 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Evaluación experimental de un termosifón con nanofluidos de óxido de grafeno

Jorge Luis Rentería Peláez

Ingeniería electromecánica

Karen Paola Cacia Madero

Anderson Gallego Montoya

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Septiembre 2017

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Debido a la alta demanda energética a nivel mundial, existe la constante necesidad de mejorar la eficiencia energética los procesos industriales con el aprovechamiento de calores residuales y el uso de energías renovables. Unos de los dispositivos utilizados para el aprovechamiento de energía térmica residual son los termosifones. Los cuales son dispositivos que aprovechan el cambio de fase de un fluido para transportar calor de un proceso a otro. El fluido de trabajo del termosifón es de vital importancia para su funcionamiento, ya que este es el encargado de transportar el calor de la zona de evaporación a la zona da condensación. Los nanofluidos representan una oportunidad para mejorar las propiedades termofísicas de los fluidos de trabajo convencionales utilizados en un termosifón, debido a que estos mejoran la transferencia de calor en comparación al fluido base.

Este trabajo busca evaluar el efecto del uso de nanofluidos de óxido grafeno sobre la eficiencia térmica de un termosifón de vidrio, para ello se prepararon nanofluidos de óxido de grafeno con concentraciones del 0.05 y 0.1 % p/p y usando como tensoactivo SDBS para ayudar a la dispersión de las nanopartículas. La estabilidad de los nanofluidos de óxido de grafeno se evaluó por potencial Zeta, Espectroscopía absorción ultravioleta-visible, e inspección visual, en general, los nanofluidos fueron estables durante el tiempo de evaluación, a excepción del nanofluido preparado sin tensoactivo. Primero, se evaluó la conductividad térmica y la estabilidad de nanofluidos de óxido de grafeno en modo estático. Posteriormente se determinó experimentalmente la eficiencia térmica del termosifón con el uso de nanofluidos de grafeno. El uso de nanopartículas de óxido de grafeno para la preparación de nanofluidos aumenta la conductividad térmica con respecto al fluido base (agua desionizada). Se observaron incrementos hasta del 28 % en la conductividad térmica de nanofluidos de óxido de grafeno con concentraciones de 0.1 % p/p y aproximadamente un 11% para concentraciones de 0.05 % p/p. El uso de nanofluidos de óxido de grafeno

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

como fluido de trabajo en termosifones puede aumentar la eficiencia del mismo hasta en un 10% en comparación con el agua desionizada como fluido de trabajo. La resistencia térmica del termosifón disminuye en un 28% con el uso de nanofluidos de óxido de grafeno.

Palabras clave: nanofluidos, eficiencia térmica, transferencia de calor, materiales avanzados.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

La realización de esta tesis fue posible gracias a la colaboración de la MEng. Karen Paola Cagua Madero y al Ing. Anderson Gallego Montoya quienes me brindaron su apoyo incondicional en el desarrollo de este trabajo, y los cuales me han ayudado a formar tanto en lo profesional como en lo personal. Al igual agradezco a el grupo de investigación materiales avanzados y energía MATyER, quienes dispusieron de los recursos necesarios para el desarrollo de la investigación. Agradezco a mis familiares, a mi novia y su familia los cuales siempre han confiado en mí, han resaltado mis capacidades y me han apoyado en los sucesos de mi vivir.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

Agua DI Agua desionizada

ATR Attenuated total reflection (Espectroscopía infrarroja de reflexión total atenuada)

DLS Dynamic light scattering (Dispersión dinámica de luz)

DSC Differential scanning calorimetry (Calorimetría diferencial de barrido)

GO Graphene oxide (Óxido de grafeno)

H₂SO₄ Ácido sulfúrico

ITM Instituto Tecnológico Metropolitano

KMnO₄ Permanganato de potasio

MATyER Grupo de investigación materiales avanzados y energía

Mn₂O₇ Óxido de manganeso

NaNO₃ Nitrato de sodio

NF 1 Nanofluido 1

NF 2 Nanofluido 2

NF 3 Nanofluido 3

NF 4 Nanofluido 4

NF 5 Nanofluido 5

SDBS Dodecilsulfonato de sodio

SEM Scanning electron microscopy (Microscopía electrónica de barrido)

TGA Thermal gravimetric analysis (Análisis termo gravimétrico)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

