



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Desarrollo y caracterización de nuevos fluidos nano-
estructurados para aplicaciones de energía solar*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Ignacio Garau Rabadán

DIRECTORES: Javier Pérez Vallejo
Lorena González Gil

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Desarrollo y caracterización de nuevos fluidos nano-
estructurados para aplicaciones de energía solar*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

Durante el último siglo, la dependencia de los combustibles fósiles ha impulsado un gran interés en las energías renovables. Para su competitividad en el mercado, es vital mejorar la eficiencia en la transmisión de calor, especialmente en los colectores solares, donde las propiedades térmicas de los fluidos de trabajo son esenciales para poder obtener un mayor rendimiento.

En este trabajo se pretende la mejora de un fluido comúnmente empleado en aplicaciones solares térmicas: la mezcla propilenglicol:agua 20:80. Para ello, se utilizan tres nanoaditivos basados en carbono: C60, C70 y nanodiamantes. Inicialmente, se pretende conseguir dispersiones estables. Para ello, se analizan las variaciones temporales producidas en la absorbancia y transmitancia. Para las muestras menos estables, se realiza una modificación del pH. Las mejoras obtenidas se determinan por el método anteriormente descrito y mediante un análisis de su potencial Z. Finalmente, las muestras seleccionadas se analizan en un mayor rango de longitudes de onda. Se concluye que el nanofluido 0,05% C70 con pH básico es la muestra más idónea para aplicaciones de energía solar térmica, ya que su absorbancia es la más elevada y absorbe luz en el espectro visible, rango dónde se encuentra mayor cantidad de energía proveniente del sol.

PALABRAS CLAVE

Energías renovables, Transferencia de calor, Fluido, Nanomateriales, Estabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Javier Pérez Vallejo y la profesora Lorena González Gil por mostrar siempre su apoyo y ayudarme constantemente durante este Trabajo de Fin de Grado, mostrando siempre interés por mí y encontrando siempre tiempo para poder resolver todas las dudas que me surgían.

A la Universidad de Vigo por haberme facilitado el poder usar sus instalaciones para que pudiera realizar todas las pruebas necesarias para poder completar al máximo este TFG.

A mi familia, que siempre me ha estado ayudando y apoyando durante estos 5 años de carrera, sobre todo en los momentos más duros, y en especial a mi padre y mi hermano, siendo los dos un claro referente de lo que quiero ser en un futuro, no solo militarmente sino también personalmente.

A mi abuelo Paco, que siempre sacaba una sonrisa y conseguía sacar la mejor motivación de cada uno, incluso en los peores momentos con su famosa frase “todo es para bien”.

A mis compañeros de estudio, un claro apoyo durante estos años, por esas noches largas de estudios en las que conseguíamos sacar adelante cualquier obstáculo.

A mi amigo Jesús Martínez Malagón, empezamos esto juntos y lo terminamos juntos, como bien nos prometimos en nuestro primer año en la Escuela Naval Militar.

Por último, a mi segunda familia, la promoción 423-153. Muchos momentos duros hemos pasado juntos y que codo con codo hemos logrado superar con creces. Siempre os recordaré con mucho cariño.

CONTENIDO

Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
1 introducción y objetivos.....	9
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Antecedentes	10
1.3.1 La necesidad de las energías renovables.....	10
1.3.2 Clasificación de las energías renovables	11
1.3.3 Retos energéticos en el S.XXI.....	11
1.4 Estructura de la memoria	13
2 Estado del arte	15
2.1 Energía solar.....	15
2.1.1 Energía solar.....	15
2.1.2 Energía solar térmica	15
2.2 Eficiencia Energética	17
2.3 Colectores solares	18
2.3.1 Clasificación.....	18
2.3.2 Eficiencia de los colectores solares térmicos	20
2.4 Nanofluidos	21
2.4.1 Nanotecnología.....	21
2.4.2 ¿Qué es un nanofluido y para que se utiliza?	21
2.4.3 Origen de los nanofluidos	22
2.4.4 Preparación del nanofluido	23
2.4.5 Propiedades de interés para nanofluidos con aplicaciones solares térmicas.....	24
2.4.6 Estabilidad de los nanofluidos.....	25
2.5 Nanopartículas.....	27
2.5.1 Tipos de nanomateriales	27
2.5.2 Síntesis de los nanomateriales.....	28
2.5.3 Descripción de las nanopartículas usadas en este TFG	29
3 Desarrollo del TFG	32
3.1 Materiales.....	32
3.1.1 Fluido base (PG:A 20:80)	32
3.1.2 Nanomateriales.....	33

3.2 Métodos.....	34
3.2.1 Morfología de las nanopartículas	34
3.2.2 Diseño de nanofluidos	34
3.2.3 Análisis de la estabilidad	36
4 Resultados	39
4.1 Morfología de las nanopartículas	39
4.1.1 Fullerenos C60.....	39
4.1.2 Fullerenos C70.....	39
4.1.3 Nanodiamante.....	40
4.2 Estabilidad de los nanofluidos.....	40
4.2.1 Absorbancia para 0,05 y 0,1 % en peso de los nanofluidos.....	40
4.2.1 Absorbancia de C60 y C70 en función de pH de la muestra	44
4.2.2 Propiedades ópticas	46
5 Conclusiones y líneas futuras	50
5.1 Conclusiones	50
5.2 Líneas futuras	51
6 Bibliografía.....	52
Anexo I: Implicaciones sociales, y/o económicas, y/o ambientales.....	56
Anexo II: Reflexiones éticas y sociales	57
Anexo III: Materiales utilizados durante el TFG	58
Espectrofotómetro lambda XLS	58
Espectrofotómetro Agilent Cary 5000 UV-vis NIR.....	59
Baño de ultrasonido.....	60
pH-metro.....	60
Medidor Zetasizer Nano ZS.....	61
Equipo TEM (Microscopía Electrónica de Transmisión)	62
Otros materiales	62
Anexo IV: Gráficas de transmitancia realizadas de C60 y C70 según su pH.....	63
Fullerenos C60.....	63
Fullerenos C70.....	64
Anexo V: Gráficas de absorbancia realizadas de C60 y C70 según su pH.....	65
Fullerenos C60.....	65
Fullerenos C70.....	66
Anexo VI: Especificaciones de los nanomateriales.....	67

Anexo VII: Precauciones de seguridad de los nanomateriales	70
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Tipos de fuentes de energías renovables y convencionales [4].....	11
Figura 1-2 Consumo energético en Europa. Año 2022. Elaboración propia basado en [6]	12
Figura 1-3 Consumo energético en España. Año 2022. Elaboración propia basado en [6]	13
Figura 2-1 Elementos de un captador solar [2]	16
Figura 2-2 Funcionamiento de un sistema de circulación forzada [2]	16
Figura 2-3 Funcionamiento de un sistema de termosifón [2]	17
Figura 2-4 Partes de un colector solar de placa plana [9]	19
Figura 2-5 Colector de absorción directa [10]	19
Figura 2-6 Colector solar de tubo al vacío (<i>HEAT PIPE</i>) [10]	20
Figura 2-7 Variables en la síntesis de nanofluidos	23
Figura 2-8 Método de un solo paso [17]	23
Figura 2-9 Método de dos pasos [17]	24
Figura 2-10 Valores entre los que se encuentra el espectro visible [21]	25
Figura 2-11 Efecto del potencial Z [22]	26
Figura 2-12 Clasificación de los nanomateriales según su número de dimensiones en tamaño nanométrico [24]	28
Figura 2-13 Técnicas de síntesis de nanomateriales basados en carbono [24]	29
Figura 2-14 Elaboración del fullereno [25]	29
Figura 2-15 Estructura del fullereno C60 [26]	30
Figura 2-16 Estructura del fullereno C70 [28]	30
Figura 2-17 Hibridación sp ³ del nanodiamante [29]	30
Figura 3-1 Nanofluidos al 0,05%	35
Figura 3-2 Nanofluidos al 0,1%	35
Figura 3-3 Esquema de la preparación de un nanofluido mediante el método de dos pasos (elaboración propia)	35
Figura 3-4 Viales introducidos en el baño de ultrasonido (elaboración propia)	36
Figura 4-1 Imagen TEM del fullereno C60	39
Figura 4-2 Imagen TEM del fullereno C70	39
Figura 4-3 Imagen TEM del Nanodiamante	40
Figura 4-4 Evolución de la absorbancia del C60 a lo largo del tiempo para una concentración de 0,05%	40
Figura 4-5 Evolución de la absorbancia del C60 a lo largo del tiempo (elaboración propia)	41
Figura 4-6 Evolución de la absorbancia del C70 a lo largo del tiempo (elaboración propia)	42
Figura 4-7 Evolución de la absorbancia del C70 a lo largo del tiempo (elaboración propia)	42
Figura 4-8 Comparación de los valores máximos de los fullerenos para ambas concentraciones (elaboración propia)	43

Figura 4-9 Comparación de los valores mínimos de los fullerenos para ambas concentraciones (elaboración propia)	43
Figura 4-10 Evolución de la absorbancia respecto al tiempo para las distintas concentraciones de ND (elaboración propia).....	44
Figura 4-11 Valores de absorbancia del C60 según el pH al cabo de 6 días	45
Figura 4-12 Valores de absorbancia del C60 según el pH al cabo de 6 días	45
Figura 4-13 Potencial Z de cada una de las muestras según su pH (elaboración propia).....	46
Figura 4-14 Absorbancia en función de la longitud de onda en el rango 200-2900 nm de los nanofluidos más estables (elaboración propia).....	47
Figura 4-15 Absorbancia en función de la longitud de onda en el rango 200-1200 nm de los nanofluidos más estables (elaboración propia).....	47
Figura A1- 1 Funcionamiento de espectrofotómetro [35]	58
Figura A1- 2 Espectrofotómetro utilizado en el laboratorio (elaboración propia).....	58
Figura A1- 3 Características del espectrofotómetro <i>lambda XLS</i>	59
Figura A1- 4 Espectrofotómetro <i>Agilent Cary 5000 UV-VIS NIR</i> [36].....	60
Figura A1- 5 Baño ultrasónico utilizado durante los experimentos en el laboratorio (elaboración propia)	60
Figura A1- 6 Medidor HI2020 pH/OD/EC Edge [39].....	61
Figura A1- 7 <i>Zetasizer Nano ZS</i> [40]	61
Figura A1- 8 Especificación de características del <i>Zetasizer</i> sobre el Potencial Z [41]	61
Figura A4- 1 Evolución de la transmitancia del C60 pH =5 respecto al tiempo (elaboración propia)	63
Figura A4- 2 Evolución de la transmitancia del C60 pH =Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)	63
Figura A4- 3 Evolución de la transmitancia del C60 pH =9 respecto al tiempo (elaboración propia)	63
Figura A4- 4 Evolución de la transmitancia del C70 pH =5 respecto al tiempo (elaboración propia)	64
Figura A4- 5 Evolución de la transmitancia del C70 pH =Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)	64
Figura A4- 6 Evolución de la transmitancia del C70 pH =9 respecto al tiempo (elaboración propia)	64
Figura A5- 1 Evolución de la absorbancia del C60 pH=5 respecto al tiempo (elaboración propia).....	65
Figura A5- 2 Evolución de la absorbancia del C60 pH=Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)	65
Figura A5- 3 Evolución de la absorbancia del C60 pH=9 respecto al tiempo (elaboración propia).....	65
Figura A5- 4 Evolución de la absorbancia del C70 pH=5 respecto al tiempo (elaboración propia).....	66

Figura A5- 5 Evolución de la absorbancia del C70 pH=Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)66

Figura A5- 6 Evolución de la absorbancia del C70 pH=9 respecto al tiempo (elaboración propia)66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades de interés del agua a 20 °C [12]	32
Tabla 2 Propiedades de interés del propilenglicol a 20 °C [30]	33
Tabla 3 Características del fullereno C60 [31].....	33
Tabla 4 Características del fullereno C70 [32].....	33
Tabla 5 Características del Nanodiamante [33]	34
Tabla 6 Cantidades utilizadas en la elaboración de nanofluidos.....	36
Tabla 7 Relación existente entre el potencial Z y la estabilidad [19].....	46
Tabla 8 Comparación de datos de los 3 nanofluidos estables tras la última medición (elaboración propia)	48

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

A medida que pasan los años, podemos observar que las energías renovables van alcanzando mucha más importancia en la sociedad actual debido a su precio económico, su gran disponibilidad y su reducida contaminación al planeta. Por ello, se está llevando a cabo la creación de diferentes mecanismos para poder producir energía a partir de diferentes recursos como el agua, el viento, el sol y la tierra. En este Trabajo de Fin de Grado lo que se pretende es aprovechar la energía procedente del sol (Energía Solar) de forma más eficiente mediante la mejora del fluido de trabajo, que circula a través de los colectores solares, con las características adecuadas para poder producir la energía térmica de manera más eficiente y económica.

La energía solar consiste en una energía renovable que se ha utilizado desde hace miles de años en forma de calor y luz. La primera aplicación conocida de la energía solar fue en el ámbito de la agricultura, donde se utilizó para calentar invernaderos y poder llegar a cultivar plantas. Con el tiempo, la tecnología se desarrolló y se crearon paneles y colectores solares para convertir la energía del sol en electricidad y calor.

La energía térmica se puede producir mediante dos métodos: los colectores estacionarios, que son aquellos que tienen la misma área para interceptar la radiación que emite el sol, y los colectores concentrados, que son aquellos que siguen al movimiento que está llevando a cabo el sol y tiene unas superficies reflectantes cóncavas para interceptar y poder enfocar la radiación del rayo solar en un área de recepción más pequeña, aumentando el flujo de radiación.

En los últimos años, la investigación en el campo de las nanopartículas ha llevado a nuevos avances en la tecnología de colectores solares. Las nanopartículas son estructuras sólidas extremadamente pequeñas con dimensiones en el rango de 1 a 100 nanómetros. Estas partículas tienen propiedades únicas debido a su tamaño y su gran área superficial.

En el campo de la energía solar, las nanopartículas se han utilizado para mejorar la eficiencia de las células fotovoltaicas y los colectores solares térmicos. Por ejemplo, las nanopartículas de metales se han utilizado para mejorar la absorción de la luz en las células solares fotovoltaicas, lo que ha llevado a una mayor eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad. También se han utilizado nanopartículas en los colectores solares térmicos para mejorar la transferencia de calor y la absorbancia de la luz.

En resumen, con el avance de la tecnología, se han podido llegar a crear dispositivos como colectores solares para convertir la energía del sol en electricidad. Además, la investigación en

nanopartículas ha permitido poder avanzar en el desarrollo e los colectores solares, llegando a facilitar la mejora de la eficiencia en la conversión de energía solar en otras energías.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este TFG es llevar a cabo el diseño y caracterización de nuevos nanofluidos basados en mezclas glicol/agua (fluido de trabajo típico en instalaciones solares) para la mejora de la eficiencia en instalaciones solares. Para ello, se utilizan distintas nanopartículas y surfactantes comerciales.

Es por ello por lo que se intentará conseguir que las distintas muestras elaboradas sean estables con el tiempo. Por lo que se analizará y se utilizará distintos métodos para poder conseguir este objetivo, los cuales serán medir su absorbancia y analizar el rango en cuanto a longitud de onda y así determinar cuál de las muestras presenta las mejores propiedades ópticas.

Así, los nanofluidos seleccionados serán completamente caracterizados para su potencial uso futuro como fluidos de trabajo en aplicaciones solares de absorción directa.

1.3 Antecedentes

1.3.1 La necesidad de las energías renovables

Las energías renovables son inagotables, a diferencia de las fuentes de energía tradicionales como el carbón, el gas, el petróleo o la energía nuclear, cuyas reservas son finitas. Las energías renovables, por otro lado, tienen la misma disponibilidad que el sol y se adaptan a los ciclos naturales, lo que las convierte en una solución esencial para un sistema energético sostenible que permita el desarrollo presente sin poner en riesgo el de las futuras generaciones. Además, son una opción competitiva y limpia, que no genera emisiones contaminantes ni gases de efecto invernadero. Sus costes disminuyen mientras que los de los combustibles fósiles son cada vez más altos e inestables. Según la Agencia de Internacional de la Energía (AIE), para 2040 las renovables representarán el 44% del suministro eléctrico. La demanda mundial de electricidad aumentará en un 70% hasta 2040 y representará el 24% del uso de la energía final.

Las energías renovables han sido apoyadas por el "Acuerdo de París" firmado en 2015, que establece un objetivo global vinculante para reducir las emisiones y limitar el aumento de la temperatura del planeta. Casi 200 países firmaron el acuerdo, comprometiéndose a reducir las emisiones para mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2 pc, y si es posible, limitarlo a 1,5 °C.

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), cumplir con los objetivos de Acuerdo de París implica duplicar la proporción de energías sostenibles en la generación eléctrica hasta alcanzar el 57% a nivel global en 2030. Esto requiere aumentar las inversiones anuales en tecnologías sostenibles desde los 330 mil millones de dólares actuales hasta los 750 mil millones, lo que impulsará la creación de empleos y el crecimiento asociados a la economía verde.

Las energías renovables son fundamentales en la lucha contra el cambio climático. Son una solución limpia y viable para hacer frente a la degradación medioambiental, ya que no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de generación de energía. Además, las principales tecnologías renovables, como la energía eólica y solar fotovoltaica, están reduciendo drásticamente sus costos, lo que las hace cada vez más competitivas con las fuentes de energía convencionales.

El horizonte político también es favorable para las energías renovables, ya que se están tomando decisiones importantes a nivel internacional para robustecer la transición hacia una economía baja en carbono. La comunidad internacional ha entendido la necesidad de actuar para garantizar un futuro sostenible para el planeta y se está trabajando para reducir la dependencia de las fuentes de energía tradicionales y fomentar la utilización de las energías limpias.

Además, las energías renovables también reducen la dependencia energética de los países y fortalecen su seguridad energética. La necesidad de importar combustibles fósiles puede comprometer la seguridad del suministro energético, por lo que la utilización de fuentes renovables es una forma de asegurar la estabilidad y la sostenibilidad del suministro energético [1].

1.3.2 Clasificación de las energías renovables

A continuación, se describen las principales fuentes de energía renovable (Figura 1-1):

Energía eólica: se obtiene a partir de la energía del viento. Los aerogeneradores convierten la energía mecánica del viento en energía eléctrica [2].

Energía geotérmica: aquella que obtenemos del interior de la Tierra.

Biomasa: aprovecha la materia orgánica de los residuos que se generan por las distintas actividades que realiza el ser humano o de materia vegetal que proporciona la propia naturaleza [3].

Energía hidráulica: aprovecha la energía potencial del agua. El ciclo natural de evaporación, condensación y precipitación del agua es aprovechado en centrales hidroeléctricas. El agua retenida en un embalse o presa se libera a través de tuberías para mover las turbinas y generar electricidad [3].

Energía solar: es la energía que se obtiene procedente del sol mediante la utilización de placas solares térmicas o fotovoltaicas. [2].

Energía mareomotriz: aprovecha el movimiento que llevan a cabo grandes cantidades de agua de los océanos. Este movimiento se produce debido a las olas, las cuales se producen porque el viento sopla sobre la superficie de los océanos, y por las mareas, que se producen debido a la atracción gravitatoria que ejerce la Luna sobre ellas [3].

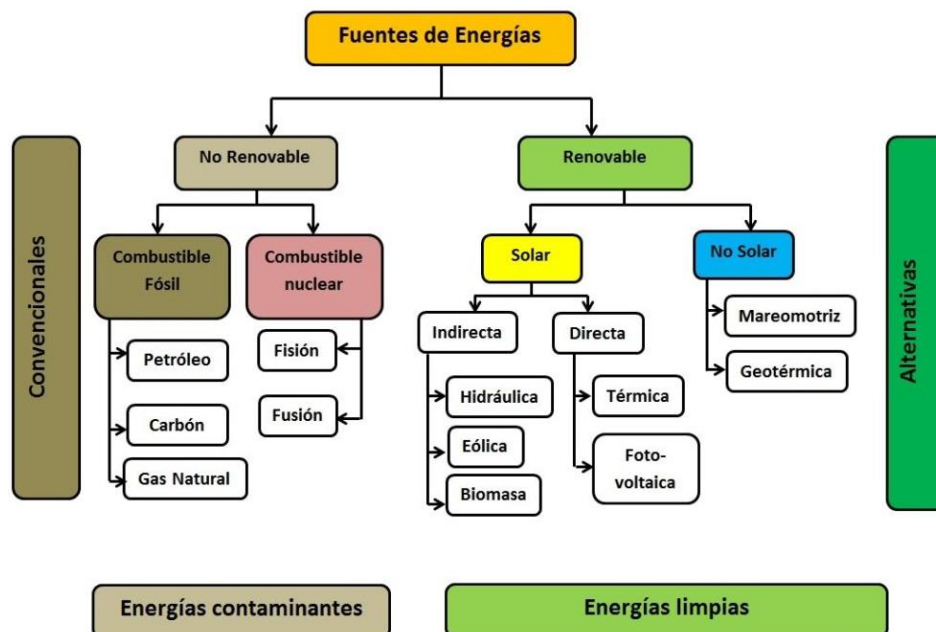


Figura 1-1 Tipos de fuentes de energías renovables y convencionales [4]

1.3.3 Retos energéticos en el S.XXI

EUROPA

En cuanto a retos energéticos dentro del ámbito europeo, tenemos que destacar el Pacto Verde Europeo.

Consiste en un programa que aspira a que la Unión Europea (UE) se convierta en el primer continente neutro en términos climáticos para el año 2050. Se trata del pilar fundamental para poder conseguir que Europa se convierta en una sociedad con una economía muy moderna y competitiva. Dentro de este pacto, se establecieron una serie de iniciativas para mejorar el planeta que se espera que todos los estados miembros lo cumplan [5]:

- **Objetivo 55:** consiste en un conjunto de propuestas para poder revisar la legislación que se encuentra relacionada con el clima, el transporte, la energía y poder también poner en marcha nuevas iniciativas legislativas para adaptar la legislación europea a los nuevos objetivos establecidos para mejorar nuestro planeta.
- **Legislación Europea sobre el Clima:** mediante su adopción, los estados miembros se comprometen a reducir la emisión de gases de efecto invernadero en al menos un 55%. Las acciones que quedan recogidas en este reglamento son: planificar el ritmo de estas reducciones de gases hasta 2050 y llegar a desarrollar un sistema que permita hacer un seguimiento de los progresos realizados.
- **Estrategia de la UE sobre la Biodiversidad:** las acciones previstas son ampliación de las zonas marinas y terrestres que se encuentran en Europa y llevar a cabo un seguimiento de las distintas acciones establecidas y aumentar sus financiaciones.
- **Energía limpia y asequible:** la UE se ha propuesto utilizar energías mucho más económicas y limpias como la energía marina y el hidrógeno o incluso llegar a desarrollar una serie de infraestructuras energéticas que se encuentren interconectadas a través de los corredores energéticos de la UE. Esto supondrá un reto importante, pues en el año 2022 más del 60% de la energía primaria consumida en Europa procede de combustibles fósiles (Figura 1-2).
- **Estrategia de la UE para la sostenibilidad de las sustancias químicas:** las sustancias químicas son usadas en acciones cotidianas, pero se debe controlar su uso puesto que algunas son perjudiciales para nuestro planeta. Es por ello por lo que las acciones que se tomen por parte de la UE tendrán como objetivo mejorar la salud humana y conseguir un entorno sin sustancias químicas perjudiciales.

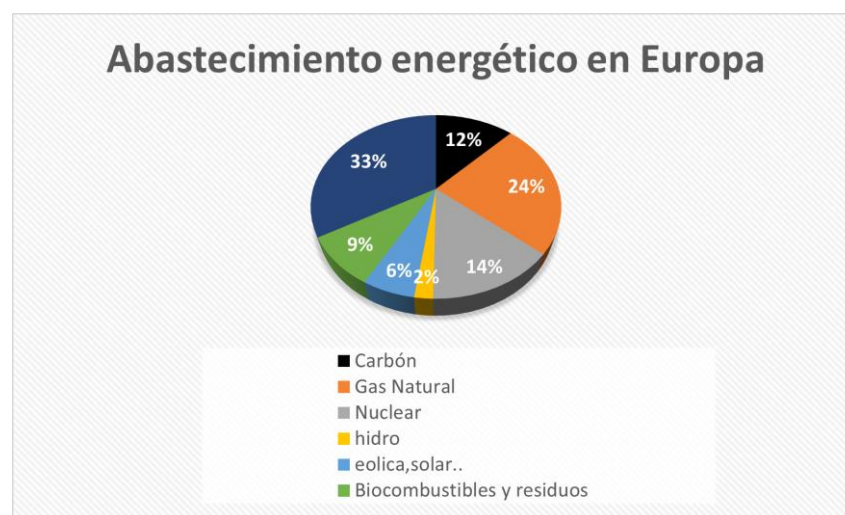


Figura 1-2 Consumo energético en Europa. Año 2022. Elaboración propia basado en [6]

ESPAÑA

El mayor reto que existe ahora mismo en nuestro país es la transición energética, que consiste en todos los cambios que afectan la producción, distribución y consumo de la energía para llegar hacerlos más sostenibles. El principal objetivo es convertir un sistema energético basado en los combustibles fósiles, por otro que esté basado en las energías renovables [7].

