+W.+Tong%2C+and+Y.+D.+Liu%2C+%E2%80%9CMeasurement+of+specificheat+of+TiO2-BaCl2-H2O+nano-fluids+with+DSC%2C+%E2%80%9DRefrigeration%26+Air-Conditioning%2C+vol.+7%2C+no.+4%2C+pp.+19%E2%80%9322%2C+2007+%28Chinese%29&btnG=))).
- Qin, Yaqiong, Xiaohui Ji, Jing Jing, Hong Liu, Hongli Wu, and Wensheng Yang. 2010. "Size Control over Spherical Silver Nanoparticles by Ascorbic Acid Reduction." *Colloids and Surfaces A:*

- Physicochemical and Engineering Aspects* 372(1–3):172–76. doi: 10.1016/J.COLSURFA.2010.10.013.
- Qu, Jian, Min Tian, Xinyue Han, Ruomei Zhang, and Qian Wang. 2017. “Photo-Thermal Conversion Characteristics of MWCNT-H₂O Nanofluids for Direct Solar Thermal Energy Absorption Applications.” *Applied Thermal Engineering* 124:486–93. doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2017.06.063.
- De Risi, Arturo, Marco Milanese, Gianpiero Colangelo, and Domenico Laforgia. 2014. “High Efficiency Nanofluid Cooling System for Wind Turbines.” *Thermal Science* 18(2):543–54. doi: 10.2298/TSCI130316116D.
- Rosalía C. E y Siannah M.D. 2021. “Síntesis Biológica de Nanopartículas de Plata: Revisión Del Uso Potencial de La Especie *Trichoderma*.” *Revista Cubana de Química*. Retrieved August 13, 2023 (http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212021000200023).
- Rosencwaig, Allan. 1982. “Thermal-Wave Imaging.” *Science (New York, N.Y.)* 218(4569):223–28. doi: 10.1126/SCIENCE.218.4569.223.
- Rycenga, Matthew, Claire M. Cobley, Jie Zeng, Weiyang Li, Christine H. Moran, Qiang Zhang, Dong Qin, and Younan Xia. 2011. “Controlling the Synthesis and Assembly of Silver Nanostructures for Plasmonic Applications.” *Chemical Reviews* 111(6):3669–3712. doi: 10.1021/CR100275D/ASSET/CR100275D.FP.PNG_V03.
- S, Manikandan, Shylaja A, and Rajan KS. 2014. “Thermo-Physical Properties of Engineered Dispersions of Nano-Sand in Propylene Glycol.” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 449(1):8–18. doi: 10.1016/J.COLSURFA.2014.02.040.
- S. Sinha, S. Barjami, G. Iannacchione, and S. Sinha. 2004. “Thermal Properties of Carbon Nanotube Based Fluids.” Retrieved August 24, 2023 (https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=+S.+Sinha%2C+S.+Barjami%2C+G.+Iannacchione%2C+and+S.+Sinha%2C+%E2%80%9CThermalproperties++of++carbon++nanotube++based++fluids%2C%E2%80%9D++inProceedingsof+the+Memphis-Area+Engineering+and+Sciences+Conference%28MAESC+%E2%80%99904%29%2C+2004.&btnG=)).

- Sánchez, Minerva, Moreno Tutor, Jesús Álvarez, Rodríguez Facultad, and D. E. Ciencias. 2017. "Nanopartículas de Plata: Preparación, Caracterización y Propiedades Con Aplicación En Inocuidad de Los Alimentos."
- Sarkar, Jahar. 2011. "A Critical Review on Convective Heat Transfer Correlations of Nanofluids." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(6):3271–77. doi: 10.1016/J.RSER.2011.04.025.
- Schmidt, Aaron J., Ramez Cheaito, and Matteo Chiesa. 2009. "A Frequency-Domain Thermoreflectance Method for the Characterization of Thermal Properties." *Review of Scientific Instruments* 80(9). doi: 10.1063/1.3212673/354767.
- Seyhan, Merve, Cem Levent Altan, Berna Gurten, and Seyda Bucak. 2017. "The Effect of Functionalized Silver Nanoparticles over the Thermal Conductivity of Base Fluids." *AIP Advances* 7(4):45101. doi: 10.1063/1.4979554/22067.
- Sidik, Nor Azwadi Che, Muhammad Noor Afiz Witri Mohd Yazid, and Rizalman Mamat. 2015. "A Review on the Application of Nanofluids in Vehicle Engine Cooling System." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 68:85–90. doi: 10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2015.08.017.
- Sridhara, Veeranna, and Lakshmi Narayan Satapathy. 2011. "Al₂O₃-Based Nanofluids: A Review." *Nanoscale Research Letters* 6(1):1–16. doi: 10.1186/1556-276X-6-456/FIGURES/10.
- Srinivas, Sarika, Kalyan Kamal, Sreedhar Bojja, P. K. Sahoo, S. S. Kalyan Kamal, T. Jagadeesh Kumar, B. Sreedhar, A. K. Singh, and S. K. Srivastava. 2009. "Synthesis of Silver Nanoparticles Using Facile Wet Chemical Route." *Researchgate.NetPK Sahoo, SS Kamal, TJ Kumar, B Sreedhar, AK Singh, SK Srivastava Defence Science Journal, 2009•researchgate.Net* 59(4):447–55. doi: 10.14429/dsj.59.1545.
- Su, Yan, Francis A. Kulacki, and Jane H. Davidson. 2014. "Experimental and Numerical Investigations on a Solar Tracking Concentrated Photovoltaic–Thermal System with a Novel Non-Dimensional Lattice Boltzmann Method." *Solar Energy* 107:145–58. doi: 10.1016/J.SOLENER.2014.05.033.