U.V Ultra violeta

UV-VIS Ultra violeta- Visible

In Hg Pulgadas de mercurio

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	MARCO TEÓRICO.....	13
2.1	transferencia de calor.....	13
2.1.1	Conducción	13
2.1.2	Convección.....	15
2.1.3	Radiación.....	16
2.1.4	Resistencia térmica	17
2.2	Nanopartículas de óxido de grafeno	19
2.2.1	Oxidación del grafito.....	20
2.2.2	Exfoliación del óxido de grafito	20
2.3	Nanofluidos.....	21
2.4	Nanofluidos de óxido de grafeno	23
2.5	Caracterización de nanopartículas	25
2.5.1	Espectroscopía infrarroja	25
2.5.2	Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	25
2.5.3	Espectroscopía absorción ultravioleta-visible (UV-vis).....	26
2.5.4	Dispersión dinámica de luz (DLS)	26
2.5.5	Análisis termo gravimétrico (TGA).....	27
2.6	Termosifones	29
2.6.1	Fluidos de trabajo de los termosifones.....	30

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.7	Termosifones con nanofluidos de óxido de grafeno	31
3.	METODOLOGÍA.....	33
3.1	Preparación de nanofluidos de óxido de grafeno	33
3.2	Determinación de la conductividad térmica	35
3.3	Evaluación de la estabilidad de los nanofluidos.....	35
3.3.1	Potencial Zeta.....	35
3.3.2	Espectrofotometría de absorción molecular VIS-UV	36
3.3.3	Inspección visual	36
3.4	Experimentación con el termosifón	37
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
4.1	Preparación de nanofluidos de óxido de grafeno	40
4.2	Determinación de la conductividad térmica	41
4.3	Evaluación de la estabilidad de los nanofluidos.....	43
4.3.1	Potencial Zeta.....	43
4.3.2	Espectrofotometría de absorción molecular UV-VIS	44
4.3.3	Inspección visual	46
4.4	Experimentación en el termosifón	47
4.4.1	Perfil de temperatura.....	49
4.4.2	Eficiencia del termosifón.....	52
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	57
	REFERENCIAS	59
	APÉNDICE.....	63

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, debido a la creciente demanda energética se ha visto la necesidad de mejorar los procesos industriales con el fin de disminuir los costos energéticos que estos involucran, además se han estudiado sistemas de energías renovables y recuperación de calor.

Durante años, científicos e ingenieros han investigado métodos o dispositivos para aprovechar la energía en forma de calor que se genera en algunos procesos industriales. Unos de los dispositivos utilizados para el aprovechamiento de energía térmica residual son los termosifones (Asirvatham, Wongwises, & Babu, 2016).

Los termosifones son tubos de calor asistidos por fuerzas gravitatorias, los cuales aprovechan el calor latente de un fluido, debido a cambios de fase entre líquido y vapor, para transportar calor de un proceso a otro de una manera eficiente y sin requerir grandes diferencias de temperaturas. Algunos fluidos de trabajo convencionales para el uso de termosifones son acetona, metano, etanol, agua, mercurio, sodio, entre otros. Estos presentan propiedades térmicas limitadas que obstaculizan el aumento del rendimiento térmico de los termosifones (Reay, Kew, & McGlen, 2014).

Una alternativa para mejorar las propiedades térmicas de los fluidos convencionales de transferencia de calor, es el uso de nanopartículas, ya que estas aumentan la capacidad del fluido de conducir calor, la dispersión de nanopartículas en un fluido base son conocidas como nanofluidos.

El concepto de nanofluido fue introducido por Stephen U.S. Choi, laboratorio nacional de Argonne, Estados Unidos, en el año de 1995. Desde entonces se han realizado numerosos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estudios entorno a los nanofluidos con el fin de conocer más a fondo sus propiedades físicas y químicas. Unas de las propiedades físicas más estudiadas de los nanofluidos son su capacidad de transferir calor. También, un aspecto a tener en cuenta al momento de preparar nanofluidos es la estabilidad de las nanopartículas en el fluido base, ya que estas determinan en gran parte la utilidad del nanofluido. Un nanofluido estable y con buena conductividad térmica podría ser usado para mejorar sistemas de transferencia de calor haciéndolos más eficaces. Hoy en día, una gran cantidad de nanopartículas son empleadas para la preparación de nanofluidos, entre las que se encuentran las nanopartículas de óxidos metálicos, materiales carbonosos, materiales metálicos, entre otras (Devendiran & Amirtham, 2016).

