



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de fluidos caloportadores nano-mejorados y
determinación de sus conductividades térmicas*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Jesús Martínez Malagón

DIRECTORES: Javier Pérez Vallejo

Lara Febrero Garrido

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de fluidos caloportadores nano-mejorados y
determinación de sus conductividades térmicas*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

La necesidad de ser más eficientes en el uso de la energía ha impulsado el desarrollo de políticas para promover el ahorro energético y la implementación de nuevas técnicas que logren este objetivo. En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado se enfoca en el diseño de nanofluidos con el propósito de mejorar la eficiencia de los intercambiadores de calor en procesos de convección.

Para lograr este objetivo, se ha utilizado un fluido base elaborado con agua y propilenglicol, y tres nanomateriales diferentes para crear una serie de nanofluidos con distintas concentraciones en masa. En primer lugar, se debe garantizar la estabilidad de los nanofluidos, para más tarde medir sus propiedades termofísicas más relevantes y compararlos con el fluido base para determinar el porcentaje de mejora en cada caso. Para ello se han representado los resultados obtenidos en gráficas comparativas.

Por último, con el fin de obtener una evaluación global del rendimiento de cada nanofluido en relación al fluido base, se utilizan ratios entre figuras de mérito para obtener una visión general de los resultados obtenidos, lo que, a su vez, permite establecer una conclusión final sobre la eficiencia de cada uno de los nanofluidos diseñados.

PALABRAS CLAVE

Nanomaterial, Fluido base, Nanofluido, Intercambiadores de calor, Propiedad termofísica.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Javier Pérez Vallejo y la profesora Lara Febrero Garrido por brindarme su apoyo y ayuda constante durante este Trabajo de Fin de Grado, mostrando siempre interés por mí y encontrando siempre un hueco para resolverme cualquier duda.

A la Universidad de Vigo por permitirme el uso de sus instalaciones para así poder cumplir por completo todos los objetivos propuestos durante el presente Trabajo de Fin de Grado.

A mi familia, por ser un constante apoyo para mí en todo momento, sobre todo desde mi ingreso en la Escuela Naval Militar, en especial a mi padre, siendo un constante ejemplo para mí del militar que quiero llegar a ser en un futuro no tan lejano ya.

A mis compañeros de camarera, por estar siempre ahí para apoyarnos mutuamente, por esas tardes y noches de estudio en las que siempre sacábamos algún momento para reírnos.

A mi compañero y amigo Ignacio Garau, el cual conocí antes de entrar aquí de pura casualidad y con el que ahora cierro esta etapa al igual que la empecé. Gracias por ser siempre un apoyo para mí.

A la promoción 423-153, la cual lleva siendo mi segunda familia durante esta etapa que tanto nos ha marcado a todos y que con tanto cariño recordaremos en un futuro.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	6
1.1 Contextualización.....	6
1.2 Objetivos	7
1.3 Estructura de la memoria	7
2 Estado del arte	8
2.1 Eficiencia energética	8
2.1.1 Consumo energético	8
2.1.2 Problemática de la elevada demanda energética	8
2.1.3 Principales acuerdos mundiales energéticos.....	9
2.2 Energía térmica	10
2.2.1 Importancia de la energía térmica a nivel global.....	10
2.2.2 Intercambiadores de calor y su presencia en múltiples aplicaciones.....	10
2.2.3 Principales fenómenos de transferencia de calor.....	11
2.3 Nanofluidos.....	13
2.3.1 Motivación del empleo de nanofluidos.....	13
2.3.2 Definición de nanofluido	14
2.4 Propiedades termofísicas con impacto en la transferencia de calor por convección	16
2.4.1 Conductividad térmica.....	16
2.4.2 Viscosidad dinámica.....	17
2.4.3 Densidad	17
2.4.4 Capacidad calorífica	17
3 Desarrollo del TFG.....	19
3.1 Materiales.....	19
3.1.1 Fluido base.....	19
3.1.2 Nanomateriales	20
3.2 Metodología	22
3.2.1 Preparación del fluido base.....	22
3.2.2 Caracterización de los nanopolvos	22
3.2.3 Preparación de los nanofluidos	23
3.2.4 Estabilidad de las muestras	25

3.2.5 Determinación de las propiedades termofísicas de los nanofluidos	26
4 Resultados	30
4.1 Morfología de las nanopartículas	30
4.2 Potencial zeta	31
4.3 Propiedades termofísicas.....	31
4.3.1 Conductividad térmica.....	31
4.3.2 Viscosidad dinámica.....	33
4.3.3 Densidad	34
4.3.4 Capacidad calorífica	36
4.4 Figuras de mérito (FOM)	38
5 Conclusiones y líneas futuras	43
5.1 Conclusiones	43
5.2 Líneas futuras	44
6 Bibliografía.....	45
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	48
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	49
Anexo III: Precauciones de seguridad en la manipulación los nanomateriales.....	50
Anexo IV: Información adicional de los nanomateriales	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Esquema de los mecanismos de transferencia de calor [16].....	11
Figura 2-2. Proceso de conducción [16].....	12
Figura 2-3. Proceso de convección [16].....	13
Figura 2-4 Factores en la preparación de nanofluidos [23].....	15
Figura 2-5 Método de síntesis de nanofluidos por dos pasos [23]	16
Figura 3-1. Muestra de 50 ml de fluido base [Fuente propia].....	22
Figura 3-2. Nanofluidos al 1% [Fuente propia]	23
Figura 3-3. Nanofluidos al 2% [Fuente propia]	23
Figura 3-4. Esquema de preparación de un nanofluido mediante el método de dos pasos [Elaboración propia].	24
Figura 3-5. Baño ultrasonidos [Fuente propia]	24
Figura 3-6. Esquema explicativo de las muestras elaboradas [Elaboración propia]	24
Figura 3-7. Nanomateriales diluidos en el fluido base [Fuente propia]	25
Figura 3-8. Medidor de potencial zeta [Fuente propia].....	25
Figura 3-9. Esquema aclaratorio del número de ensayos realizados y sus temperaturas de medición [Elaboración propia]	26
Figura 3-10. Conductivímetro con sensor tipo KS-3 [Fuente propia].....	26
Figura 3-11. Viscosímetro [Fuente propia]	27
Figura 3-12. Densímetro [Fuente propia].....	28
Figura 3-13. Calorímetro DSC Q2000 [39].....	28
Figura 4-1. Imagen TEM del nitruro de aluminio adquirido.....	30
Figura 4-2. Imagen TEM del carburo de silicio hexagonal adquirido	30
Figura 4-3. Imagen TEM del carburo de silicio cúbico adquirido	31
Figura 4-4. Conductividades térmicas en función de la temperatura al 1% de concentración másica	32
Figura 4-5. Variación porcentual de la conductividad térmica de los nanofluidos al 1% en concentración másica a distintas temperaturas	32
Figura 4-6. Conductividades térmicas en función de la temperatura al 2% de concentración másica	33
Figura 4-7. Variación porcentual de la conductividad térmica de los nanofluidos al 2% en concentración másica a distintas temperaturas	33
Figura 4-8. Incremento de la viscosidad dinámica de los nanofluidos con distintas concentraciones másicas frente al fluido base a 20 °C.	34
Figura 4-9. Densidades en función de la temperatura al 1% de concentración másica.....	34

Figura 4-10. Variación porcentual de la densidad de los nanofluidos al 1% en concentración másica a distintas temperaturas	35
Figura 4-11. Densidades en función de la temperatura al 2% de concentración másica.....	35
Figura 4-12. Variación porcentual de la densidad de los nanofluidos al 2% en concentración másica a distintas temperaturas	36
Figura 4-13. Capacidad calorífica a presión constante en función de la temperatura al 1% de concentración másica	37
Figura 4-14. Variación porcentual de la capacidad calorífica a presión constante de los nanofluidos al 1% en concentración másica a distintas temperaturas	37
Figura 4-15. Capacidad calorífica a presión constante en función de la temperatura al 2% de concentración másica	38
Figura 4-16. Variación porcentual de la capacidad calorífica a presión constante de los nanofluidos al 2% en concentración másica a distintas temperaturas	38
Figura 4-17. Ratio de conductividades térmicas de los nanofluidos distintas concentraciones másicas.	39
Figura 4-18. Ratio de número de Mouromsteff de los nanofluidos con distintas concentraciones másicas	40
Figura 4-19. Ratio de las potencias de bombeo en régimen laminar de los tres nanofluidos con distintas concentraciones másicas frente al fluido base	41
Figura 4-20. Ratio de las potencias de bombeo en régimen turbulento de los tres nanofluidos con distintas concentraciones másicas frente al fluido base	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Ejemplos de fluidos base y sus conductividades térmicas [21]	14
Tabla 2-2 Ejemplo de materiales y sus conductividades térmicas [21].....	15
Tabla 3-1. Propiedades de interés del agua a 20 °C [33].....	19
Tabla 3-2. Propiedades de interés del propilenglicol a 20°C [35].....	20
Tabla 3-4. Propiedades del nanopolvo de nitruro de aluminio proporcionadas por el fabricante [36]	21
Tabla 3-5. Propiedades del nanopolvo de carburo de silicio hexagonal (α) proporcionadas por el fabricante [37].....	21
Tabla 3-6. Propiedades del nanopolvo de carburo de silicio cúbico (β) proporcionadas por el fabricante [38].....	22
Tabla 4-1. Potencial zeta de las tres nanopartículas	31
Tabla 4-2. Capacidades caloríficas del fluido base y las nanopartículas a distintas temperaturas...	36

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Contextualización

El consumo de energía ha aumentado significativamente a lo largo de los últimos años, entre otras cosas, debido al frenético desarrollo de la tecnología y al crecimiento demográfico. Esto supone un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales contribuyen al cambio climático. El cambio climático es un problema que está afectando a todos los países en el mundo, y se ha convertido en un tema de mucha controversia en los últimos años, es por ello que se han celebrado numerosas cumbres para intentar mitigar estos efectos, de manera que se busque aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones.

El calor es una de las fuentes de energía más utilizadas, tanto como fuente de energía principal, como fuente intermedia para poder obtener energía eléctrica. Se encuentra presente en numerosas aplicaciones industriales y domésticas, principalmente a través de sistemas de refrigeración, aire acondicionado y calefacción. Estos sistemas emplean intercambiadores de calor, los cuales son dispositivos que permiten la transferencia de calor de un fluido a otro [1]. El aumento de la transferencia de calor es uno de los desafíos más complejos que enfrentan continuamente los ingenieros térmicos. Con el avance de las tecnologías, la demanda de transferencia de calor a tasas y eficiencias más altas desde áreas más pequeñas o a través de diferencias de temperatura más bajas se encuentra en constante desarrollo [2].

La eficiencia de los intercambiadores de calor se puede llegar a considerar bastante alta, sin embargo, existen varios enfoques que permiten aumentar esta eficiencia. Una de las limitaciones que presentan es la pobre conductividad térmica de los fluidos caloportadores que forman parte de este proceso. El ejemplo más común de fluido caloportador que podemos encontrar es el agua, debido a su buena conductividad térmica y baja viscosidad. Sin embargo, presenta problemas en aplicaciones a temperaturas de trabajo tanto bajas como elevadas, debido a que la diferencia de temperaturas que existe entre el punto de evaporación y el punto de congelación del agua es de tan solo 100°C. Este es el motivo de que en aplicaciones a temperaturas fuera de estos límites se utilicen diferentes fluidos, principalmente formados a base de glicol, como es el caso del propilenglicol [1], el cual se emplea durante el presente trabajo de fin de grado.

La conductividad térmica de la mayoría de los fluidos de transferencia de calor es de varios órdenes de magnitud menor en comparación con los metales sólidos. La adición de partículas sólidas de metal o óxido de metal de tamaño micro o mili al fluido base muestra un incremento en la conductividad térmica de los fluidos resultantes. Pero la presencia de estas partículas a dicho fluido plantea una serie de problemas, ya que no forman una solución estable y tienden a sedimentar, incluso causan erosión y obstrucción de los canales de transferencia de calor. Como solución a estos problemas, se propuso que

los fluidos caloportadores, mediante la adición de partículas de tamaño nanométrico, pueden constituir una nueva clase de fluidos que ofrezcan mejores propiedades térmicas [2].

1.2 Objetivos

La razón principal de este trabajo, como se ha mencionado anteriormente, es la búsqueda de un nanofluido que permita mejorar la eficiencia de los intercambiadores de calor en procesos de convección. Así, también alcanzar el objetivo de buscar un ahorro tanto energético como económico en dichos dispositivos.

Por ello, se tratará de diseñar un nanofluido que mejore las conductividades térmicas de un fluido base resultante de la mezcla de agua y propilenglicol, es decir, se escogerán tres nanomateriales y se empleará cada uno para realizar una mezcla con el fluido base, obteniéndose así, tres nanofluidos a distintas concentraciones en masa. Para poder dar por válidos estos nanomateriales se deberá comprobar previamente que éstos son estables mezclados con el fluido base.

De esta manera, se realizará la comparación de tres nanomateriales previamente seleccionados mezclados en un fluido a distintas concentraciones en masa y se medirán propiedades como la conductividad térmica (k), la densidad (ρ), la viscosidad dinámica (μ) y la capacidad calorífica (c_p) tanto del fluido base como de los nanofluidos diseñados, en un rango de temperatura entre los 20°C y los 40°C.

Una vez hayan finalizado las medidas de las propiedades termofísicas, con el fin de obtener conclusiones desde un punto de vista más aplicado, se emplearán diferentes ratios entre propiedades y figuras de mérito que prevean las variaciones del coeficiente de convección en intercambiadores de calor tubulares y las variaciones de potencia de bombeo. Ambas variaciones se realizarán para un fluido tanto en régimen laminar como en régimen turbulento.

Finalmente, se realizarán las conclusiones de dichos resultados, estableciendo el nanofluido que presenta mejor rendimiento.

1.3 Estructura de la memoria

Una vez contextualizado el trabajo y habiendo expuesto los principales objetivos del mismo, se presenta una pequeña descripción de los principales puntos que se desarrollan a lo largo de la memoria con el fin de mostrar una estructura clara. Este trabajo queda dividido en cinco capítulos, la bibliografía y los anexos.

- Capítulo 1. Introducción y objetivos. Se expone una breve contextualización del trabajo, así como su motivación y los objetivos a cumplir durante el desarrollo del mismo.
- Capítulo 2. Estado del arte. Se realiza una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre el tema a desarrollar.
- Capítulo 3. Desarrollo del TFG. Se realiza una descripción del trabajo realizado en el laboratorio, así como una descripción de técnicas, materiales y equipos empleados.
- Capítulo 4. Resultados. Se presentan los resultados del trabajo, apoyando esta validación a través de diversas gráficas.
- Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras. Se efectúa una síntesis de los resultados y descubrimientos alcanzados, para más tarde plantear posibles tendencias en futuros trabajos de la misma índole.

Por último, se adjuntan las fuentes bibliográficas y los sitios consultados para la obtención de información, así como los anexos que han servido de herramienta de apoyo para el desarrollo del presente trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Eficiencia energética

2.1.1 Consumo energético

Vivimos inmersos en una crisis energética y medioambiental, por lo que la necesidad de lograr eficiencia energética resulta clave para poder paliar esta situación. El ahorro de energía es una problemática que gran parte del mundo se está viendo obligado a afrontar, especialmente en los últimos años. Resulta clave entender que las personas no consumen recursos energéticos como tal, sino servicios energéticos. Por tanto, con la búsqueda de ser eficientes energéticamente, se busca seguir proporcionando estos servicios energéticos dando las mismas prestaciones que antes, pero logrando un ahorro de energía [3].

Una mejora en la eficiencia energética puede traer grandes ventajas para el medioambiente, los presupuestos nacionales y los consumidores energéticos. Se ha comprobado que al establecer políticas que exijan electrodomésticos más eficientes, que tengan las etiquetas energéticas y cumplan con los requisitos mínimos de eficiencia, se logra reducir a la mitad el consumo medio de energía en gran cantidad de electrodomésticos, tales como neveras, televisores, lavadoras o aires acondicionados. Estas metas se han conseguido incluso sin aumentar los precios medios de estos electrodomésticos. Como se puede observar, mediante la aplicación de políticas más estrictas, es posible reducir las emisiones de CO₂ y seguir beneficiando a los consumidores. Por ejemplo, en el caso de Estados Unidos, gracias a las políticas de eficiencia energética y a los programas de etiquetado, se logró ahorrar unos 40.000 millones de dólares en costos de combustible en 2020, lo que supuso que la factura promedio anual a niveles energéticos se redujese unos 320 dólares de media por hogar [4]. Aun así, esta tendencia se ha visto afectada por la crisis energética actual y el incremento de los precios de la energía. Este hecho hace que la búsqueda de la eficiencia energética sea cada vez más necesaria.

Sin embargo, existe una gran cantidad de métodos que se pueden emplear para ser más eficientes energéticamente hablando, como en el caso del presente trabajo, donde se estudiará una de estas múltiples opciones, con el objetivo final de lograr un mejor rendimiento en el empleo de la energía.