Por otra parte, la transición también está relacionada con la sociedad, pues se anima a los ciudadanos a que lleven un control de cuánta energía consumen y que lo hagan de manera más moderada. Es por ello por lo que la transición energética también es una transición social y de comportamiento.

Los tres ejes estratégicos de la transición de energía en España son: el desarrollo de energías renovables, la rehabilitación y eficiencia energética y la movilidad sostenible.

Estos temas han llevado a la creación de una serie de compromisos de España que aparecen reflejados en el proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética y el Plan Nacional de Energía y Clima en España.

Por último, hay que añadir que España presentó el Plan Nacional de Energía y Clima 2021-2030 (PIEC) con el fin de llegar a reducir la contaminación en la atmósfera [8]. Para ello se plantea las siguientes:

- 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 42% de renovables sobre el uso final de la energía.
- 39,5% de mejora de eficiencia energética.
- 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

En la Figura 1-3 se puede observar el consumo energético que ha habido en España en el año 2022.

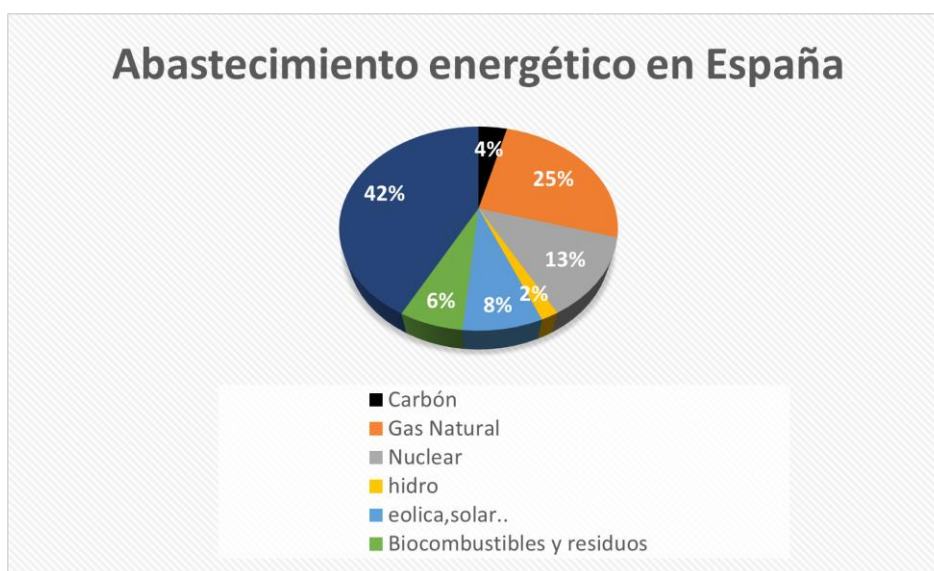


Figura 1-3 Consumo energético en España. Año 2022. Elaboración propia basado en [6]

1.4 Estructura de la memoria

Una vez contextualizado el trabajo y habiendo expuesto los principales objetivos, así como los antecedentes de este, 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 de este.
- **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 empleadas para poder elaborar los distintos experimentos.

- **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 futuro 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 Energía solar

2.1.1 Energía solar

El Sol es la principal fuente de energía que da lugar a la gran mayoría de las energías renovables. Su energía se transmite en el espacio en forma de radiación electromagnética, de tal forma que una parte de ella llega a la atmósfera.

Posteriormente, una parte de esta energía es absorbida tanto por el suelo como por la atmósfera, y la otra parte se refleja directamente en el espacio por medio de los suelos, mares, atmósfera, etc.

A nuestro planeta, esta radiación solar puede llegar de las siguientes formas:

- **Directa:** aquella que obtenemos directamente del Sol y que no ha sufrido ningún cambio en su trayectoria.
- **Difusa:** aquella que ha incidido con cualquier elemento en la atmósfera (polvo, nubes, contaminantes...), cambia su dirección y finalmente llega a nosotros.
- **Reflejada:** es la devuelta por la superficie terrestre. Cobra especial importancia en aquellas zonas donde la reflexión sea importante (por ejemplo, los océanos o ríos).

En la actualidad, la energía solar se puede aprovechar de dos formas distintas:

- Por medio de la energía solar térmica de baja y media temperatura (fuente de calor).
- Por medio de la energía solar fotovoltaica y solar térmica de alta temperatura (fuente de electricidad).

2.1.2 Energía solar térmica

El funcionamiento de este tipo de energía es bastante sencillo. Se capta la radiación solar y el calor se transfiere a un fluido que normalmente suele ser agua o una mezcla agua-glicol.

Para que se pueda aprovechar al máximo dicha radiación, es fundamental un elemento que se denomina “colector”. Dicho equipo se encarga de captar la energía solar y está formado por los elementos que se pueden observar en la Figura 2-1.

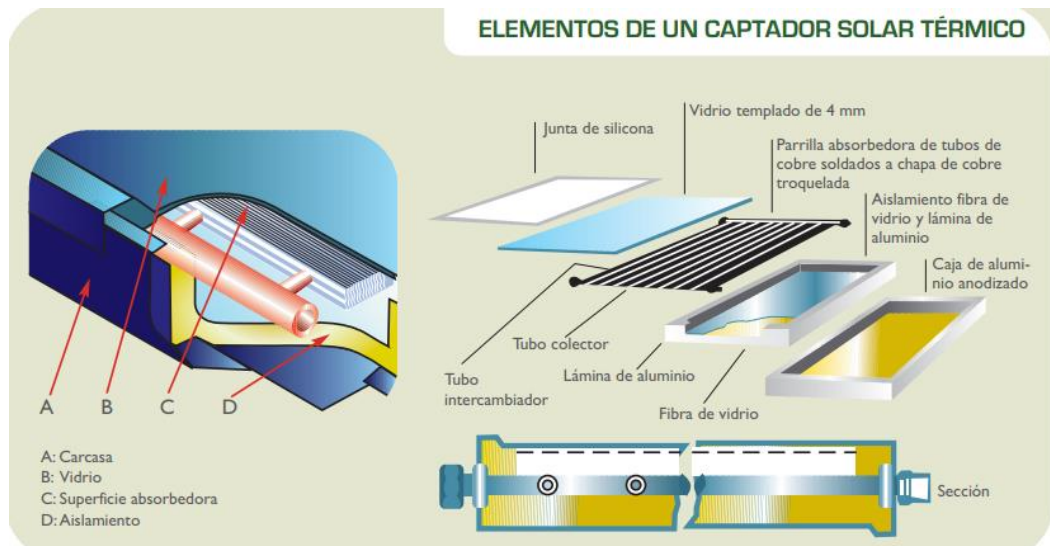


Figura 2-1 Elementos de un captador solar [2]

El funcionamiento de este elemento se basa principalmente en el efecto invernadero. La radiación solar incide sobre el vidrio que posteriormente la transmite. Finalmente, esta energía es absorbida por una superficie que se irá calentando poco a poco y que a su vez irá emitiendo calor.

La utilización de este tipo de energía se lleva a cabo sobre todo para calentar fluidos. Dependiendo de las temperaturas que lleguen a alcanzar, se puede dividir de la siguiente manera:

- Baja Temperatura

➤ Sistema de circulación forzada:

El acumulador en este tipo de sistemas suele ir normalmente dentro de un edificio. Para que el agua pueda fluir entre el colector y el acumulador se suele utilizar una bomba, como puede observarse en la Figura 2-2. Normalmente este tipo de sistemas es utilizado en aquellos países que tienen un clima frío.

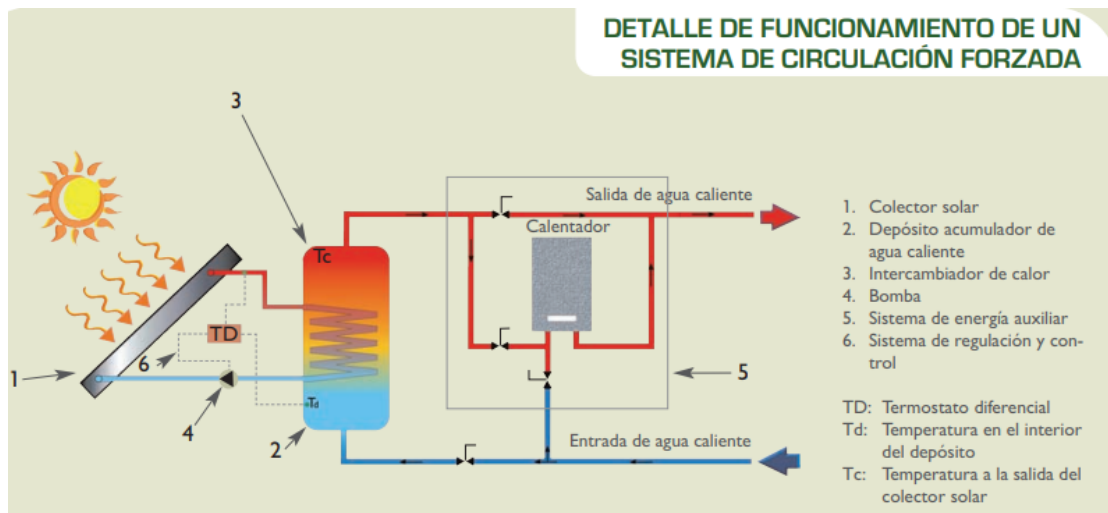


Figura 2-2 Funcionamiento de un sistema de circulación forzada [2]

➤ Sistemas termosifón:

Se basan en el denominado teorema de termosifón, en el que el movimiento que realiza el agua se produce debido a la diferencia de temperaturas que hay entre el agua fría, que es la que se encuentra en el tanque, y el agua caliente, que es la que se encuentra en el captador (Figura 2-3). El agua que está dentro del colector se calienta por medio de la acción del Sol, disminuyendo así su densidad y su peso específico. Al disminuir su peso específico, el agua con mayor temperatura se sitúa en la parte superior

del captador. Este hecho, provoca que el agua caliente del captador ascienda hasta el tanque. En estos sistemas el tanque se sitúa por encima del captador. Normalmente estos sistemas se suelen poner en los tejados de las viviendas.



Figura 2-3 Funcionamiento de un sistema de termosifón [2]

- Alta Temperatura

Estos sistemas están dotados de un dispositivo que se encarga de seguir el movimiento del sol, de esta forma consiguen obtener una mayor captación de la radiación que emite. Las instalaciones que se usan dentro de este tipo son:

- Sistema solar con torre central receptor con heliostatos
- Colectores cilindro-parabólicos
- Discos parabólicos
- Energía solar fotovoltaica

La energía solar se convierte en electricidad mediante células basadas en el efecto fotovoltaico. Los paneles fotovoltaicos están compuestos por varias células conectadas y tienen una vida útil de más de 30 años. Son fáciles de instalar, requieren poco mantenimiento y no producen contaminación. La electricidad se genera en corriente continua y se puede llegar a convertir en corriente alterna mediante la utilización de inversores.

El silicio es el material más utilizado en la fabricación de células fotovoltaicas debido a su abundancia en la Tierra. Existen tres tipos de células de silicio: monocristalino, policristalino y amorfo. La célula monocristalina es la más eficiente con unos rendimientos superiores al 12%, las células policristalinas son menos eficientes, pero más económicas y las células amorfas son de menor rendimiento y se utilizan en aplicaciones de baja potencia.

2.2 Eficiencia Energética

La eficiencia energética consiste en la minimización del consumo de energía para satisfacer la demanda sin afectar su calidad. Esto se logra a través de la sustitución de equipos y aparatos con un mayor rendimiento. La eficiencia energética no implica cambios en los hábitos de consumo, sino en el uso de tecnologías más eficientes. Para maximizar los ahorros en el consumo de energía es importante combinar medidas de ahorro y eficiencia energética.

Las medidas para lograr el ahorro y la eficiencia energética se pueden clasificar en tres categorías: medidas de carácter tecnológico, medidas para un consumo responsable y medidas instrumentales.

- **Medidas de carácter tecnológico:** incluyen la eficiencia energética y la sustitución de fuentes de energía contaminantes.
- **Medidas para un consumo responsable:** incluyen la cultura y pautas para el ahorro energético.

- **Medidas instrumentales:** incluyen medidas económicas, normativas, fiscales y de gestión. Estas medidas pueden ir dirigidas tanto a los sectores relacionados con la generación de energía como a aquellos que consumen la energía como el sector doméstico, PYMES, industrial, escuelas, edificación, hostelería, entre otros.

Indicar que el presente TFG se encuadra dentro del primer tipo, concretamente para colectores solares.

2.3 Colectores solares

2.3.1 Clasificación

Los colectores de energía solar son un tipo de intercambiadores de calor que se encargan de transformar la radiación de la energía que emite el sol en calor para posteriormente transferirlo a un fluido de trabajo.

Este fluido es habitualmente agua, aceite o aire, que fluye a través del colector [9]. La energía solar es absorbida y luego transportada al agua caliente, al equipo de acondicionamiento del espacio o a un tanque de almacenamiento de energía térmica para su uso durante otros periodos.

Dentro de los colectores podemos diferenciar dos tipos: los colectores estacionarios, que son aquellos que tienen un área única para interceptar la radiación que emite el sol y los colectores concentrados, que son aquellos que siguen al movimiento que está llevando a cabo el sol y tiene unas superficies reflectantes cóncavas para interceptar y poder enfocar la radiación del rayo solar en un área de recepción más pequeña, aumentando el flujo de radiación.

A continuación, se llevará a cabo una explicación de los tipos que hay dentro de cada uno de estos colectores [9]:

Estacionarios

- Colectores solares de placa plana (*Flat Plate Collector*, FPC):

La radiación solar pasa a través de una cubierta transparente e incide sobre una superficie absorbente ennegrecida de alta capacidad de absorción, gran parte de esta energía es absorbida y luego transferida al medio de transporte en los tubos de fluido para ser transportada para su almacenamiento o uso. La parte inferior de la placa absorbente y el costado de la carcasa están bien aislados para reducir las pérdidas por conducción.

La cubierta transparente se usa para reducir las pérdidas por convección y radiación en el sistema de energía solar. Restringe la capa de aire estancada entre la placa absorbente y el vidrio y reduce las pérdidas por radiación del colector ya que el vidrio es transparente a la radiación de onda corta recibida del sol, pero es opaco a la radiación térmica de onda larga emitida por la placa absorbente.

Los FPC generalmente están fijos en su posición y no requieren seguimiento del sol, deben ser orientados directamente hacia el ecuador, al sur en el hemisferio norte y al norte en el sur.

El ángulo de inclinación óptimo del colector es igual a la latitud de la ubicación con variaciones de ángulo de 10 a 15 grados más o menos dependiendo de la aplicación. A continuación, en la Figura 2-4 se pueden ver los componentes de los que dispone.

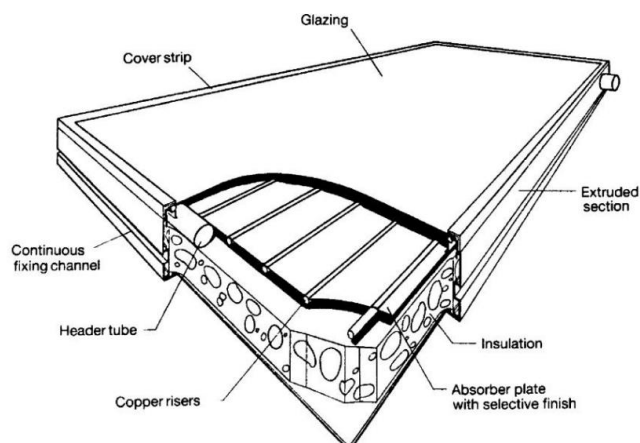


Figura 2-4 Partes de un colector solar de placa plana [9]

- Colectores solares de absorción directa (*Direct Absorption Solar Collector, DASC*):

Contenedor con una cubierta transparente, un canal para el flujo del líquido térmico y de un aislante para reducir pérdidas de calor. Son fáciles de construir y bastante baratos.

A diferencia de otros tipos de colectores, este sistema capta directamente la radiación solar a través del fluido en lugar de utilizar una placa o tubo absorbente. Por lo tanto, es fundamental que tenga la capacidad de captar toda la gama de la radiación solar, incluyendo la ultravioleta, la visible y la infrarroja.

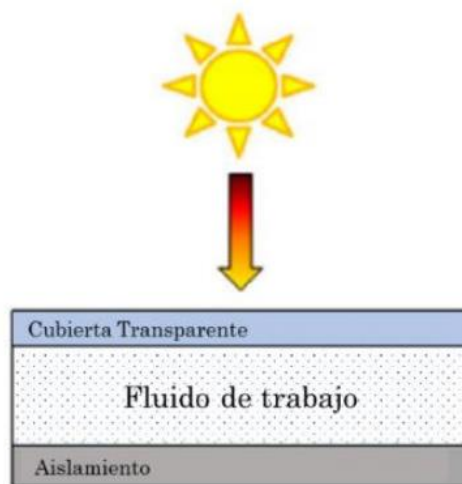


Figura 2-5 Colector de absorción directa [10]

- Colector solar de tubos al vacío (*Evacuated Tube Collector, ETC*):

Los colectores de tubos al vacío se componen de tubos del tipo “*Heat Pipe*” que contienen un fluido (etanol, metanol o agua) que se evapora al recibir radiación solar. El vapor sube y se condensa en la parte superior, transfiriendo su energía de cambio de fase al agua que se desea calentar.

Debido a que el dispositivo está aislado al vacío, la pérdida convectiva es menor que en los colectores de placa plana, lo que aumenta la eficiencia. Sin embargo, el alto costo inicial puede dificultar la compra de este tipo de colector.

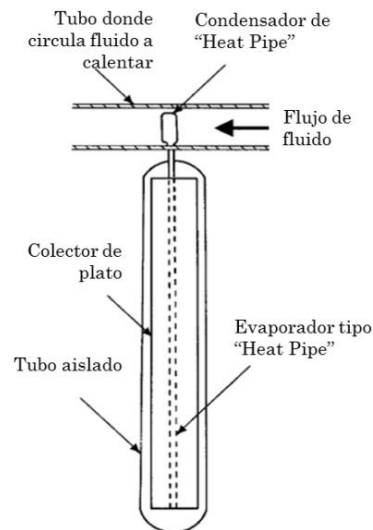


Figura 2-6 Colector solar de tubo al vacío (HEAT PIPE) [10]

Concentrados

Los colectores concentrados están diseñados para seguir la trayectoria del sol en uno o dos ejes, y su forma parabólica permite concentrar la radiación solar en un área reducida, alcanzando temperaturas superiores a los 50 °C e incluso superando los 400 °C. En comparación con los colectores estacionarios, los colectores concentrados tienen una mayor capacidad de producción de energía. Aunque su complejidad y precio elevado limitan su uso en los hogares, son una buena opción para la industria.

2.3.2 Eficiencia de los colectores solares térmicos

Dentro de las características que pueda llegar a tener un colector la más importante es su eficiencia, que se entiende como la capacidad que tiene ese colector solar térmico de transformar la energía solar en energía térmica [11].

Dentro de los numerosos aspectos que pueden mejorarse para incrementar la eficiencia, uno de los principales factores que ayudan a aumentar el rendimiento es el hecho de mejorar la eficiencia en cuanto a los procesos de absorción de radiación solar mediante el uso de fluidos con mejores propiedades ópticas y térmicas.

En el caso de los DASC (en los que las soluciones propuestas en este TFG tienen mayor implicación), algunos trabajos de la literatura han experimentado con la incorporación de partículas sólidas de tamaño micrométrico para poder mejorar su rendimiento, pero estas partículas traían consigo una serie de problemas como obstrucción o ensuciamiento de conductos o erosión y abrasión de tuberías con el tiempo.

Es por ello, que los expertos propusieron mejorar dichos problemas por medio de la dispersión de partículas sólidas de tamaño nanométrico con alta conductividad térmica y capacidad de absorción de radiación, como el carbón negro, grafito, dióxido de silicio y óxidos metálicos negros, dando lugar a la utilización de nanofluidos.

Existen algunos estudios que han podido demostrar que el reemplazo de los fluidos térmicos por nanofluidos contribuye a mejorar la eficiencia térmica. Un ejemplo claro que se puede mencionar es un estudio en el que se consiguió obtener una mejora del 5% en la eficiencia térmica al cambiar agua por nanofluidos [11].

Sin embargo, para conseguir que el colector rinda de manera óptima debemos tener en cuenta una serie de factores respecto a las nanopartículas como su tamaño, su compatibilidad con el fluido base, su concentración, etc.

2.4 Nanofluidos

2.4.1 Nanotecnología

La nanotecnología consiste en el estudio de la materia a nivel atómico y molecular (dimensiones menores a 100 nm). Dentro de sus avances, los más destacados son las nanopartículas que poseen cierta capacidad de poder modificar de manera drástica las propiedades de los materiales.

El término “nano” proviene de la palabra griega nanos, y se usa en la ciencia para referirse a objetos de tamaño reducido. Dicha ciencia se enfoca en el conocimiento y manejo de materiales que oscilan entre 1 y 100 nm de tamaño, conocidas como nanopartículas. Debido a que sus dimensiones son demasiado pequeñas es muy difícil llegar a comprender con exactitud la magnitud de estos tamaños.

Cabe destacar, que se ha producido un considerable aumento en la investigación y descubrimiento de nuevos productos basados en nano debido a un aumento de actividad en el campo de la nanoescala. Hasta el momento, solo un pequeño grupo de investigadores se ha enfocado en llevar a cabo un estudio de los efectos que pueden llegar a tener tanto en la salud como en el medio ambiente. La evaluación de las consecuencias de las nanopartículas en el medio ambiente es difícil debido a la posibilidad de acumulación de estas partículas. Por ello, es de obligación asegurarse de que estas nanopartículas no presenten un peligro para el medio ambiente, por lo que se recomienda evitar su liberación siempre que sea posible

Muchas aplicaciones de la nanoescala son seguras, como los chips de computadoras. No obstante, el comportamiento de cada material utilizado debe ser examinado de manera independiente y detallada. Dado que hay una gran cantidad de materiales utilizados en la nanoescala, con diferentes tamaños, medios y formas, esto hace que el estudio no sea fácil [12].

2.4.2 ¿Qué es un nanofluido y para que se utiliza?

Los nanofluidos son dispersiones coloidales de nanopartículas compuestas por uno o varios materiales en fluidos convencionales. Dependiendo del número de nanomateriales usados, se puede clasificar en mono nanofluido, si está compuesto por un solo material o nanofluido híbrido, si está compuesto por varios materiales [13]. El fluido en el que se añaden las nanopartículas, también conocido como “fluido base”, consiste en un líquido caloportador como agua, glicol o aceite.

Las nanopartículas se añaden al fluido para poder conseguir mejoras en sus propiedades térmicas y ópticas. Se pueden utilizar en distintos campos como el transporte e industria, el enfriamiento de dispositivos electrónicos, las instalaciones de acondicionamiento de aire y la energía solar de baja y media temperatura.

Debido a su desarrollo, los nanofluidos han llegado a despertar un gran interés en muchas áreas. A continuación, se explicarán cuáles son sus aplicaciones más importantes tanto en el mundo de la industria como en el laboratorio.

Intercambiadores de calor

Los nanofluidos son usados como fluidos caloportadores para llegar a mejorar la transferencia de calor por convección en base al incremento de la conductividad térmica.