Amiri et al. , (2015), utilizaron nanopartículas de grafeno con SDBS para sintetizar nanofluidos de grafeno no covalentes, y para preparar nanofluidos de grafeno covalentes realizaron una mezcla de HNO₃ y H₂SO₄ con las nanopartículas de grafeno, estos nanofluidos fueron utilizados en un termosifón para analizar su rendimiento térmico, observaron que el rendimiento de los nanofluidos de grafeno covalentes muestran mejor rendimiento, en comparación con los nanofluidos de grafeno no covalente utilizados a las mismas condiciones, Los resultados también muestran que la adición de nanopartículas de grafeno con SDBS al agua desionizada aumenta la caída de presión y la viscosidad en la operación del termosifón, más que los nanofluidos preparados de nanopartículas de grafeno con HNO₃ y H₂SO₄ en agua desionizada. En resumen, observaron que la funcionalización covalente bajo radiación de microondas es rápida y rentable, además mejora rendimiento térmico del termosifón.

Se han utilizado nanopartículas de grafeno en acetona como fluidos de trabajo en termosifones, como lo es de caso de los investigadores Asirvatham, Wongwises, y Babu, (2016), quienes en sus estudios sobre el rendimiento de la transferencia de calor de un termosifón de vidrio utilizando como fluido de trabajo nanofluidos de acetona y grafeno,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

observaron que el uso de nanopartículas de grafeno en bajas concentraciones (0.05%, 0.07%, y 0.09%) disminuye la resistencia térmica del termosifón en un 70.3 %, además se dio un aumento del 37.3 % de la conductividad térmica efectiva. Por tanto, los investigadores concluyeron que añadir pequeñas cantidades de nanopartículas de grafeno mejora el rendimiento térmico de un termosifón.

En este trabajo se realizó un estudio experimental de la operación de un termosifón con nanofluidos de óxido de grafeno como fluido de trabajo, para comparar con el termosifón operando con un fluido de trabajo convencional como lo es el agua desionizada. para su desarrollo se establecen los objetivos específicos y general.

General

Evaluar el efecto del uso de nanofluidos de óxido grafeno sobre la eficiencia térmica de un termosifón bifásico.

Específicos

- Evaluar la conductividad térmica y la estabilidad de nanofluidos de óxido grafeno.
- Determinar experimentalmente la eficiencia térmica de un termosifón que tiene como fluido de trabajo nanofluidos de óxido de grafeno.

En el marco teórico de este proyecto de grado se presentarán los conceptos y teorías de transferencia de calor, eficiencia térmica de un sistema de intercambio de calor, al igual que el concepto y funcionamiento de un termosifón. También se hablará sobre el concepto de nanofluido, nanopartículas y su uso en termosifones.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la metodología se presentarán todo los pasos y procedimientos que se realizaron en el desarrollo de este proyecto de grado como lo son la preparación de nanofluidos, la determinación de la conductividad térmica, la evaluación de la estabilidad por medio de potencial Zeta, espectrofotometría de absorción molecular UV-VIS e inspección visual, así como los parámetros para la experimentales en el termosifón.

En los resultados de este proyecto de grados se presentaran los datos y cálculos obtenidos durante el desarrollo de la metodología, por lo cual se hablara sobre los resultados de la preparación de nanofluidos de óxido de grafeno, sobre la determinación de la conductividad térmica, sobre la evaluación de la estabilidad mediante el potencial Zeta, espectrofotometría de absorción molecular UV-VIS e inspección visual, al igual se presentaran los resultados obtenidos de la experimentación en el termosifón.

Finalmente, se presentarán las conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro relacionadas con la evaluación experimental de un termosifón de vidrio utilizando nanopartículas de óxido de grafeno.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Transferencia de calor

El calor es la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro, como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esas transferencias de energía es la transferencia de calor. La transferencia de energía como calor siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja, y la transferencia de calor se detiene cuando los dos medios alcanzan la misma temperatura (Çengel, 2011).

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

2.1.1 Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Fernando & Díaz, 2005).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la tasa de transferencia de calor por conducción a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa ecuación 1.

$$\dot{Q}_{cond} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W] \quad (1)$$

Donde:

\dot{Q} : Taza de transferencia de calor, su unidad es (W)

k : Conductividad térmica, sus unidades son (W/m°C)

A : Área plano transversal al flujo del calor, su unidad es (m²)

T_1 : Temperatura menor, su unidad es (°C)

T_2 : Temperatura mayor, su unidad es (°C)

Δx : Espesor, su unidad es (m)

ΔT : Diferencia de temperatura, su unidad es (°C)

la conductividad térmica de un material se puede definir como la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante (Çengel, 2011).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial expresada en la ecuación 2.