2.1.2 Problemática de la elevada demanda energética

El precio de la energía ha aumentado considerablemente a lo largo de los últimos años, especialmente desde 2021. Existen distintos motivos por los que se puede concluir este aumento en el precio, como pueden ser las consecuencias de los fenómenos meteorológicos registrados en distintas localizaciones del mundo, el aplazamiento de distintos proyectos dedicados a la industria energética debido a la pandemia y las decisiones que han tomado distintas compañías exportadoras de petróleo y gas para reducir las inversiones.

Esta situación generada se ha agravado enormemente con el ataque de Rusia a Ucrania, ya que la Unión Europea y Estados Unidos han impuesto diversas sanciones a Rusia, entre ellas lograr una reducción gradual de las importaciones de gas ruso, llegando hasta su eliminación por completo. Además, el país soviético es considerado como la principal potencia exportadora de combustibles fósiles del mundo, proporcionando petróleo a más de una veintena de países europeos y exportando alrededor de la mitad del carbón que consumen los países miembros de la Unión Europea. Tal es así, que, durante 2021, una cuarta parte de la energía consumida en Europa era de procedencia rusa. Por todo ello, se puede considerar que la Unión Europea no dispone de autosuficiencia energéticamente hablando, y, por tanto, depende de las exportaciones de otros países.

Europa está tratando de buscar un sustituto del gas ruso, para ello se ha buscado como recurso alternativo el gas natural licuado, que llega procedente de países como Estados Unidos, Australia o Catar a través de buques mercantes. Esto ha provocado que los precios se hayan incrementado y además la oferta sea menor, debido a que ya existían otros clientes habituales como los países asiáticos, provocando que la demanda se haya disparado, y por ende los precios. Cabe destacar que el precio del gas natural licuado suele ir a la par que el de la electricidad, de manera que el precio del kilovatio por hora ha llegado a alcanzar máximos históricos en el continente europeo.

El coste del petróleo también se ha visto incrementado, numerosos transportistas se niegan a trasladarlo debido al origen de procedencia, ya que se pueden enfrentar a sanciones y experimentar riesgos en materia de seguros. Además, otros países exportadores de petróleo se han visto incapaces de aumentar la oferta para cubrir este incremento en la demanda, lo que ha provocado un aumento abusivo de los precios, en parte también por la falta de inversión durante los últimos años.

La pandemia también ha afectado al incremento en los costes de energía, debido a la elevada inflación en muchos países, lo que está provocando un aumento en los tipos de interés a corto plazo, y al gran déficit presupuestario acumulado debido a que se realizaron gastos de emergencia durante la misma. Por ello, algunos gobiernos están tratando de aliviar el impacto tanto en consumidores como en empresas mediante ayudas directas o fijando límites en los precios de la energía y pagando la diferencia a los proveedores [5].

No solo la subida de precios obliga a buscar una mejora en la eficiencia energética. También es fundamental frenar el cambio climático, tema de mucha controversia en los últimos años, el cual es principalmente producido por las fuentes de energía mencionadas anteriormente, debido a que son grandes emisoras de CO₂, siendo éste el que mayor papel tiene en los gases de efecto invernadero. De esta manera, se puede concluir que buscar una mitigación de las consecuencias del cambio climático pasa por lograr una mayor eficiencia energética [6].

2.1.3 Principales acuerdos mundiales energéticos

Desde hace varios años se han propuesto medidas para poder reducir los efectos adversos del cambio climático. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha manifestado su preocupación ante las crecientes temperaturas de forma global debido a los gases de efecto invernadero desde 1972. Debido a esto, este organismo consiguió hacer partícipe a una gran parte de los países del mundo, logrando acuerdos a nivel mundial buscando minimizar estas emisiones y frenar los efectos del cambio climático. En 1995 se celebró la primera Cumbre del Clima en Berlín, celebrada entre el 28 de marzo y el 7 de abril. En esta cumbre se reunieron representantes de 128 países y se decidió que estas reuniones se celebrarían anualmente [7]. A lo largo de los años se han celebrado numerosas cumbres, entre las que destacan:

- Protocolo de Kioto: Se ratificó en 1997, durante la cumbre celebrada en dicho lugar, participaron 128 países. Esta cumbre destacó principalmente porque fue la primera vez en dónde se logró establecer diversos objetivos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los países involucrados en el acuerdo garantizaron reducir al menos un

5% de sus emisiones de seis tipos de gases entre 2008 y 2012. Aunque cada país tenía un porcentaje de reducción asignada en proporción a lo que emitían en 1990. Además, el acuerdo también incluía mecanismos de flexibilidad que permitían cumplir con los objetivos sin afectar negativamente a las industrias. Aunque se consideró un protocolo con mucho éxito, muchos países, entre los que destaca Estados Unidos, no lograron alcanzar la reducción de estas emisiones, y por tanto no renovaron sus compromisos pasados en el año 2012 [8].

- Acuerdo de París: Fue aprobado en diciembre de 2015 por 195 estados, incluyendo los pertenecientes a la Unión Europea. Este acuerdo, todavía en vigor, busca una reacción mundial al cambio climático, incluyendo a países desarrollados, emergentes y en vías de desarrollo. Su objetivo es limitar el incremento medio de la temperatura entre 1.5 y 2 °C, además de promover una retirada ordenada y paulatina de los combustibles fósiles del suministro energético mundial. Sin embargo, actualmente los objetivos que se citan en dicho acuerdo se encuentran muy lejos de hacerse realidad [9].
- Agenda 2030: Se trata de un plan de acción global llevado a cabo por los países miembros de la ONU en 2015 para establecer un desarrollo sostenible durante los próximos 15 años. Consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), entre los que destacan una reducción de la desigualdad energética, promover el crecimiento económico y sostenible, además de abordar el cambio climático [10].

En este contexto, la búsqueda de un aumento en la eficiencia energética juega un papel clave.

2.2 Energía térmica

La energía térmica es un tipo de energía que se puede transferir mediante interacciones de un sistema con su entorno en forma de calor. Cuando existe una diferencia de temperatura entre al menos dos cuerpos, se puede afirmar que está ocurriendo una transferencia de calor. Esta energía se debe al movimiento aleatorio de las partículas que componen la materia, como son los átomos, las moléculas o los iones. Si este movimiento se vuelve más intenso, aumenta la temperatura del objeto.

2.2.1 Importancia de la energía térmica a nivel global

La energía térmica juega un papel fundamental en la sociedad. Según diversos informes realizados durante el año 2020 [11] [12] más del 50% de la energía que consumimos en todo el mundo se destina a generar calor, es decir, a la energía térmica, lo que equivale al triple de lo que usamos para producir electricidad. Sin embargo, este porcentaje varía considerablemente dependiendo de la región y el país al que nos refiramos. Existen algunos países en desarrollo donde la energía térmica puede representar más del 80% del consumo total de energía primaria.

Se trata de un tipo de energía que emplean prácticamente todos los sectores, siendo los que más la utilizan el sector industrial, el residencial y el comercial. En la industria, la energía térmica es usada mayormente para la generación de calor y vapor en procesos industriales. En el caso del sector residencial y comercial, la energía térmica se emplea para calefacción y refrigeración de edificios.

El uso de las energías renovables sigue creciendo con rapidez, especialmente en el sector eléctrico. Sin embargo, a pesar del papel fundamental que tiene la energía térmica en la sociedad, las energías renovables no son tan utilizadas en aquellos procesos que emplean el calor como principal fuente de energía, principalmente debido a la falta de políticas que respalden su uso en estos sectores [13].

2.2.2 Intercambiadores de calor y su presencia en múltiples aplicaciones

Un intercambiador de calor es un elemento que permite transferir calor de un medio a una temperatura determinada a otro de menor temperatura. Generalmente, se compone de dos corrientes de fluidos que circulan en direcciones opuestas con una pared sólida de por medio [14].

Existen numerosas formas de clasificar los intercambiadores de calor en función de diversos criterios. Se pueden clasificar en función del proceso de transferencia, del número de fluidos

involucrados, el tipo de construcción empleado, del mecanismo de transferencia de calor (se explicará de forma más detallada en el apartado 2.2.3), de la disposición de los fluidos y de la compactación de la superficie [15].

Son numerosas las aplicaciones que emplean un intercambiador de calor. Se utilizan en una amplia variedad de sistemas químicos o mecánicos para transferir calor entre dos fluidos diferentes:

- Generación de energía. En este ámbito, los intercambiadores de calor resultan esenciales para lograr una mejora de la eficiencia en centrales eléctricas que utilizan vapor para generar electricidad, siendo una de las principales aplicaciones de los intercambiadores de calor en la generación de energía el precalentamiento del agua utilizada en las calderas.
- Industria alimentaria. Los intercambiadores de calor son utilizados para pasteurizar y esterilizar productos alimenticios como la leche o la sopa. La pasteurización es un proceso que utiliza calor para eliminar bacterias y otros microorganismos en los alimentos sin afectar significativamente sus componentes. La esterilización es un proceso más intenso que utiliza calor para eliminar todos los microorganismos presentes en los alimentos.
- Sistemas de climatización. Los intercambiadores de calor son utilizados para calentar o enfriar el aire o en su defecto un líquido refrigerante. Algunos ejemplos comúnmente utilizados son los sistemas de aire acondicionado o los sistemas de refrigeración, en ellos los intercambiadores de calor tienen un papel fundamental, ya que permiten controlar la temperatura del proceso, y, por ende, mejoran la eficiencia energética de dichos procesos [14].

2.2.3 Principales fenómenos de transferencia de calor

Los tres métodos principales que existen para transferir el calor son la conducción, la convección y la radiación. Estos fenómenos trabajarán de forma conjunta hasta llegar a una temperatura concreta de semi-estabilidad. La Figura 2-1 muestra de forma visual los tres métodos.



Figura 2-1 Esquema de los mecanismos de transferencia de calor [16]

A continuación, se muestra un resumen de las diferentes técnicas de transferencia de calor.

2.2.3.1 Conducción

La conducción es un tipo de transferencia de calor entre dos puntos en el que las partículas que poseen más energía transmiten dicha energía a las que menos tienen mediante las interacciones entre las mismas.

Como ejemplo sencillo y práctico, podemos pensar en un vaso de agua con hielo en el que hay un gradiente de temperatura y no existe movimiento global en el sistema. El calor se transmite del agua al hielo hasta alcanzar una temperatura de equilibrio en el sistema en conjunto.

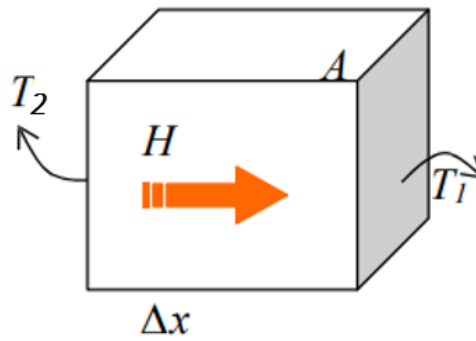


Figura 2-2. Proceso de conducción [16]

Los mejores conductores del calor son los sólidos, como son los metales, mientras que los fluidos resultan ser peores conductores, como el caso del aire. Los elementos que no conducen bien el calor reciben el nombre de aislantes.

La conducción de calor solo se produce cuando existe una diferencia de temperatura entre dos puntos. Si un volumen con un espesor Δx y un área de sección transversal A , donde sus caras opuestas se encuentran a diferentes temperaturas $T_2 > T_1$, se encuentra que el calor transferido dq en un intervalo de tiempo fluye del extremo caliente al frío. La tasa de transferencia de calor, dq , viene dada por la ley de Fourier y su unidad en el Sistema Internacional es el Watio.

$$dq = -kA \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 1. Ley de Fourier [16]

donde k es la conductividad térmica del material en $\text{W/m}\cdot\text{K}$, es decir, es la capacidad que tiene dicho material de conducir el calor y, por lo tanto, de provocar esa variación de temperatura, A es el área transversal a través del cual se transfiere el calor en m^2 , y $\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de la temperatura en el material medido en K/m . El signo menos nos permite ver que la conductividad es en dirección creciente a la temperatura [16].

2.2.3.2 Convección

La convección es un tipo de transferencia de calor que implica el movimiento de materia en líquidos o gases. La convección se puede clasificar según la naturaleza del flujo. En la convección libre o natural, el flujo es provocado por empujes debido a la diferencia de densidades de la materia ocasionadas por las variaciones que se producen en la temperatura. En la convección forzada, la materia se mueve gracias a un elemento externo, como puede ocurrir con el agua de una bomba o el aire de un ventilador.

Este fenómeno solo se produce en líquidos y gases en el que las moléculas y los átomos se encuentran libres para moverse por el medio. Gran parte del calor adquirido en la naturaleza por la atmósfera debido a los fenómenos de radiación y conducción en zonas cercanas a la superficie se transporta a otras capas de la atmósfera gracias a la convección. La ley de enfriamiento de Newton es un modelo de transferencia de calor por convección, q . Su unidad en el Sistema Internacional es el Watio.

$$q = h A (T_2 - T_1)$$

Ecuación 2. Ley de enfriamiento de Newton [16]

donde h es el coeficiente de convección en $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, A es la superficie, medida en m^2 que cede calor a una temperatura T_2 al fluido adyacente, que está a una temperatura T_1 , medido en Kelvin, tal y como se puede observar en la Figura 2-3. El flujo de calor por convección será positivo ($q > 0$) si el calor

es transferido desde la superficie A al fluido ($T_2 > T_1$) y será negativo si el calor es transferido desde el fluido hacia la superficie ($T_2 < T_1$) [16].

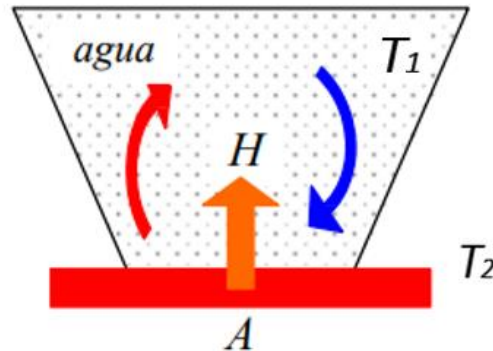


Figura 2-3. Proceso de convección [16]

2.2.3.3 Radiación

La radiación es la energía que se libera por la materia a una temperatura determinada. Se emite directamente desde la fuente hacia el exterior en todas direcciones. Esta energía se debe a los cambios en las estructuras electrónicas de los átomos o moléculas que la componen y se transporta mediante ondas electromagnéticas o fotones, fenómeno conocido como radiación electromagnética. La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí que se propagan en el espacio y transportan la energía de un lugar a otro.

A diferencia de la conducción y la convección, y de otras formas de onda como el sonido, que requieren un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente del medio material para su difusión, siendo incluso más efectiva la radiación en el vacío. No obstante, la velocidad, la intensidad y la dirección del flujo de energía se ven afectados por la interacción con la materia. Estas ondas pueden viajar a través del espacio y llegar a la Tierra desde el Sol o las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (ν) de las ondas electromagnéticas, relacionadas por la expresión $c = \lambda\nu$, resultan fundamentales para poder determinar su energía, poder de penetración, visibilidad y otras muchas características. Sin embargo, en el vacío todas las ondas electromagnéticas se desplazan a la velocidad de la luz de forma constante ($c = 299792 \text{ km/s}$), independientemente de su frecuencia y longitud de onda.

Max Planck llevó a cabo una idea revolucionaria que solucionó uno de los enigmas de la radiación: afirmó que la radiación no es emitida de manera continua, sino en “trozos” discretos de energía llamados fotones. La energía de estos “trozos” será proporcional a su frecuencia, lo que permitió deducir una de las leyes más importantes de la física, la conocida como ley de Planck [16]. Su unidad en el Sistema Internacional es el Julio.

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Ecuación 3. Ley de Planck [16]

siendo h la llamada constante de Planck, de valor $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, c es la velocidad de la luz en el vacío en m/s y λ es la longitud de onda del fotón en m.

2.3 Nanofluidos

2.3.1 Motivación del empleo de nanofluidos

La transferencia de calor, como se ha visto anteriormente, tiene un papel indispensable en los sistemas de refrigeración, calefacción, aire acondicionado y otras muchas aplicaciones térmicas [17].

Por lo tanto, debido a la gran importancia de estas aplicaciones en nuestra vida cotidiana, las investigaciones actuales se centran tanto en buscar una mejora en la velocidad de la transferencia de calor para poder reducir el tiempo del proceso de transferencia de calor, así como en lograr una mejor eficiencia energética [18].

En los intercambiadores de calor, los fluidos que se suelen utilizar son el agua, los glicoles y los aceites, entre otros. La problemática que presentan estos fluidos es su baja conductividad térmica, lo que implica un rendimiento bajo a la hora de transferir calor [19].