Energía geotérmica

Los nanofluidos son usados como fluidos de transferencia de calor para llegar a enfriar las tuberías que son utilizadas para perforar y recolectar energía

Colectores Solares

Se ha demostrado que las nanopartículas que se añaden a los fluidos convencionales que eran utilizados en los colectores solares mejoran las características de absorción del fluido-base e incrementan la eficiencia del colector.

Energía Nuclear

En este ámbito los nanofluidos han sido utilizados para distintos usos. Por un lado, se utiliza como refrigerante en el reactor principal para reactores de agua a presión (PWR) mejorando su potencia y aumentando la conductividad térmica.

Por otro lado, como refrigerante para los sistemas de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS), ya que mediante el uso de los nanofluidos se consigue una mejor resistencia a temperaturas elevadas y se minimiza el hecho de que se produzca una ebullición catastrófica. Por último, hay que destacar que estas aplicaciones se están todavía investigando debido a la peligrosidad de dicha energía.

Baterías y celdas de combustibles

Dichos elementos son utilizados en muchos dispositivos comerciales, como por ejemplo los vehículos, los cuales tienen el desafío de evitar accidentes por medio de una gestión térmica adecuada.

Es por ello por lo que los nanofluidos son utilizados como fluido de transferencia de calor para llegar a mejorar el rendimiento de enfriamiento, de esta manera se consigue evitar el escape térmico en las baterías y celdas de combustible.

Otras aplicaciones

Debido a la evolución en su desarrollo, los nanofluidos son usados cada vez más en diferentes ámbitos.

En farmacología se han empezado a utilizar en la lucha contra el cáncer, demostrando que pueden ser utilizados en funciones celulares complejas [14]; de igual manera también son usados para aplicaciones antibacterianas [15]. Por otro lado, los nanofluidos presentan excelentes propiedades de reducción de la fricción gracias a una película protectora que se forma con baja dureza y módulo de elasticidad.

Para terminar, resaltar su uso en intercambiadores de calor que se encuentran en las edificaciones ya que gracias a ellos se reduce las tasas de flujos volumétrico y másico, lo que nos proporciona un ahorro de energía y además menores costes ya que la cantidad de fluido necesaria es mucho menor.

2.4.3 Origen de los nanofluidos

La transmisión de calor tiene una gran importancia en múltiples ámbitos de la tecnología moderna, tales como la generación de energía, climatización, transporte, energías limpias, microelectrónica, entre otros. Sin embargo, los fluidos convencionales utilizados para la transferencia de calor tienen bajas conductividades térmicas y débil capacidad de transmisión de calor.

Por este motivo, es necesario investigar y mejorar estos fluidos caloportadores mediante diversas técnicas que buscan mejorar su rendimiento como agentes de transmisión de calor y aumentar su conductividad térmica [12].

Una de las técnicas empleadas es la inclusión de partículas en el fluido. En 1873, James Clerk Maxwell (científico y matemático conocido por el descubrimiento de la teoría electromagnética) sugirió añadir partículas sólidas a un fluido base para aumentar su conductividad térmica.

Dado que la conductividad térmica de las partículas sólidas es mucho mayor que la de los fluidos, se esperaba que la adición de partículas sólidas al fluido aumentará la conductividad térmica de la suspensión y mejorará la transferencia de calor. A pesar de ser una técnica aparentemente ideal, la aplicación práctica de la adición de micropartículas presentaba limitaciones considerables, tales como la sedimentación de las partículas, posibles obstrucciones en los canales de flujo o tuberías, erosión de las tuberías y pérdida de presión [12].

En 1995, el investigador Steve Choi, demostró la eficacia de los nanofluidos para mejorar la transmisión de calor, estudiando la cantidad de calor que era posible transportar mediante la adición de partículas de cobre y aluminio de tamaño nanométrico suspendidas en agua u otros líquidos.

Las nanopartículas pueden ser de cobre, aluminio, plata y óxidos, entre otros; mientras que los fluidos base pueden ser agua, aceite o etilenglicol. Las propiedades térmicas del nanofluido dependen del tamaño, forma y concentración de las partículas suspendidas. La aplicación de nanofluidos mejoraría la eficiencia de la transmisión de calor en muchos campos de la tecnología, pudiendo trabajar con equipos más pequeños y baratos.

2.4.4 Preparación del nanofluido

La preparación del nanofluido es de gran importancia ya que es necesario conseguir una dispersión uniforme, sin aglomeraciones, sin cambios químicos en el fluido base [16].

Para que podamos llegar a conseguir que los nanofluidos sean estables, hay que tener en cuenta una serie de variables que se muestran en la Figura 2-7.

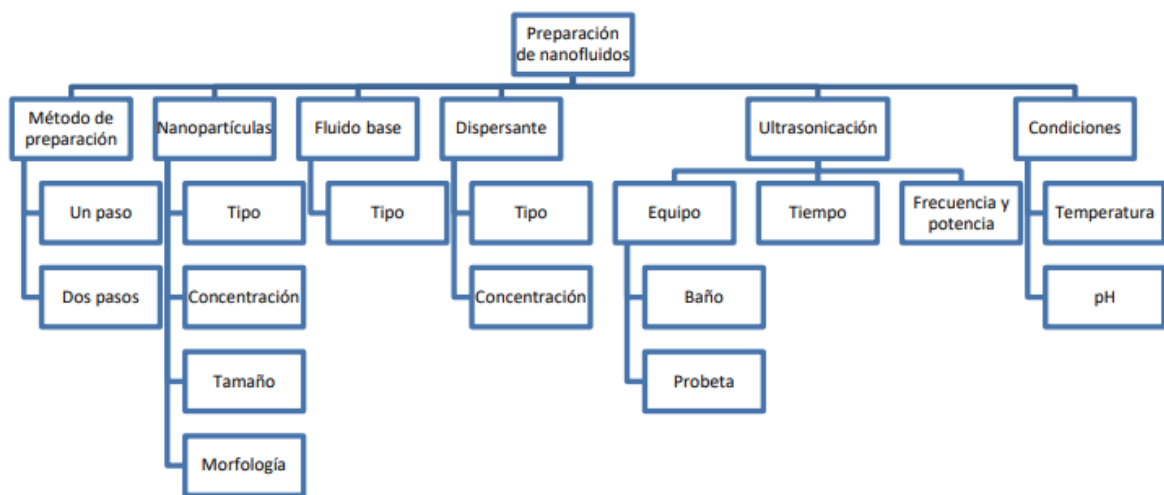


Figura 2-7 Variables en la síntesis de nanofluidos

Existen dos métodos para la elaboración de los nanofluidos:

- **One-step method:**

La síntesis de la nanopartícula ocurre en el interior del fluido base, produciéndose nanofluidos estables (Figura 2-8).



Figura 2-8 Método de un solo paso [17]

- **Two step method:**

Las nanopartículas se producen como polvos secos y luego se dispersan en un fluido base, añadiendo estabilizantes y surfactantes si es necesario a través de la utilización de un agitador de ultrasonido, como se puede observar en la Figura 2-9.

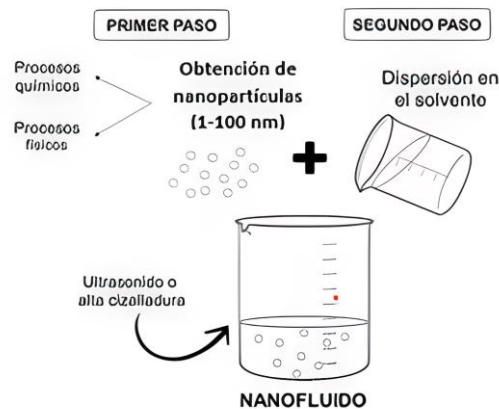


Figura 2-9 Método de dos pasos [17]

Para que podamos conseguir su estabilidad existen dos técnicas utilizadas. Por un lado, tenemos las químicas que consisten en la adición de surfactantes que tienen el cometido de conectar las nanopartículas con el fluido base, la modificación de la superficie de dichas nanopartículas y la adición de ácidos o bases para poder llegar a controlar el pH (técnica que se utilizó durante la realización de este TFG). Por otro lado, tenemos las físicas como la ultrasonificación (usada en este TFG), la homogeneización y el uso de molinos de bolas.

2.4.5 Propiedades de interés para nanofluidos con aplicaciones solares térmicas

A continuación, se describen distintas propiedades de interés para la caracterización de los nanofluidos con aplicaciones solares térmicas.

Transmitancia (T)

Consiste en la relación que hay entre la luz transmitida que atraviesa la muestra y llega al detector (I_t) y la cantidad de luz que incidió sobre ella (I_o). Normalmente se expresa en tanto por ciento [18].

$$T = \frac{I_t}{I_o} \times 100$$

Absorbancia (A)

Nos indica cuánta cantidad de luz puede llegar a ser absorbida por la muestra y se define como el logaritmo $1/T$:

$$A = \log \frac{1}{T} = -\log T = -\log \frac{I_t}{I_o}$$

Cuando la intensidad transmitida (I_t) es igual al incidente (I_o), esto significa que el valor de la transmitancia es del 100% e indica que la muestra que estamos midiendo no llega a absorber energía a una determinada longitud de onda. La cantidad de luz absorbida depende de la concentración de la muestra y de la distancia a la que se encuentre de la luz que lo atraviesa [18].

Conductividad Térmica

Se trata de una propiedad que mide la capacidad que tiene un fluido para conducir el calor. Dicha propiedad habitualmente aumenta con la temperatura y con la concentración. Los materiales empleados

en este TFG tienen propiedades interesantes para la mejora de esta propiedad, pero no será el foco de análisis de este trabajo.

Viscosidad

Consiste en la oposición que tiene un fluido frente a deformaciones tangenciales. En otras palabras, consiste en la resistencia al flujo. La viscosidad sólo se muestra en aquellos fluidos en movimiento.

La viscosidad disminuye con la temperatura, pero aumenta con la concentración para dispersiones. Las bajas concentraciones de nanomateriales empleadas en este TFG producen incrementos de viscosidad mínimos, de acuerdo con diversos estudios [19], [20]. El estudio de la viscosidad no será el foco de análisis de este trabajo.

2.4.6 Estabilidad de los nanofluidos

Para poder analizar la estabilidad de los fluidos se pueden medir los parámetros que a continuación se explican.

Variación del espectro visible de luz absorbida/transmitida con el tiempo

La técnica de espectroscopia de absorción UV-VIS implica la irradiación de una muestra con radiación electromagnética de diferentes longitudes de onda en el rango de UV y VIS. Dependiendo de la sustancia, la muestra puede absorber parcialmente los rayos UV o VIS. El detector apropiado registra la radiación transmitida, que luego se utiliza para generar el espectro de absorción UV-VIS característico de la muestra. [21]

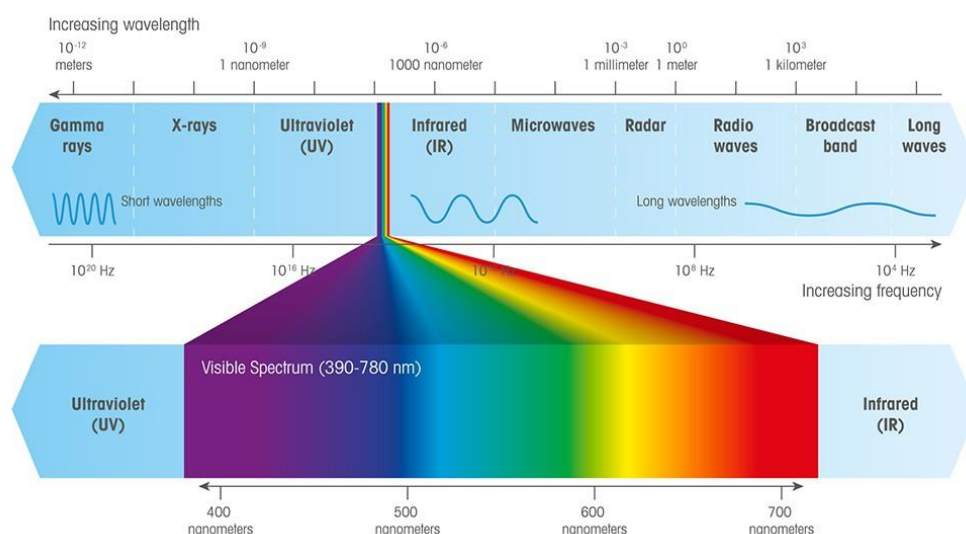


Figura 2-10 Valores entre los que se encuentra el espectro visible [21]

El espectro visible es la parte del espectro electromagnético que los seres humanos pueden ver, y abarca longitudes de onda desde aproximadamente 400 a 700 nanómetros, con el violeta en el extremo corto y el rojo en el extremo largo y además es la zona donde mayor cantidad de energía solar hay, hecho a tener en cuenta en el análisis de este TFG.

El infrarrojo cercano es la región del espectro electromagnético que está justo después del espectro visible, y se extiende desde aproximadamente 700 nm hasta 1 micrómetro. A diferencia del espectro visible, el infrarrojo cercano no es visible para el ojo humano, pero puede ser detectado por cámaras especiales y otros dispositivos de detección.

Potencial Z

El potencial Z es una propiedad que define la acción mutua de las partículas en suspensión.

El hecho de que se repelan partículas con carga cuando estas se aproximan entre ellas depende del equilibrio que exista entre dos fuerzas: la fuerza de atracción que experimentan todos los cuerpos y la de repulsión que se determina por medio de la magnitud del potencial en la capa de deslizamiento. El potencial Z es el potencial en dicha capa.

Este potencial es determinado tanto por el medio de dispersión como por la naturaleza de la superficie de la partícula. El pH es un parámetro muy relacionado con el potencial Z y en la siguiente Figura 2-11 se puede observar su relación.

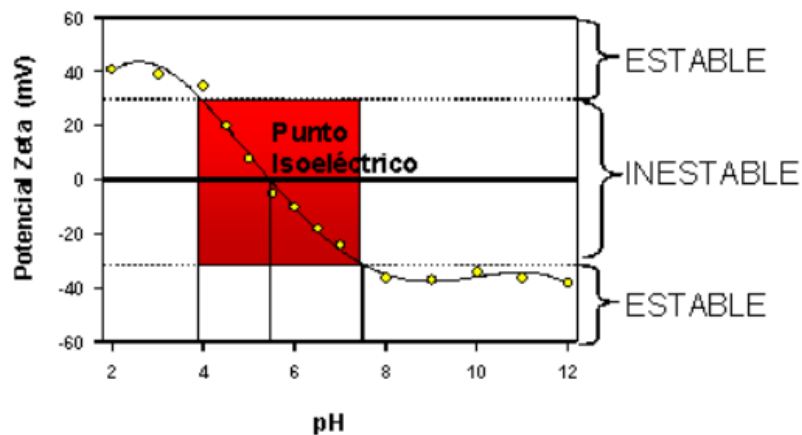


Figura 2-11 Efecto del potencial Z [22]

La falta de repulsión entre partículas puede dar lugar a la formación de agregados o aglomerados. Si deseamos garantizar una repulsión efectiva, es importante que el valor del potencial zeta sea mayor de +30 mV o menor de -30 mV [22].

pH de la dispersión

Cuando se dispersan partículas en agua, su carga depende del pH de la mezcla. Cada sustancia química tiene un pH en el que la carga de la partícula es nula, llamado punto de carga cero.

Cuando las partículas se mueven, arrastran el agua que las rodea. Todo lo que se mueve con la partícula y el agua es la unidad cinética. El análisis de las fuerzas que actúan en el sólido o el líquido se puede hacer en términos de carga o de potencial eléctrico. Si se utiliza el potencial eléctrico, se obtiene el potencial medio en el plano donde la partícula y el agua se deslizan juntas. A esto se le llama potencial zeta.

El punto isoeléctrico (IEP) es el pH en el que la carga y el potencial eléctrico en el plano donde la partícula y el agua se deslizan juntas es cero.

Si el pH es diferente al del punto isoeléctrico, las partículas adquieren una carga positiva o negativa. Cuando las superficies están altamente cargadas, las fuerzas de repulsión eléctrica dominan las fuerzas de atracción, lo que aumenta la barrera energética que impide que las partículas se aglomeren. Por lo tanto, cuanto mayor sea la diferencia entre el pH del agua y el pH correspondiente al punto isoeléctrico, mayor será la estabilidad del sistema [23].

La falta de repulsión entre partículas puede dar lugar a la formación de agregados o aglomerados. Si deseamos garantizar una repulsión efectiva, es importante que el valor del potencial zeta sea mayor de +30 mV o menor de -30 mV [22].

Evolución del contenido en sólidos en dispersión

La organización de las partículas en el sistema depende de la cantidad de espacio que ocupan en comparación con el volumen total. Cuando hay pocos sólidos, las partículas pueden moverse libremente a través del medio debido a las fuerzas Brownianas.

A medida que la fracción de sólidos aumenta, las interacciones hidrodinámicas y la probabilidad de colisión aumentan, lo que favorece la agregación de partículas. A niveles más altos de concentración, las suspensiones coloidales experimentan una transición de fase termodinámica y las partículas se encuentran fuertemente constreñidas por sus vecinas.

En suspensiones estabilizadas electrostáticamente, si están diluidas, las fuerzas de repulsión pueden mantener las partículas separadas. Pero en concentraciones altas, la repulsión puede no ser suficiente para evitar la aglomeración, formándose un gel muy compacto. En este caso, agregar electrolitos puede ser útil ya que disminuyen la carga neta de las partículas [23].

2.5 Nanopartículas

Son estructuras de múltiples materiales que presentan un tamaño que es inferior a 100 nanómetros (10^{-7} metros), ver Figura 2-12.

Para poder llegar a observarlas se pueden utilizar dos tipos de microscopios de alta resolución, como el electrónico de barrido (SEM) o el electrónico de transmisión (TEM) [24].

2.5.1 Tipos de nanomateriales

Se pueden clasificar en cuatro tipos según su componente principal:

Metales

Fueron los primeros materiales que se emplearon como nanopartículas a lo largo de toda nuestra historia y cuyo estudio se inicia a partir del siglo XVIII. Como ejemplos tenemos el oro (Au), la plata (Ag) o el cobre (Cu).

Óxidos metálicos

Entre los que se encuentra el óxido de aluminio (Al_2O_3) o el Óxido de Cobre (CuO).

Basados en carbono

Los más comunes son los nanotubos de carbono, cuya forma es cilíndrica; el grafeno, con forma de lámina; o el nanodiamante. También forman parte de esta categoría los fullerenos, que presentan una forma elipsoidal o esférica.

Compuestos o híbridos

Combinan las nanopartículas con materiales que tienen un tamaño mayor o con otras nanopartículas.

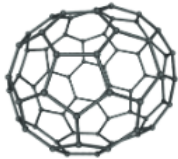
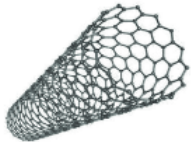
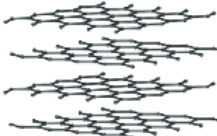
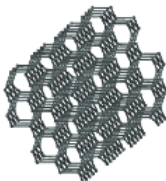
Estructura	Nanomateriales
Cero dimensional (0D) 	- Fullerenos - Partículas coloidales - Puntos cuánticos (Qdots) - Nanoclusters - Nanopartículas de Au y Ag
Uni dimensional (1D) 	- Nanocables y nanofibras - Nanotubos - Nanovarillas - Fibras poliméricas
Bi-dimensional (2D) 	- Monocapas - Nanorrecubrimiento - Películas poliméricas (nano) - Superficies espesor <100nm - Películas multicapa
Tri-dimensional (3D) 	- Materiales nanoestructurales - Policristales - Nanobolas - Nanobobinas - Nanoflores

Figura 2-12 Clasificación de los nanomateriales según su número de dimensiones en tamaño nanométrico [24]

2.5.2 Síntesis de los nanomateriales

Según su procedencia, los nanomateriales pueden ser clasificados en tres tipos: los de origen natural, que son aquellos que son producidos por plantas, especies marinas o volcanes; los incidentales, que surgen por la combustión en vehículos y en procesos industriales.

Por último, tenemos a los más comunes que son los artificiales y que puede presentar dos tipos de procesos en cuanto a su fabricación (Figura 2-13):

Técnica descendente

Su finalidad es la de conseguir llegar al tamaño nanométrico mediante la división de material macroscópico o grupo de materiales sólidos. Utiliza diferentes métodos físicos como puede ser la molienda o el desgaste, y también se basa en métodos químicos.

Técnica ascendente

Consisten en fabricar nanopartículas que puedan ser capaces de autoensamblarse o autoorganizarse por medio de la condensación de entidades moleculares o átomos en una fase en solución o gaseosa.

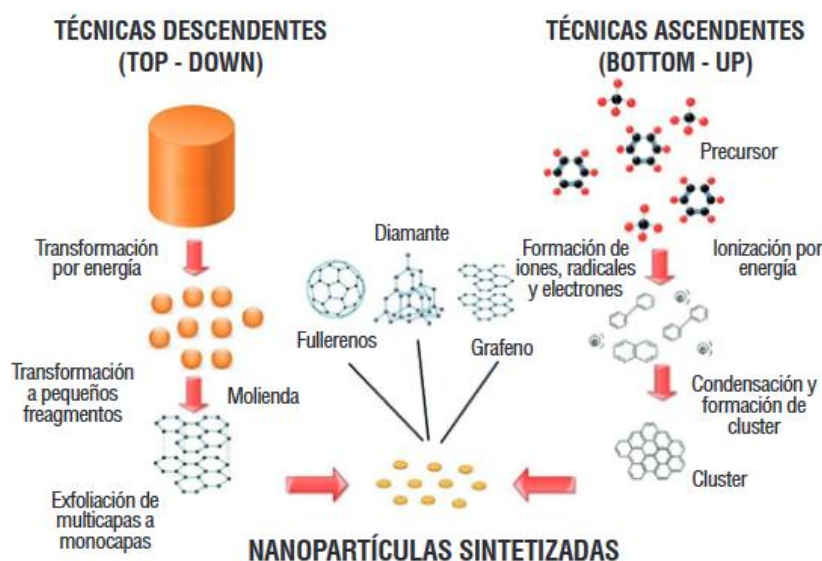


Figura 2-13 Técnicas de síntesis de nanomateriales basados en carbono [24]

2.5.3 Descripción de las nanopartículas usadas en este TFG

De los nanomateriales que aparecen en la Figura 2-13, se escogieron los fullerenos y el nanodiamante ya que presentan interesantes propiedades para la absorción de la radiación del Sol.

Fullerenos

Los fullerenos consisten en estructuras huecas que están formadas exclusivamente por carbono cuya forma se asemeja mucho a una esfera. Cada átomo de carbono se encuentra enlazado a otros tres, lo que significa que posee un estado de hibridación sp^2 muy similar al del grafito y al del grafeno.

La creación de los fullerenos se puede dar por dos procesos: por medio de la naturaleza como consecuencia de los fuegos y los rayos, o artificialmente en el laboratorio y en la industria. Con respecto al último procedimiento, inicialmente se llevaba a cabo la evaporación del grafito por medio de un láser pulsado, pero más tarde se descubrió que se podían crear fullerenos por medio de la descarga de un arco eléctrico entre dos electrodos de grafito en una atmósfera inerte de helio [25].

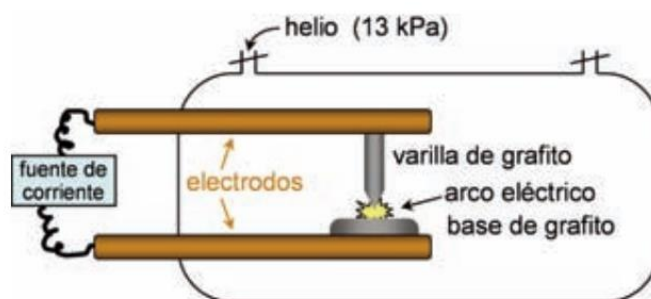


Figura 2-14 Elaboración del fullereno [25]

En cuanto a sus propiedades, su forma simétrica les hace tener una gran resistencia física pudiendo llegar a deformarse solo bajo presiones extremas -3.000 atm – pero llegan a recuperar su forma inicial al relajar la presión. Su densidad es moderada cercana a $1,65 \text{ g/cm}^3$ y pueden llegar a ser solubles en disolventes como benceno o tolueno, pero no en el agua.

Finalmente hay que destacar que debido a las uniones intermoleculares que se producen mediante la fuerza de Van der Waals, el hollín de los fullerenos posee propiedades lubricantes.