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad [W] \quad (2)$$

2.1.2 Convección

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia (Holman, 1998).

La convección puede darse de dos formas, forzada y libre, la convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido.

La ecuación 3 muestra la tasa de transferencia de calor por convección, a esta se le conoce como la ley de enfriamiento de Newton.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\dot{Q}_{cov} = h A_s (T_s - T_{\infty}) \quad [W] \quad (3)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en $W/m^2 \cdot ^\circ C$ o $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$, A_s es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_s es la temperatura de la superficie y T_{∞} es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

Los procesos de transferencia de calor que comprenden cambio de fase de un fluido también se consideran como convección a causa del movimiento de ese fluido inducido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotitas de líquido durante la condensación.

2.1.3 Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra. En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Es diferente de las otras formas de radiación, como los rayos X, los rayos gamma, las microondas, las ondas de radio y de televisión, que no están relacionadas con la temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura arriba del cero absoluto emiten radiación térmica (Çengel, 2011).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

la razón de transferencia de calor neta por radiación se da por:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad [W] \quad (4)$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, y ε es la emisividad:

$$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$$

- Siempre se cumple que $0 \leq \varepsilon \leq 1$
- Para un cuerpo negro $\varepsilon = 1$.

2.1.4 Resistencia térmica

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse a la transferencia de calor. Sus unidades son °C/W

En la ecuación 5 se tiene la resistencia térmica para una pared plana.

$$R_{pared} = \frac{L}{kA} \quad (5)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Donde L es la longitud transversal la pared, k es la Conductividad térmica, sus unidades son (W/m°C) A es el Área plano transversal al flujo del calor, su unidad es (m²).

La tasa de transferencia de calor por conducción de una pared plana está dada por la ecuación 6

$$\dot{Q}_{cond,pared} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} \quad [W] \quad (6)$$

La resistencia térmica por conducción se ve afectada por la geometría del medio por donde fluye el calor, la ecuación 7 muestra la resistencia térmica para un cilindro.

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \pi L k} \quad (7)$$

Las ecuaciones 8 y 9 sirven para determinar la resistencia térmica para una pared plana por medio de convección y radiación respectivamente.

$$R_{conv} = \frac{1}{hA_s} \quad (8)$$

$$R_{rad} = \frac{1}{h_{rad}A_s} \quad (9)$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

en la ecuación 10 muestra el coeficiente de radiación para el cálculo de la resistencia térmica por radiación.

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_{alred}^2) (T_s + T_{alred}) \quad (10)$$

En las resistencias térmicas, se puede realizar red de resistencias térmicas, esto tiene mucha similitud con la resistencia eléctrica, por lo cual los circuitos de redes de resistencias térmicas se pueden resolver de igual forma que los circuitos eléctricos (Holman, 1998).

1.2 Nanopartículas de óxido de grafeno

Una nanopartícula es una partícula microscópica con por lo menos una dimensión menor a 100 nm ("Nanopartículas - EcuRed", 2017). El óxido de grafeno (GO) es una lámina de grafeno funcionalizado con diferentes grupos oxigenados, que se puede emplear como precursor de grafeno o como un material grafénico en sí mismo. Es aislante, higroscópico, con alto contenido de hidrogeno y muy hidrofílico (Garcia Martinez, 2013).

La síntesis del óxido de grafeno se suele llevar a cabo partiendo del grafito y sometiéndolo a una oxidación con agentes químicos en medio ácido para obtener así el óxido de grafito, el cual posteriormente se exfolia. En la Ilustración 1. Síntesis del óxido de grafeno (Garcia Martinez, 2013) podemos observar el proceso de síntesis del óxido de grafeno.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