Los métodos pasivos para el aumento de transferencia de calor no implican la utilización de energía extra. Consisten en técnicas tales como extensión de superficies, tratamientos superficiales o la adición de aditivos en los fluidos [20].

La primera referencia de la utilización de aditivos de la que se tiene constancia es de 1873, cuando Maxwell propuso la idea de mejorar la conductividad térmica de los fluidos al dispersar micropartículas en ellos. Sin embargo, esta técnica no obtuvo los resultados esperados debido a problemas como la sedimentación, erosión y el gran aumento de la potencia de bombeo. Con el avance en la tecnología de síntesis de nanomateriales, se ha encontrado una nueva forma de mejorar el proceso, mediante la dispersión de nanopartículas en el fluido base. En 1993 el científico Yoneji Masuda realizó una investigación sobre nanofluidos y sus propiedades, pero no fue hasta 1995 cuando se acuña por primera vez el término nanofluido para referirse a las dispersiones coloidales estables de nanomateriales con tamaños inferiores a 100 nm en los fluidos base [21].

2.3.2 Definición de nanofluido

Los nanofluidos son una clase de fluidos que se producen al dispersar nanopartículas o nanoláminas en un fluido base. El objetivo inicial del diseño de los nanofluidos es incrementar la conductividad térmica del fluido base, ya que las conductividades térmicas de los sólidos son órdenes de magnitud superiores a las de los líquidos. La Tabla 2-1 y Tabla 2-2 muestran algunos ejemplos.

Fluido base	Conductividad térmica (W/m·K)
Tolueno	0.133
Aceite de motor	0.145
Queroseno	0.145-0.168
Etileno	0.161-0.171
Propilenglicol	0.2
Etilenglicol	0.257
Glicerol	0.285
Agua	0.608

Tabla 2-1 Ejemplos de fluidos base y sus conductividades térmicas [21]

Material	Conductividad térmica (W/m·K)
SiO ₂	1.34-1.38
Fe ₂ O ₃	6
TiO ₂	8.4
ZnO	29
Al ₂ O ₃	40
MgO	54.9
CuO	76.5
Fe	75-80
Al	238-273
Au	310
Cu	401
Ag	429

Tabla 2-2 Ejemplo de materiales y sus conductividades térmicas [21]

La dispersión de estas nanopartículas en el fluido base tiene un impacto significativo en las propiedades termofísicas de dicho fluido (conductividad térmica, viscosidad dinámica, densidad y capacidad calorífica). Estas propiedades son las que presentan una mayor influencia en el fenómeno de transferencia de calor por convección. El incremento de la conductividad térmica provoca un efecto favorable en la transferencia de calor convectiva de los fluidos, pero el incremento en la viscosidad dinámica hace que empeore. Por ello, la dificultad radica en encontrar el equilibrio entre estas dos propiedades termofísicas con el objetivo de que el rendimiento de convección mejore [22].

La preparación de los nanofluidos tiene que ser meticulosa debido a la necesidad de obtener una mezcla homogénea, estable, sin aglomeraciones y sin alteraciones químicas una vez mezclado con el fluido base. Para lograr esa estabilidad en los nanofluidos, se deben considerar varios factores durante el proceso de síntesis [23]. Estos factores son presentados en la Figura 2-4.

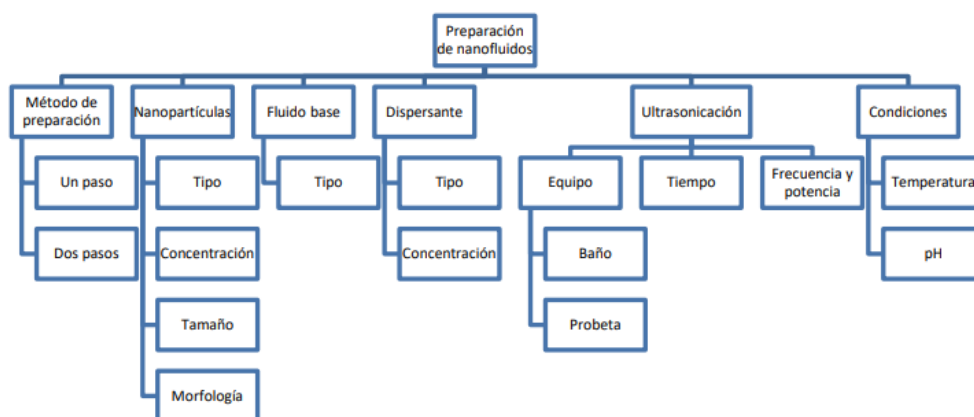


Figura 2-4 Factores en la preparación de nanofluidos [23]

Existen dos técnicas para preparar los nanofluidos: el método de un paso y el método de dos pasos. El método de un paso combina la creación de las nanopartículas con su dispersión en el fluido base en una sola fase. Un ejemplo de estos procesos es el de evaporación directa, en el cual las nanopartículas se forman en el fluido base en forma gaseosa y luego se solidifican. El método de dos pasos es el más utilizado. En este método, en el primer paso se sintetizan las nanopartículas y en el segundo paso se dispersan en el fluido base [18]. A continuación, la Figura 2-5 muestra una imagen explicativa del método de dos pasos para el diseño de nanofluidos.



Figura 2-5 Método de síntesis de nanofluidos por dos pasos [23]

Una de las principales dificultades a la hora de operar con un nanofluido es que permanezca estable, ya que en aplicaciones donde se realizan ciclos de trabajo a alta temperatura, las partículas del nanofluido tienden a la sedimentación degradando el rendimiento del nanofluido.

Para mantener la estabilidad de los nanofluidos, se utilizan diferentes enfoques, incluyendo métodos químicos y físicos. Los métodos químicos incluyen el uso de surfactantes para mezclar las nanopartículas al fluido base, evitando así su agregación, así como la modificación de la superficie de las nanopartículas y el uso de ácidos o bases para controlar el pH. Por otro lado, los métodos físicos incluyen la ultrasonificación, la homogenización y el uso de molinos de bolas, siendo la ultrasonificación el método más utilizado [24] y el empleado en el presente trabajo.

Hoy en día, los fluidos bases más utilizados son el agua, los glicoles y los aceites entre otros. En cuanto a los nanomateriales, es frecuente el uso de aleaciones metálicas, óxidos o derivados del carbono [25].

2.4 Propiedades termofísicas con impacto en la transferencia de calor por convección

Para poder comprender el papel de los nanofluidos en términos de convección, en el presente Trabajo de Fin de Grado se miden de manera experimental cuatro magnitudes diferentes: conductividad térmica, viscosidad dinámica, densidad y capacidad calorífica.

2.4.1 Conductividad térmica

La conductividad térmica, k , es una propiedad de los materiales que indica su capacidad para conducir el calor. Se define como el flujo de calor, $\dot{q}$, entre el gradiente de temperatura, ∇T . La conductividad térmica se puede expresar mediante la ley de Fourier:

$$k = \frac{\dot{q}}{|\nabla T|}$$

Ecuación 4. Conductividad térmica [26]

Su valor suele variar dependiendo de varios factores, sin embargo, en el presente Trabajo de Fin de Grado, se considerará que solo depende de la temperatura [26]. Las unidades de conductividad térmica en el Sistema Internacional son W/(m·K).

2.4.2 Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica, μ , es una propiedad que define la capacidad de un fluido para resistir el cambio en su forma debido a la aplicación de esfuerzos cortantes, es decir, mide la resistencia de un fluido a comportarse como tal. Este concepto se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{\tau}{\Delta u / \Delta y}$$

Ecuación 5. Viscosidad dinámica [27]

donde τ es el esfuerzo cortante y $\Delta u / \Delta y$ es la variación de deformación de cizalla producida debido al esfuerzo cortante. Este cociente es denominado *shear rate* y se representa como γ . Las unidades de viscosidad dinámica en el Sistema Internacional son Pa·s [27].

2.4.3 Densidad

La densidad, ρ , es una propiedad que define la cantidad de masa que existe en un volumen determinado de una sustancia, es decir, es el cociente entre la masa de la sustancia y el volumen que ocupa, esta propiedad es medida en kg/m³. Sin embargo, este valor no tiene por qué ser uniforme a lo largo de dicho cuerpo, de este modo, para tener una mayor exactitud podemos introducir los elementos diferenciales:

$$\rho = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\Delta mk}{\Delta V k} \approx \frac{dm}{dv}$$

Ecuación 6. Densidad para cuerpos no uniformes [28]

donde dm es el diferencial de masa en kg y dv es el diferencial de volumen en m³.

En lo que a nanofluidos se refiere, podemos encontrar dos posiciones. Una de estas posiciones aboga que los nanofluidos se tratan de un sistema bifásico, donde conviven tanto fase sólida como líquida [28]. Sin embargo, autores experimentados en este ámbito [29] [30], afirman que su comportamiento es prácticamente como el de un fluido, de manera que se considera monofásico, y por tanto resultan incompresibles, lo que permite que para cálculos de densidad se puede despreciar los valores de la presión y tener en cuenta únicamente los de la temperatura, tal y como se asume en este trabajo. Por tanto, se puede simplificar la densidad de tal manera:

$$\rho = \varphi(T, p) \approx \varphi(T)$$

Ecuación 7. Densidad despreciendo valores de presión [29] [30]

donde T es la temperatura del fluido en Kelvin y p es la presión en Pascales.

2.4.4 Capacidad calorífica

La capacidad calorífica es una medida de la cantidad de calor necesaria para cambiar la temperatura de un material, es decir, se puede interpretar como una especie de resistencia térmica que indica la cantidad de calor que puede retener un material antes de que su temperatura varíe. Cuanto más alta sea la capacidad calorífica del material, más calor será necesario aplicar para lograr una variación en la temperatura y más tiempo se retendrá este calor antes de que sea cedido al entorno. Esta propiedad depende de factores como la masa, el calor específico propio de cada material y el coeficiente de conductividad térmica de éstos.

Se pueden distinguir entre dos principales tipos de capacidad calorífica. La capacidad calorífica a volumen constante y la capacidad calorífica a presión constante, la cual es la que nos interesa debido al papel que juega en procesos convectivos [31].

La fórmula para calcular la capacidad calorífica a presión constante es la siguiente:

$$C_p = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$$

Ecuación 8. Capacidad calorífica a presión constante [32]

donde Q es la cantidad de calor, medida en Julios, necesaria para lograr un aumento de la temperatura a presión constante de la sustancia que se mide, n es la cantidad de moles de dicha sustancia y ΔT es la temperatura en Kelvin. La capacidad calorífica a presión constante en el Sistema Internacional se mide en J/mol·K [32].

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Materiales

En este apartado se realizará una descripción del fluido base con el que trabajaremos, así como de los nanomateriales con los que se elaboran los nanofluidos. El proceso de esta elaboración se explica más adelante, en el apartado 3.2.

3.1.1 Fluido base

El fluido base que se utiliza para todos los nanofluidos diseñados es una mezcla de agua destilada y propilenglicol, en este caso las proporciones corresponden a un 70% de agua destilada y el 30% restante corresponde a propilenglicol (PG:A 30:70).

El agua es el fluido caloportador más usado en la industria energética. Esto es principalmente debido a su bajo coste en comparación con otros fluidos, además de que posee una alta conductividad térmica en comparación con otros tipos de fluidos empleados para este tipo de aplicaciones. Sin embargo, posee también algunos inconvenientes debido a que su temperatura de congelación es de 0°C y su temperatura de evaporación es de 100°C, lo que limita mucho su uso en diversas aplicaciones [33]. Por ello, es muy frecuente que el fluido base sea una mezcla de agua con otro fluido que presente rangos más amplios de temperatura de congelación o de evaporación para permitir un uso más flexible del mismo, a pesar de que ello implique que presente una conductividad térmica inferior. El objetivo principal es la búsqueda de un equilibrio entre un aumento del rango de temperaturas y una buena conductividad térmica. En la Tabla 3-1 se muestran las propiedades de mayor interés del agua para nuestro estudio.

Propiedad	Valor numérico
Conductividad térmica	0,608 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Viscosidad dinámica	1,002 mPa·s
Densidad	1 g/cm ³
Capacidad calorífica	4186 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
Temperatura de ebullición	100 °C
Temperatura de congelación	0 °C

Tabla 3-1. Propiedades de interés del agua a 20 °C [33]

El propilenglicol ha sido proporcionado por Merck (Alemania, Darmstadt), pureza 99,5%. Es un fluido claro e incoloro, con mayor viscosidad que el agua. Debido a su baja toxicidad, tiene como aplicación principal la de asegurar la calidad en alimentos, bebidas, productos cosméticos o farmacéuticos, entre otros. Sin embargo, también es un gran producto para transferencia de calor a bajas temperaturas, principalmente utilizado en sistemas de enfriamiento. El propilenglicol en solución acuosa posee unas excelentes propiedades anticongelantes, lo que resulta especialmente atractivo en climas fríos en los que se suelen dar casos de temperaturas por debajo del punto de congelación del agua [34]. En la Tabla 3-2 se muestran las propiedades de mayor interés del propilenglicol para nuestro estudio.

Propiedad	Valor numérico
Conductividad térmica	$0,200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Viscosidad dinámica	52 mPa·s
Densidad	1,036 g/cm ³
Capacidad calorífica	$2460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Temperatura de ebullición	188 °C
Temperatura de congelación	-58 °C

Tabla 3-2. Propiedades de interés del propilenglicol a 20°C [35]

La mezcla PG:A 30:70 proporciona protección frente a temperaturas de congelación de en alrededor de -13 °C. Este hecho hace que sea utilizada en múltiples aplicaciones de calefacción y refrigeración.

3.1.2 Nanomateriales

En este apartado se describen brevemente las características de los tres nanomateriales que se emplean durante el presente Trabajo de Fin de Grado. Todos los nanomateriales han sido adquiridos a la empresa PlasmaChem (Alemania, Berlín). La elección de los tres nanomateriales se ha basado en la escasez de datos existentes en la literatura. La tendencia ha estado centrada en el estudio de nanopartículas metálicas, sin embargo, se ha observado que tienen una rápida oxidación. Por ello, los siguientes estudios se centraron en los óxidos metálicos y las nanopartículas de grafeno, pero se siguen buscando otras tendencias de menor dificultad de fabricación y coste. En este contexto, surge la idea de elaborar nanofluidos a base de nitruros y carburos, ya que cuentan con una gran conductividad térmica y un económico precio.

3.1.2.1 Nitruro de aluminio

El nitruro de aluminio es un material cerámico caracterizado principalmente por su buena conductividad térmica, alrededor de los $260 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, además de poseer una gran resistencia mecánica y una buena estabilidad tanto térmica como química. Se trata de un compuesto semiconductor con un gran ancho de banda, lo que permite controlar el flujo de electricidad de ciertos dispositivos electrónicos. Se trata de un material que mantiene sus propiedades a presiones y temperaturas extremas.

Tiene diferentes usos que requieren de transferencia de calor. Este material tiene aplicaciones en energía, industria automovilística y aplicaciones electrónicas que requieran de una gran potencia.

En la Tabla 3-3 se muestran las propiedades de mayor interés que nos facilita el fabricante.

Propiedad	Valor numérico
Rango del tamaño de las partículas	5-200 nm
Tamaño medio de las partículas	25-50 nm
Superficie específica	18 m ² /g
Densidad	0.16-0.28 g/cm ³
Pureza	95%

Tabla 3-3. Propiedades del nanopolvo de nitruro de aluminio proporcionadas por el fabricante [36]

3.1.2.2 Carburo de silicio (α)

El carburo de silicio (α) es también conocido como carburo de silicio hexagonal, o estructura tipo wurtzita. Se trata de un material caracterizado por tener una estructura cristalina hexagonal, distribuidos en una red tridimensional ordenada, formando capas alternas de átomos de carbono y de silicio. Cada celda de esta estructura cristalina contiene dos átomos de silicio y dos de carbono, formando un enlace covalente fuerte.

Es un compuesto que tiene una gran resistencia mecánica, resistencia a elevadas temperaturas, alta dureza, además de su excelente conductividad térmica y su baja densidad en comparación con otro tipo de cerámicas.

Tiene numerosas aplicaciones, entre las que destacan la industria automovilística, la fabricación de reactores químicos y equipos de procesamiento, la producción relojes de alta gama, joyas, o herramientas de corte, entre otros.

Propiedad	Valor numérico
Rango del tamaño de las partículas	5-250 nm
Tamaño medio de las partículas	25-50 nm
Superficie específica	18 m ² /g
Densidad	0.23-0.35 g/cm ³
Pureza	98,5%

Tabla 3-4. Propiedades del nanopolvo de carburo de silicio hexagonal (α) proporcionadas por el fabricante [37]

3.1.2.3 Carburo de silicio (β)

El carburo de silicio (β) es también conocido como carburo de silicio cúbico. Se trata de un material caracterizado por tener una estructura cristalina cúbica, formada por átomos de silicio y carbono distribuidos en una red tridimensional ordenada, muy similar a la estructura del diamante. Cada átomo de silicio se encuentra rodeado por cuatro átomos de carbono, de manera que dan lugar a enlaces covalentes fuertes.