Fullereno C60

Se trata de una molécula constituida por 60 átomos de carbono que forman 12 pentágonos y 20 hexágonos, siendo su forma similar a la de una pelota de fútbol (Figura 2-15). La propiedad más característica sobre esta molécula es su alta simetría, caracterizándose con una alta resistencia.



Figura 2-15 Estructura del fullereno C60 [26]

Desde el punto de vista químico, la molécula C60 presenta una alta electronegatividad, lo que le permite formar compuestos con átomos que actúan como donadores de electrones. Una posible combinación es la que se da entre la molécula C60 y un metal alcalino, ya que estos últimos son altamente electropositivos [26].

Fullereno C70

Su estructura se puede construir agregando un cinturón de cinco hexágonos al plano ecuatorial de la molécula C60. La menor simetría del C70 (D_{5h}) se traduce en una mayor cantidad de átomos de carbono distintos en la estructura del fullereno. Mientras que el C60 presenta un único enlace [6,6], el C70 tiene cuatro enlaces [6,6] diferentes, siendo los enlaces [1-2] y [5-6] los más reactivos en ese orden [27].

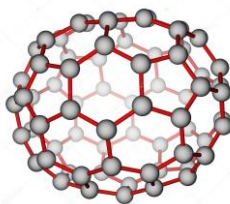


Figura 2-16 Estructura del fullereno C70 [28]

Según la calorimetría, el calor de formación del C70 es de 9.65 Kcal/mol por átomo de carbono. Por lo tanto, al igual que ocurre con el C60, se deduce que los fullerenos son menos estables desde un punto de vista termodinámico que el grafito y el diamante. Cabe mencionar que el calor de formación del grafito es de 0 Kcal/mol, mientras que el del diamante es de 0.4 Kcal/mol.

Nanodiamantes (ND)

Los nanodiamantes consisten en diamantes de tamaño nanométrico los cuales se forman partiendo de la suma y repetición de átomos de carbono los cuales presentan hibridación sp^3 , llegando a formar una red cristalina con enlaces covalentes formando un ángulo de 109° (Figura 2-17). Es por ello por lo que las características que presenta es que sea incoloro, aislante, denso y muy resistente llegando a transformarse en grafito en temperaturas elevadas o cuando es sometido a una radiación de energía elevada [29].

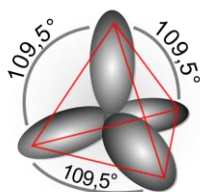


Figura 2-17 Hibridación sp^3 del nanodiamante [29]

En cuanto a la obtención del nanodiamante se puede producir como resultado de una detonación de una mezcla de TNT y RDX dando lugar a la producción de un material que contiene unos nanodiamantes de unos 5 nm. El recipiente donde ha llevado a cabo la exposición se enfría usando agua o aire para que luego el hollín que está cargado de nanodiamantes se hierva en ácido a alta presión para poder eliminar todas las impurezas (como los metales contaminantes del recipiente donde se lleva a cabo la explosión). También se puede producir los nanodiamantes por medio de grafito en suspensión que es sometido a cavitación ultrasónica o un rayo láser pulsante.

Las aplicaciones más comunes son su uso en lubricantes secos y en refuerzos de caucho y plástico; aunque en los últimos años numerosos expertos han concluido que también podría empezar a utilizarse en aplicaciones biomédicas.

3 DESARROLLO DEL TFG

En el presente apartado se llevará a cabo la explicación de los diferentes pasos experimentales que se han llevado a cabo para la realización de este TFG con los diversos materiales para obtener el fluido adecuado con las nanopartículas más favorables, con el fin de lograr la máxima eficiencia y economía en la obtención de energía térmica.

3.1 Materiales

3.1.1 Fluido base (PG:A 20:80)

El fluido base utilizado para cada uno de los nanofluidos diseñados ha consistido en una mezcla de agua destilada (A) y propilenglicol (PG).

Las proporciones másicas utilizadas de cada uno de ellos han sido 80 % de agua destilada y un 20 % de propilenglicol, por tratarse de una mezcla habitualmente utilizada en aplicaciones solares térmicas [30]. La mezcla PG:A 20:80 proporciona protección frente a congelación a temperaturas de hasta -7°C.

Agua destilada

En la Tabla 1 se observa las propiedades mayor interés del agua para poder llevar a cabo nuestro estudio.

Propiedad	Valor
Conductividad Térmica	0,608 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Densidad	1 g/cm ³
Capacidad calorífica	4186 J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹
Viscosidad dinámica	1.002 mPa·S
Temperatura de ebullición	100 °C
Temperatura de congelación	0 °C

Tabla 1 Propiedades de interés del agua a 20 °C [12]

Propilenglicol

En la Tabla 2 se observa las propiedades de mayor interés del agua para poder llevar a cabo nuestro estudio.

Propiedad	Valor
Conductividad Térmica	$0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Densidad	$1,036 \text{ g/cm}^3$
Capacidad calorífica	$2460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Viscosidad dinámica	$52 \text{ mPa} \cdot \text{S}$
Temperatura de ebullición	$188 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Temperatura de congelación	$-58 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tabla 2 Propiedades de interés del propilenglicol a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [30]

El agua presenta una mayor conductividad y capacidad calorífica, pero cuando se le añade PG, conseguimos aumentar la Temperatura de ebullición y bajar la de congelación, lo que es beneficioso para evitar que el circuito se congele en días de invierno.

3.1.2 Nanomateriales

A continuación, se presentan las características de los nanomateriales que se han utilizado para la elaboración de los nanofluidos que se han ido analizando durante el TFG. Una descripción más detallada sobre estos nanomateriales se encuentra en la sección 2.5.1.

Fullereno C60

En la Tabla 3 se reflejan las características de dicho fullereno

Característica	Valor
Fabricante	PlasmaChem GmbH, Berlín
Pureza	99 %
Forma	Polvo
Color	Negro
Punto de fusión	$> 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Tamaño de partícula	40-60 nm

Tabla 3 Características del fullereno C60 [31]

Fullereno C70

En la Tabla 4 se reflejan las características de dicho fullereno.

Característica	Valor
Fabricante	PlasmaChem GmbH, Berlín
Pureza	99 %
Forma	Polvo
Color	Negro
Punto de fusión	$> 280 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Tamaño de partícula	100 nm

Tabla 4 Características del fullereno C70 [32]

Nanodiamantes

En la Tabla 5 se reflejan las características de dicha nanopartícula.

Característica	Valor
Fabricante	PlasmaChem GmbH, Berlín
Forma	Polvo
Color	Gris
Punto de fusión/de congelación	0 °C
Tamaño del cristal de diamante	3,5-5,2 nm
Superficie específica	320-350 m ² /g
Tamaño de partícula (DLS)	5-15 nm
Contenido de cenizas	< 0,4 %

Tabla 5 Características del Nanodiamante [33]

3.2 Métodos

Cabe destacar que todos aquellos equipos y materiales de laboratorio que se han empleado para poder llevar a cabo cada uno de los métodos que a continuación se explicarán, vienen detallados en el Anexo I.

3.2.1 Morfología de las nanopartículas

La morfología de las nanopartículas fue analizada por medio de microscopía electrónica de transmisión (TEM). Dichos análisis TEM se realizaron mediante un microscopio electrónico de emisión de campo *JEM-2010F* (JEOL, Tokio, Japón), trabajando a un voltaje operativo del acelerador de 200 kV.

Las imágenes TEM se obtuvieron sobre gotas de dispersiones de cada nanopolvo en etanol colocadas sobre soportes de cobre y a temperatura ambiente.

3.2.2 Diseño de nanofluidos

Se pretende llevar a cabo la elaboración de las diferentes muestras por medio de los nanomateriales explicados en 3.1.2., en el que se emplean viales, los cuales tienen una capacidad de hasta 25 ml cada uno.

Las concentraciones de los distintos nanofluidos se miden en porcentaje en masa, mediante la balanza de precisión *Gram FV-220C*. Se llevó a cabo la realización de 6 nanofluidos en total, donde los tres primeros se preparan mediante una mezcla correspondiente a un 0,05% en masa de cada nanopartícula, siendo el porcentaje restante del fluido base. La Figura 3-1, muestra los viales de los tres primeros nanofluidos de 0,1% en concentración másica.

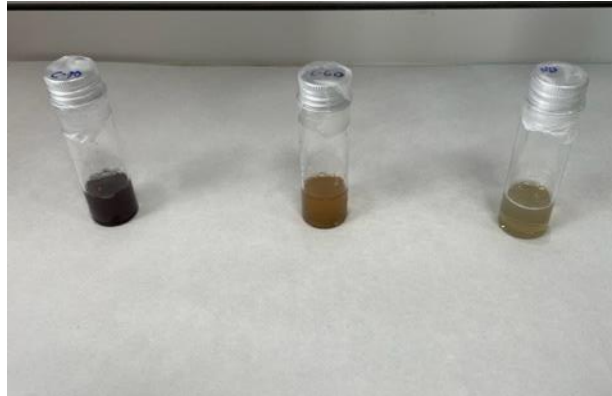


Figura 3-1 Nanofluidos al 0,05%

Los siguientes tres nanofluidos se preparan mediante una mezcla con un porcentaje en masa de 0,1%, siendo el porcentaje restante del fluido base. La Figura 3-2, muestra los tres viales de los nanofluidos preparados al 0,1% en concentración másica.

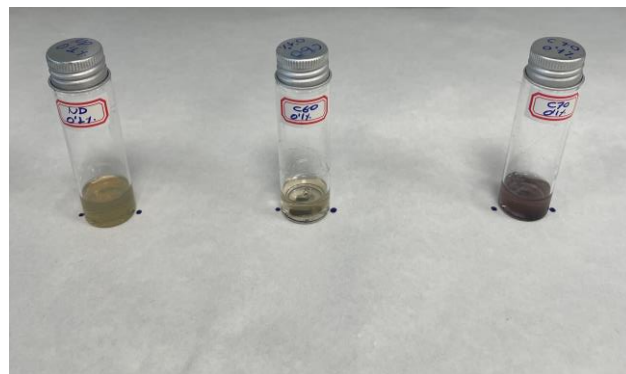


Figura 3-2 Nanofluidos al 0,1%

Las fracciones másicas que se emplearon para la elaboración de dichos nanofluidos, se calcularon de la siguiente manera:

$$\Phi_m = \frac{m_{np}}{m_{np} + m_{fb}}$$

Donde se observa que m_{np} es la masa de la nanopartícula y m_{fb} la masa del fluido base.

Para elaborar cada uno de los nanofluidos, se utilizó el método de dos pasos, el cual se describe en 2.4.4. En la Figura 3-3, se muestra cuáles son los pasos que emplear para la elaboración del nanofluido.

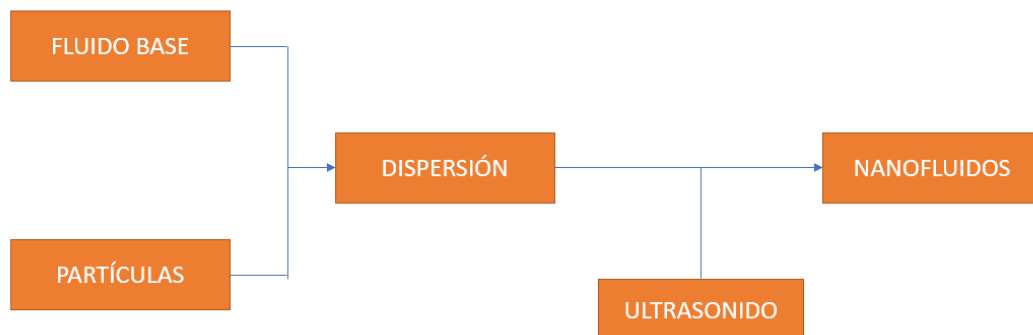


Figura 3-3 Esquema de la preparación de un nanofluido mediante el método de dos pasos (elaboración propia)

Una vez se elaboran las distintas muestras, se introducen en un equipo de baño de ultrasonidos (modelo *Fisherbrand™ Elmasonic Easy 300 H*) durante 1 hora de forma continua y sin una temperatura específica. El objetivo consiste en mejorar la dispersión de las nanopartículas en el fluido base, llegando a conseguir un resultado eficiente. En la Figura 3-4, se puede ver una imagen del baño de ultrasonidos con los viales en su interior, previamente a su sonicación.



Figura 3-4 Viales introducidos en el baño de ultrasonido (elaboración propia)

Una vez finalizados cada uno de los procesos, ya se puede empezar a medir las distintas propiedades ópticas. En la Tabla 6, se puede apreciar cuales han sido las cantidades exactas y el tiempo de sonicación para poder elaborar los nanofluidos.

Concentración	Nanopartícula	Cantidad utilizada de material proporcionada por el proveedor	Masa total del nanofluido	Tiempo de ultrasonificación
0,05%	C60	5 mg	10 g	60 min
	C70	5 mg	10 g	60 min
	ND	100 μ l	10 g	60 min
0,1%	C60	10 mg	10 g	30 min
	C70	10 mg	10 g	30 min
	ND	200 μ l	10 g	30 min

Tabla 6 Cantidades utilizadas en la elaboración de nanofluidos

3.2.3 Análisis de la estabilidad

Absorbancia y transmitancia

Cada una de las mezclas elaboradas tanto a 0,1% como a 0,05% fueron introducidas en cubetas de cuarzo para poder medir tanto su absorbancia como su transmitancia mediante el espectrofotómetro *Lambda XLS*. El intervalo de la longitud de onda establecido fue de 250 nm a 900 nm, siendo los límites de medida de absorbancia y transmitancia de 0 a 2,5.

Para ello primero se necesita una referencia para poder medir cada una de estas propiedades. Dicha referencia fue el fluido base, el cual también se introdujo en una cubeta de cuarzo y posteriormente se taró dentro del equipo. Una vez hecho este paso, ya se introdujeron las cubetas de cuarzo de cada una de las mezclas elaboradas para poder medir tanto su transmitancia como su absorbancia.

Hay que destacar que dichas mediciones se llevaron a cabo durante un total de 7 días (T=0, T=1h, T=3 h, T=1 d, T=3 d, T= 6 d, T= 7 d), en el que se analizó como iba evolucionando esas propiedades

con el paso del tiempo. De esta manera lográbamos determinar cuál de esas mezclas y a que concentración eran más estables y absorbían más energía.

Modificación del pH

Una vez realizada las comparaciones, se decidió cambiar el pH de las concentraciones de 0,05% tanto del C60 como del C70, ya que el ND se vio que era el más estable a medida que pasaba el tiempo, tanto del 0,1% como del 0,05%. Para ello se calculó que necesitábamos 30 g de fluido-base y 15 mg de nanopartículas para poder producir las nuevas mezclas, las cuales fueron introducidas en el baño de ultrasonido como ya se hizo anteriormente. Una vez extraídas, se dividió cada una de las mezclas en 3 viales correspondientes al pH que queríamos conseguir.

Una vez que teníamos las muestras se preparó una disolución de ácido clorhídrico, que nos permitía reducir el pH de la mezcla hasta llegar a 5, cómo una disolución de hidróxido de sodio para poder aumentar ese pH a 9.



Figura 3-5 Ácido clorhídrico e hidróxido de sodio utilizado para alterar el pH (elaboración propia)

Para saber con exactitud el pH, utilizamos el pH-metro *HI2020 pH/OD/EC Edge*. Primero calibramos el pH-metro con una disolución comercial y posteriormente realizamos una medida en agua destilada para probar la validez de la medida (sabiendo que el del agua ronda un valor de 7). A continuación, medimos el pH de las nuevas muestras tanto del C60 como del C70 para ya obtener el valor del pH iniciales de las dos muestras.

Posteriormente se utilizó los compuestos que aparecen en la Figura 3-5 para conseguir tanto el pH=5 como el pH=9. En concreto del C60 obtuvimos un pH=5,10 y pH=9,20 y del C70 obtuvimos un pH=5,21 y pH=9,55.

Una vez teníamos las tres mezclas de cada una de las nanopartículas (pH=5, pH=neutro, pH=9) se introdujo cada una de las muestras en las cubetas de cuarzo para poder medir a continuación tanto la absorbancia como la transmitancia en el espectrofotómetro. Esta vez se ajustó el intervalo de tiempo para T=0h, T=3d, T=6d.

Medición del potencial Z

El potencial Z de los nanofluidos estudiados se analizó mediante la técnica de dispersión dinámica de la luz utilizando el Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd, Malvern, Reino Unido), disponible en el departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo.

Determinación de propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de los nanofluidos más estables (C60, C70, ND), fueron analizadas para poder evaluar los puntos fuertes y débiles de dichos nanofluidos para la energía solar. En este caso, el dispositivo que utilizamos fue el espectrofotómetro *Agilent Cary 5000 UV-vis NIR* en un rango de 200-3300 nm.

4 RESULTADOS

4.1 Morfología de las nanopartículas

En este apartado se presentan las imágenes TEM realizadas de las nanopartículas empleadas, con el objetivo de verificar su tamaño y morfología.

4.1.1 *Fullereno C60*

En la Figura 4-1, se puede observar el tamaño de las nanopartículas C60, que está comprendido entre 40-60 nm. Su forma es casi esférica, por lo que se puede asegurar que dicha información no difiere mucho de la proporcionada por el fabricante (Tabla 3).

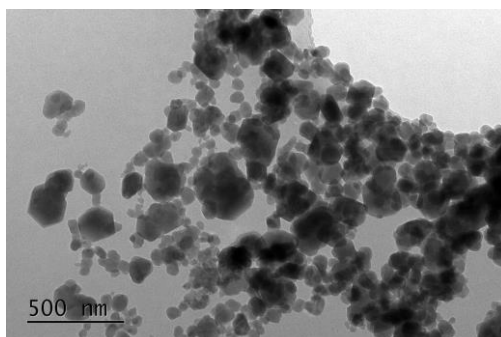


Figura 4-1 Imagen TEM del fullereno C60

4.1.2 *Fullereno C70*

En cuanto al C70 (Figura 4-2) su tamaño es aproximadamente 100 nm y su forma es similar a la de una esfera también, coincidiendo con los datos de la Tabla 4.

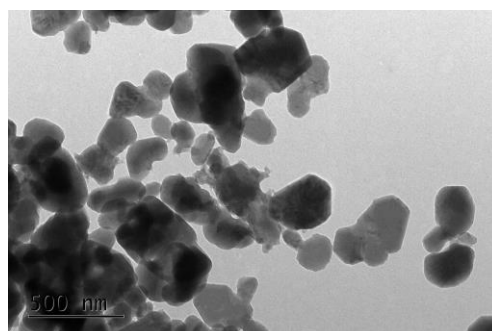


Figura 4-2 Imagen TEM del fullereno C70

4.1.3 Nanodiamante

Finalmente, para los nanodiamantes (Figura 4-3) observamos que su tamaño coincide con la información que proporciona el propio fabricante (Tabla 5), en cual refleja que el tamaño se encuentra entre 5-15 nm.

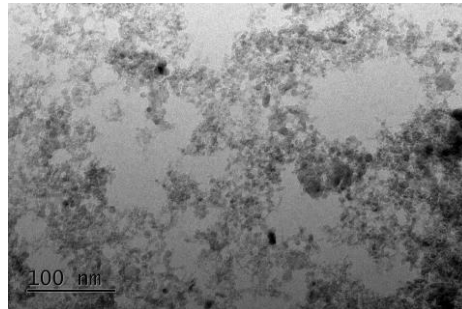


Figura 4-3 Imagen TEM del Nanodiamante

4.2 Estabilidad de los nanofluidos

A continuación, se analizará la estabilidad de los nanofluidos en base a la evolución de los valores de absorbancia en función del tiempo. Como se ha mencionado, también se han determinado experimentalmente los valores de transmitancia en función del tiempo (ver Anexo IV). Los resultados observados son similares a los expuestos a continuación, ya que son propiedades directamente relacionadas.

4.2.1 Absorbancia para 0,05 y 0,1 % en peso de los nanofluidos

A continuación, se analizarán los resultados que se han obtenido de cada una de ellas para las distintas nanopartículas.

C60

Como se puede observar en la Figura 4-4, el máximo valor de absorbancia que alcanza el C60 para la concentración 0,05% es en torno a 0,33 para $t=0h$ en la longitud de onda de 330-335 nm. A medida que van transcurriendo los días se observa que estos valores de absorbancia se van reduciendo. Por ejemplo, el valor máximo mencionado anteriormente, para $t=7d$ tiene un valor de 0,17, por lo que esta absorbancia ha llegado a reducirse hasta un 48%.

Otro dato que se puede analizar es la tendencia que sigue la muestra, ya que se observa que durante $t=0h$ y $t=3h$ presenta casi los mismos valores de absorbancia, pero a partir de $t=1d$ se denota que empiezan a bajar los valores bruscamente.

Por último, hay que destacar que a partir de $t=3d$, la muestra vuelve a adquirir prácticamente la misma tendencia a lo largo del tiempo, sin presentarse grandes cambios en los valores de la absorbancia.

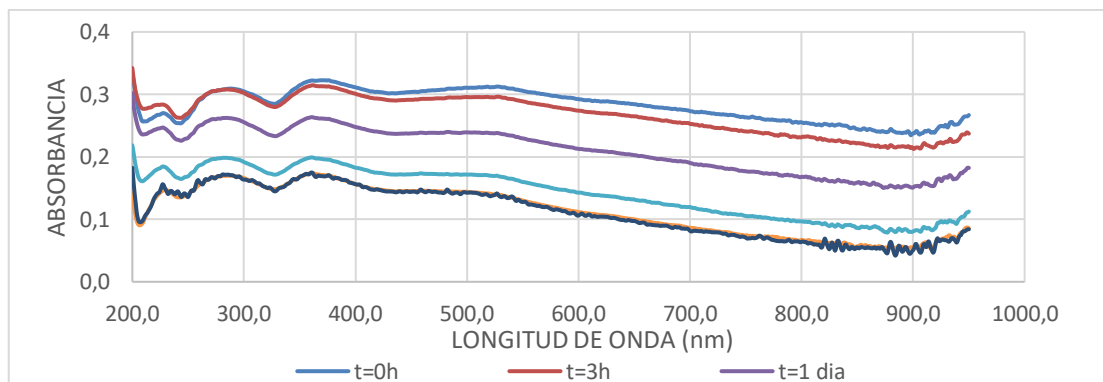


Figura 4-4 Evolución de la absorbancia del C60 a lo largo del tiempo para una concentración de 0,05% (elaboración propia)

En la Figura 4-5 se observa cómo aumentando la concentración de 0,05% C60 a 0,1% C60, el máximo valor de absorbancia que alcanza en $t=0h$ en la longitud de onda 330-335 nm es de 0,6.

Al igual que en la concentración de 0,05%, se aprecia que estos valores de absorbancia se van reduciendo a medida que va transcurriendo el tiempo. En esta grafica también se observa que existe una diferencia considerable entre el valor máximo y el mínimo que se alcanza en $t=7d$, llegando a reducirse hasta un 50%.

Al igual que en la concentración de 0,05%, presenta la misma tendencia a lo largo del tiempo, ya que los valores de absorbancia son parecidos durante las primeras horas, pero a partir de $t=1d$ ya se empieza a observar una clara bajada de la absorbancia. En $t=3d$ donde se produce la mayor reducción, ya que, a partir de ese día, la absorbancia vuelve a mantener cierta estabilidad ya que los valores se mantienen constantes.

Como aparece representado en la Figura 4-4 y en la Figura 4-5, si comparamos la medida de absorbancia de ambos nanofluidos, se aprecia que, a mayor concentración, obtenemos mayores valores de absorbancia.