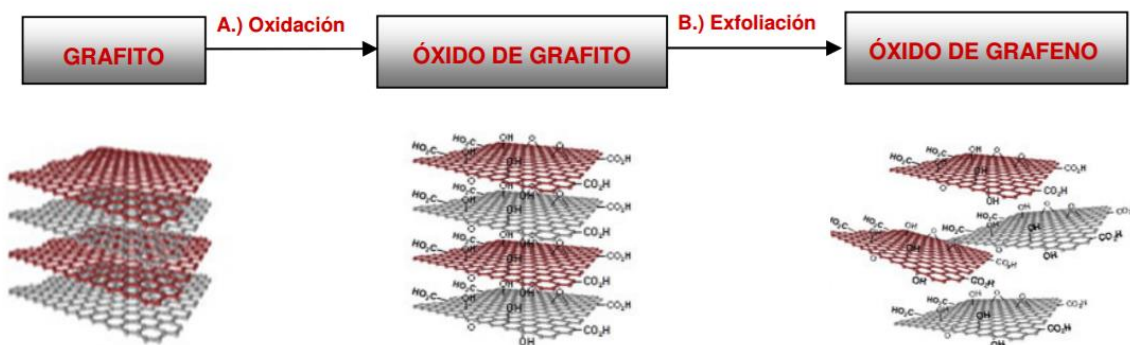


Ilustración 1. Síntesis del óxido de grafeno (Garcia Martinez, 2013)

2.2.1 Oxidación del grafito

Existen diversos métodos para llevar a cabo la oxidación del grafito, uno de los métodos más usados hoy en día es el método Hummers, el cual fue desarrollado en el año de 1985 por Hummer y Offeman, este método consiste en hacer reaccionar el grafito con una mezcla de permanganato de potasio (KMnO_4), nitrato sódico (NaNO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Aunque el (KMnO_4) es un oxidante ampliamente utilizado, la especie reactiva es en realidad el óxido de manganeso (Mn_2O_7), el cual se forma al reaccionar con el (KMnO_4) y con el (H_2SO_4) (Garcia Martinez, 2013).

2.2.2 Exfoliación del óxido de grafeno

El óxido de grafito, al igual que el óxido de grafeno es higroscópico e hidrofílico, por lo que las moléculas de agua se pueden intercalar en sus laminas, pudiendo aumentar en función de la humedad la distancia entre ellas, de forma reversible, de 6 a 12 Å. Los grupos funcionales del grafito aumenta la distancia interlaminar, lo que hace que disminuyan las fuerzas de Van der Waals, de tal forma que las capas se separen al aplicar ultrasonidos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Además, estos grupos funcionales aumentan el carácter hidrofílico de las láminas separadas y provocan fuerzas de atracción y repulsión electrostática que hacen que las suspensiones de óxido de grafeno sean estables. Debido a esto para obtener el óxido de grafeno de una forma simple, se puede someter a ultrasonidos en agua o un disolvente adecuado, otra forma de realizar la deslaminación es agitar mecánicamente la mezcla (Garcia Martinez, 2013).

2.3 Nanofluidos

Los nanofluidos son una suspensión coloidal de nanopartículas en un fluido base, el concepto de nanofluido fue introducido por Stephen U.S. Choi, en Argonne National laboratory, Estados Unidos, en el año de 1995. Desde entonces se han realizado numerosos estudios entorno a los nanofluidos, esto con el fin de conocer más a fondo sus propiedades físicas y químicas (Devendiran & Amirtham, 2016).

Unas de las propiedades físicas más estudiadas de los nanofluidos es su capacidad de transferir calor. También, un aspecto a tener en cuenta al momento de preparar nanofluidos es la estabilidad de las nanopartículas en el fluido base, ya que estas determinan en gran parte la utilidad del nanofluido. Un nanofluido estable y con buena conductividad térmica podría ser usado para mejorar sistemas de transferencia de calor haciéndolos más eficientes. Hoy en día, una gran cantidad de nanopartículas son empleadas para la preparación de nanofluidos, entre las que se encuentran las nanopartículas de óxidos metálicos, materiales carbonosos, materiales metálicos, entre otras (Sharma & Mital, 2016).