Es un compuesto que tiene una gran resistencia, cuenta con una gran dureza, considerándose uno de los materiales más duros y resistentes, siendo su valor de dureza algo inferior al del diamante. Se caracteriza por tener excelentes propiedades físicas y químicas, además de que posee una elevada conductividad térmica y una excelente resistencia al desgaste, corrosión y radiación.

Tiene numerosas aplicaciones debido a sus buenas propiedades, entre las que destacan producción de instrumentos de óptica de alta precisión, componentes electrónicos o producción de elementos refractarios y cerámicos, entre otros.

Propiedad	Valor numérico
Tamaño medio de las partículas	13-27 nm
Superficie específica	73-87 m ² /g
Pureza	98%

Tabla 3-5. Propiedades del nanopolvo de carburo de silicio cúbico (β) proporcionadas por el fabricante [38]

3.2 Metodología

El diseño y estudio de los nanofluidos empleados durante el presente proyecto se lleva a cabo a través de los procesos experimentales descritos en los siguientes apartados.

3.2.1 Preparación del fluido base

En primer lugar, se procede a preparar el fluido base. El fluido base se logra mediante la mezcla con una probeta de agua destilada y propilenglicol, correspondiendo un 70% en masa de agua destilada y el 30% restante de propilenglicol. En la Figura 3-1 se muestra uno de los tubos falcon donde se almacenó el fluido base.



Figura 3-1. Muestra de 50 ml de fluido base [Fuente propia]

Uno de los viales es únicamente constituido por el fluido base, debido principalmente a que sirve de referencia respecto a los tres nanofluidos para poder comprobar en que porcentaje se produce un aumento del rendimiento al utilizar nanomateriales.

3.2.2 Caracterización de los nanopolvos

La caracterización de los nanopolvos resulta esencial para comprender y optimizar al máximo las propiedades y aplicaciones de los nanofluidos. Además de las propiedades proporcionadas por el fabricante, especificadas en el apartado 3.1.2, se realiza un análisis microscópico de cada uno de los nanomateriales.

Se emplea la técnica de microscopía electrónica de transmisión (TEM) para observar el tamaño y forma nanométrica de las partículas y obtener imágenes detalladas de las estructuras de los nanopolvos.

La microscopía electrónica de transmisión es una técnica que utiliza haces de electrones para obtener imágenes con gran detalle de la estructura interna de un material. Estos haces de electrones se generan

a través de un cañón de electrones, los cuales se enfocan a través de una serie de lentes magnéticas. La muestra que se quiere medir se coloca en un soporte delgado, normalmente una rejilla de cobre o una película de carbono, y los haces de electrones se dirigen hacia ella, atravesándola. Posteriormente, los electrones se dispersan y son registrados en una cámara digital que crea la imagen microscópica [39].

Las imágenes TEM de este trabajo se han obtenido en el Centro de Apoyo Científico-Tecnológico a la Investigación (CACTI) de la Universidad de Vigo mediante un microscopio electrónico JEM-2010F de JEOL (Japón, Tokio) a un voltaje de aceleración de 200 kV.

3.2.3 Preparación de los nanofluidos

Se procede a preparar diferentes muestras con los nanomateriales expuestos en el apartado 3.1.2, en el que se emplean 6 viales con capacidad de hasta 25 ml cada uno.

Las concentraciones de los distintos nanofluidos se miden en porcentaje de masa, mediante la balanza de precisión Gram FV-220C. Los tres primeros nanofluidos se preparan mediante una mezcla correspondiente a un 1% en masa de cada nanomaterial y el porcentaje restante perteneciente al fluido base. La Figura 3-2 muestra los tres viales de los nanofluidos preparados al 1% en concentración másica.



Figura 3-2. Nanofluidos al 1% [Fuente propia]

Los tres nanofluidos restantes se preparan mediante una mezcla correspondiente a un 2% en masa de cada nanomaterial con el restante 98% perteneciente al fluido base. La Figura 3-3 muestra los tres viales de los nanofluidos preparados al 2% en concentración másica.



Figura 3-3. Nanofluidos al 2% [Fuente propia]

Las fracciones másicas se han calculado de la siguiente manera:

$$\phi m = \frac{\phi m_{np}}{\phi m_{np} + \phi m_{fb}}$$

Ecuación 9. Cálculo de fracciones másicas.

donde m_{np} la masa de la nanopartícula y m_{fb} la masa del fluido base.

Para la preparación de los nanofluidos se usa el método de dos pasos descrito en el apartado 2.3.2. En la Figura 3-4 se muestra un esquema del proceso de elaboración de dicho método.

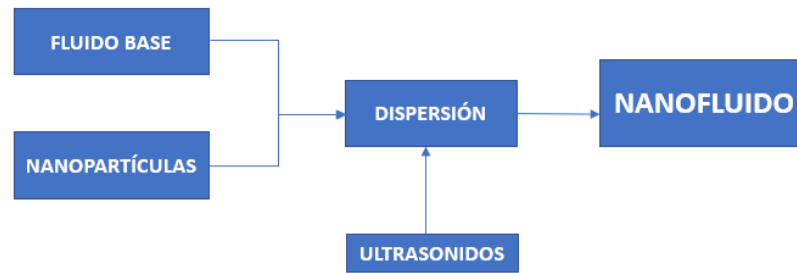


Figura 3-4. Esquema de preparación de un nanofluido mediante el método de dos pasos [Elaboración propia].

Una vez realizadas las distintas muestras, se agitan mecánicamente mediante un agitador Vortex durante unos minutos. Posteriormente, se depositan las muestras en un equipo de baño de ultrasonidos de Elma (Alemania, Singen am Hohentwiel), modelo S300H, durante 180 minutos de forma continua y sin establecer una temperatura determinada de trabajo. El objetivo del empleo del baño de ultrasonidos es mejorar la dispersión de las nanopartículas en el fluido base, consiguiendo un resultado uniforme y eficiente. Para lograr este objetivo, se emplean ondas de presión y vacío, que crean flujos que permiten la mezcla uniforme de los nanomateriales. La Figura 3-5 muestra una imagen del baño de ultrasonidos empleado para la elaboración de los nanofluidos.



Figura 3-5. Baño ultrasonidos [Fuente propia]

Finalizados dichos procesos, ya se pueden realizar las mediciones de las propiedades termofísicas. En la Figura 3-6 se muestra un esquema a modo de resumen de todas las muestras que se han elaborado empleando las técnicas descritas anteriormente.

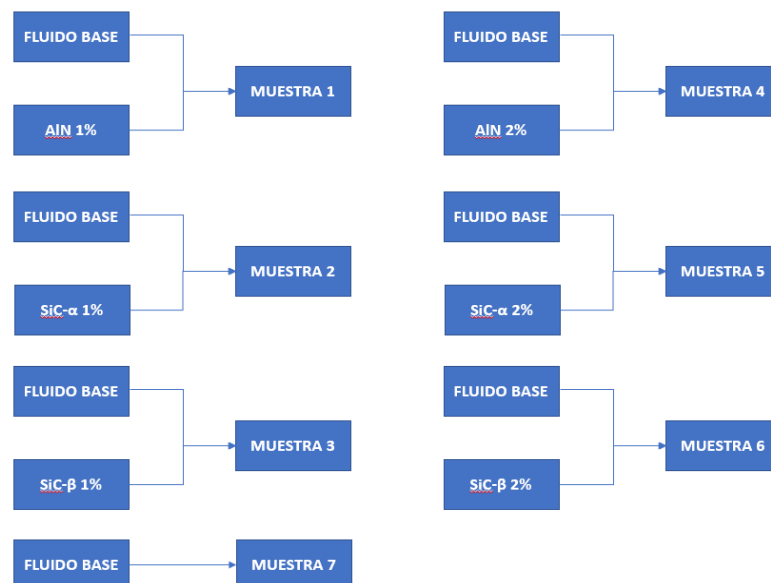


Figura 3-6. Esquema explicativo de las muestras elaboradas [Elaboración propia]

3.2.4 Estabilidad de las muestras

Una de las principales dificultades a la hora de elaborar un nanofluido radica en la estabilidad de la dispersión, aspecto clave en su rendimiento, tal y como se indica anteriormente en el apartado 2.3.2. Por ello, la estabilidad es una propiedad que resulta importante caracterizar cuando se estudia el rendimiento de un nanofluido.

La estabilidad de una dispersión acuosa se puede comprobar midiendo su potencial zeta. El potencial zeta representa la carga eléctrica existente en la superficie de un sistema coloidal, es decir, es una medida de la atracción o repulsión electrostáticas de las partículas suspendidas en una dispersión. El valor depende tanto de las propiedades de las partículas dispersas como de las propiedades del fluido en el que se dispersan. La Figura 3-7 muestra las nanopartículas diluidas en el fluido base para posteriormente medir el potencial zeta.

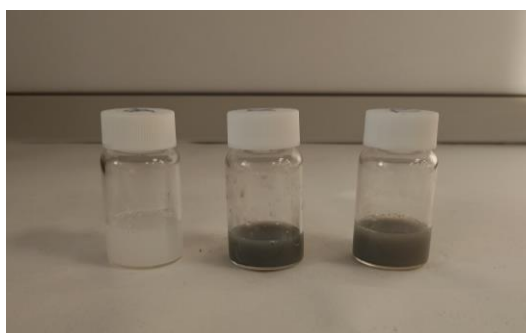


Figura 3-7. Nanomateriales diluidos en el fluido base [Fuente propia]

La solución se puede considerar estable si se obtiene un valor absoluto de potencial zeta elevado (a partir de los 30 mV podemos considerar que el nanofluido es estable). Este hecho implica que existe repulsión entre las nanopartículas, y que por ello no tienen tendencia a sedimentarse o a formar agregados. La formación de agregados es un fenómeno que ocurre de manera frecuente en este tipo de elaboraciones, ya que se ve favorecida por la existencia de interacciones de Van der Waals entre nanopartículas sólidas.

Para realizar las mediciones del potencial zeta se emplea un equipo de medida de potencial zeta, de la empresa Malvern Panalytical, concretamente se trata del modelo Zetasizer Nano ZS. Es un equipo que puede medir partículas a niveles subnanométricos, permite pesar las nanopartículas y por último permite medir el potencial zeta, que es para lo que lo que se utilizara en este caso. Para analizar la movilidad y carga de los nanopulvos empleados utiliza la técnica de dispersión de luz electroforética, la cual permite separar moléculas que tengan carga eléctrica. La Figura 3-8 muestra el medidor de potencial zeta con el que se realizan las mediciones.

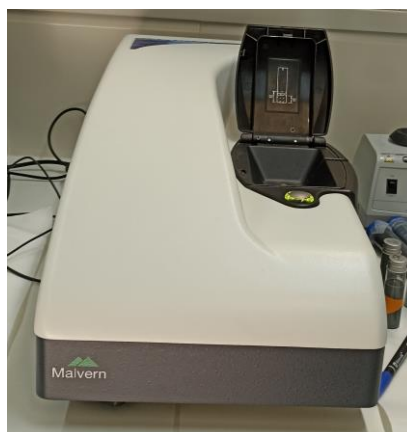


Figura 3-8. Medidor de potencial zeta [Fuente propia]

3.2.5 Determinación de las propiedades termofísicas de los nanofluidos

En este apartado se explica cómo se han realizado las mediciones de cada propiedad termofísica, así como una breve descripción del número de ensayos realizados para cada propiedad y de la forma que se ha realizado cada uno. La Figura 3-9 ofrece una visión más clara y resumida acerca de la cantidad de ensayos y las temperaturas a las que se han realizado.

		k	μ	ρ	Cp
Temperatura (°C) a las que se han realizado la medición de cada propiedad	Nanofluido 1% AlN	20, 30, 40	20	20, 30, 40	20, 30, 40
	Nanofluido 2% AlN	20, 30, 40	20	20, 30, 40	
	Nanofluido 1% SiC- α	20, 30, 40	20	20, 30, 40	20, 30, 40
	Nanofluido 2% SiC- α	20, 30, 40	20	20, 30, 40	
	Nanofluido 1% SiC- β	20, 30, 40	20	20, 30, 40	20, 30, 40
	Nanofluido 2% SiC- β	20, 30, 40	20	20, 30, 40	
	PG:A 30:70	20, 30, 40	20	20, 30, 40	20, 30, 40
Ensayos totales		21	7	21	12

Figura 3-9. Esquema aclaratorio del número de ensayos realizados y sus temperaturas de medición [Elaboración propia]

3.2.5.1 Conductividad térmica

Con el objetivo de medir la conductividad térmica se emplea el conductivímetro TEMPOS de la empresa Labferrer (España, Lleida). Se trata de un equipo portátil, de pequeñas dimensiones y fácil de transportar. Es capaz de realizar mediciones de conductividad, resistividad, difusividad o calor específico con una incertidumbre del 3%.

La técnica empleada para medir las distintas propiedades térmicas es la del hilo caliente, que consiste en un sensor que mide la propiedad térmica deseada. Este sensor es una aguja que contiene dentro un hilo que es capaz de calentarse o enfriarse, de manera que mide como se propaga el calor introduciendo la aguja en la muestra que se quiere medir. El tiempo de calentamiento es ajustable entre un rango de 1 minuto a 10 minutos, en función del material y el tipo de sensor usado. La Figura 3-10 muestra el conductivímetro con el que se realizan las mediciones.



Figura 3-10. Conductivímetro con sensor tipo KS-3 [Fuente propia]

Las mediciones de la conductividad térmica se realizan en un rango de temperaturas entre los 20 y 40°C, midiendo cada 15 minutos durante 2 horas. Las mediciones tienen lugar cuando el nanofluido que medimos alcanza la temperatura deseada. Para ello, previamente se introduce el nanofluido en una cámara incubadora que permite establecer la temperatura deseada de forma constante en el tiempo. Las mediciones se realizan una vez la muestra haya alcanzado la misma temperatura que hay en la cámara incubadora. Para realizar las mediciones se usa el sensor tipo KS-3, con aguja de 6 cm, el cual es usado

para medir conductividad y resistividades térmicas en líquidos y nanofluidos. Los viales se cierran con una membrana plástica de tapón, esta membrana es conocida como tapón de goma tipo septum, con el objetivo de que el sensor esté en contacto con la muestra y de que al pinchar el septum con la aguja la muestra siga permanezca hermética.

3.2.5.2 Viscosidad

La viscosidad dinámica se determina mediante un viscosímetro Viscolead Pro de la empresa Fungilab (España, Barcelona). Se trata de un tipo de viscosímetro rotacional que mide la viscosidad en fluidos y semisólidos con una incertidumbre del 5% a través de un rotor que gira a velocidad constante en el fluido que se pretende medir.

El viscosímetro tiene el rotor que está conectado a un eje que gira dentro de una cámara que se encuentra llena de fluido. Existe la posibilidad de variar esta velocidad de giro y ajustarlas a las características del fluido. El rotor gira a lo vez que lo hace el fluido, de manera que la resistencia que ejerce el fluido sobre el rotor es medida a través de un sensor de torsión, y que por consecuencia mide la viscosidad. Además, el equipo cuenta con un sensor de temperatura que mide la temperatura a la vez que la viscosidad, por lo que resulta necesario llevar a cabo un control de la temperatura con el objetivo de obtener resultados precisos y consistentes. El equipo también cuenta con diferentes tipos de husillos que pueden ser cambiados en función de las características del fluido que se pretende medir. La Figura 3-11 muestra el viscosímetro con el que se realizan las mediciones.



Figura 3-11. Viscosímetro [Fuente propia]

Se ha determinado la viscosidad del fluido base y de los tres nanofluidos con las dos concentraciones que se elaboraron anteriormente. Para ello, emplearemos los vasos de precipitado con un peso de 250 g para cada una de las distintas muestras. Se utilizará un husillo de disco tipo L3, el cual es el más idóneo para medir la viscosidad en fluidos en los que se han dispersado partículas, como es el caso de los nanofluidos.

3.2.5.3 Densidad

Para medir la densidad se emplea el equipo DMA 501, de la empresa Anton Paar (España, Madrid). Es un equipo compacto y portátil, compatible con una amplia variedad de líquidos, entre los que se incluyen distintos productos químicos, aceites o productos farmacéuticos, entre otros. Además, es compatible con un amplio rango de temperaturas.

Se trata de un dispositivo empleado para la medición de densidad y concentración de líquidos con una incertidumbre del 0,1%, facilitando una lectura en tiempo real de la densidad, lo que garantiza una monitorización de forma continua de la muestra. La Figura 3-12 muestra el densímetro con el que se realizan las mediciones.



Figura 3-12. Densímetro [Fuente propia]

Se procederá a realizar una medición de la densidad de cada tipo de nanofluido en rango de temperaturas entre 20 y 40°C, empleando muestras de 1 ml, con el objetivo de poder volver a utilizar los viales para seguir realizando mediciones de otras propiedades termofísicas. La muestra se desplaza a través de un tubo en forma de “U” y es ahí donde se realiza la medición. Para cada muestra, es necesario hacer una limpieza con agua y un posterior secado para poder medir la siguiente muestra.