- Suganthi, K. S., V. Leela Vinodhan, and K. S. Rajan. 2014. "Heat Transfer Performance and Transport Properties of ZnO–Ethylene Glycol and ZnO–Ethylene Glycol–Water Nanofluid Coolants." *Applied Energy* 135:548–59. doi: 10.1016/J.APENERGY.2014.09.023.
- Sukhorukov, Yu P., N. N. Loshkareva, A. A. Samokhvalov, S. V. Naumov, A. S. Moskvina, and A. S. Ovchinnikov. 1998. "Magnetic Phase Transitions in Optical Spectrum of Magnetic Semiconductor CuO." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 183(3):356–58. doi: 10.1016/S0304-8853(97)01078-0.
- Sun, G., J. B. Khurgin, and C. C. Yang. 2009. "Impact of High-Order Surface Plasmon Modes of Metal Nanoparticles on Enhancement of Optical Emission." *Applied Physics Letters* 95(17). doi: 10.1063/1.3250160/321136.
- Sun, SN, C. Wei, ZZ Zhu, ... YL Hou-Chinese, and undefined 2014. n.d. "Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis and Surface Coating Techniques for Biomedical Applications." *Iopscience.Iop.Org*.
- Sundar, L. Syam, Md Hashim Farooky, S. Naga Sarada, and M. K. Singh. 2013. "Experimental Thermal Conductivity of Ethylene Glycol and Water Mixture Based Low Volume Concentration of Al₂O₃ and CuO Nanofluids." *International Communications in Heat and Mass Transfer* 41:41–46. doi: 10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2012.11.004.
- Taylor, Robert A., Patrick E. Phelan, Ronald J. Adrian, Andrey Gunawan, and Todd P. Otanicar. 2012. "Characterization of Light-Induced, Volumetric Steam Generation in Nanofluids." *International Journal of Thermal Sciences* 56:1–11. doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2012.01.012.
- Taylor, Robert A., Patrick E. Phelan, Todd P. Otanicar, Ronald Adrian, and Ravi Prasher. 2011. "Nanofluid Optical Property Characterization: Towards Efficient Direct Absorption Solar Collectors." *Nanoscale Research Letters* 6(1). doi: 10.1186/1556-276X-6-225.
- Teng, Tun Ping, Yi Hsuan Hung, Tun Chien Teng, Huai En Mo, and How Gao Hsu. 2010. "The Effect of Alumina/Water Nanofluid Particle Size on Thermal Conductivity." *Applied Thermal Engineering* 30(14–15):2213–18. doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2010.05.036.