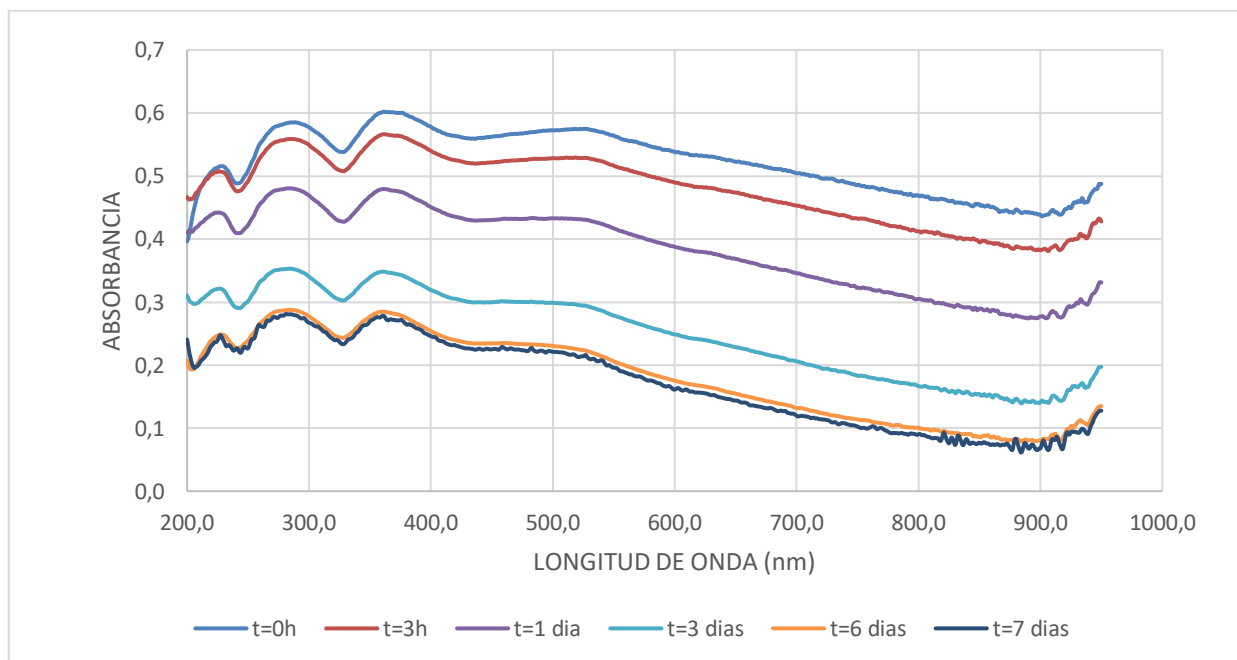


Figura 4-5 Evolución de la absorbancia del C60 a lo largo del tiempo (elaboración propia)

En general, se puede observar que la absorbancia disminuye gradualmente con el tiempo, lo que sugiere que el C60 se está aglomerando y precipitando en la mezcla.

En términos de la longitud de onda, se puede ver que los nanofluidos C60 (tanto para 0,05% como para 0,1%) muestra una absorbancia máxima alrededor de 330-335 nm, lo que corresponde al rango del espectro ultravioleta cercano (lo cual no es adecuado ya que es donde menos cantidad de energía solar se halla).

Además, hay una pequeña banda de absorbancia en el rango de 450-500 nm, lo que sugiere que los nanofluidos C60 también puede absorber cierta cantidad de luz visible.

C70

En la Figura 4-6, para el nanofluido C70 a una concentración de 0,05%, se observa que el máximo valor de absorbancia es de 2 para $t=0h$ en la longitud de onda 600-650 nm.

Como se puede apreciar, los valores de absorbancia de estos nanofluidos van disminuyendo a medida que va pasando el tiempo. Otro dato que destacar es la diferencia de absorbancia que hay entre

el valor máximo y el mínimo, siendo este último 0,6 para $t=7d$, por lo que dicho valor ha llegado a reducirse hasta un 70%. En dicha gráfica los valores de absorbancia se reducen de manera más notoria en $t=3h$ y en $t=1d$, donde se produce una reducción de hasta un 25% y un 50% para ambos casos.

A partir de $t=1d$ ya empieza a mostrar una tendencia mucho más estable a medida que va pasando el tiempo, donde se reducen un 60% entre $t=1d$ y $t=3d$. En $t=6d$ donde los valores ya no varían y se mantienen prácticamente constantes respecto al paso de los días.

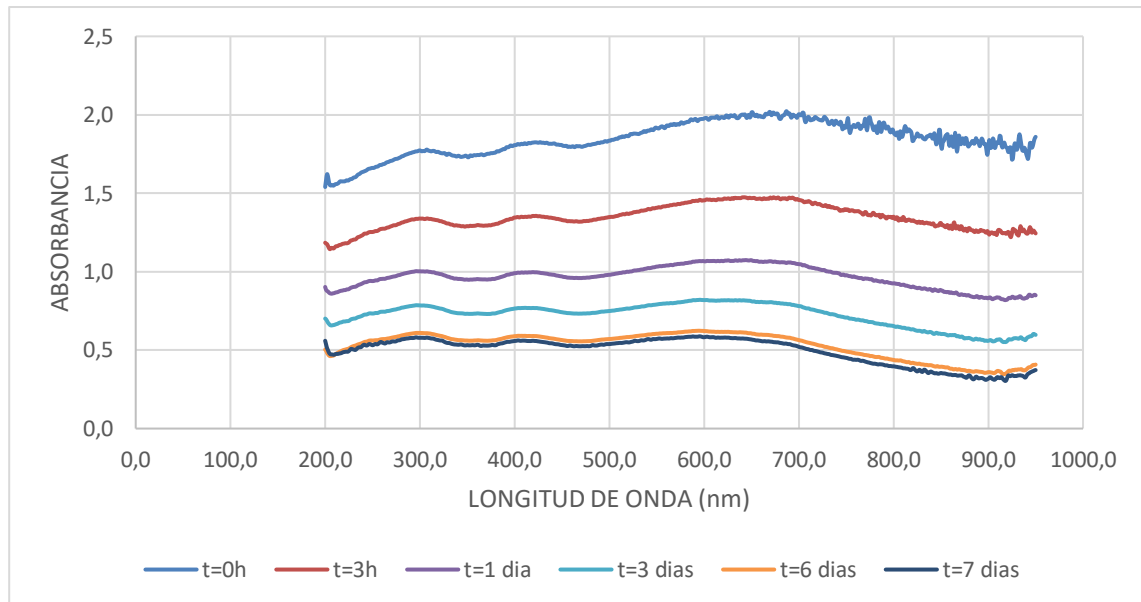


Figura 4-6 Evolución de la absorbancia del C70 a lo largo del tiempo (elaboración propia)

En la Figura 4-7, para el nanofluido C70 0,1%, se aprecia que para $t=0h$ se alcanza el valor de absorbancia 2,5, que es el que es el límite que permite medir el equipo. Para $t=3h$, se observa que alcanza también el límite que proporciona el aparato, llegando a ser el valor máximo que llega a alcanzar dicha nanopartícula a una concentración de 0,1%.

Al igual que en la Figura 4-6, la mayor disminución de los valores de absorbancia se da a lo largo de los 3 primeros días, siendo más notorio entre el primer tiempo que fue medido ($t=0h$) y al cabo de un día. A partir de ese momento el nanofluido va manteniendo poco a poco sus valores de absorbancia hasta cierto punto en el que casi no se aprecia diferencia.

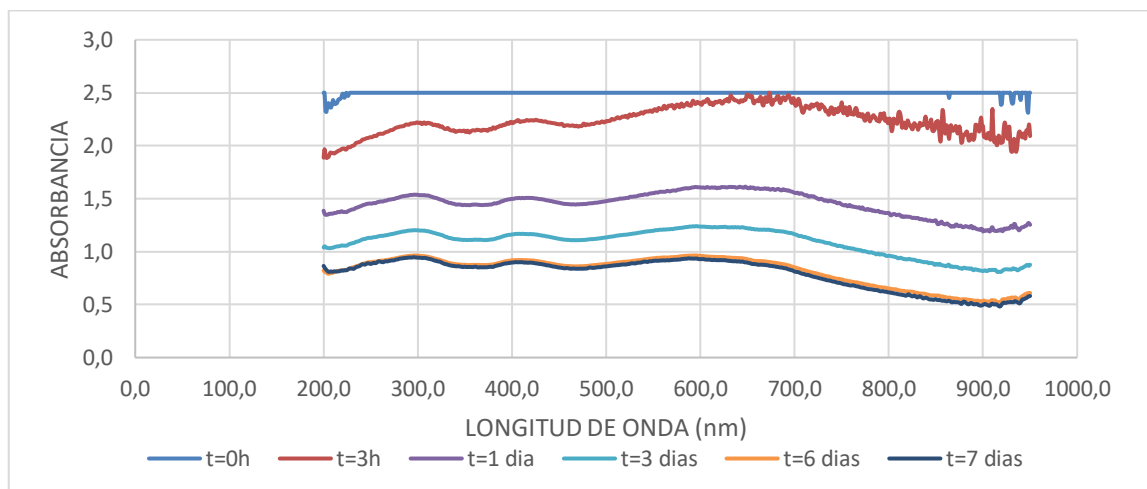


Figura 4-7 Evolución de la absorbancia del C70 a lo largo del tiempo (elaboración propia)

Al igual que en los nanofluidos C60, la absorbancia de los nanofluidos C70 también va disminuyendo a medida que va pasando el tiempo. Esto se debe a que las nanopartículas se aglomeran y sedimentan en el fondo del recipiente favoreciendo su degradación.

En cuanto a la longitud de onda, se observa que el nanofluido C70, para ambas concentraciones, alcanza su máximo valor entre 600-650 nm, lo que corresponde al rango del espectro visible. Se puede apreciar que muestra, a su vez, un pico de absorbancia cerca de los 300 nm, lo que sugiere que también puede absorber cierta cantidad de luz en el rango del espectro ultravioleta.

En este caso también se cumple que a mayor concentración mayor absorbancia se puede llegar a obtener, pero se observa que el nanofluido C70 llega a obtener mayores valores de absorbancia que el C60. El C70 ofrece mayores valores máximos y mínimos que el C60 e incluso los valores de absorbancia de la concentración de 0,05% de C70, son mucho mejores que los que pueden ofrecer ambas concentraciones del fullereno C60, como se puede apreciar en Figura 4-8 y Figura 4-9.

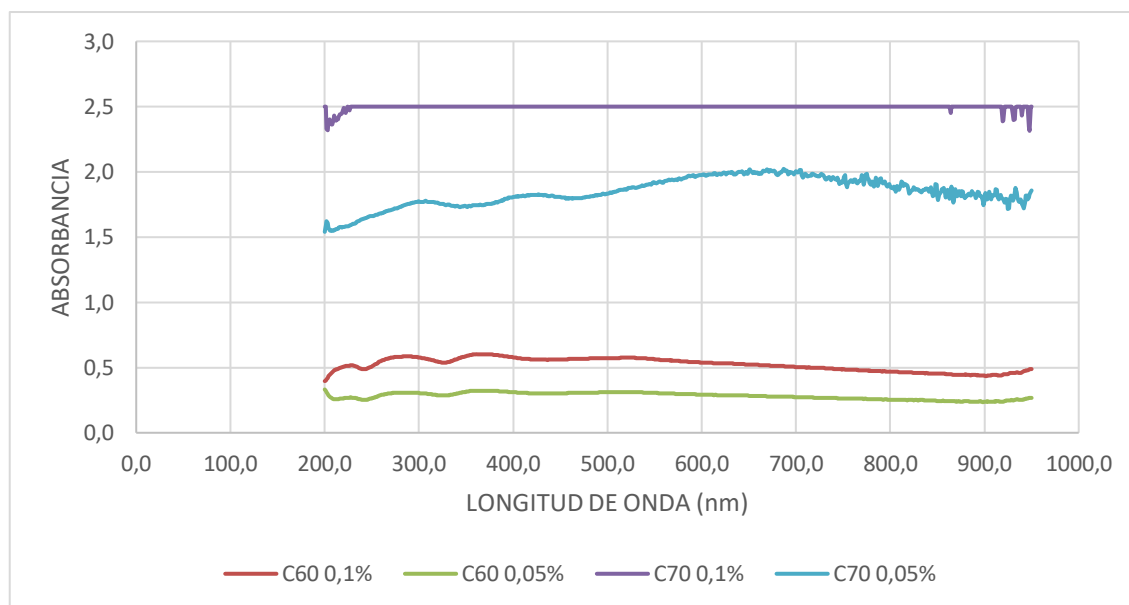


Figura 4-8 Comparación de los valores máximos de los fullerenos para ambas concentraciones (elaboración propia)

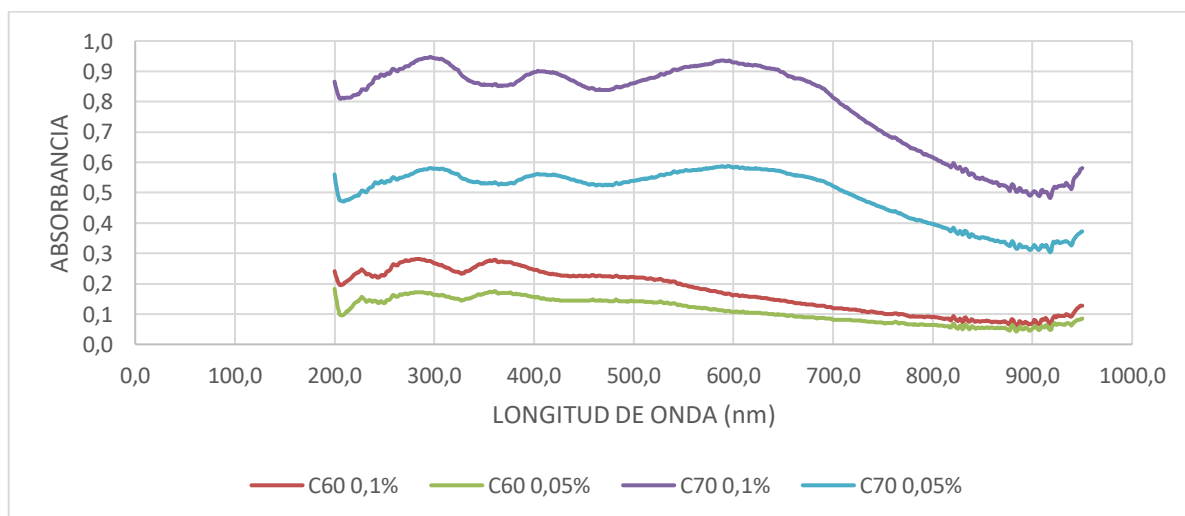


Figura 4-9 Comparación de los valores mínimos de los fullerenos para ambas concentraciones (elaboración propia)

ND

En cuanto a las gráficas de los nanofluidos ND (Figura 4-10) se observa que tanto para 0,1 % como para 0,05 % sigue la misma tendencia a medida que pasa el tiempo. Respecto a los anteriores nanofluidos, el ND es el que mayor absorbancia puntual presenta entre 200-270. También cabe destacar cómo a medida que va transcurriendo el tiempo los valores de absorbancia obtenidos son constantes, de hecho, tras 14 días se repitió la medida de absorbancia y se comprobó que la variación respecto al $t=0h$ es mínima. En comparación con las otras dos nanopartículas, la dispersión de nanodiamantes se mantiene homogénea con el tiempo, por lo que es el que mejor estabilidad presenta. Esto puede ser debido a su menor tamaño, entre otras posibles causas.

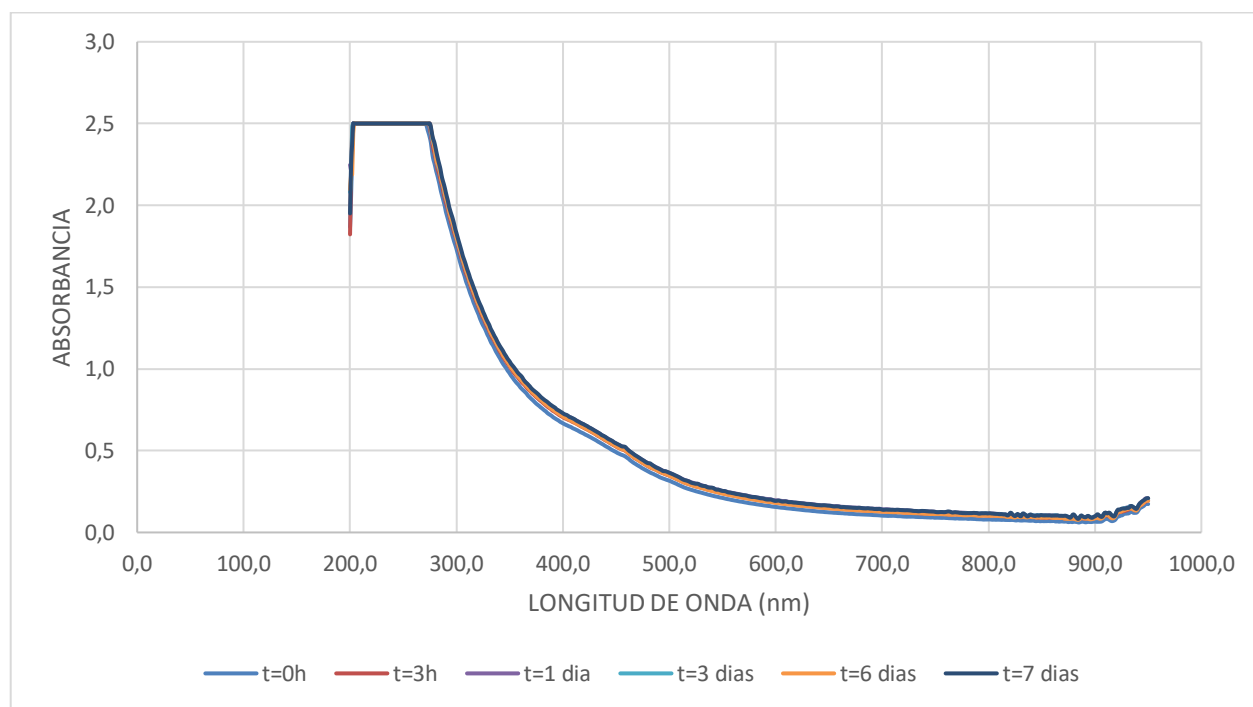


Figura 4-10 Evolución de la absorbancia respecto al tiempo para las distintas concentraciones de ND (elaboración propia)

4.2.1 Absorbancia de C60 y C70 en función de pH de la muestra

Con los resultados analizados en el apartado anterior, se llegó a la conclusión de que, a mayor concentración, mayores valores de absorbancia. Sin embargo, con menores concentraciones resulta más sencillo estabilizar la muestra, por lo que se decidió modificar el pH de la concentración 0,05% del C60 y C70, ya que como se mencionó anteriormente, los nanofluidos ND ya son estables.

Para las nuevas muestras realizadas, se midió su absorbancia respecto al tiempo, para ver si se conseguía la estabilidad de cada una de ellas. Los resultados de todas estas mediciones se encuentran en el Anexo IV.

C60

En la Figura 4-11, se observa para el nanofluido C60 a una concentración de 0,05% que a menor pH, menores valores de absorbancia se alcanzan tras 6 días de medición. Esto significa que la muestra de pH ácido (pH=5) es mucho menos estable que la de pH básico (pH=9), la cual presenta un valor de absorbancia mucho más cercano al original.

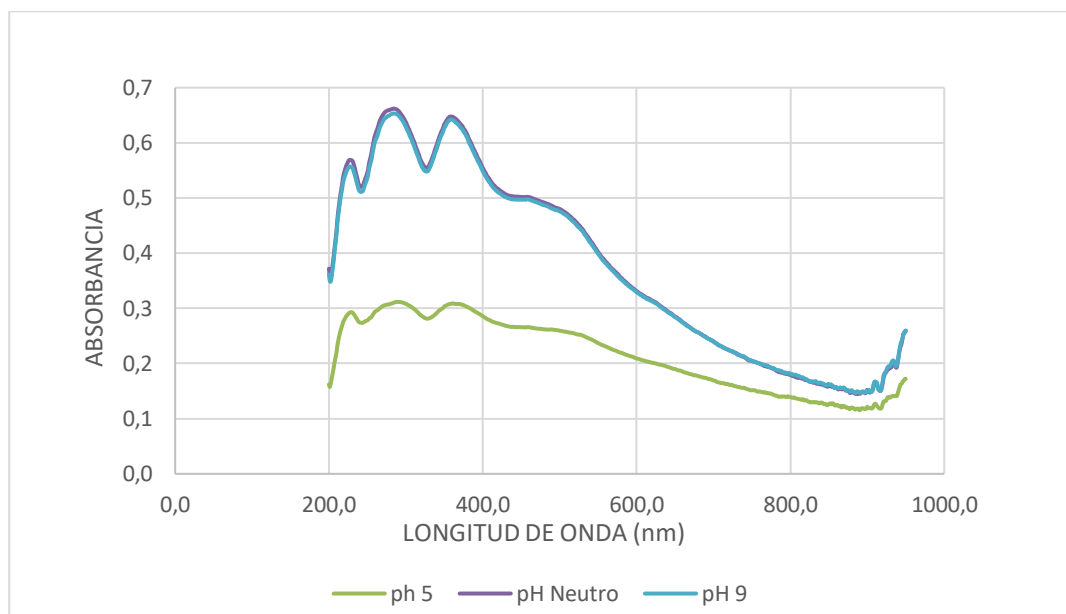


Figura 4-11 Valores de absorción de C60 según el pH al cabo de 6 días

C70

En la Figura 4-12, se observa para el nanofluido C70 a una concentración de 0,05%, que, a menor pH, menores valores de absorción se alcanzan tras 6 días de medición. Esto significa que la muestra de pH ácido (pH=5) es mucho menos estable que la de pH básico (pH=9), la cual presenta un valor de absorción mucho más cercano al original.

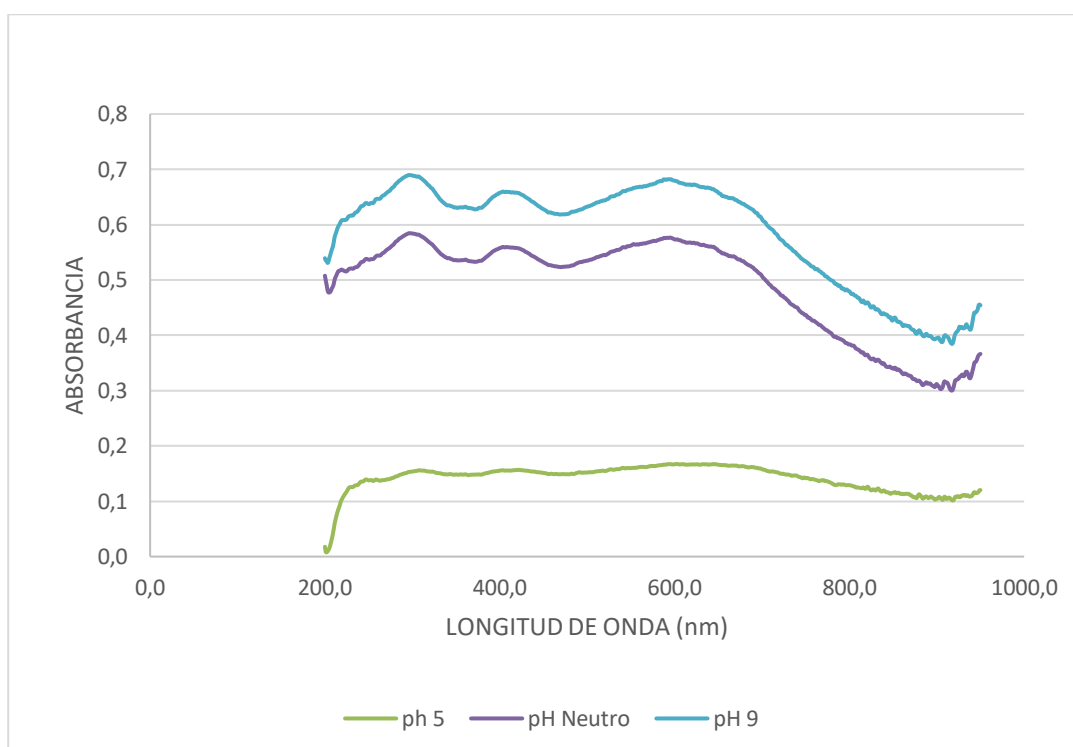


Figura 4-12 Valores de absorción de C60 según el pH al cabo de 6 días

Potencial Z

El potencial Z también da una medida de la estabilidad de la muestra. La Tabla 7 muestra las relaciones entre los valores de potencial Z y la estabilidad, de acuerdo a la literatura.