3.2.5.4 Capacidad calorífica

Para medir la capacidad calorífica se emplea un equipo específico con dicho objetivo. En concreto, un calorímetro diferencial de barrido, el cual se trata del modelo DSC Q2000 de la empresa T.A. Instruments (Inglaterra, Newcastle). Es un instrumento de análisis térmico que ofrece gran precisión minimizando la capacidad de error considerablemente, ya que su incertidumbre se reduce al 3%.

El equipo mide los cambios de entalpía que existen en una muestra cuando ésta es sometida a cambios de temperatura controlados debido a distintos fenómenos térmicos. Tiene dos celdas, la celda de referencia y la celda de muestra. La celda de referencia lleva un material inerte el cual no cambia térmicamente hablando y la celda de muestra, como su nombre indica, contiene la muestra que se va a analizar, y que por tanto experimenta cambios de temperatura. Estos cambios de temperatura provocan reacciones exotérmicas o endotérmicas, de manera que esta cantidad de calor liberada o absorbida es medida por el DSC Q2000. La Figura 3-13 muestra el calorímetro del mismo tipo con el que se realizan las mediciones.



Figura 3-13. Calorímetro DSC Q2000 [40].

Debido a que no se dispone de un DSC en las instalaciones del Centro Universitario de Defensa (CUD-ENM), se encarga a un laboratorio externo la realización de estas medidas. Por un lado, se analiza la capacidad calorífica a presión constante del fluido base, mientras que por otro lado se mide la de los tres nanopulvos por separado a distintas temperaturas. Por tanto, para poder conocer la capacidad calorífica de cada nanofluido se emplea una fórmula en la que se incluye tanto los datos del fluido base como de los distintos nanopulvos:

$$c_{p_{nf}} = \varphi_m \cdot c_{p_{np}} + (1 - \varphi_m) \cdot c_{p_{bf}}$$

Ecuación 10. Cálculo de la capacidad calorífica a presión constante de un nanofluido

donde $c_{p_{nf}}$ es la capacidad calorífica del nanofluidos, φ_m es la fracción de volumen de los nanopulvos, $c_{p_{np}}$ es la capacidad calorífica del nanopulvo en cuestión y $c_{p_{bf}}$ es la capacidad calorífica del fluido base.

Esta fórmula se trata de una aproximación simplificada que estima que la capacidad calorífica del nanofluido depende de la fracción en volumen de los nanopulvos y de las capacidades caloríficas del fluido base y de los propios nanopulvos. Es importante tener en cuenta que los valores pueden variar en función de factores como la forma o el tamaño de las nanopartículas.

4 RESULTADOS

Una vez realizadas las medidas de todas las propiedades influyentes en la elaboración, y posterior elección, de un nanofluido, se procede a realizar un análisis comparativo de los distintos nanofluidos elaborados para concluir cuál ofrece mejor rendimiento. En este apartado se exponen los resultados experimentales obtenidos y se realiza un análisis de los mismos.

Todas las imágenes que se muestran a lo largo de este apartado son de elaboración propia.

4.1 Morfología de las nanopartículas

En este apartado se presentan las imágenes TEM realizadas para los nanopolvos, con el objetivo de verificar su tamaño y morfología

- Nitruro de aluminio

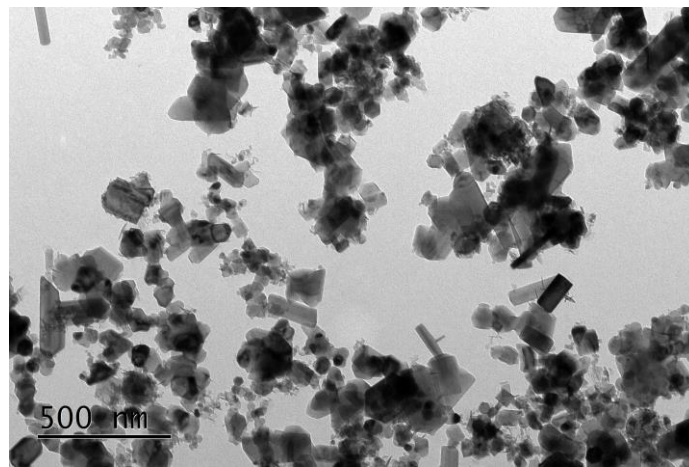


Figura 4-1. Imagen TEM del nitruro de aluminio adquirido

La Figura 4-1 muestra nanopartículas de AlN con formas prismáticas y cuyo tamaño se encuentra entre los 30 y 40 nm, lo que concuerda con la información del proveedor.

- Carburo de silicio (α)

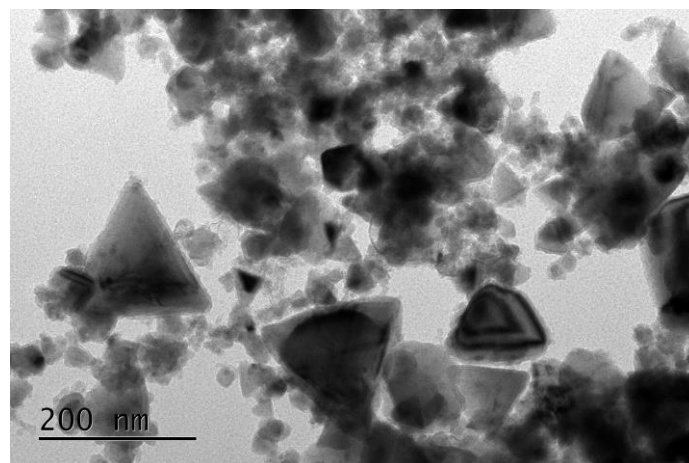


Figura 4-2. Imagen TEM del carburo de silicio hexagonal adquirido

En la Figura 4-2 se puede observar nanopartículas de SiC- α con formas triangulares. El tamaño de las partículas en esta imagen está entre 40 a 60 nm.

- Carburo de silicio (β)

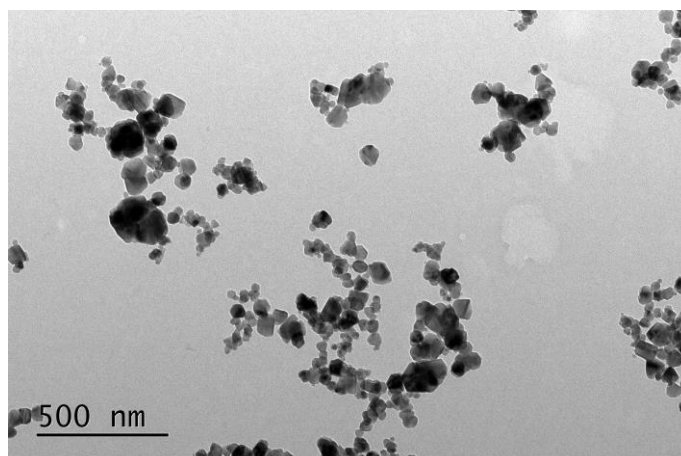


Figura 4-3. Imagen TEM del carburo de silicio cúbico adquirido

La Figura 4-3 muestra nanopartículas de SiC- β de bordes rectos. El tamaño de las partículas de la imagen está entre 15 a 25 nm.

4.2 Potencial zeta

Tras realizar las mediciones en el medidor de potencial zeta de los nanomateriales diluidos en el fluido base, se han obtenido los siguientes resultados:

Nanomaterial	Potencial zeta [mV]
Nitruro de aluminio	-27,5
Carburo de silicio hexagonal	-31,7
Carburo de silicio cúbico	-28,3

Tabla 4-1. Potencial zeta de las tres nanopartículas

Como se indicó en el apartado 3.2.4, se considera una solución estable a partir de los 30 mV. El nitruro de aluminio y el carburo de silicio hexagonal se acercan mucho a estos valores, por lo que se puede considerar que presentan una estabilidad aceptable. En el caso del carburo de silicio cúbico los resultados son mejores, y, por tanto, podemos considerar que su estabilidad cumple ampliamente con los requisitos establecidos.

4.3 Propiedades termofísicas

4.3.1 Conductividad térmica

En las siguientes gráficas se muestra la variación de la conductividad térmica para las dos concentraciones en masa de cada nanofluido, así como su variación porcentual en función de la temperatura.

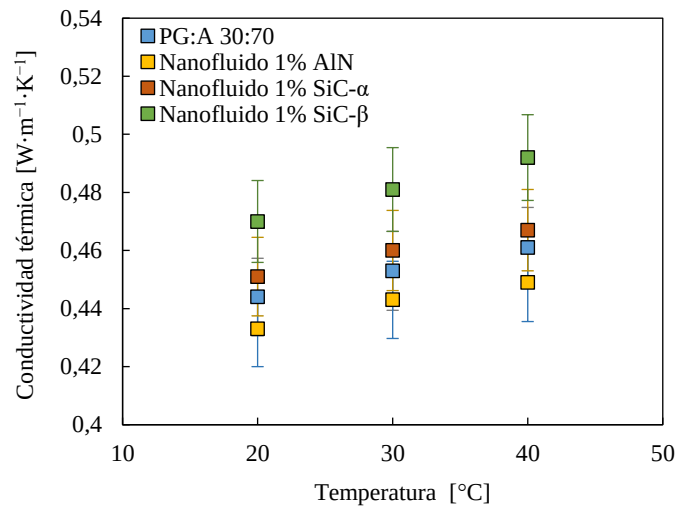


Figura 4-4. Conductividades térmicas en función de la temperatura al 1% de concentración másica

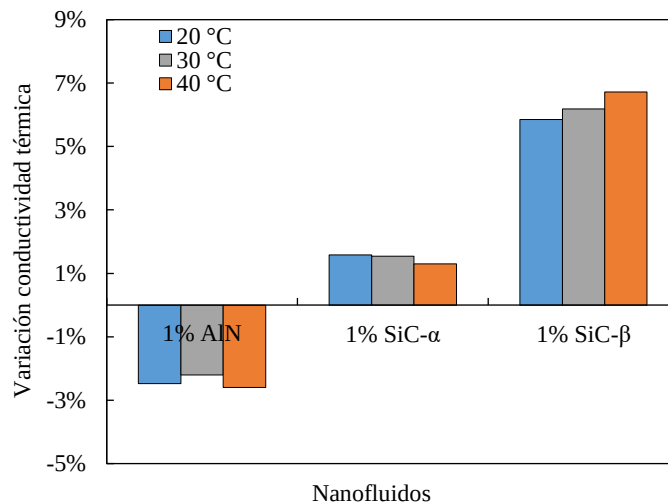


Figura 4-5. Variación porcentual de la conductividad térmica de los nanofluidos al 1% en concentración másica a distintas temperaturas

En la Figura 4-4 se puede observar que los nanofluidos elaborados con carburo de silicio presentan una mejor conductividad térmica que el propio fluido base con una concentración en masa del 1%. Sin embargo, resulta destacable que el nitrato de aluminio presente peores resultados que el propio fluido base.

La Figura 4-5 muestra como el nanofluido 1% AlN disminuye la conductividad térmica hasta un 2,6% a 20°C. Por otro lado, el nanofluido 1% SiC-β incrementa dicha propiedad en hasta un 6,7% a 40°C.

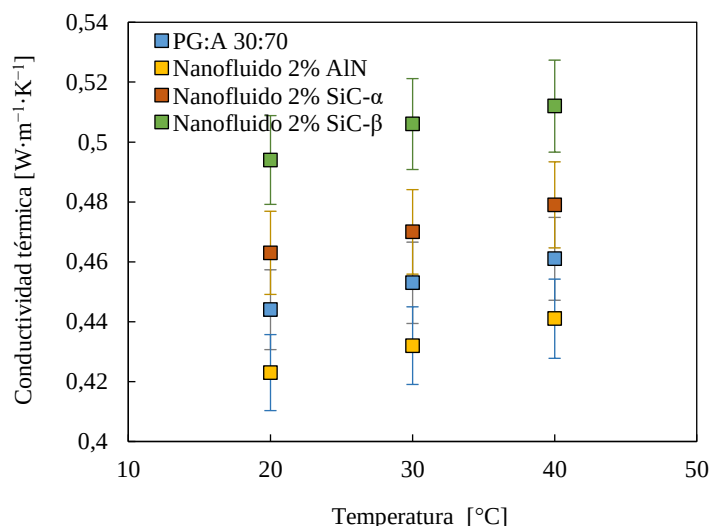


Figura 4-6. Conductividades térmicas en función de la temperatura al 2% de concentración másica

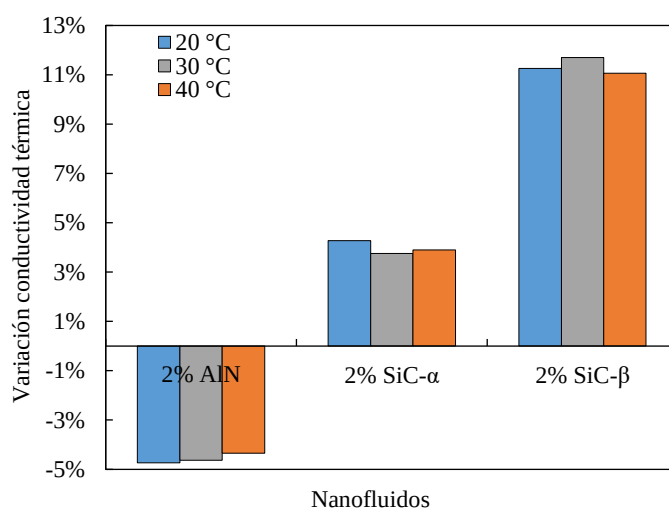


Figura 4-7. Variación porcentual de la conductividad térmica de los nanofluidos al 2% en concentración másica a distintas temperaturas

Para una concentración en masa del 2%, se puede apreciar que la conductividad térmica aumenta o disminuye en relación con la concentración. Se presentan resultados similares al anterior caso, llegando a disminuir la conductividad térmica del nanofluido 2% AlN hasta un 4,7% y aumentando la del nanofluido 2% SiC-β hasta un 11,7%.

Las gráficas en las que se presentan los valores numéricos de la conductividad térmica presentan las barras de error, las cuales muestran la incertidumbre experimental del 3% del conductímetro. Además, se puede observar como la conductividad térmica presenta una relación directa con la temperatura, incrementándose a medida que ésta sube.

4.3.2 Viscosidad dinámica

El equipo de medida no permite termostatar la muestra, por lo que solo se muestran valores de la viscosidad dinámica a 20 °C (temperatura ambiente). Por ello, en este caso se representa el incremento producido en esta propiedad respecto al fluido base y a dos concentraciones en masa distintas.

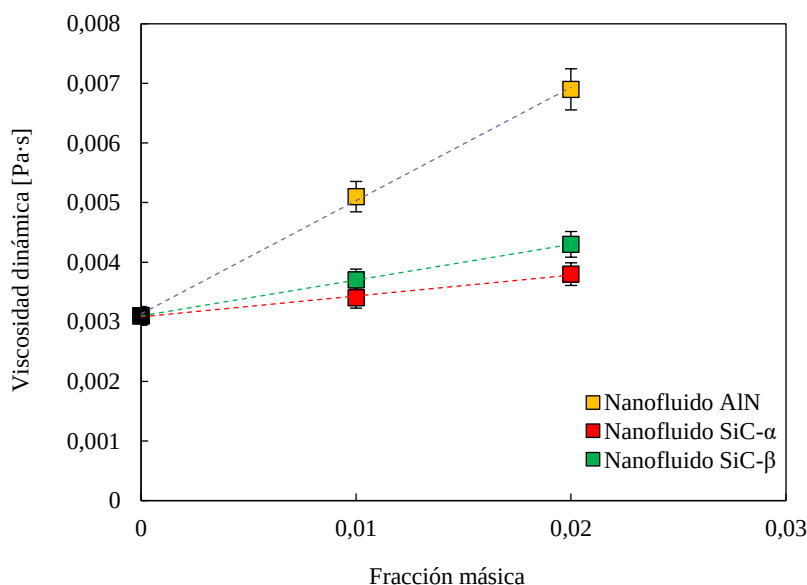


Figura 4-8. Incremento de la viscosidad dinámica de los nanofluidos con distintas concentraciones másicas frente al fluido base a 20 °C.

La Figura 4-8 permite visualizar cómo en todos los casos aumenta la viscosidad dinámica, mostrando resultados buenos para los nanofluidos elaborados con carburo de silicio, incrementos menores del 20%. Los resultados óptimos los muestra el nanofluido de SiC- α para ambas concentraciones. Sin embargo, con el nitruro de aluminio, estos valores aumentan considerablemente, llegando a 0,0069 Pa·s, lo que supone un aumento del 122,6% en la viscosidad dinámica respecto al fluido base.