- Teoh, Geik Ling, Kong Yong Liew, and Wan A. K. Mahmood. 2007. "Synthesis and Characterization of Sol-Gel Alumina Nanofibers." *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 44(3):177–86. doi: 10.1007/S10971-007-1631-X/METRICS.
- Terra - Ecología práctica. 2007. "Guía Práctica de Una Instalación de Energía Solar Térmica." Retrieved August 15, 2023 (<https://www.terra.org/categorias/articulos/guia-practica-de-una-instalacion-de-energia-solar-termica>).
- Tian, Hong Hua. 2014. "New Method of Measurement of Coefficient of Thermal Conductivity." *Applied Mechanics and Materials* 584–586:2133–36. doi: 10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.584-586.2133.
- Timofeeva, Elena V., Jules L. Routbort, and Dileep Singh. 2009. "Particle Shape Effects on Thermophysical Properties of Alumina Nanofluids." *Journal of Applied Physics* 106(1). doi: 10.1063/1.3155999/397040.
- Tyagi, Himanshu, Patrick Phelan, and Ravi Prasher. 2009. "Predicted Efficiency of a Low-Temperature Nanofluid-Based Direct Absorption Solar Collector." *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME* 131(4):0410041–47. doi: 10.1115/1.3197562/447662.
- Venkateswara Rao, Kalagadda. 2013. "Synthesis and Characterization Of-Al₂O₃ Platelet Nanoparticle as a Direct Product of Solution Combustion Method Light Rare Earth/ Lanthanide (Ce & Sm) Oxides Decorated on Nano-Carbon for Sensing Applications View Project Effects of Temperature, Deposition Time and Catalyst Loading on the Synthesis of Carbon Nanotubes in a Fixed Bed Reactor View Project." *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* (2):54.
- Vijayaraghavan, Sanjay, S. Ganapathisubbu, and C. Santosh Kumar. 2013. "Performance Analysis of a Spectrally Selective Concentrating Direct Absorption Collector." *Solar Energy* 97:418–25. doi: 10.1016/J.SOLENER.2013.08.008.
- Wahab, Abdul, Ali Hassan, Muhammad Arslan Qasim, Hafiz Muhammad Ali, Hamza Babar, and Muhammad Usman Sajid. 2019. "Solar Energy Systems – Potential of Nanofluids." *Journal of Molecular Liquids* 289:111049. doi: 10.1016/J.MOLLIQ.2019.111049.

- Wang, CT, and SH Ro-Applied Catalysis A: General. 2005. "Nanocluster Iron Oxide-Silica Aerogel Catalysts for Methanol Partial Oxidation." *Elsevier*.
- Wang, Dong Guang, Fen Guo, Jian Feng Chen, Hui Liu, and Ze Ting Zhang. 2006. "Preparation of Nano Aluminium Trihydroxide by High Gravity Reactive Precipitation." *Chemical Engineering Journal* 121(2–3):109–14. doi: 10.1016/J.CEJ.2006.05.016.
- Wang, Xiang Qi, and Arun S. Mujumdar. 2007. "Heat Transfer Characteristics of Nanofluids: A Review." *International Journal of Thermal Sciences* 46(1):1–19. doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2006.06.010.
- Wei, Xiaohao, Haitao Zhu, Tiantian Kong, and Liqu Wang. 2009. "Synthesis and Thermal Conductivity of Cu₂O Nanofluids." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52(19–20):4371–74. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2009.03.073.
- Wong, Kaufui V., and Michael J. Castillo. 2010. "Heat Transfer Mechanisms and Clustering in Nanofluids." <https://doi.org/10.1155/2010/795478> 2010. doi: 10.1155/2010/795478.
- Wu, Ya, Leping Zhou, Xiaoze Du, and Yongping Yang. 2015. "Optical and Thermal Radiative Properties of Plasmonic Nanofluids Containing Core–Shell Composite Nanoparticles for Efficient Photothermal Conversion." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 82:545–54. doi: 10.1016/J.IJHEATMASSTRANSFER.2014.11.026.
- X. F. Peng, X. L. Yu, and F. Q. Yu. 2007. "Experimental Study on the Specific Heat of Nanofluids." Retrieved August 24, 2023 (https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=X.++F.++Peng%2C++X.++L.++Yu%2C++and++F.++Q.++Yu%2C++E2%80%9CExperimental++study++onthe+specific+heat+of+nanofluids%2C%E2%80%9DJournal+of+Materials+Science+%26Engineering%2C+vol.+25%2C+no.+5%2C+pp.+719%E2%80%93722%2C+2007+%28Chinese%29&btnG=).
- Xie, H., J. Wang, T. Xi, and Y. Liu. 2002. "Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized SiC Particles." *International Journal of Thermophysics* 23(2):571–80. doi: 10.1023/A:1015121805842.