Valor absoluto de potencial Z (mV)	Estabilidad
0	Sin estabilidad
15	Posible cierta estabilidad, pero precipitación
30	Estabilidad moderada
45	Estabilidad buena
60	Estabilidad muy buena

Tabla 7 Relación existente entre el potencial Z y la estabilidad [19]

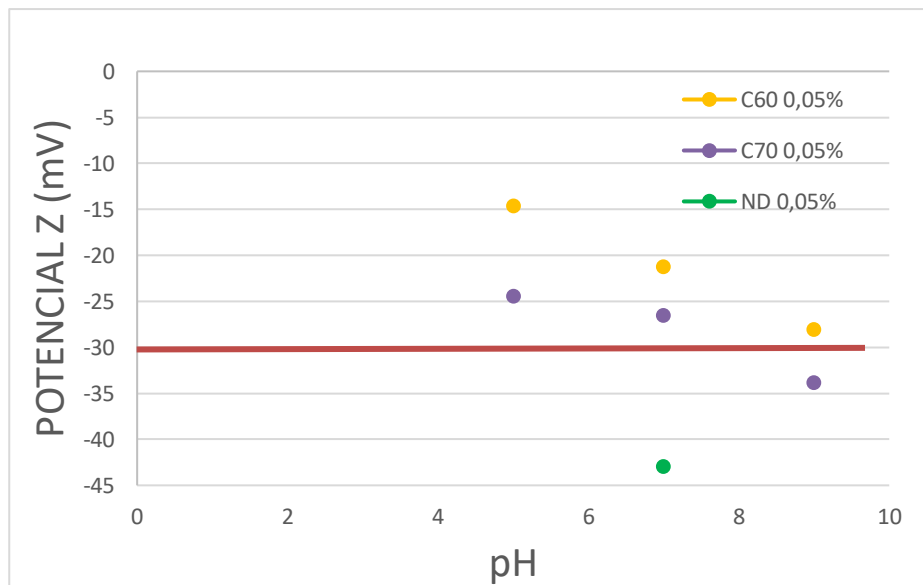


Figura 4-13 potencial Z de cada una de las muestras según su pH (elaboración propia)

En la Figura 4-13, se observa los valores del potencial Z de los 3 nanofluidos empleados respecto a su pH (el cual modificábamos para poder obtener una mejor estabilidad).

Lo primero que se puede analizar es que el nanodiamante es el más estable de los 3, ya que siempre se mantiene en la zona de estabilidad (por debajo de -30 mV) y con un valor ciertamente elevado, en consonancia con los datos previos de evolución de la absorbancia con el tiempo. Por otro lado, se observa que para las dispersiones C60 y C70, cuanto menor es el pH, menor será la estabilidad del nanofluido, por lo que se necesitará un pH con un valor superior al pH neutro para poder llegar a conseguir esa estabilidad. Destaca la concordancia entre los resultados del apartado anterior y los resultados aquí obtenidos.

4.2.2 Propiedades ópticas

Una vez analizada la estabilidad de las muestras, se analizaron las propiedades ópticas de las más estables con un equipo más preciso y con mayor rango de medida (espectrofotómetro *Agilent Cary 5000 UV-VIS NIR*) que el utilizado anteriormente (espectrofotómetro *Lambda XLS*).

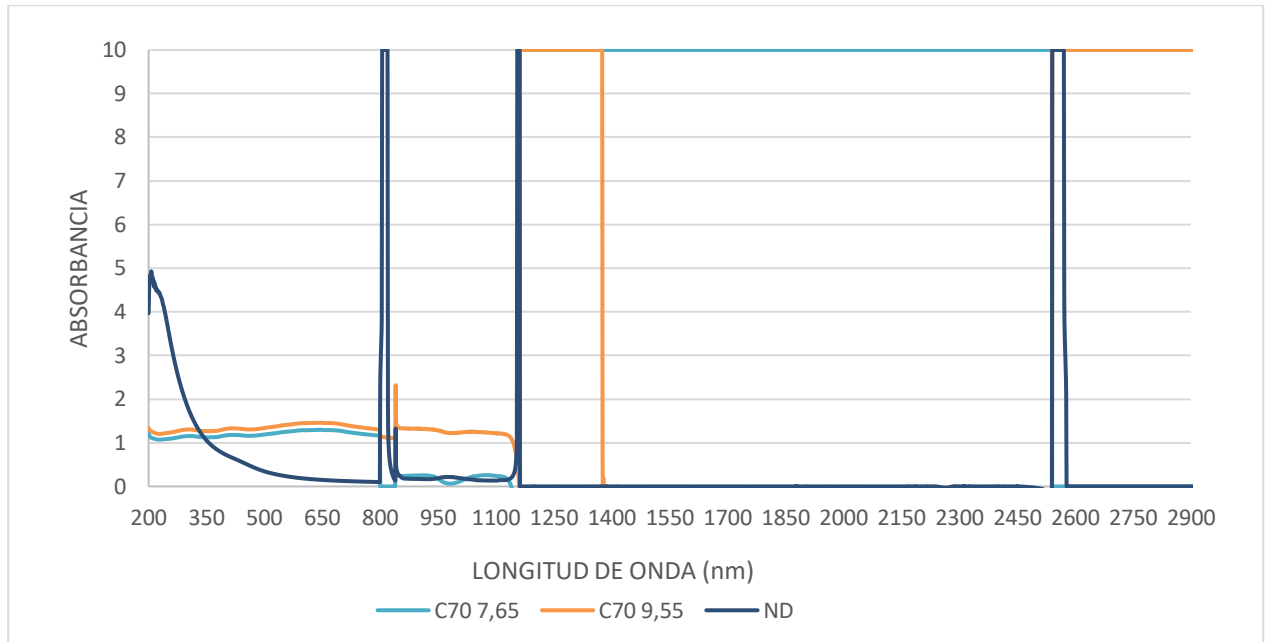


Figura 4-14 Absorbancia en función de la longitud de onda en el rango 200-2900 nm para los nanofluidos más estables (elaboración propia)

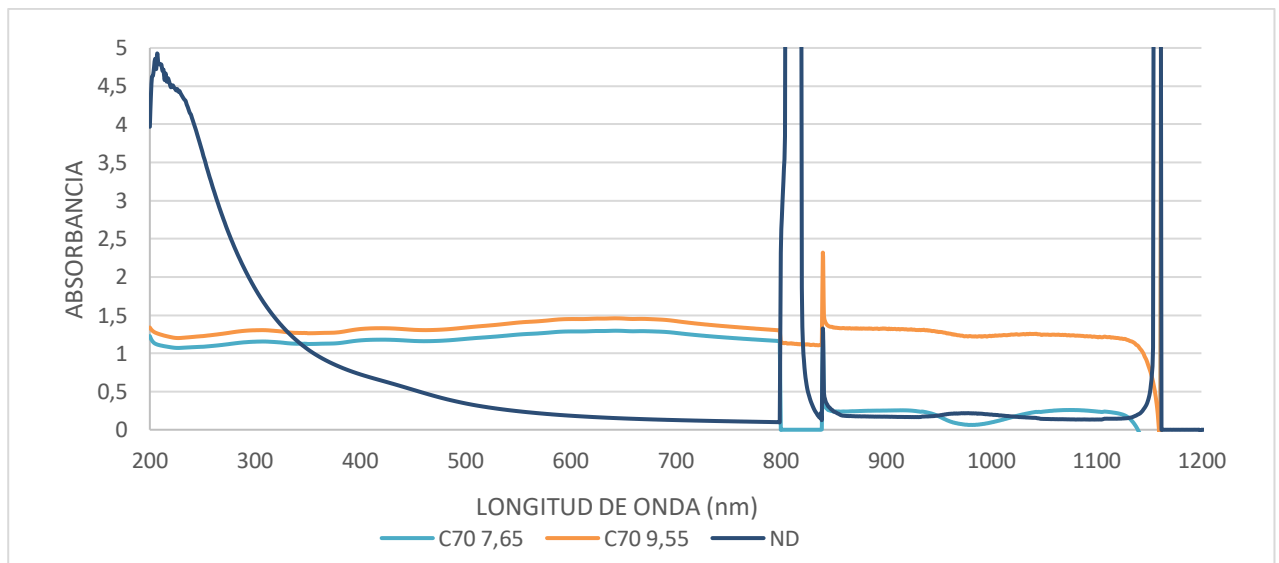


Figura 4-15 Absorbancia en función de la longitud de onda en el rango 200-1200 nm para los nanofluidos más estables (elaboración propia)

Como se muestra en la Figura 4-15, en las longitudes de onda menores a 370 nm, el nanofluido que mayores absorbancias presenta es el ND, pero este rango corresponde al espectro ultravioleta, lo que no favorece. A partir de este rango, la muestra que presenta mejores valores de absorbancia la C70 con un pH de 9,55. Además, estos valores de absorbancia se mantienen en un rango de longitudes de onda mucho mayor que para la muestra ND.

Es por ello, que, a la hora de elegir la muestra idónea, la C70 ha mantenido el valor más elevado de absorbancia durante mayor rango de longitudes de onda. La muestra ND, muestra su valor máximo en el espectro ultravioleta. Sin embargo, la muestra C70 muestra su valor máximo de absorbancia en el espectro visible (que como se aprecia en la Figura 4-15, la media de absorbancia es de 1,4), rango dónde se encuentra mayor cantidad de energía solar.

La Tabla 8 muestra un resumen de los principales resultados obtenidos para los nanofluidos más estables.

Nanopartículas	Concentración	pH	Espectro de máxima absorbancia	Potencial Zeta
C60	0,05%	9,20	Ultravioleta	-28,0 mV
C70	0,05%	9,55	Visible e infrarrojo	-33,8 mV
ND	0,05%	7,50	Visible e infrarrojo	-42,9 mV

Tabla 8 Comparación de datos de los 3 nanofluidos estables tras la última medición (elaboración propia)

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

A continuación, se exponen las principales conclusiones de este trabajo de fin de grado.

A partir de los resultados obtenidos para los nanofluidos preparados con 0,05 y 0,1 % en peso, se ha podido observar que a mayor concentración de nanopartícula se alcanzan mayores valores de absorbancia. Sin embargo, los nanofluidos con menor concentración presentan una mayor estabilidad de la dispersión en el tiempo. Es por ello por lo que posteriormente se continuó trabajando con los nanofluidos con concentración de 0,05 %.

Cabe resaltar que las dispersiones de ND presentan una gran estabilidad en función del tiempo independientemente de su concentración, a diferencia de los nanofluidos preparados con fullerenos (C70 y C60)

Por lo tanto, para mejorar esta propiedad, se modificó el pH de los nanofluidos C70 y C60 (0,05%) y se observó, que, a mayor pH, mejor es la estabilidad.

A continuación, se estudió el potencial Z de los tres tipos de nanofluidos a 0,05% para confirmar los anteriores datos de estabilidad. Se observó que cuanto mayor es el pH, mayores valores de potencial Z se obtienen, y por tanto mayor estabilidad, en consonancia con la estabilidad de los valores de absorbancia anteriores. El nanofluido compuesto por los ND presentó el potencial Z más alto y el más estable. Esto puede deberse al tamaño de las partículas, las cuales rondan entre 5-15 nm. Las muestras de C60 y C70 presentan un potencial Z más alto a medida que aumenta el pH, en consonancia con los anteriores resultados.

Posteriormente, mediante un espectrofotómetro más preciso y con mayor rango de medida, se analiza las tres muestras más estables. Se pudo concluir que el nanofluido compuesto por C70 con un pH básico es la muestra más idónea, ya que sus valores de absorbancia son más elevados de media y además absorbe luz en el espectro visible, rango dónde se encuentra mayor cantidad de energía solar (absorbancia promedio de 1,4).

5.2 Líneas futuras

Hoy en día, el uso de nanofluidos en el campo de la industria todavía se encuentra en desarrollo e investigación. Es por ello por lo que todavía se pueden conseguir nuevas aplicaciones en distintos ámbitos.

En primer lugar, se podría estudiar si con otra proporción entre los componentes del fluido base (o utilizando otro distinto), se podría llegar a obtener mayor estabilidad para las nanopartículas C60.

También podría ser interesante investigar la posibilidad de poder utilizar diferentes nanomateriales de carbono para poder obtener fluidos que tengan mejores propiedades ópticas y térmicas. Esta investigación implicaría tener que hacer distintas pruebas experimentales y un análisis de los datos resultantes.

Otra línea futura podría ser estudiar más en profundidad cuál es el tiempo ideal de sonicación de estas tres nanopartículas y así evitar que se produzca la sedimentación de sus partículas. Posteriormente habría que analizar si han mejores sus propiedades ópticas.

Finalmente, la posible línea futura más aplicada sería, una vez seleccionado el nanofluido más apropiado, comprobar la mejora del rendimiento de transmisión de calor de éstos respecto al fluido base en una instalación de energía solar térmica.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Energías renovables,» [En línea]. Available: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>.
- [2] Schallenberg Rodriguez, J.C., Piernavieja Izquierdo,G., Huernandez Rodriguez, C., & Unamunzaga Falcón,P, «Energías Renovables y eficiencia energética,» 2008.
- [3] C. L. Rubio, «Impacto ambiental de la energía geotérmica en aplicaciones residenciales mediante análisis de ciclo de vida,» 2021.
- [4] «Energías renovables,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.thenewtimesreport.org/conciencias-despiertas/energia/energias-renovables/>.
- [5] «Pacto Verde Europeo,» [En línea]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>.
- [6] «El reto de la descarbonización del transporte,» [En línea]. Available: <https://www.evwind.com/2021/05/19/el-reto-de-la-descarbonizacion-del-transporte/>.
- [7] C. Garret, «[https://climate.selectra.com/es/que-es/transicion-energetica,](https://climate.selectra.com/es/que-es/transicion-energetica)» 2022.
- [8] «Disposición 421 del BOE núm. 9,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2021/01/11/pdfs/BOE-A-2021-421.pdf>.
- [9] Kalogirou, S. A. , «Solar thermal collectors and applications. Progress in energy and combustion science,» 2004.
- [10] Leyton, Campos, C.A. «Efectos de distintos nanofluidos en la absorción solar,» 2018.
- [11] Guinot Panadero, I., «Mejora de colectores solares de absorción directa mediante modelado de nanofluidos,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositori.uji.es/>.
- [12] Luque, Patricia Pedraza, «Análisis de los Nanofluidos y su Aplicación como fluido HTF,» Sevilla, 2016.
- [13] Wong, K.V & De León,O, «Applications of nanofluids: current and future. Advances in mechanical engineering,» 2010.

- [14] Medina López, J.A. «Síntesis y Caracterización de nanofluidos de ferrita,» 2015. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/id/0c870b41-8896-430b-ab8a-af59f3a25512/CB-0449542.pdf>.
- [15] Hurtado, R.B., Cortez-Valadez, M. & Flores-Acosta, M, «Aplicaciones tecnológicas de las nanopartículas en la medicina e industria,» 2022. [En línea]. Available: <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/download/223/247>.
- [16] Carral, E.A., «Aportaciones para el uso de nanofluidos,» 22 FEBRERO 2019. [En línea]. Available: [https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15784/415338.pdf?sequence=1#:~:text=Existen%20dos%20tipos%20de%20nanofluidos,et%20al.%2C%202018\)..](https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/15784/415338.pdf?sequence=1#:~:text=Existen%20dos%20tipos%20de%20nanofluidos,et%20al.%2C%202018)..)
- [17] Ruiz, M.I, «Nanofluidos, la nueva generación de fluidos.,» 2022.
- [18] «¿Cuál es la absorbancia de una disolución?,» [En línea]. Available: https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf.
- [19] Javier P. Vallejo, Luca Mercatelli, María Rafaella Martina, Daniele Di Rosa, Aldo Dell'Oro, Luis Lugo, Elisa Sani, «Comparative study of different functionalized graphene-nanoplatelet aqueous nanofluids for solarenergy applications,» 15 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119305592>.
- [20] Elisa Sani, Javier P. Vallejo, David Cabaleiro, Luis Lugo, «Functionalized graphene nanoplatelet-nanofluids for solar thermal collectors,» 16 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927024818302630>.
- [21] «Espectroscopia ultravioleta-visible: conceptos básicos,» [En línea]. Available: <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=2e6ff27288e86d1cJmltdHM9MTY3NzE5NjgwMCZpZ3VpZD0xY2IwOGZhNi1hNmY2LTZjMTUtMWM2ZS05ZGM0YTc1ZTZkMGYmaW5zaWQ9NTE3Mg&ptn=3&hsh=3&fclid=1cb08fa6-a6f6-6c15-1c6e-9dc4a75e6d0f&psq=Espectroscopia+UV-Vis+de+fullerenos+y+nanotubos+de+car.>
- [22] «¿Cómo ayuda el Potencial Zeta en las formulaciones de suspensiones y emulsiones?,» [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/como-ayuda-el-potencial-zeta-en-las-formulaciones-de-suspensiones-y-emulsiones-21731.htm>.
- [23] Rosa Mondragón, Antonio Barba, Juan Carlos Jarque, «Preparación y caracterización de nanofluidos: Influencia de variables sobre su estabilidad, estado de aglomeración y propiedades físicas,» Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/272774374>.
- [24] «Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis Verde,» [En línea]. Available: <https://revistas.fucsalud.edu.co/index.php/repertorio/article/view/191>.
- [25] «Las asombrosas estructuras del carbono: fullerenos, grafenos y nanotubos,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/download/57826650/asombrosas_estructuras_carbono_con3D.pdf.
- [26] Vasilievna Kharissova, O., & Ortiz Méndez, U., «La estructura del fullereno C60 y sus aplicaciones,» Ciencia UANL, 5, 2002.
- [27] «Síntesis y propiedades electrónicas de sistemas derivados de isoxazolino y pirazolino (60) fullereno. Estudio de la reactividad del (70) fullereno,» [En línea]. Available:

- <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/id/0c870b41-8896-430b-ab8a-af59f3a25512/CB-0449542.pdf..>
- [28] «Fullerene C70 molecular structure,» 2017. [En línea]. Available: <http://depositphotos.com/12083166/stock-photo-fullerene-c70-molecular-structure.html>.
 - [29] J. M. H. Meseguer, «Caracterización de nuevos lubricantes con nanomateriales».
 - [30] «PubChem Compound Summary for CID 1030, Propylene Glycol,» 2023. [En línea]. Available: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/gov/compound/Propylene-Glycol..>
 - [31] «Hoja de datos de seguridad del C60,» 2006. [En línea]. Available: https://shop.plasmachem.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=48.
 - [32] «Hoja de datos de seguridad del C70,» 2006. [En línea]. Available: https://shop.plasmachem.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=50.
 - [33] «Hoja de datos de seguridad del Nanodiamante,» 2006. [En línea]. Available: https://shop.plasmachem.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=78.
 - [34] Yadav, Sarita Kumari, Zulfequar Ahamad Khan y Brahmeshwar Mishra, «Impacto de la nanotecnología en los aspectos socioeconómicos: una visión general". Reviews in Nanoscience and Nanotechnology 2.2 (2013,» 2013. [En línea]. Available: http://nanotech.law.asu.edu/Documents/2009/09/The%20economic%20development%20of%20nanotechnology%20-%20an%20indicators%20based%20analysis_220_7306.pdf.
 - [35] Lizcano Álvarez, J., «Proyecciones económicas y sociales de la nanociencia y la nanotecnología,» 2002. [En línea]. Available: <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistan%BA12/Jes%FAs%20Lizcano%20Alvarez.pdf>.
 - [36] Pini, V., Kosaka, P. M., Tamayo de Miguel, F. J., Calleja, M., Ramos Vega, D., Malvar, Ó., ... & Encinar, M., «Espectrofotómetro,» 2016.
 - [37] «Espectrofotómetro Agilent Cary 5000 UV-VIS NIR,» [En línea]. Available: <http://www.icenp.ufu.br/agendamento/espectrofotometro-cary-5000-uv-vis-nir-agilent>.
 - [38] Lin, K.H. Chiang Y.C., «"Ultrasonic Baths: Principles and Applications",» 2011.
 - [39] «Fisherbrand™ Elmasonic Easy 300 H with Cover,» [En línea]. Available: <https://www.fishersci.es/es/es/home.html>.
 - [40] «Medidor HI2020 pH/OD/EC Edge - STL DASELAB, S.L.,» [En línea]. Available: <https://www.daselab.es/conductimetros/4402-medidor-hi2020-phodec-edge.html>.
 - [41] «Zetasizer Nano ZS-IESMAT,» [En línea]. Available: <https://iesmat.com/productos/AcJCP000166/malvern-panalytical-ltd-zetasizer-nano-zs#:~:text=El%20Zetasizer%20Nano%20ZS%20es,din%C3%A1mica%20con%20%C3%B3ptica%20%22NIBS%22..>
 - [42] «Rango de equipos Zetasizer,» [En línea]. Available: <https://www.malvernpanalytical.com/es>.
 - [43] «Microscopía Electronica de transmisión (TEM) - UAL,» [En línea]. Available: <https://www.ual.es/>.
 - [44] S. S. P. van der Sluijs, «Nanomaterials in the environment: ethical and social issues,» *Nanoethics*, 2007.

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

Las nanopartículas presentan propiedades que hacen que sean útiles en una gran variedad de aplicaciones en la medicina, tecnología e industria. Sin embargo, su uso también plantea una serie de preocupaciones sobre sus implicaciones económicas, ambientales y sociales.

Las implicaciones económicas son bastantes significativas. La eficiencia y la efectividad de algunos productos puede llegar a mejorar mediante su uso en la industria manufacturera, lo que ha dado lugar a un gran crecimiento económico. Han llegado a surgir nuevos productos e innovaciones debido a la inversión en investigación y desarrollo de tecnologías de nanopartículas, llegando a aumentar la competitividad de empresas y países. La producción y el comercio de nanopartículas pueden generar empleos y aumentar el comercio internacional, aunque también pueden estar sujetos a regulaciones y restricciones debido a preocupaciones ambientales y de salud. Para terminar, el hecho de usar nanopartículas puede generar ahorros a largo plazo en términos de durabilidad y seguridad llegando a aumentar la eficiencia de los productos, pero también puede aumentar el costo de producción de dichos productos [34].

En cuanto a las implicaciones sociales, en el campo de la atención médica y la industria farmacéutica, se anticipan avances y desarrollos de gran importancia que podrían mejorar la calidad de vida y la esperanza de vida de la población. En general, se considera que la nanotecnología podría contribuir a reducir los efectos del envejecimiento, eliminar la necesidad de cirugía en procedimientos médicos, y erradicar virus, células cancerosas, colesterol y otros elementos dañinos. Además, se podrían prevenir los efectos secundarios de la quimioterapia en pacientes con cáncer. En el ámbito de la detección y diagnóstico de enfermedades, se espera que los análisis sean más asequibles y se puedan realizar de manera semiautomática desde casa. Actualmente, se están llevando a cabo investigaciones avanzadas para crear un nanosensor simple que permita obtener un diagnóstico completo a partir de una pequeña muestra de sangre. Esto se lograría mediante la identificación directa de los cambios moleculares correspondientes [35].

Por último, existen también algunas implicaciones ambientales de las nanopartículas. En primer lugar, debemos destacar su toxicidad, ya que debido a su tamaño pueden introducirse en las células y causar graves daños, tanto a las personas, animales o a las plantas. Otra estaría relacionada con su facilidad de poder acumularse en el medio ambiente lo que podría llegar a tener un efecto negativo en la salud de los organismos vivos. Dichas nanopartículas pueden llegar a afectar también al ecosistema puesto que a algunos organismos los puede matar o causar ciertos efectos en otros. Por último, reseñar que, debido a sus acumulaciones en el medio ambiente, esto puede llegar a afectar a la calidad del aire, del agua e incluso del suelo.

Es necesario reflejar que hoy en día todavía sigue habiendo ciertas incertidumbres sobre los posibles efectos que pueden causar estas nanopartículas y es por ello por lo que se necesita aumentar la investigación sobre ellas para poder llegar a comprender dichas implicaciones.

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

Como se ha ido mencionando anteriormente, las nanopartículas poseen una serie de propiedades que las hacen útiles para una gran variedad de aplicaciones en diversos campos como la electrónica, la medicina o la industria. Sin embargo, su uso también ha llegado a generar una serie de cuestiones éticas y sociales.

Una de estas cuestiones va referida a la seguridad en el ámbito de la medicina, ya que el uso de nanopartículas en medicamentos puede llegar a tener una serie de efectos secundarios en el organismo. Es por ello por lo que previamente se tiene que llevar a cabo un estudio y pruebas que garanticen la seguridad de las personas. Esto también podría estar relacionado con su toxicidad, en la que los expertos deberían estudiarla profundamente y poder conseguir que el impacto que llegue a tener sobre el medio ambiente (el cual afectaría a las personas) sea el mínimo posible.