Las barras de error representan el 5% de incertidumbre experimental en las medidas del viscosímetro. Además, se puede observar que la viscosidad dinámica es directamente proporcional a la concentración másica.

4.3.3 Densidad

En las siguientes gráficas se muestra la variación de la densidad para las dos concentraciones en masa de cada nanofluido, así como su variación porcentual en función de la temperatura.

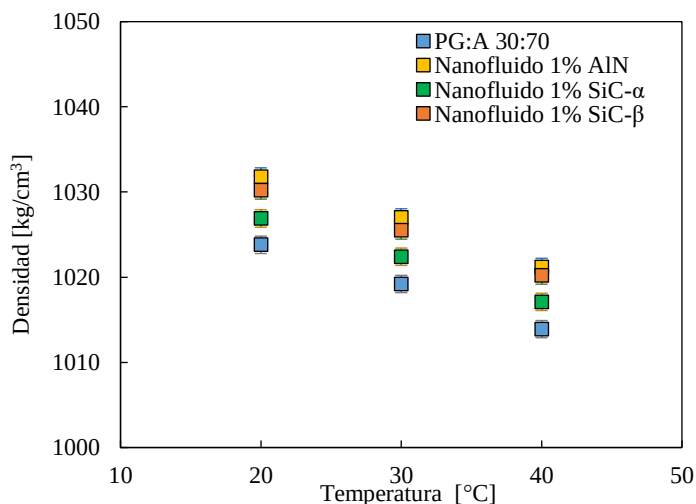


Figura 4-9. Densidades en función de la temperatura al 1% de concentración másica

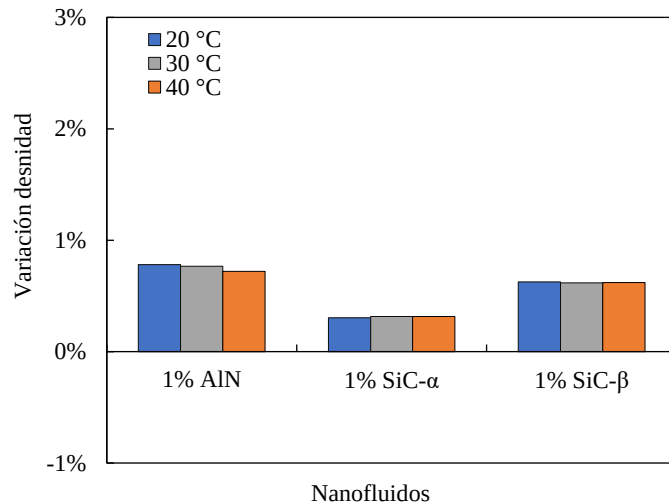


Figura 4-10. Variación porcentual de la densidad de los nanofluidos al 1% en concentración másica a distintas temperaturas

La gráfica muestra de manera evidente como todos los nanofluidos tienen mayor densidad que el fluido base. La Figura 4-9 muestra como los nanofluidos más densos son los elaborado con nitruro de aluminio y carburo de silicio hexagonal al 1%.

Se puede observar como en la Figura 4-10 la variación de densidad alcanza valores similares al 1% en peso de nitruro de aluminio y en el carburo de silicio cúbico, alcanzando un incremento de 1,7% respecto al fluido base a 20 °C. Sin embargo, la variación mínima de densidad sucede con el 1% en peso de carburo de silicio hexagonal, llegando a un incremento de tan solo 0,3%.

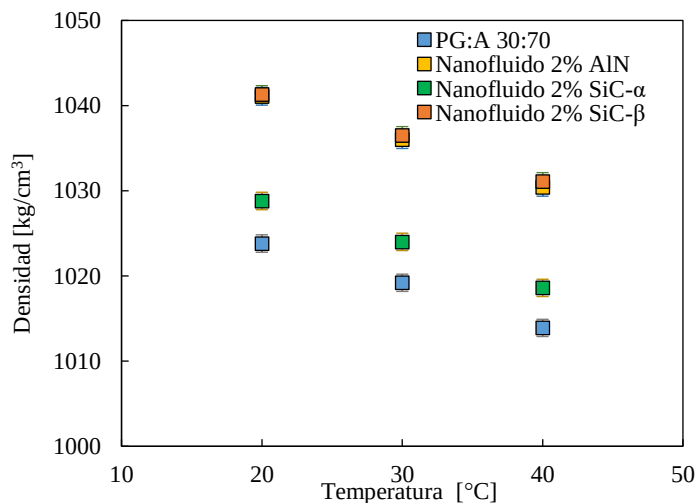


Figura 4-11. Densidades en función de la temperatura al 2% de concentración másica

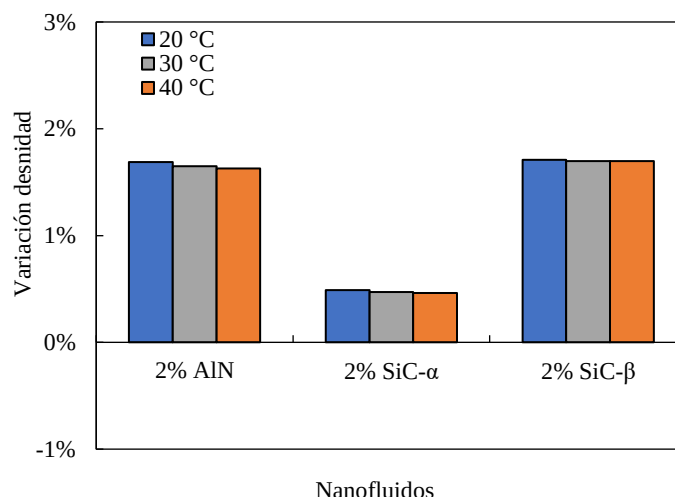


Figura 4-12. Variación porcentual de la densidad de los nanofluidos al 2% en concentración másica a distintas temperaturas

Para concentraciones en masa al 2%, se puede observar que ahora es el nanofluido 2% SiC-β, el que más densidad presenta, aunque son valores muy similares al nanofluido 2% AlN. Por lo tanto, el carburo de silicio hexagonal sigue siendo el nanopolvo que menos incrementa la densidad al fluido base con esta concentración, con tan solo un 0,5% de incremento.

Las gráficas en las que se presentan los valores numéricos de la densidad presentan las barras de error, las cuales muestran la incertidumbre experimental de solo 0,1% del densímetro. Además, permite observar como la densidad es inversamente proporcional a la temperatura.

4.3.4 Capacidad calorífica

En las siguientes gráficas se muestra la variación de la capacidad calorífica a presión constante para las dos concentraciones en masa de cada nanofluido, así como su variación porcentual en función de la temperatura.

En primer lugar, se emplea la ecuación desarrollada en el apartado 3.2.5 para calcular la capacidad calorífica a presión constante de cada nanofluido. Por ello, en la Tabla 4-2 se muestran los datos con los que se ha calculado esta propiedad para cada nanofluido.

	Capacidad calorífica [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]			
	PG:A 30:70	AlN	SiC-α	SiC-β
20 °C	3830	720	670	610
30 °C	3855	720	670	610
40 °C	3880	720	670	610

Tabla 4-2. Capacidades caloríficas del fluido base y las nanopartículas a distintas temperaturas

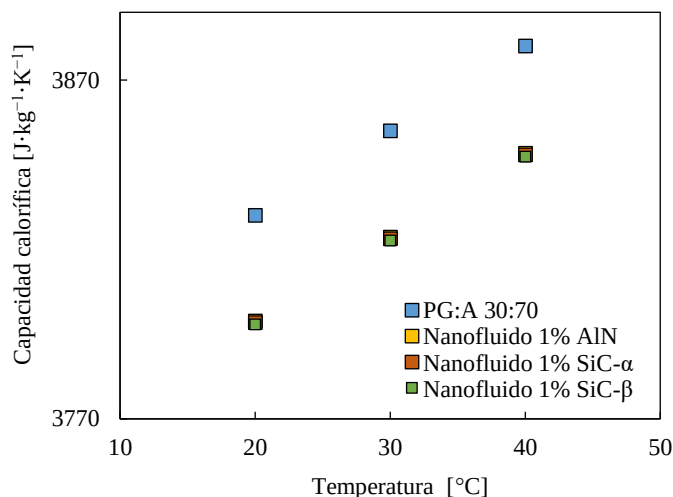


Figura 4-13. Capacidad calorífica a presión constante en función de la temperatura al 1% de concentración másica

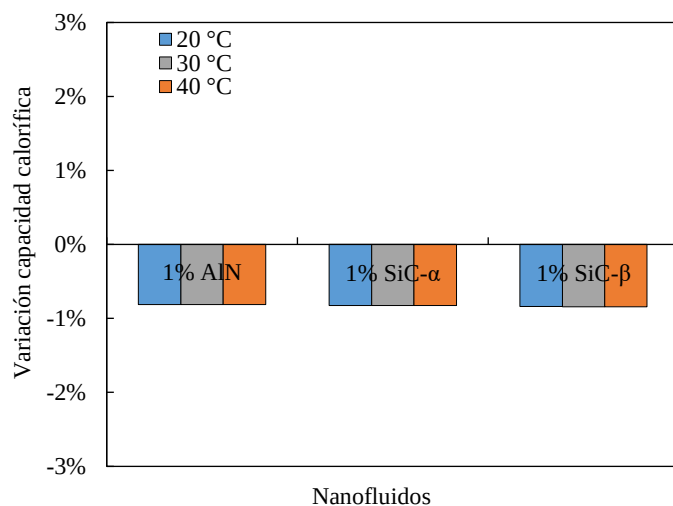


Figura 4-14. Variación porcentual de la capacidad calorífica a presión constante de los nanofluidos al 1% en concentración másica a distintas temperaturas

Para concentraciones en masa al 1%, se puede observar como todos los nanofluidos muestran valores muy próximos, siendo ligeramente menores que la capacidad calorífica a presión constante del fluido base. A pesar de ser esta diferencia entre los nanofluidos mínima, el que más capacidad calorífica tiene es el elaborado con la nanopartícula de nitruro de aluminio al 1%, tal y como se puede intuir al observar la Tabla 4-2.

La Figura 4-14 muestra como el decremento de la capacidad calorífica de los nanofluidos se mantiene constante a distintas temperaturas. La menor variación se produce con el nanofluido 1% AlN, con un -0,81%.

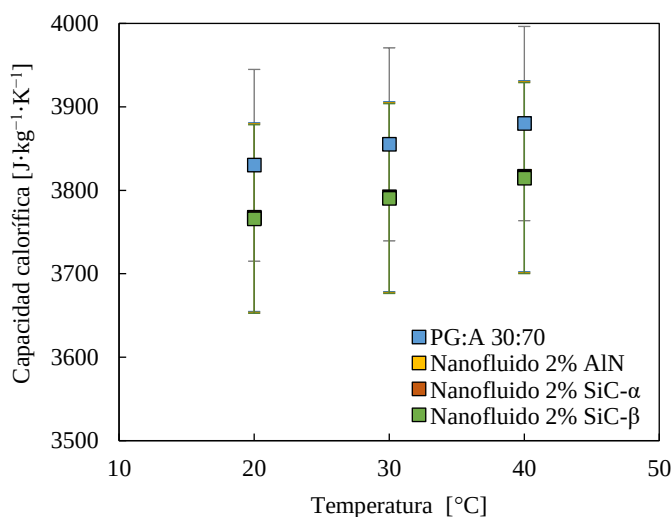


Figura 4-15. Capacidad calorífica a presión constante en función de la temperatura al 2% de concentración másica

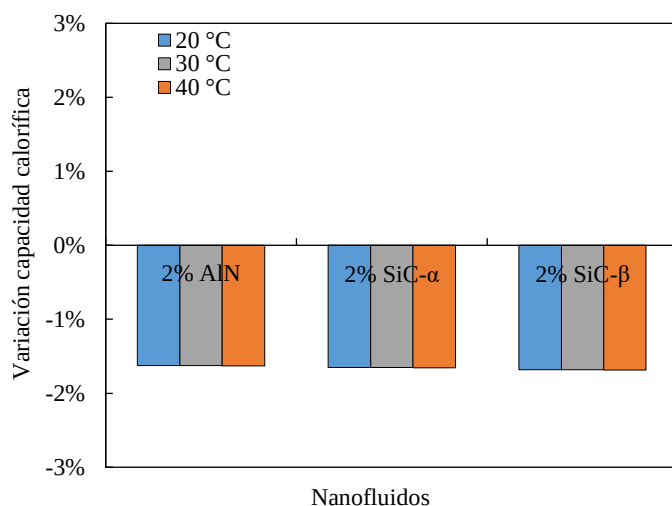


Figura 4-16. Variación porcentual de la capacidad calorífica a presión constante de los nanofluidos al 2% en concentración másica a distintas temperaturas

Con las concentraciones en masa al 2%, los resultados son muy similares. En estos resultados se produce una disminución mayor de la capacidad calorífica para todos los nanofluidos, siendo de nuevo la menor variación la del nanofluido elaborado con nitruro de aluminio, con un -1,6%.

Las gráficas en las que se presentan los valores numéricos de la capacidad calorífica a presión constante presentan las barras de error, las cuales muestran una incertidumbre experimental de 3% del calorímetro. Además, permite observar como la capacidad calorífica es directamente proporcional a la temperatura.

4.4 Figuras de mérito (FOM)

El objetivo de este apartado es ofrecer una mayor clarividencia de cuál de los distintos nanofluidos es el que mayor rendimiento global ofrece respecto al fluido base en procesos en los que se produzca convección forzada, ya que es de los más empleados a nivel industrial por su buen rendimiento. Por lo tanto, para ofrecer una visión única y comparativa de los resultados obtenidos, se emplean las llamadas figuras de mérito. De esta manera, se puede evaluar el rendimiento de cada nanofluido de manera cuantitativa para poder llegar a la conclusión de cuál de ellos es el que mejores prestaciones ofrece.

Todas las figuras de mérito que se exponen a lo largo de este apartado han sido elaboradas para una temperatura de 20 °C, al ser aquella para la que se tienen los valores de todas las propiedades termofísicas.

Las ratios utilizadas en este apartado están pensadas por sus autores para obtener las mejoras de los coeficientes de convección de nanofluidos circulando por intercambiadores de calor tubulares. En primer lugar, se considera un flujo laminar interno y, la temperatura de la pared y las condiciones del flujo de calor constantes. El cociente entre el coeficiente de convección del nanofluido y el coeficiente de convección del fluido base, $\frac{h_{nf}}{h_{bf}}$, para estas condiciones equivale al cociente entre la conductividad térmica del nanofluido y la conductividad térmica del fluido base, $\frac{k_{nf}}{k_{bf}}$, de manera que:

$$\frac{h_{nf}}{h_{bf}} \approx \frac{k_{nf}}{k_{bf}}$$

Ecuación 11. Equivalencia entre coeficientes de transferencia de calor y conductividades térmicas para régimen laminar en intercambiadores de calor tubulares

En la Figura 4-17 se representa la ratio de las conductividades térmicas de los tres nanofluidos frente al fluido base.

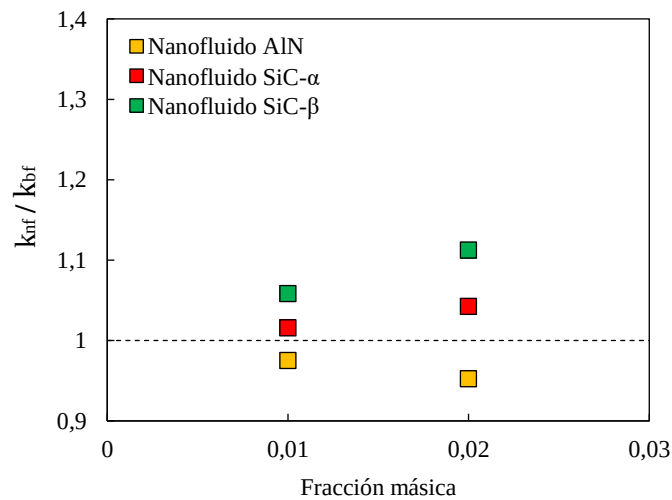


Figura 4-17. Ratio de conductividades térmicas de los nanofluidos distintas concentraciones másicas.

En el caso del nitrato de aluminio, se produce una disminución en el rendimiento respecto al fluido base. El mayor incremento se produce con el nanofluido elaborado con carburo de silicio cúbico, tanto al 1% como al 2%, mostrando resultados más óptimos que los otros dos nanofluidos.

Por ello, se puede concluir que el carburo de silicio cúbico es el que mejor coeficiente de transferencia de calor presenta para flujos laminares, llegando con una concentración másica del 2% a tener una ratio de mejora del 11% respecto al fluido base.