- Xie, Huaqing, Jinchang Wang, Tonggeng Xi, Yan Liu, Fei Ai, and Qingren Wu. 2002. "Thermal Conductivity Enhancement of Suspensions Containing Nanosized Alumina Particles." *Journal of Applied Physics* 91(7):4568–72. doi: 10.1063/1.1454184.
- Xu, J., J. Sun, Y. Wang, J. Sheng, F. Wang, M. Sun- *Molecules*, and undefined 2014. 2014. "Application of Iron Magnetic Nanoparticles in Protein Immobilization." *Mdpi.Com* J Xu, J Sun, Y Wang, J Sheng, F Wang, M Sun *Molecules*, 2014 • *mdpi.Com* 19:11465–86. doi: 10.3390/molecules190811465.
- Xue, Qing Zhong. 2003. "Model for Effective Thermal Conductivity of Nanofluids." *Physics Letters A* 307(5–6):313–17. doi: 10.1016/S0375-9601(02)01728-0.
- Yatsui, Kiyoshi, Takanori Yukawa, Constantin Grigoriu, Makoto Hirai, and Weihua Jiang. 2000. "Synthesis of Ultrafine γ -Al₂O₃ Powders by Pulsed Laser Ablation." *Journal of Nanoparticle Research* 2(1):75–83. doi: 10.1023/A:1010090115429/METRICS.
- You, Tianyan, Osamu Niwa, Masato Tomita, Hiroshi Ando, Mineharu Suzuki, and Shigeru Hirono. 2002. "Characterization and Electrochemical Properties of Highly Dispersed Copper Oxide/Hydroxide Nanoparticles in Graphite-like Carbon Films Prepared by RF Sputtering Method." *Electrochemistry Communications* 4(5):468–71. doi: 10.1016/S1388-2481(02)00340-5.
- Yousefi, T., E. Shojaeizadeh, F. Veysi, and S. Zinadini. 2012. "An Experimental Investigation on the Effect of PH Variation of MWCNT–H₂O Nanofluid on the Efficiency of a Flat-Plate Solar Collector." *Solar Energy* 86(2):771–79. doi: 10.1016/J.SOLENER.2011.12.003.
- Yousefi, Tooraj, Farzad Veysi, Ehsan Shojaeizadeh, and Sirus Zinadini. 2012. "An Experimental Investigation on the Effect of Al₂O₃–H₂O Nanofluid on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors." *Renewable Energy* 39(1):293–98. doi: 10.1016/J.RENENE.2011.08.056.
- Yu, W., D. M. France, S. U. S. Choi, and J. L. Routbort. 2007. "Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications." doi: 10.2172/919327.
- Yu, Wei, Huaqing Xie, Lifei Chen, and Yang Li. 2009. "Investigation of Thermal Conductivity and Viscosity of Ethylene Glycol Based ZnO Nanofluid." *Thermochimica Acta* 491(1–2):92–96. doi: 10.1016/J.TCA.2009.03.007.

- Yu, Wei, Huaqing Xie, Lifei Chen, and Yang Li. 2010. "Enhancement of Thermal Conductivity of Kerosene-Based Fe₃O₄ Nanofluids Prepared via Phase-Transfer Method." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 355(1–3):109–13. doi: 10.1016/J.COLSURFA.2009.11.044.
- Yu, Wei, Junchang Zhao, Mingzhu Wang, Yiheng Hu, Lifei Chen, and Huaqing Xie. 2015. "Thermal Conductivity Enhancement in Thermal Grease Containing Different CuO Structures." *Nanoscale Research Letters* 10(1):1–8. doi: 10.1186/S11671-015-0822-6/FIGURES/5.
- Yu, Wenhua, David M. France, Jules L. Routbort, and Stephen U. S. Choi. 2011. "Review and Comparison of Nanofluid Thermal Conductivity and Heat Transfer Enhancements." *Http://Dx.Doi.Org/10.1080/01457630701850851* 29(5):432–60. doi: 10.1080/01457630701850851.
- Zamzamian, Amirhossein, Shahin Nasser Oskouie, Ahmad Doosthoseini, Aliakbar Joneidi, and Mohammad Pazouki. 2011. "Experimental Investigation of Forced Convective Heat Transfer Coefficient in Nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a Double Pipe and Plate Heat Exchangers under Turbulent Flow." *Experimental Thermal and Fluid Science* 35(3):495–502. doi: 10.1016/J.EXPTHERMFLUSCI.2010.11.013.
- Zhang, Qian, Weilin Xu, and Xianbao Wang. 2018. "Carbon Nanocomposites with High Photothermal Conversion Efficiency." *Science China Materials* 61(7):905–14. doi: 10.1007/S40843-018-9250-X/METRICS.
- Zhou, Le-Ping, Bu-Xuan Wang, Xiao-Feng Peng, Xiao-Ze Du, and Yong-Ping Yang. 2010. "On the Specific Heat Capacity of CuO Nanofluid." *Advances in Mechanical Engineering* 2:172085. doi: 10.1155/2010/172085.
- Zhu, Hai Tao, Yu Sheng Lin, and Yan Sheng Yin. 2004. "A Novel One-Step Chemical Method for Preparation of Copper Nanofluids." *Journal of Colloid and Interface Science* 277(1):100–103. doi: 10.1016/J.JCIS.2004.04.026.