En cuanto a los alimentos, también se ha llegado a plantear preguntas éticas y sociales, ya que muchas nanopartículas son usadas para poder estabilizarlos, pero en ningún momento se ha llegado a pensar cuáles podrían ser los posibles efectos a largo plazo.

Otro aspecto que merece una reflexión está relacionado con la protección a aquellos trabajadores que manipulan las nanopartículas, ya que pueden llegar a ser muy peligrosas si se inhalan, ingieren o llegan a traspasar la piel. Es por ello por lo que se tiene que estudiar ciertas medidas para llegar a reducir la exposición de los trabajadores a estas partículas.

Las nanopartículas cada vez son más usadas en ámbitos donde la tecnología es fundamental y donde su desarrollo va a más cada día. Pero es importante mencionar que no todos los países tienen las mismas riquezas, por lo que se debería estudiar las distintas situaciones para que haya una equidad entre los países y puedan optar todos a las mismas condiciones.

Por último, la regulación de las nanopartículas puede ser complicada debido a su amplia gama de aplicaciones, pero es imprescindible que se establezcan una serie de regulaciones para que se pueda garantizar que su uso se lleve a cabo de manera segura y responsable.

En conclusión, el uso de nanopartículas plantea una serie de cuestiones éticas y sociales que deben ser estudiadas para que se pueda garantizar que se utilicen de forma segura y responsable en una amplia gama de aplicaciones, como la electrónica, la medicina o la industria alimentaria. Debido a ello, es muy importante que realicen ciertas pruebas previas que garanticen su seguridad en seres humanos y una vez liberadas al medio ambiental. En resumen, se requiere un enfoque ético y responsable en el uso de las nanopartículas para asegurar que su uso beneficie a la sociedad en general.

ANEXO III: MATERIALES UTILIZADOS DURANTE EL TFG

En el presente anexo se explicarán cuáles han sido los materiales utilizados a lo largo del TFG para poder llevar a cabo tanto las elaboraciones de los nanofluidos como posteriormente llevar a cabo su comparación para poder analizar su estabilidad.

Espectrofotómetro lambda XLS

Dicho instrumento nos permite realizar medidas sobre una muestra emitiendo un haz de luz sobre ella. Las medidas que obtenemos al usar este material son la absorbancia, que es la cantidad de luz absorbida por parte de la muestra, y la transmitancia, que es la cantidad de luz que dicha muestra no pueda llegar a absorber.

Está constituido por las siguientes partes: una fuente de luz, un dispositivo de enfoque, un filtro de luz, una celda o cubeta de absorción (de cuarzo), un fotodetector y un dispositivo de visualización. Su funcionamiento consiste en hacer pasar un rayo de luz a través de un monocromador, un dispositivo óptico de múltiples piezas, que selecciona sólo una porción estrecha del espectro de luz. Posteriormente dicha luz pasa a través de la cubeta de absorción, la cual contiene la muestra sobre la que queremos realizar medidas. Cuando la luz pasa a través de la muestra, parte del espectro es absorbido por la misma. La luz no absorbida por la muestra sale de la cubeta y llega un fotodetector, que registra la transmitancia.

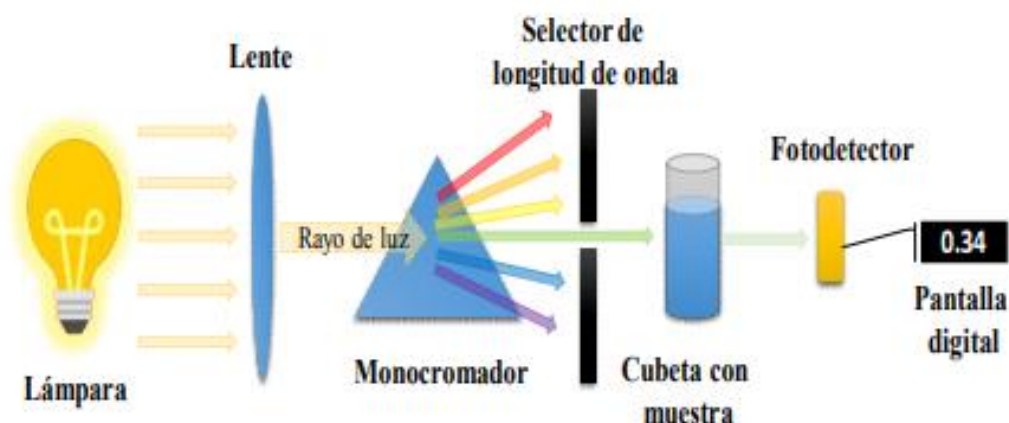


Figura A1- 1 Funcionamiento de espectrofotómetro [36]



Figura A1- 2 Espectrofotómetro utilizado en el laboratorio (elaboración propia)

Especificaciones	Lambda XLS	Lambda XLS+
Intervalo de longitudes de onda	190–1.100 nm	
Intervalo de barrido de longitudes de onda	200–950 nm	
Monocromador	Rejilla plana	
Calibración de longitudes de onda	Automática cuando el instrumento está conectado	
Ancho de banda espectral	5 nm	3 nm
Precisión de la longitud de onda	±2 nm	
Reproducibilidad de la longitud de onda	±1 nm	
Fuentes de luz	Lámpara de xenon pulsada	
Detector	CCD de 1.024 elementos	
Intervalo fotométrico	de –0,300 a 2,500 A, de 0 a 199%T	
Linealidad fotométrica	±0,005 A o el 1% de la lectura, el valor que sea mayor a 546 nm	
Reproducibilidad fotométrica	±0,003 A (0–0,5 A), ±0,007 A (0,5–1,0 A)	
Luz dispersa	<0,5% a 220 nm y 340 nm utilizando NaNO ₂	
Estabilidad del cero	±0,01 A/hora después de 20 min. de calentamiento a 340 nm	
Ruido	0,005 pico a pico 0,002 rms	
Salida digital	Puerto USB estándar, Bluetooth opcional	
Medidas	340 × 310 × 170 mm (340 × 420 × 170 mm con impresora conectada)	
Peso	Aproximadamente 4,5 kg	
Potencia de entrada	100–250 V, 50/60 Hz, Máx. 30 VA	

Figura A1- 3 Características del espectrofotómetro *lambda XLS*

Espectrofotómetro Agilent Cary 5000 UV-vis NIR

Permite el análisis en la región ultravioleta, visible e infrarrojo cercano del espectro electromagnético (175 a 3300 nm) de espectros electrónicos, compuestos orgánicos, inorgánicos y macromoléculas. Con dicho instrumento podemos determinar la absorbancia, transmitancia y construcción de curvas de calibración para análisis cuantitativo [37].



Figura A1- 4 Espectrofotómetro Agilent Cary 5000 UV-VIS NIR [37]

Baño de ultrasonido

Este equipo es utilizado en los laboratorios para poder llevar a cabo diferentes cometidos como la limpieza de vidrios, instrumentos médicos, eliminación de gases en líquidos, acelerar la dispersión de sólidos y la emulsificación.

Los baños ultrasónicos ofrecen varias ventajas sobre otros métodos de limpieza, como los baños María o los termostáticos. Estas ventajas incluyen una limpieza profunda e intensa de estructuras complejas sin dañar la superficie, reducción de costes por ahorro de tiempo gracias a la limpieza con ninguna o muy baja carga química, manejo sencillo y seguro para usuarios novatos, y una mayor eficacia en la eliminación de contaminantes [38].

El equipo usado en este TFG (Figura A1- 5) es el modelo *Fisherbrand™ Elmasonic Easy 300 H* cuyas características vienen explicadas en [39].



Figura A1- 5 Baño ultrasónico utilizado durante los experimentos en el laboratorio (elaboración propia)

pH-metro

Un detector de pH o dispositivo de potencial es un dispositivo utilizado en la técnica electroquímica para calcular el nivel de acidez de una solución.

Es un equipo científico que mide la concentración del ion de hidrógeno en líquidos acuosos, indicando su grado de acidez o alcalinidad expresada como pH. El sensor de pH mide la discrepancia de potencial eléctrico entre un electrodo de pH y uno de referencia. Esta discrepancia de potencial eléctrico está relacionada con el nivel de acidez o pH de la solución.



Figura A1- 6 Medidor HI2020 pH/OD/EC Edge [40]

El equipo usado en este TFG (Figura A1- 6) es el modelo *HI2020 pH/OD/EC Edge*, cuyas características vienen explicadas en [40].

Medidor Zetasizer Nano ZS

Consiste en un analizador del tamaño de la partícula y molecular de dos ángulos que presenta un alto desempeño para detectar agregados y poder medir muestras pequeñas o diluidas, o muestras que presenten una muy baja o alta concentración mediante la utilización de la dispersión de luz dinámica con óptica “NBIS”.

Se trata de un aparato óptimo para la caracterización de nanopartículas, coloides y macromoléculas, que miden el tamaño de la partícula, pesos moleculares y el potencial Z [41].

El equipo usado en este TFG (Figura A1- 7) es el modelo *Zetasizer Nano ZS* cuyas características se presentan en la Figura A1- 8.



Figura A1- 7 Zetasizer Nano ZS [41]

Principio de medición	Medición de modo mixto, dispersión de luz de análisis de fases (M3-PALS)
Size range	3,8 nm – 100 μ m
Volumen mínimo de muestra	20 μ L ⁽⁴⁾
Rango de concentración	Etiqueta roja: 1 mg/mL ⁽⁵⁾ a un 40 % w/v ⁽⁶⁾ Etiqueta azul: 10 mg/mL ⁽⁵⁾ a un 40 % w/v ⁽⁶⁾
Rango de conductividad de la muestra	Máximo: 260 mS/cm

Figura A1- 8 Especificación de características del Zetasizer sobre el potencial Z [42]

Tiene numerosas aplicaciones entre las que podemos destacar su uso para los alimentos y bebidas con el fin de mejorar la apariencia y el sabor; en nanomateriales para conseguir novedosas propiedades físicas y químicas o en productos farmacéuticos pudiendo ayudar en asegurar la producción de un tratamiento que sea efectivo.

Equipo TEM (Microscopía Electrónica de Transmisión)

Este equipo nos permite llegar a estudiar la estructura de la materia. Consta de un haz de electrones que tiene un voltaje de aceleración suficientemente alto como para poder llegar a atravesar laminas muy finas (de 100 nm) de la muestra. Al otro lado de las láminas se encuentran unos detectores que alcanzan los electrones y pueden llegar a construir imágenes que nos proporcionan información sobre tanto de la estructura molecular y atómica como de la microestructura de la muestra [43].

Concretamente, el equipo usado en este TFG para el análisis de muestras es el JEM-2010F (JEOL,Tokio,Japón), que está disponible en la UVigo para análisis externo de muestras.

Otros materiales

- Viales: para preparar e introducir los nanofluidos en el baño de ultrasonidos.
- Cubetas de cuarzo: para medir la absorbancia y transmitancia de los nanofluidos.
- Pipetas Pasteur: conseguir la medida exacta de los elementos que pesábamos en la Báscula Gram RTI.
- Micropipeta: medir el volumen exacto de la disolución comercial de nanodiamantes.
- Vaso de precipitado: conseguir la medida exacta de los elementos que pesábamos en la Báscula Gram RTI.
- Probeta: conseguir un valor aproximado del volumen de cada uno de los elementos del fluido que pesábamos en la Báscula Gram RTI.
- Tubos falcon: almacenar el fluido base.
- Espátulas: pasar los fullerenos de su recipiente original al vial del fluido base hasta alcanzar el peso deseado.

ANEXO IV: GRÁFICAS DE TRANSMITANCIA REALIZADAS DE C60 Y C70 SEGÚN SU pH

Fullereno C60

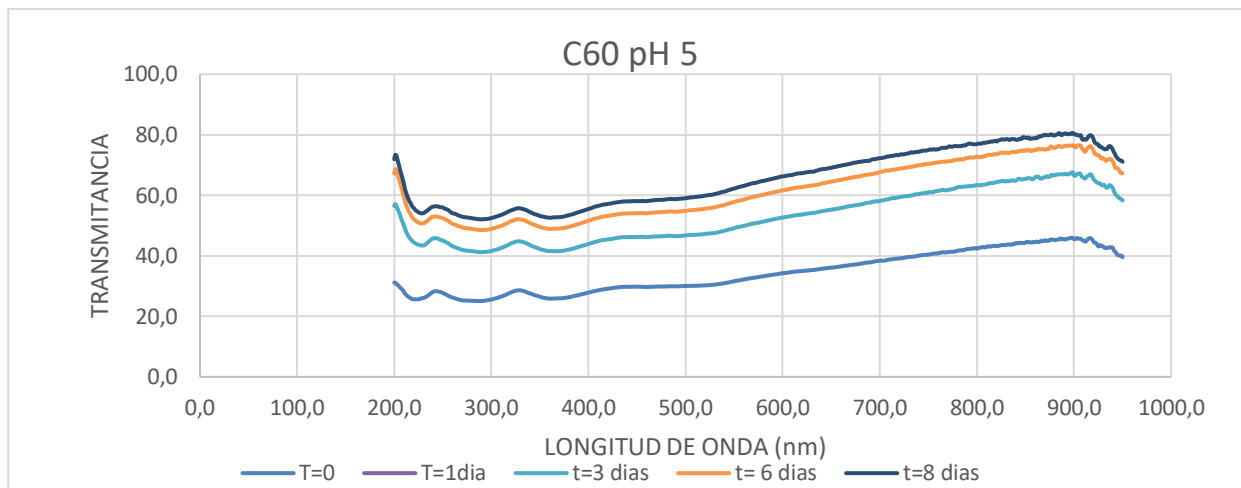


Figura A4- 1 Evolución de la transmitancia del C60 pH =5 respecto al tiempo (elaboración propia)

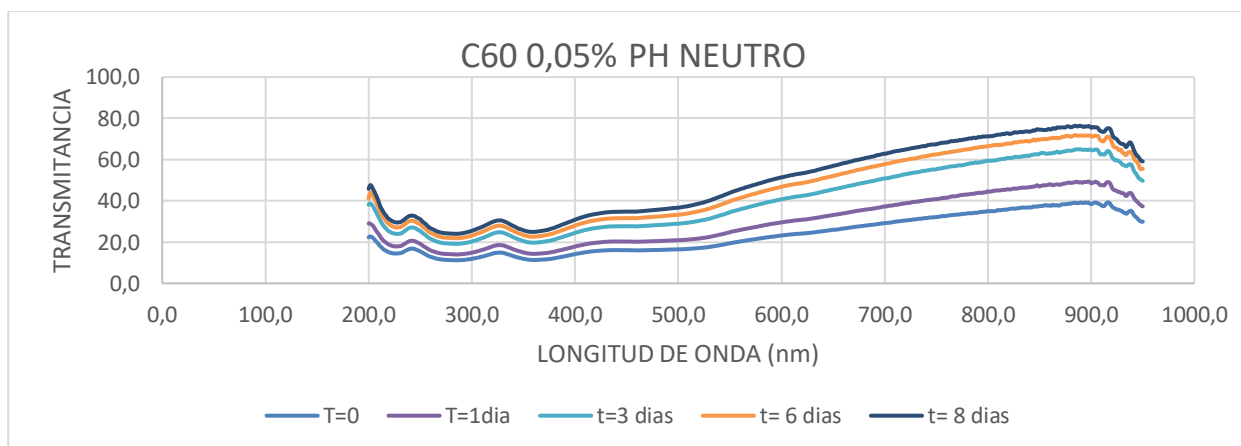


Figura A4- 2 Evolución de la transmitancia del C60 pH =Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)

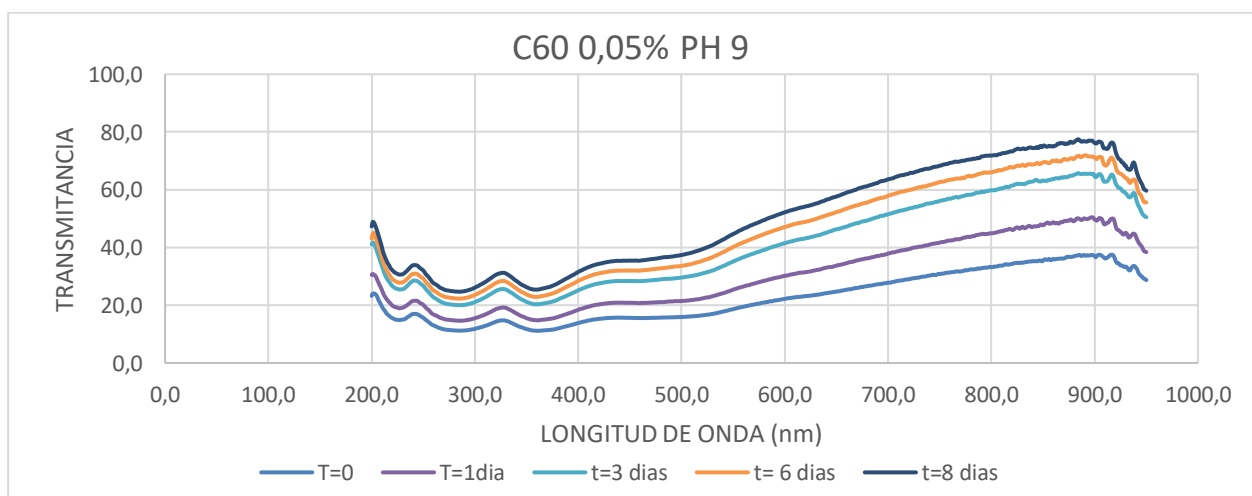


Figura A4- 3 Evolución de la transmitancia del C60 pH =9 respecto al tiempo (elaboración propia)

Fullereno C70

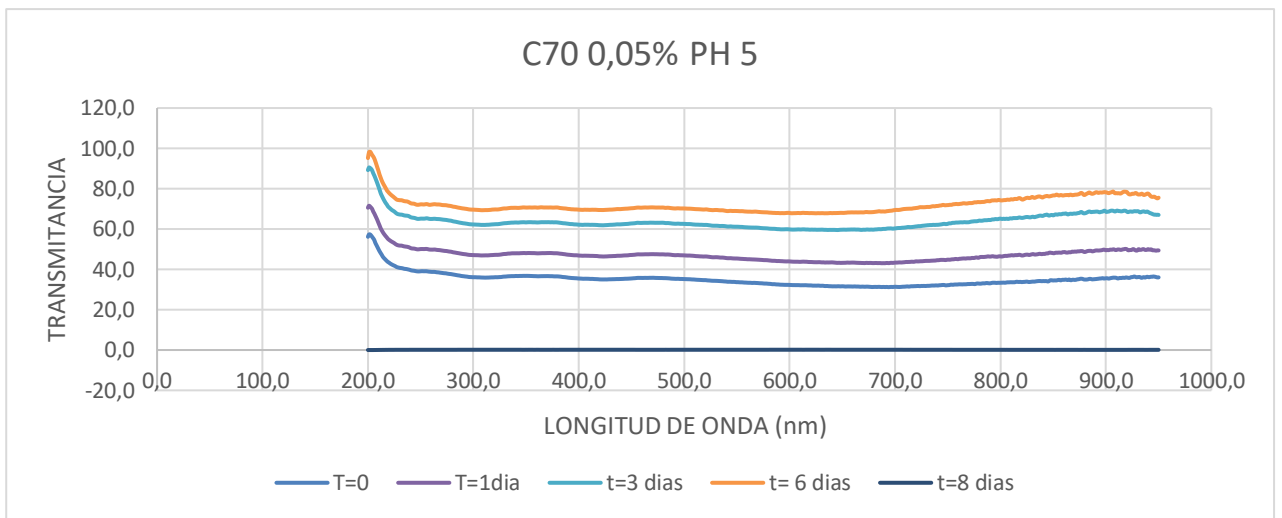


Figura A4- 4 Evolución de la transmitancia del C70 pH =5 respecto al tiempo (elaboración propia)

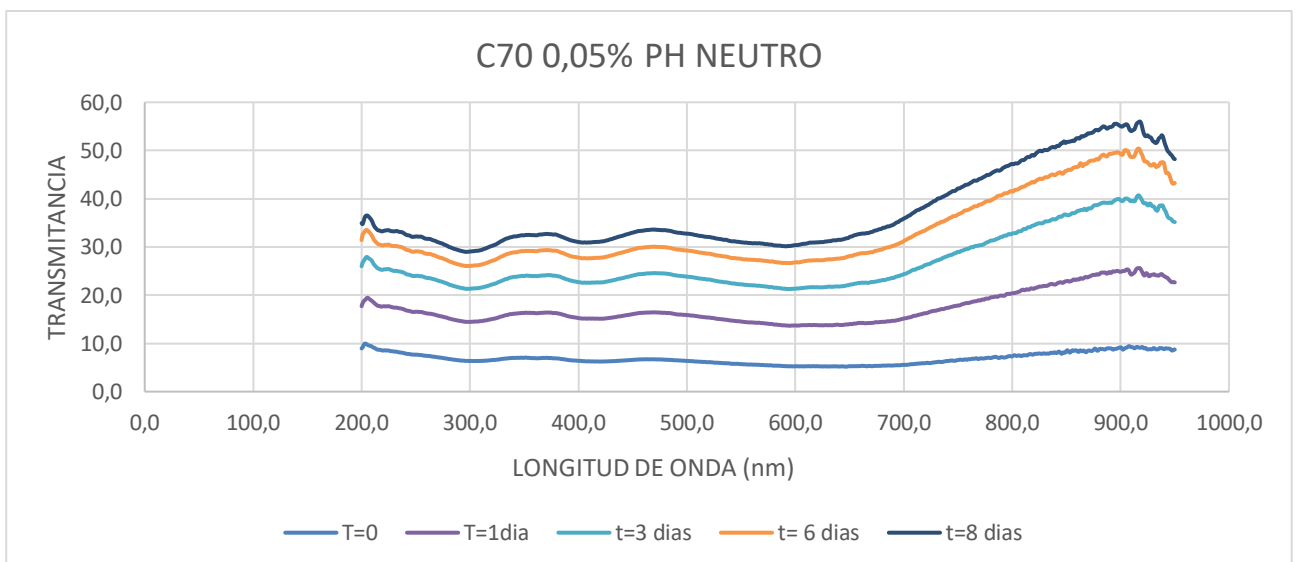


Figura A4- 5 Evolución de la transmitancia del C70 pH =Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)

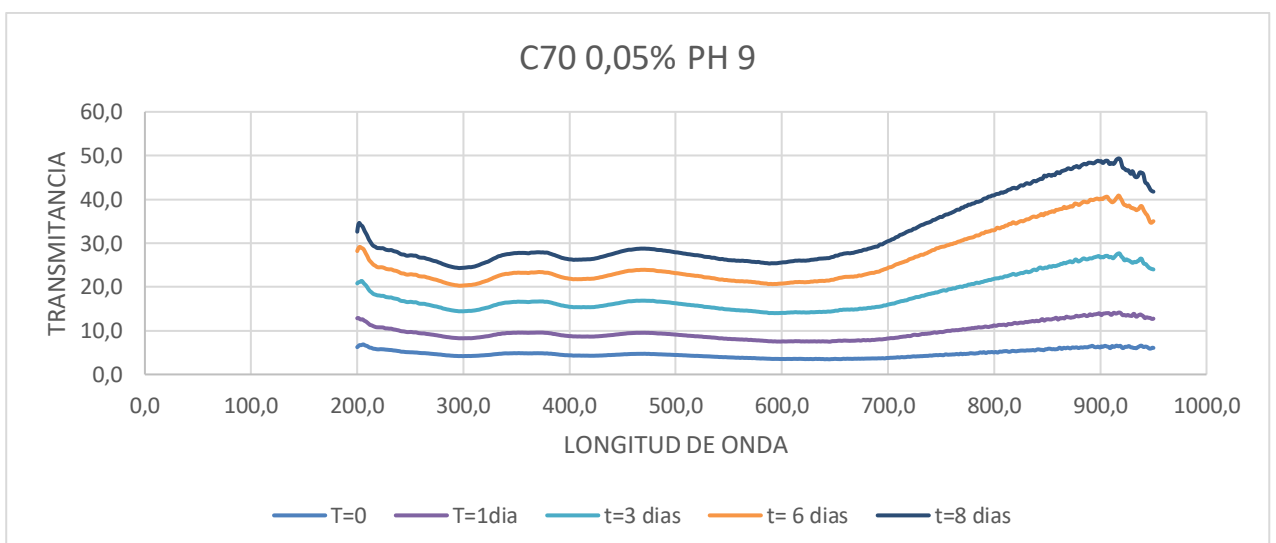


Figura A4- 6 Evolución de la transmitancia del C70 pH =9 respecto al tiempo (elaboración propia)