Para situaciones en las que el flujo se considere turbulento, la ratio empleada tiene en cuenta la figura de mérito denominada número de Mouromsteff (Mo). De la misma manera que ocurría con el flujo de régimen laminar, podemos ahora establecer una relación directa entre los coeficientes de transferencia de calor y el número de Mouromsteff:

$$\frac{h_{nf}}{h_{bf}} \approx \frac{Mo_{nf}}{Mo_{bf}}$$

Ecuación 12. Equivalencia entre coeficiente de transferencia de calor y Número de Mouromsteff para régimen turbulento en intercambiadores de calor tubulares

El número de Mo establece una relación entre la conductividad térmica, la viscosidad dinámica, la densidad y la capacidad calorífica. El número de Mo se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Mo = \frac{\rho^a \cdot k^b \cdot Cp^d}{\mu^e}$$

Ecuación 13. Número de Mouromsteff

donde los coeficientes a , b , d y e toman los valores adecuados en función del fluido considerado.

La relación de mejora de la transferencia de calor de cada nanofluido respecto al fluido base se describe como el cociente entre el número de Mo del nanofluido y el número de Mo del fluido base.

De acuerdo con la literatura [41], el número de Mo para el fluido base se puede obtener como:

$$Mo = \frac{\rho^{0.8} \cdot k^{0.6} \cdot Cp^{0.4}}{\mu^{0.4}}$$

Ecuación 14. Número de Mouromsteff para fluido base

Para los nanofluidos, el número de Mo se puede obtener como:

$$Mo = \frac{\rho^{0.8} \cdot k^{0.5} \cdot Cp^{0.5}}{\mu^{0.3}}$$

Ecuación 15. Número de Mouromsteff para nanofluido

Los valores de los coeficientes del fluido base se han obtenido de la ecuación de Dittus-Boelter para [42], mientras que en el caso de los nanofluidos los valores de los coeficientes se obtienen de la ecuación de Cho y Pak [43].

En la Figura 4-18 se representa la ratio del número de Mouromsteff de los tres nanofluidos frente al fluido base.

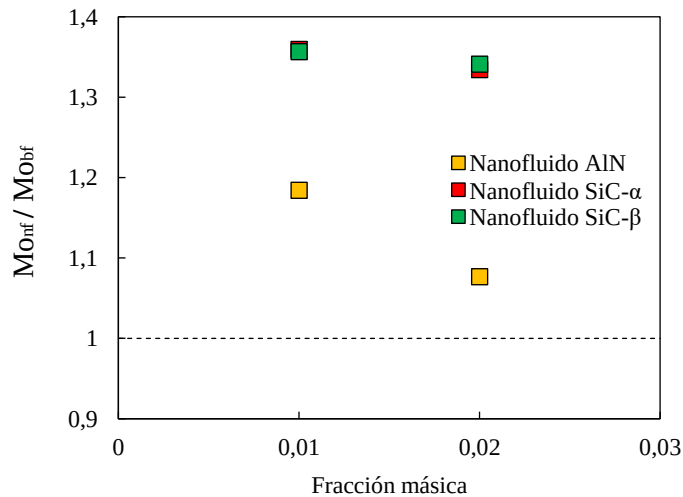


Figura 4-18. Ratio de número de Mouromsteff de los nanofluidos con distintas concentraciones másicas

En este caso los tres nanofluidos mejoran al fluido base, aunque de nuevo los que mejores resultados ofrecen son los elaborados con carburo de silicio, teniendo valores muy similares. La ratio disminuye a medida que se aumenta la concentración en masa, de manera que el nanofluido SiC-α mejora un 36% respecto al fluido base con una concentración en masa del 1%.

Con objeto de obtener una valoración de los resultados más amplia, se utilizan otra serie de figuras de mérito para evaluar la variación de potencia de bombeo utilizando nanofluidos en procesos en los que haya convección forzada [44] [45] [46]. Las ecuaciones usadas tanto para régimen laminar como para régimen turbulento son las siguientes:

$$\left[\frac{W_{nf}}{W_{fb}} \right]_{laminar} = \frac{\mu_{nf}}{\mu_{fb}} \cdot \left(\frac{\rho_{fb}}{\rho_{nf}} \right)^2$$

Ecuación 16. Variación de la potencia de bombeo con el uso de nanofluidos en régimen laminar

$$\left[\frac{W_{nf}}{W_{fb}} \right]_{turbulento} = \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{fb}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{\rho_{fb}}{\rho_{nf}} \right)^2$$

Ecuación 17. Variación de la potencia de bombeo con el uso de nanofluidos en régimen turbulento

donde $\left[\frac{W_{nf}}{W_{fb}} \right]_{laminar}$ es la ratio de potencia de bombeo en régimen laminar, $\left[\frac{W_{nf}}{W_{fb}} \right]_{turbulento}$ es la ratio de potencia de bombeo en régimen turbulento, $\frac{\mu_{nf}}{\mu_{fb}}$ es el cociente entre la viscosidad del nanofluido y la viscosidad del fluido base y $\frac{\rho_{fb}}{\rho_{nf}}$ es el cociente entre la densidad del fluido base y la densidad del nanofluido.

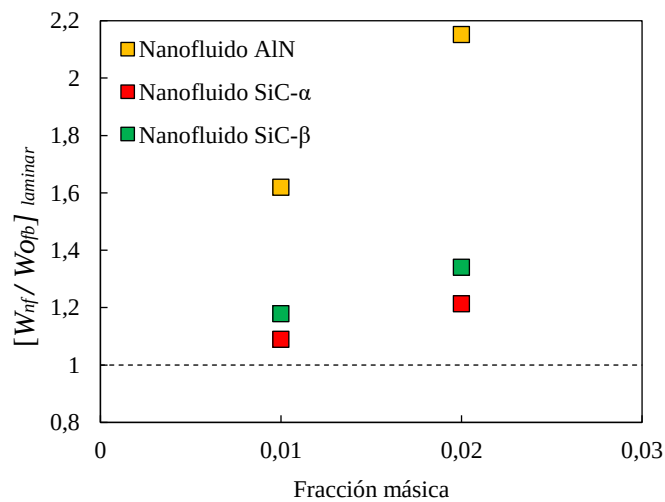


Figura 4-19. Ratio de las potencias de bombeo en régimen laminar de los tres nanofluidos con distintas concentraciones másicas frente al fluido base

Para régimen laminar, el nanofluido de AlN necesita mucha más potencia de bombeo, incrementándose especialmente para concentraciones al 2% de este nanomaterial. Sin embargo, en nanofluido SiC-α, tiene muy buen rendimiento y el incremento en la potencia de bombeo es mucho menor que los demás nanomateriales, llegando a valores para la concentración al 1% de un incremento de tan solo 9%.

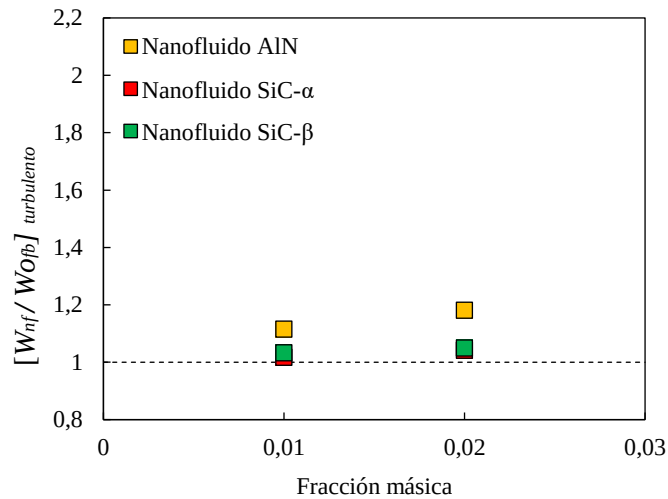


Figura 4-20. Ratio de las potencias de bombeo en régimen turbulento de los tres nanofluidos con distintas concentraciones másicas frente al fluido base

Para régimen turbulento, la potencia de bombeo necesaria para los tres nanofluidos es mucho menor que para régimen laminar. Sin embargo, aunque en menor medida, los nanofluidos presentan el mismo orden entre los resultados, siendo de nuevo el carburo de silicio hexagonal el que menor ratio de potencia de bombeo tiene, llegando a un incremento de tan solo 0,17% para una concentración al 1% en masa.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

A lo largo de la realización de este Trabajo de Fin de Grado se han desarrollado tres nanofluidos basados en un fluido base compuesto de agua y propilenglicol (PG:A 30:70) utilizando tres nanomateriales distintos (nitruro de aluminio, carburo de silicio hexagonal y carburo de silicio cúbico).

Con objeto de trabajar con las propiedades de los nanofluidos, previamente se comprobó que estos nanofluidos eran estables. La dispersión más estable es el nanofluido SiC- α , con valores absolutos de potencial zeta por encima de 30 mV. Sin embargo, los otros dos nanofluidos también presentaron resultados aceptables, y por ello, se consideraron estables.

A continuación, se procedió a realizar las mediciones de las distintas propiedades termofísicas. De estas propiedades, la de mayor relevancia es la conductividad térmica, por su gran influencia en el fenómeno de convección. Sin embargo, propiedades como la viscosidad dinámica, densidad o capacidad calorífica tienen un papel también son relevantes, especialmente en régimen turbulento.

Todos los nanofluidos elaborados presentaron aumentos en la conductividad térmica a excepción del elaborado con nitruro de aluminio. El mayor incremento de la conductividad térmica fue obtenido para el nanofluido SiC- β , un 11,7%. Sin embargo, también se vio aumentada la viscosidad dinámica y la densidad, y disminuyó la capacidad calorífica a presión constante. El mayor incremento de la viscosidad fue obtenido para el nanofluido AlN, un 122,6%. Los nanofluidos AlN y SiC- β presentaron el mayor incremento de densidad, un 1,7%. La mayor reducción de capacidad calorífica corresponde al nanofluido SiC- β , un 1,69%.

Para obtener conclusiones desde un punto de vista más aplicado, se emplearon diferentes ratios entre propiedades y figuras de mérito que prevén las variaciones del coeficiente de convección en régimen laminar y turbulento en intercambiadores de calor tubulares. En régimen laminar se observó una tendencia positiva con un aumento del 36%. En régimen turbulento se observó una tendencia positiva con un aumento de hasta el 11,2%.

En cuanto a la potencia de bombeo, en todos los nanofluidos se vio aumentada esta potencia de bombeo en procesos de convección forzada, aunque de nuevo fue el nitruro de aluminio el que peor resultados presentó, aumentando hasta un 115% respecto al fluido base para régimen laminar y un 18% en régimen turbulento, ambos con concentraciones del 2% en masa.

Resulta evidente que el nitruro de aluminio queda descartado entre las tres opciones. De esta manera, el nanofluido que mejor rendimiento ha presentado es el elaborado con carburo de silicio hexagonal al 1% de concentración másica. El motivo principal es que las concentraciones al 2% de todos los

nanofluidos no presentan mucho mejores rendimientos en los coeficientes de transferencia de calor respecto al 1%. Sin embargo, la potencia de bombeo al 2% en masa, aumentando del orden de un 100% para cada nanofluido respecto a los que están al 1% en masa.

La conclusión final es que el nanofluido 1% SiC- α , ha resultado ser el más estable. Además, ha mostrado mejores resultados de transferencia de calor de calor por convección en régimen laminar y en ambos regímenes para la potencia de bombeo.

5.2 Líneas futuras

La aplicación de nanofluidos en el ámbito industrial es una rama que hoy en día se encuentra en constante desarrollo e investigación. Tanto es así, que el margen de maniobra es muy amplio todavía.

En primer lugar, las líneas futuras pueden seguir la tendencia de trabajo con el carburo de silicio hexagonal, sabiendo que es el nanofluido que mejores prestaciones tiene de los tres estudiados. La búsqueda de la conectación óptima para este nanomaterial resulta de interés.

Otra de las opciones, es la de considerar cambiar el pH o añadir dispersantes a las muestras. Al cambiar el pH, podemos aumentar su efectividad y reducir el riesgo de que las nanopartículas se aglomeren. De la misma manera, los dispersantes pueden favorecer el mantenimiento de las nanopartículas suspendidas en el fluido base y reducir su tamaño, lo que a su vez favorece la transferencia de calor.

Por último, es necesario seguir realizando estudios con nuevos nanomateriales o incluso con un fluido base distinto, priorizando aquellos de los que no se dispongan tantos datos en la literatura, como los nitruros y los carburos en el caso de este Trabajo de Fin de Grado.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Paul, G. , M. Chopkar, I. Manna, P.K. Das, Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review, vol. 14, 2010, pp. 1661-2160.
- [2] J.P. Vallejo, E. Álvarez-Regueiro, D. Cabaleiro, J. Fernández-Seara, J. Fernández y L. Lugo, Applied Thermal Engineering, vol. 152, 2019, pp. 113-125.
- [3] Llamas, Pedro Linares, Eficiencia energética y medio ambiente, 2009.
- [4] Agencia Internacional de Energía, «Energy Efficiency Indicators Data Explorer,» 2020.
- [5] Agencia Internacional de Energía, «Crisis energética mundial,» 2022.
- [6] Saavedra, Fernando Estenssoro, Crisis ambiental y cambio climático en la política global, vol. 2, 2010, pp. 57-77.
- [7] Villalta-Bellón, Miguel Á., «Las cumbres del clima (COP) vistas por la prensa española,» 2020.
- [8] Salvia, José Monzonís, «El Protocolo de Kioto,» 2005.
- [9] Antxon Olabe, Mikel González-Eguino y Teresa Ribera, «El Acuerdo de París y el fin de la era del carbón,» 2016.
- [10] Sanahuja, José Antonio y Tezanos Vázquez, Sergio, Del milenio a la sostenibilidad: retos y perspectivas de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, Madrid, 2017, pp. 521-543.
- [11] Renovables, Agencia Internacional de Energías, «Situación Mundial de las Energías Renovables 2020,» 2020.
- [12] Agencia Internacional de Energía, «Global Energy Review: CO2 emissions in 2020,» 2020.
- [13] Amo, Alejandro del, «Hacia la eficiencia energética de las ciudades,» El País, 2022.
- [14] Jaramillo, O. A., «Intercambiadores de calor,» 2007.
- [15] González-Mendizabal, Dosinda, «Intercambiadores de calor: Tipos generales y aplicaciones,» 2002.

- [16] Inzunza, Juan, Mecanismos de transferencia de calor, 2013, p. 470.
- [17] Ranjbarzadeh, R., Meghdadi Isfahani, A., Afrand, M., Karimipour, A., y Hojaji. M, An experimental study on heat transfer and pressure drop of water/graphene oxide nanofluid in a copper tube under air cross-flow: Applicable as a heat exchanger, vol. 125, 2017, pp. 69-79.
- [18] Devendiran, D. K., y Amirtham, V. A, A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids, vol. 60, 2016, pp. 21-40.
- [19] Kumar, N., y Sonawane, S. S., Experimental study of thermal conductivity and convective heat transfer enhancement using CuO and TiO₂ nanoparticles., vol. 76, 2016, pp. 98-107.
- [20] Hasanpour, A., Farhadi, M., y Sedighi, K., A review study on twisted tape inserts on turbulent flow heat exchangers: The overall enhancement ratio criteria., vol. 55, 2014, pp. 53-62.
- [21] Tawfik, M. M., Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review., vol. 75, 2017, pp. 1239-1253.
- [22] Mohammad Hossein Ahmadi, Amin Mirlohi, Mohammad Alhuyi Nazari, Roghayeh Ghasempour, A review of thermal conductivity of various nanofluids, vol. 265, Elsevier, 2018, pp. 181-188.
- [23] Libia María Baena Pérez, José Adrián Tamayo Sepúlveda, Adrián José Benítez Lozano, «Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto (PLM),» Fondo Editorial ITM, 2022, p. 344.
- [24] Seong, H., Kim, G., Jeon, J., Jeong, H., Noh, J., Kim, Y., Huh. S, «Experimental Study on Characteristics of Grinded Graphene Nanofluids with surfactants,» 2018.
- [25] Luque, Patricia Pedraza, «Análisis de los nanofluidos y su aplicación como fluido HTF,» 2016.
- [26] Tritt, Terry M., Thermal conductivity: Theory, properties and applications, 2004.
- [27] Mott, Robert L., Mecánica de fluidos aplicada, Pearson, 1996.
- [28] Martínez, Ignacio Freire, «Determinación experimental del rendimiento de transferencia de calor de nanofluidos en aplicaciones de energía eólica,» Vigo, 2018.
- [29] Cho, B. C. Pak and Y. I., HYDRODYNAMIC AND HEAT TRANSFER STUDY OF DISPERSED FLUIDS WITH SUBMICRON METALLIC OXIDE PARTICLES, vol. 11, 1998, pp. 151-170.
- [30] G. Żyła, J. P. Vallejo, and L. Lugo, Isobaric heat capacity and density of ethylene glycol based nanofluids containing various nitride nanoparticle types: An experimental study, vol. 261, 2018, pp. 530-539.
- [31] Diazgranados, Víctor Manuel Blanco, «ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD CALORÍFICA Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LAS ROCAS A PARTIR DE PROPIEDADES PETROFÍSICAS,» 2007.
- [32] Fernández, Teresa Martín Blas y Ana Serrano, «Termodinámica primer principio».
- [33] Luque, Patricia Pedraza, «Análisis de los nanofluidos y su aplicación como fluido HTF,» 2016.