La conductividad térmica es una propiedad que hay que tener en cuenta a la hora de preparar nanofluidos, ya que esta es la medida de la capacidad que tiene un material o medio para conducir calor Çengel y Ghajar, (2011). Existen diversas maneras de medir la conductividad térmica. Por ejemplo, Hajjar, Rashidi, y Ghozatloo, (2014), en su estudio

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

experimental, utilizaron un analizador de propiedades térmicas KD2 Pro, para este caso se prepararon nanofluidos con óxido de grafeno a diferentes concentraciones en peso (0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25%) y observaron que los nanofluidos de óxido de grafeno mejoran la conductividad térmica del fluido base. Para este estudio los nanofluidos preparados con concentraciones en peso de nanopartículas del 0,05%, mostraron un aumento del 14,75% con respecto al fluido base, en este caso agua y con una concentración en peso del 0,25%, la conductividad térmica aumenta hasta un 47,57%. Autores como Ma et al. , (2013), Park y Kim, (2014) también ratifican que la conductividad térmica mejora con la adición de nanopartículas a el fluido base. Además, estos autores también analizan el efecto que tiene la temperatura en la conductividad térmica y observaron que con el incremento de la temperatura la conductividad térmica también aumenta.

La estabilidad también es un factor importante a la hora de utilizar nanofluidos en un sistema térmico debido a que esta nos dice que sus propiedades no van a cambiar en un tiempo determinado. Ma et al. (2013) obtuvieron nanofluidos de grafeno estables, funcionalizado con grupos carboxilo suspendido en aceite de silicona a diferentes concentraciones. También se han utilizado otras técnicas para determinar la estabilidad de los nanofluidos de grafeno, tales como el análisis de potencial Zeta, el método de sedimentación, espectroscopia UV-vis, microscopía electrónica de barrido (SEM). En los estudios de los autores Ahammed et al. (2016) y Esfahani et al. (2016) los cuales analizaron el potencial Zeta para determinar la estabilidad de los nanofluidos, ya que el potencial Zeta es una medida de la magnitud de la repulsión o atracción electrostática (o de carga) entre las nanopartículas, su medición aporta información detallada de las causas de la dispersión, agregación o floculación. Ahammed et al. (2016), utilizaron como tensoactivo el SDBS para mejorar la suspensión de las nanopartículas de grafeno en el fluido base. Otra técnica utilizada para determinar la estabilidad de los nanofluidos es la técnica de imagen por microscopía electrónica de barrido (SEM), técnica que empleó Park y Kim (2014) para determinar la estabilidad de dos tipos de grafeno M-5 y M-15 y sus respectivos óxidos, se observó que las nanopartículas de óxidos de grafeno tienen mejor estabilidad que las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

nanopartículas de grafeno M-5 y M-15 debido a que estas tienden a sedimentarse en menor tiempo, ya que poseen características hidrófobas.

En general se observó que las nanopartículas de grafeno tienen buena estabilidad, pero esta depende de factores en la preparación el tiempo de ultrasonido y el tipo de ultrasonido, así mismo, la clase de nanopartículas de grafeno y el uso surfactante. Sin embargo, todavía no es claro que metodología, paso, o procesos de preparación se deben realizar para garantizar una suspensión estable de nanopartículas de grafeno en un fluido base. (Park & Kim, 2014); (Esfahani, Languri, & Nunna, 2016), (Ahammed, Asirvatham, Titus, Bose, y Wongwises, 2016).

La concentración es otro factor a tener en cuenta al momento de preparar nanofluidos, ya que esta es la relación que hay entre cantidad de nanopartículas utilizadas y la cantidad de fluido base. Esfahani et al. (2016), encontraron que el aumentar la concentración en peso de óxido de grafeno de 0,01 % a 0,1 %, da como resultado una mejora de la conductividad térmica 8,7% y 18,9% a 25 ° C, respectivamente. Sin embargo, al aumentar la concentración en peso a 0,5%, aumentó la conductividad térmica tan solo un 19,9% con respecto al fluido base. Este comportamiento muestra que hay una concentración óptima de nanopartículas de óxido de grafeno para mejorar la conductividad térmica del fluido base.

2.4 Nanofluidos de óxido de grafeno

Los nanofluidos de óxido de grafeno son una suspensión coloidal de nanopartículas de óxido de grafeno en un fluido base. Lo que se busca con la adición de partículas de óxido de grafeno a un fluido base es mejorar las propiedades termofísicas de este, como por ejemplo la conductividad térmica. Hajjar, Rashidi, y Ghizatloo, (2014), en su estudio experimental, prepararon nanofluidos de óxido de grafeno a diferentes concentraciones en peso (0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25%) con el fin de analizar la conductividad térmica, observaron que los nanofluidos de óxido de grafeno mejoran la conductividad térmica del fluido base. Para este

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estudio los nanofluidos preparados con concentraciones en peso de nanopartículas del 0,05%, mostraron un aumento del 14,75% con respecto al fluido base, en este caso agua y con una concentración en peso del 0,25%, la conductividad térmica aumenta hasta un 47,57%.