ANEXO V: GRÁFICAS DE ABSORBANCIA REALIZADAS DE C60 Y C70 SEGÚN SU pH

Fullereno C60

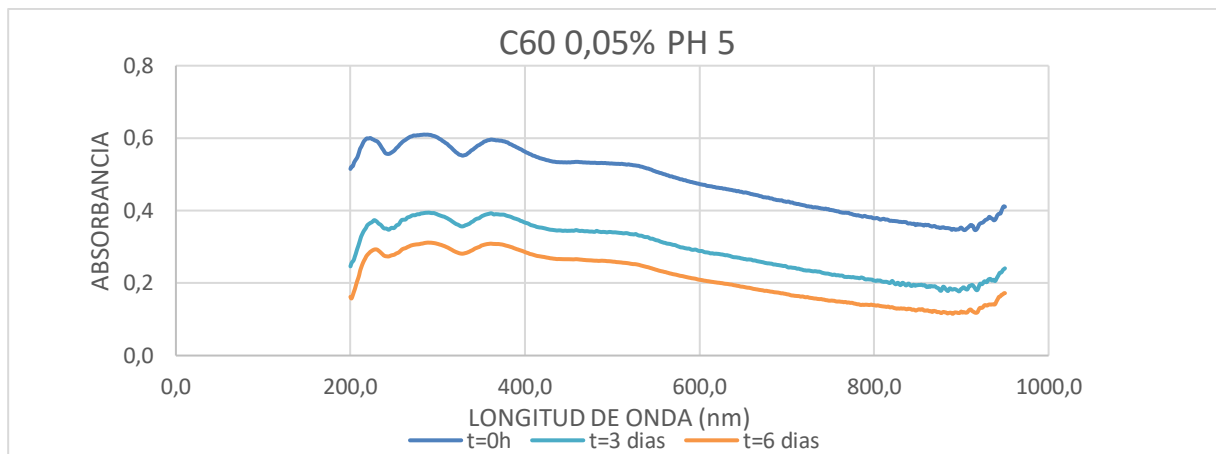


Figura A5- 1 Evolución de la absorción del C60 pH =5 respecto al tiempo (elaboración propia)

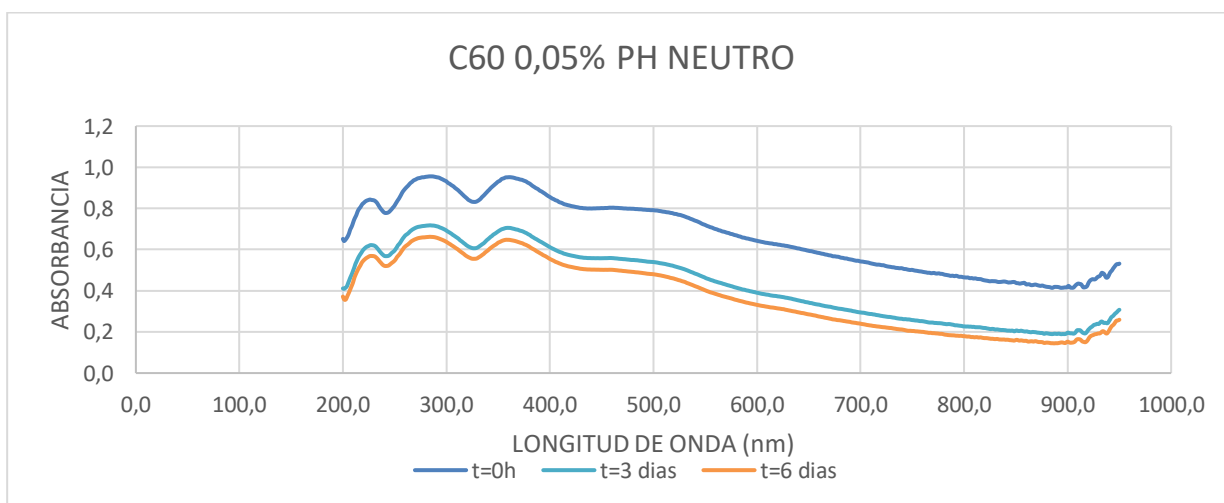


Figura A5- 2 Evolución de la absorción del C60 pH =Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)

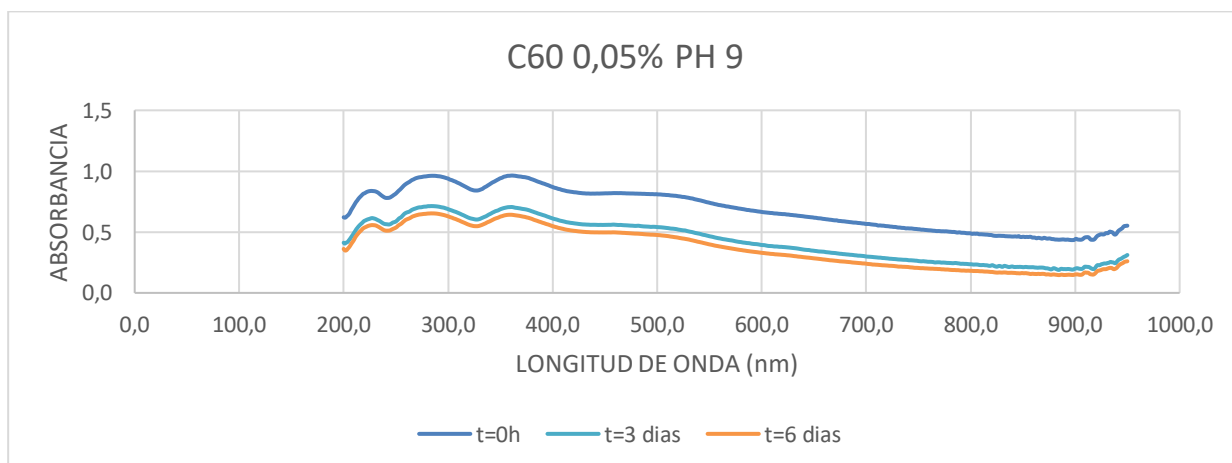


Figura A5- 3 Evolución de la absorción del C60 pH =9 respecto al tiempo (elaboración propia)

Fullereno C70

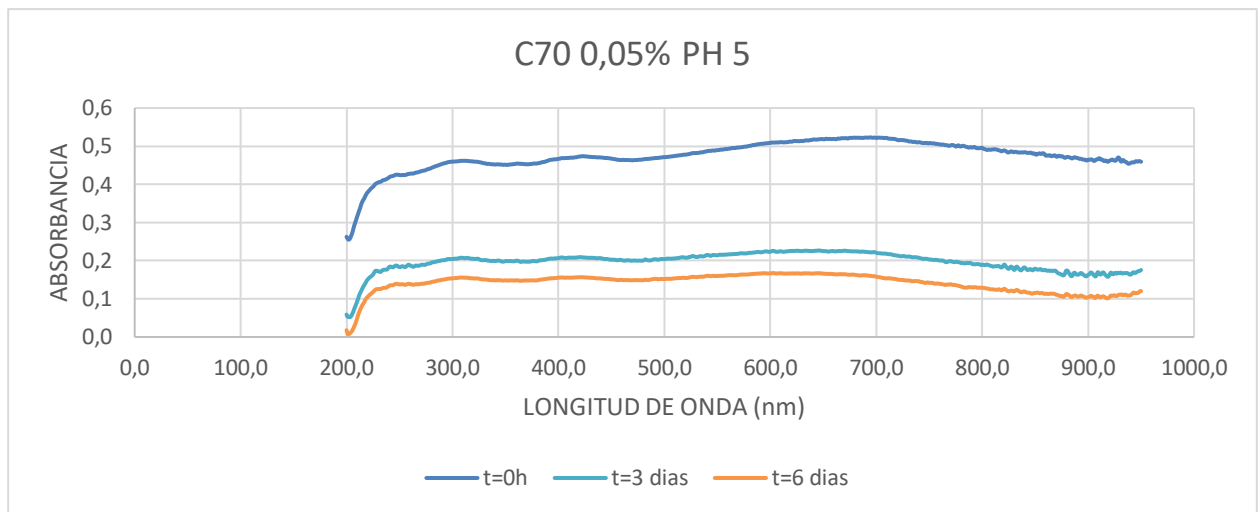


Figura A5- 4 Evolución de la absorbancia del C70 pH =5 respecto al tiempo (elaboración propia)

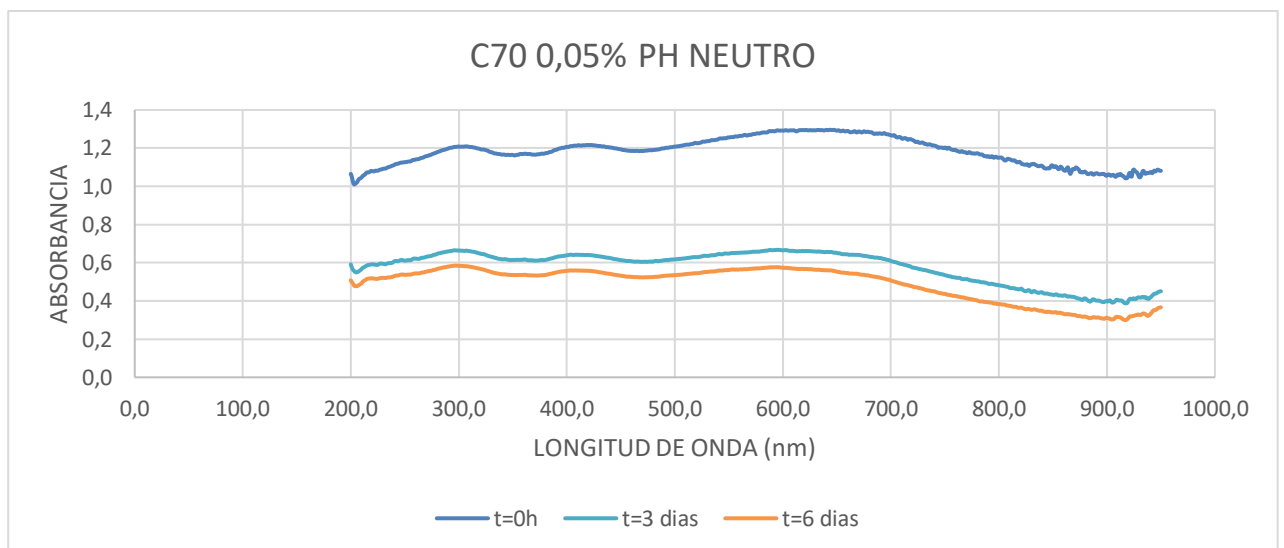


Figura A5- 5 Evolución de la absorbancia del C70 pH =Neutro respecto al tiempo (elaboración propia)

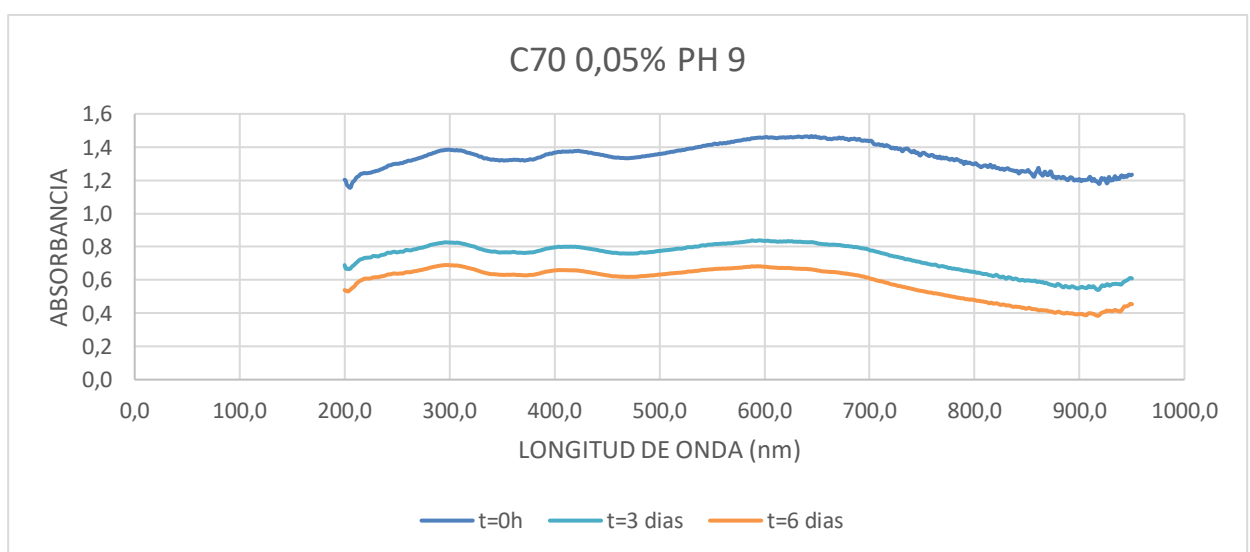


Figura A5- 6 Evolución de la absorbancia del C70 pH =9 respecto al tiempo (elaboración propia)

ANEXO VI: ESPECIFICACIONES DE LOS NANOMATERIALES

Plasmachem GmbH, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin



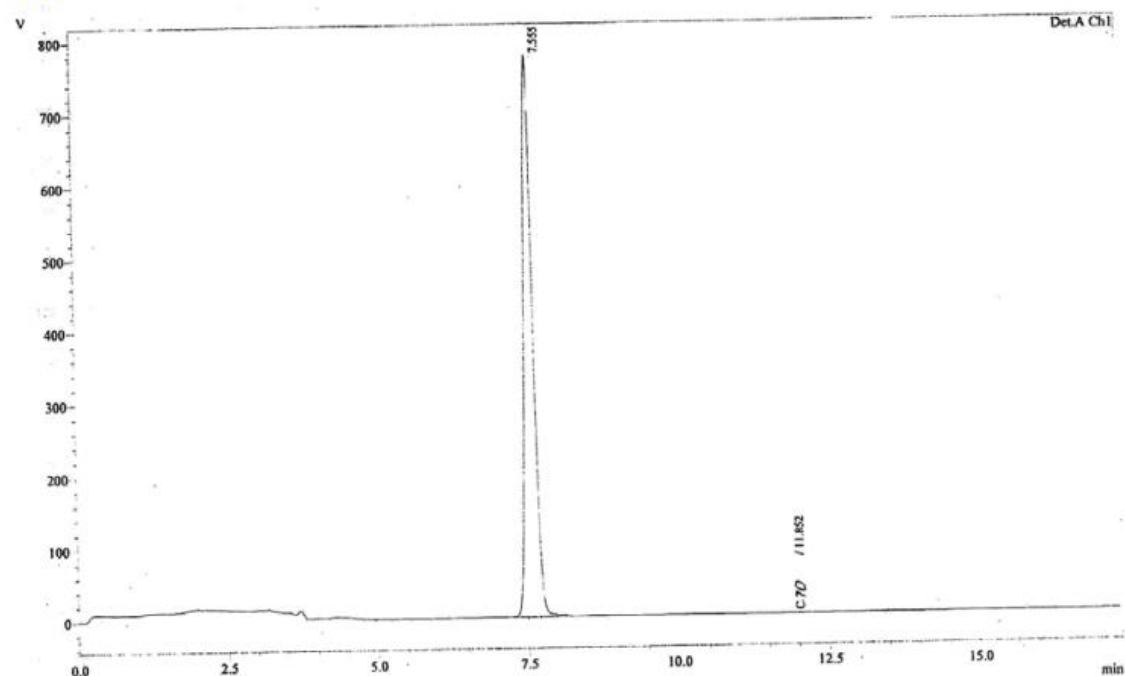
ADDITIONAL PRODUCT INFORMATION

Fullerenes, C60, 99+%

Catalogue numbers: PL-1C60

Purity: 99+%

HPLC:



Time	Name	Volume, %
7,557	C60	99,956
11,873	C70	0,044
	Others	0,000

https://shop.plasmachem.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=49

Plasmachem GmbH, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin



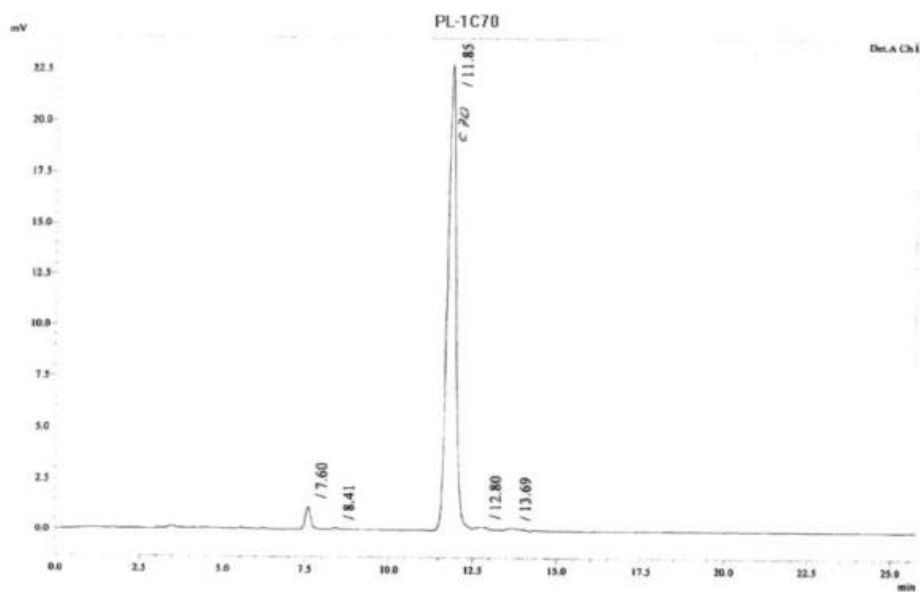
ADDITIONAL PRODUCT INFORMATION

Fullerenes, C70, 99+%

Catalogue numbers: PL-1C70

Purity: 99+%

HPLC:



Time	Name	Volume, %
7,60	C60	0,07
11,85	C70	99,91
	Others	0,002

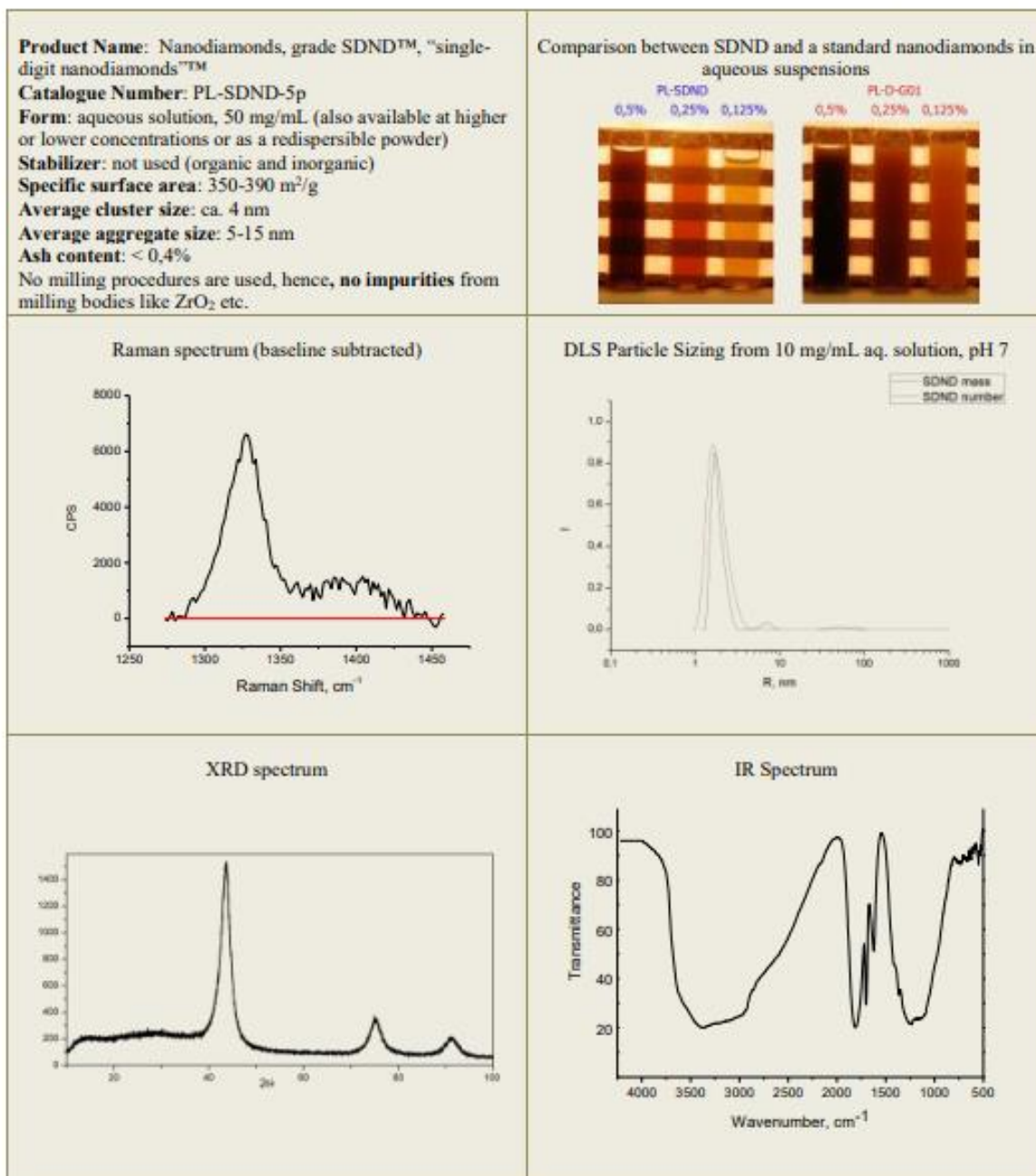
https://shop.plasmachem.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=51

Plasmachem GmbH, Rudower Chaussee 29, 12489 Berlin



Additional Product Information

ver. 1.1 / 2011-01-14



https://shop.plasmachem.com/index.php?controller=attachment&id_attachment=80

ANEXO VII: PRECAUCIONES DE SEGURIDAD DE LOS NANOMATERIALES

Medidas de primeros auxilios

- Después de inhalar:
Proporcionar aire fresco. Si es necesario, proporcionar respiración artificial. Mantener al paciente caliente. Buscar atención médica inmediata.
- Después de contacto con la piel:
Lavar inmediatamente con agua y jabón y enjuagar bien. Buscar atención médica.
- Después de contacto con los ojos:
Enjuagar el ojo afectado durante al menos 10 minutos con agua corriente. Luego consultar a un médico.
- Después de ingerir:
Buscar atención médica inmediata.

Medidas contra incendios

- Agentes extintores adecuados:
Usar un respirador autónomo.
Usar un traje protector completamente impermeable.

Medidas a tomar en caso de liberación de sustancia peligrosa

- Precauciones de seguridad relacionadas con las personas:
Usar equipo de protección personal. Mantener alejadas a las personas no protegidas.
Asegurar la ventilación.
- Medidas para la protección del medio ambiente:
No permitir que el material sea liberado al medio ambiente sin los permisos gubernamentales adecuados.
- Medidas para la limpieza / recolección:
Recoger mecánicamente. Asegurar una ventilación adecuada.

Manejo y almacenamiento

- Información para el manejo seguro:
Mantener el recipiente bien sellado.
Almacenar en un lugar fresco y seco en contenedores bien cerrados.
No se requieren precauciones especiales si se utiliza correctamente.
- Información sobre protección contra explosiones e incendios:
El polvo fino puede formar mezclas explosivas con el aire.

Controles de exposición y la protección personal necesaria para manipular una sustancia peligrosa

- Información adicional sobre el diseño de sistemas técnicos:

Usar una campana de extracción de humos químicos adecuada para sustancias peligrosas, con una velocidad de aire promedio de al menos 100 pies por minuto.

- Equipo necesario:

Equipo de protección personal

Equipo respiratorio: mascarilla

Guantes impermeables

Gafas de seguridad

Ropa de trabajo protectora

Información toxicológica sobre las nanopartículas

- Toxicidad aguda
- Efecto irritante primario tanto en la piel como en los ojos
- Sensibilización: no se conocen efectos sensibilizantes

Información ecológica

- No permita que el material sea liberado al medio ambiente sin los permisos gubernamentales adecuados.