- [34] Kuppusamy Swaminathan Suganthi, Natarajan Anusha y Kalpoondi Sekar Rajan, «Low viscous ZnO–propylene glycol nanofluid: a potential coolant candidate,» 2013.
- [35] Retrieved, National Center for Biotechnology Information, «PubChem Compound Summary for CID 1030, Propylene Glycol.,» 2023. [En línea]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Propylene-Glycol..>
- [36] «PlasmaChem,» [En línea]. Available: <https://shop.plasmachem.com/non-oxide-nanoparticles/81-494-aluminium-nitride-nanopowder-grade-pj.html#/29-weight-5g>. [Último acceso: 2023].
- [37] «PlasmaChem,» [En línea]. Available: <https://shop.plasmachem.com/non-oxide-nanoparticles/73-395-silicon-carbide-nanopowder-grade-pj.html#/29-weight-5g>. [Último acceso: 2023].
- [38] «PlasmaChem,» [En línea]. Available: <https://shop.plasmachem.com/non-oxide-nanoparticles/70-366-silicon-carbide-nanopowder-grade-hk.html#/29-weight-5g>. [Último acceso: 2023].
- [39] Alejandro Sobarzoy Gerardo Vázquez Nin, Introducción a la Microscopía Electrónica Aplicada a Las Ciencias Biológicas, Efe, 2000.
- [40] «Thermal DSC Brochure 2013,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.tainstruments.com/pdf/Thermal%20DSC%20Brochure%202013%20SPANISH.pdf>. [Último acceso: 10 03 2023].
- [41] I. I. E. Mouromtseff, Water and Forced-Air Cooling of Vacuum Tubes Nonelectronic Problems in Electronic Tubes, vol. 30, 1942, pp. 190-205.
- [42] Boelter, F. W. Dittus y L. M. K., Heat transfer in automobile radiators of the tubular type, vol. 12, 1985, pp. 3-22.
- [43] D. Cabaleiro, L. Colla, F. Agresti, L. Lugo y L. Fedele, Transport properties and heat transfer coefficients of ZnO/(ethylene glycol + water) nanofluids, vol. 89, ScienceDirect, 2015, pp. 433-443.
- [44] V. Bianco, F. Chiacchio, O. Manca, y S. Nardini, Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes, vol. 29, 2009, pp. 3632-3642.
- [45] A. Behzadmehr, M. Saffar-Avval, y N. Galanis, Prediction of turbulent forced convection of a nanofluid in a tube with uniform heat flux using a two phase approach, vol. 28, 2007, pp. 211-219.
- [46] R. Ben Mansour, N. Galanis y C. T. Nguyen, Effect of uncertainties in physical properties on forced convection heat transfer with nanofluids, vol. 27, 2007, pp. 240-249.

ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

La utilización de nanofluidos tiene ciertas implicaciones sociales económicas y ambientales que deben tenerse en cuenta. Su uso requiere de una cuidadosa consideración para maximizar sus beneficios y minimizar sus posibles efectos adversos.

Desde el punto de vista social, la aplicación de los nanofluidos en diversos campos como la electrónica o la energía puede facilitar la creación de nuevos productos y servicios que mejoren la calidad de vida de las personas. No obstante, también existen preocupaciones acerca de la seguridad y la salud en el manejo y uso de los nanofluidos, ya que las nanopartículas que contienen pueden tener efectos adversos en la salud si son inhaladas o ingeridas.

Desde el punto de vista económico, los nanofluidos tienen el potencial de mejorar la eficiencia energética de sistemas de generación de energía, calefacción o refrigeración, lo que puede llevar a importantes ahorros de energía y costes. Además, su uso puede mejorar la calidad y el rendimiento de los productos y servicios existentes, lo que puede aumentar la competitividad de las empresas. Sin embargo, es importante destacar que los nanofluidos suponen un gasto mayor que los fluidos convencionales y su producción en grandes cantidades resulta más complicada, lo que puede limitar su uso en aplicaciones de alta exigencia.

Desde el punto de vista medioambiental, el uso de los nanofluidos puede tener efectos positivos y negativos. Por un lado, su utilización puede mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la liberación de nanopartículas al medio ambiente debido a un manejo inapropiado de los nanofluidos puede tener consecuencias negativas en la salud de los seres vivos y en el medio ambiente, ya que muchos de estos nanomateriales tienen componentes tóxicos. Uno de los casos prácticos de este Trabajo de Fin de Grado, ha sido el vertido de los nanofluidos una vez ya se realizaron todos los procedimientos experimentales, estos nanofluidos serán vertidos en instalaciones especializadas para el manejo de este tipo de residuos.

En conclusión, el uso de los nanofluidos debe ser abordado con precaución y con un enfoque sostenible que permita maximizar los beneficios de esta tecnología emergente y minimizar los posibles impactos negativos en la salud, el medioambiente y la economía. Se requiere de un mayor desarrollo de investigaciones y prácticas seguras en el manejo y uso de los nanofluidos para garantizar su seguridad y sostenibilidad a largo plazo.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Hoy en día, la sociedad trata de buscar nuevas tecnologías que hagan su estilo de vida más cómoda y placentera. Los nanofluidos no dejan de ser una tecnología reciente que trata de hacer que la sociedad tenga más facilidades, tanto por el ahorro energético como el económico que puede suponer su uso a largo plazo. Sin embargo, se invierte una cantidad mayor de dinero en este tipo de investigaciones que en programas de concienciación para ahorrar energía. Ni siquiera los convenios y protocolos en los que participan una gran cantidad de países están cumpliendo con las expectativas, ya que la mayoría de ellos no cumplen con los estándares impuestos por estos acuerdos.

El principal problema radica en que ni los países, a gran escala, ni las personas, a pequeña escala, probablemente carecen de la suficiente concienciación sobre la necesidad de reducir el consumo energético. Esta necesidad de ser eficientes energéticamente hablando, entre otras cosas, es crucial para disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero que son liberados a la atmósfera, lo que puede contribuir significativamente a combatir el cambio climático.

Para lograr este objetivo, es esencial que cada persona haga un esfuerzo para reducir su consumo de energía y adoptar prácticas sostenibles en su vida diaria. Todos tenemos la responsabilidad ética de hacer lo que esté en nuestro poder para reducir nuestro consumo de energía e intentar mitigar los efectos del cambio climático. De esta manera, las posibilidades de garantizar un futuro más sostenible para todos aumentan considerablemente.

ANEXO III: PRECAUCIONES DE SEGURIDAD EN LA MANIPULACIÓN DE LOS NANOMATERIALES

La manipulación de nanomateriales requiere precaución debido a su tamaño extremadamente pequeño y sus propiedades únicas. Estas propiedades pueden incluir mayor reactividad química, capacidad de penetración en la piel y los pulmones, y un mayor riesgo de acumulación en el medio ambiente. Por ello, algunos nanomateriales pueden ser tóxicos y perjudicar la salud humana si no se manejan adecuadamente. Por lo tanto, es crucial tomar medidas de seguridad apropiadas al manipular nanomateriales para minimizar el riesgo de exposición y proteger la salud humana y el medioambiente.

A continuación, se muestran las principales precauciones de seguridad para tener en cuenta al manipular nanomateriales. Estas precauciones figuran en la ficha técnica de cada nanomaterial y han sido proporcionadas por el laboratorio donde fueron adquiridos dichos nanomateriales.

Medidas de primeros auxilios.

1. En caso de inhalación trasladar a la persona a un lugar con aire fresco. Si no respira, practicar la respiración artificial.
2. En caso de contacto con la piel: Lavar con abundante agua y jabón. En caso de contacto con los ojos: Enjuagar los ojos con agua como medida de precaución.
3. En caso de ingestión: Nunca dar nada por la boca a una persona inconsciente. Enjuagar la boca con agua.

Medidas de lucha contra incendios.

1. Medios de extinción: Utilizar agua en pulverización, espuma resistente al alcohol, químico seco o dióxido de carbono.
2. Usar equipo de respiración autónomo en caso de lucha contra incendios si es necesario.

Medidas en caso de vertido accidental.

1. Portar equipo de protección, además de evitar la formación de polvo y evitar respirar vapores, niebla o gases.
2. No dejar que el producto entre en los desagües.
3. En cuanto a los métodos y materiales de limpieza se recomienda recoger con escoba y pala. Además, guardar en contenedores cerrados adecuados para su eliminación.

Manipulación y almacenamiento.

1. Proporcionar una ventilación adecuada en los lugares donde se forme el polvo.
2. Almacenar en un lugar fresco, manteniendo el recipiente bien cerrado en un lugar seco y ventilado.

Medidas de protección personal.

1. Utilizar equipo de protección ocular, guantes, protección para la piel y ropa de protección adecuada al tipo de trabajo y la cantidad de sustancias peligrosas presentes.
2. No es necesario utilizar protección respiratoria, a menos que se desee proteger de niveles molestos de polvo, en cuyo caso se pueden usar mascarillas de polvo.

Información adicional.

La empresa exportadora de los nanomateriales, PlasmaChem, asegura que la información proporcionada es correcta, pero no pretende ser exhaustiva y debe ser utilizada solo como guía. La información de este documento se basa en el conocimiento actual y se aplica al producto con respecto a las precauciones de seguridad adecuadas. No representa ninguna garantía de las propiedades del producto. La empresa y sus afiliados no se hacen responsables por ningún daño resultante de la manipulación o del contacto con el producto mencionado anteriormente.

ANEXO IV: INFORMACIÓN ADICIONAL DE LOS NANOMATERIALES

En este anexo se muestran otras características de interés de los tres nanomateriales adquiridos que nos ofrece la empresa PlasmaChem.



Plasmachem GmbH, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin

Additional Product Information

Product Name: Aluminium nitride

nanopowder

Catalogue Number: PL-HK-SiC

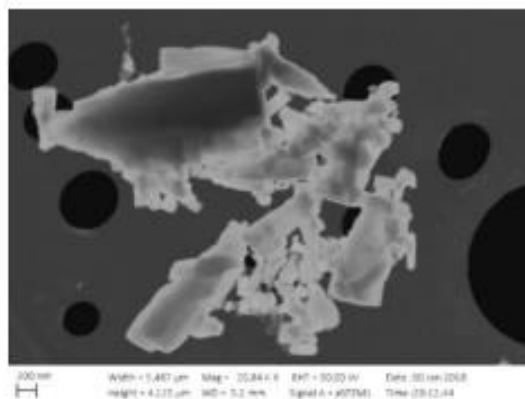
Manufactured/Distributed by: PlasmaChem GmbH, Germany

1	Appearance	Grey powder
2	Average particle size (BET)	25-50 nm
3	BET	ca. 18 m ² /g
4	Bulk density	0,16-0,28 g/cm ³
5	Phase	Beta
6	Purity	> 95,0%
7	pH, 10 mg/mL aqueous	ca. 7,1

Controlled admixtures:

1	Mg	< 0,03%
2	Na	< 0,03%
3	Fe	< 0,1%
4	Cu	< 0,4%
5	W	< 0,2%
6	Al	< 2,4%

TEM image





Plasmachem GmbH, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin

Additional Product Information

Product Name: Silicon carbide nanopowder

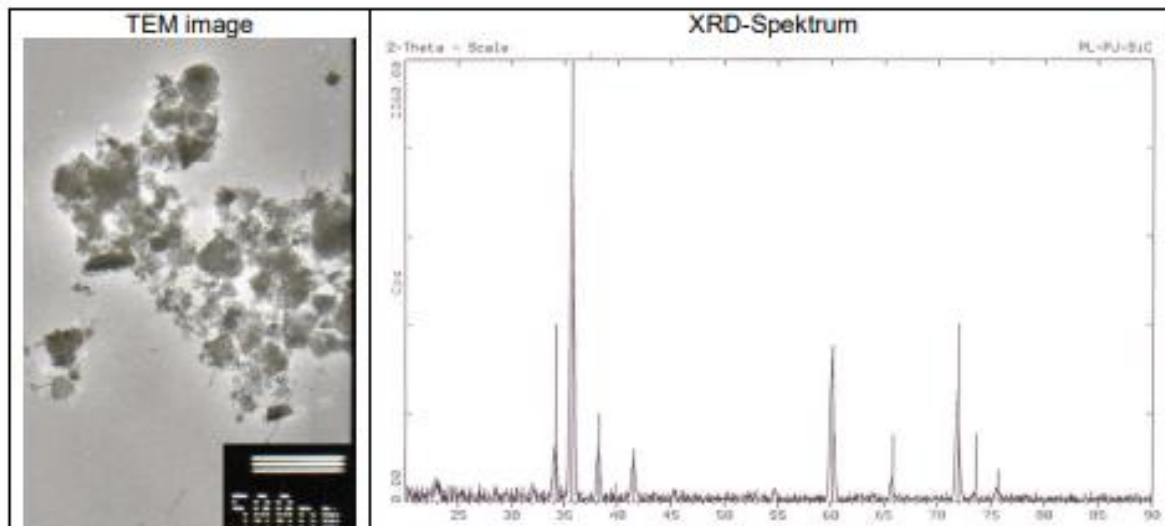
Catalogue Number: PL-PJ-SiC

Manufactured/Distributed by: PlasmaChem GmbH, Germany

1	Appearance	Gray powder
2	Average particle size (BET)	25-50 nm
3	BET	ca. 18 m ² /g
4	Bulk density	0,23-0,35 g/cm ³
5	Purity	> 98,6%
6	Phase purity	ca. 98% hexagonal
7	pH, 10 mg/mL aqueous	ca. 7,1

Controlled admixtures:

1	Cu	< 0,4%
2	W	< 0,2%
3	Fe	< 0,1%
4	Al	< 0,03%
5	Mg	< 0,03%
6	Na	< 0,03%



Plasmachem GmbH Rudower Chaussee 29, D-12489 Berlin, Germany

Betriebsnummer 0844771 Steuernummer 37/482/20830

Phone: +49-30-63926313 Fax: +49-30-63926314 HRB 99010 B, UST ID-No. DE 157830095

Account No. 2400422, Commerzbank Mainz BLZ 55040022, SWIFT COBADEFF550 IBAN: DE02550400220240042200

Account No. 7241133006 Berliner Volksbank BLZ 10090000, SWIFT BEVODEBB IBAN: DE25100900007241133006

Zollnummer 5479908



Plasmachem GmbH, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin

Additional Product Information

Product Name: Silicon carbide nanopowder

Catalogue Number: PL-HK-SiC

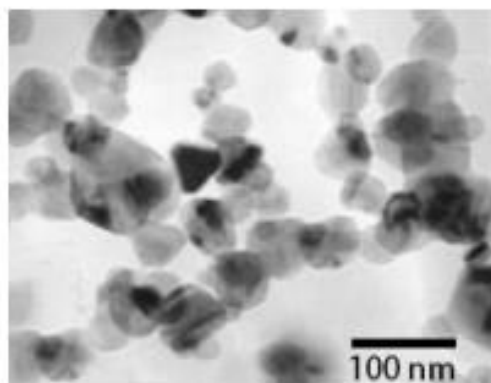
Manufactured/Distributed by: PlasmaChem GmbH, Germany

1	Appearance	Grey powder
2	Average particle size (BET)	25±7 nm
3	BET	ca. 80±7 m ² /g
4	Bulk density	0,15-0,25 g/cm ³
5	Phase	Beta
6	Purity	> 99,0%
7	pH, 10 mg/mL aqueous	ca. 7,1

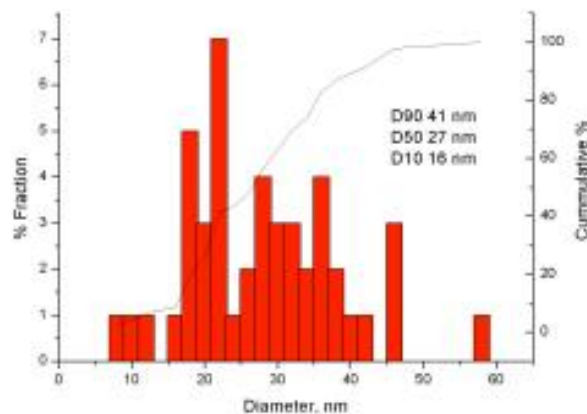
Controlled admixtures:

1	C _{free}	< 1%
2	Si _{free}	< 0,75%
3	O	< 1,25%
4	Cl	< 0,25%

TEM image



Size distribution



Plasmachem GmbH Rudower Chaussee 29, D-12489 Berlin, Germany

Betriebsnummer 0844771 Steuernummer 37/482/20830

Phone: +49-30-63926313 Fax: +49-30-63926314 HRB 99010 B, UST ID-No. DE 157830095

Account No. 2400422, Commerzbank Mainz BLZ 55040022, SWIFT COBADEFF550 IBAN: DE02550400220240042200

Zollnummer 5479908