Amiri et al. (2015), utilizaron nanopartículas de grafeno con SDBS para sintetizar nanofluidos de grafeno no covalentes, y para preparar nanofluidos de grafeno covalentes realizaron una mezcla de HNO₃ y H₂SO₄ con las nanopartículas de grafeno, estos nanofluidos fueron utilizados en un termosifón para analizar su rendimiento térmico, observaron que el rendimiento de los nanofluidos de grafeno covalentes muestran mejor rendimiento, en comparación con los nanofluidos de grafeno no covalente utilizados a las mismas condiciones, Los resultados también muestran que la adición de nanopartículas de grafeno con SDBS al agua desionizada aumenta la caída de presión y la viscosidad en la operación del termosifón, más que los nanofluidos preparados de nanopartículas de grafeno con HNO₃ y H₂SO₄ en agua desionizada. En resumen, observaron que la funcionalización covalente bajo radiación de microondas es rápida y rentable, además mejora rendimiento térmico del termosifón.

Se han utilizado nanopartículas de grafeno en acetona como fluidos de trabajo en termosifones, como lo es de caso de los investigadores Asirvatham, Wongwises, y Babu, (2016), quienes en sus estudios sobre el rendimiento de la transferencia de calor de un termosifón de vidrio utilizando como fluido de trabajo nanofluidos de acetona y grafeno, observaron que el uso de nanopartículas de grafeno en bajas concentraciones disminuye la resistencia térmica del termosifón en un 70.3%, además se dio un aumento del 37.3% de la conductividad térmica efectiva. Por tanto, los investigadores Asirvatham, Wongwises, y Babu, concluyeron que añadir pequeñas cantidades de nanopartículas de grafeno mejoran el rendimiento térmico de un termosifón.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5 Caracterización de nanofluidos

Existen diversos métodos para caracterizar nanofluidos, a continuación, se presentan las técnicas más empleadas para realizar esta caracterización.

2.5.1 Espectroscopía infrarroja

La espectroscopía infrarroja permite la identificación de grupos funcionales presentes en un compuesto en base a la excitación de modos normales de vibración característicos de dichos grupos y que se produce como consecuencia de la absorción de radiación electromagnética de frecuencias definidas dentro del rango infrarrojo. En particular, los modos vibracionales detectables mediante espectroscopía infrarroja son aquellos asociados a cambios en el momento dipolar de la molécula o compuesto (Fernández-Merino, 2013).

2.5.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopía electrónica de barrido, conocido por sus siglas inglesas SEM, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes. Por medio del SEM es posible conocer las características más

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

detalladas de un material: su estructura cristalina, porosidad, morfología superficial y hasta su composición química (Clavijo, 2013).

2.5.3 Espectroscopía absorción ultravioleta-visible (UV-vis).

La espectroscopía UV-Vis está basada en el proceso de absorción de la radiación ultravioleta-visible (radiación con longitud de onda comprendida entre los 160 y 780 nm) por una molécula. La absorción de esta radiación causa la promoción de un electrón a un estado excitado. Los electrones que se excitan al absorber radiación de esta frecuencia son los electrones de enlace de las moléculas, por lo que los picos de absorción se pueden correlacionar con los distintos tipos de enlace presentes en el compuesto. Debido a ello, la espectroscopía UV-Vis se utiliza para la identificación de los grupos funcionales presentes en una molécula. Las bandas que aparecen en un espectro UV-Vis son anchas debido a la superposición de transiciones vibracionales y electrónicas ("ESPECTROSCOPÍA ULTRAVIOLETA VISIBLE. Servicios Técnicos de Investigación", 2017).

La absorbancia A de una solución se define mediante la ecuación:

$$A = -\text{Log } T = \text{Log } \frac{I_0}{I} \quad (11)$$

Donde T: transmitancia, I_0 : radiación incidente inicial, I: radiación incidente final (C Brunatti L & A Martín, 2010).

2.5.4 Dispersión dinámica de luz (DLS)

La técnica de dispersión dinámica de luz (DLS) se basa en la medición de las fluctuaciones dependientes del tiempo en la intensidad de la luz dispersada por partículas bajo movimiento browniano aleatorio (Kaszuba et al., 2008). En la práctica, la medición de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tamaño de partícula de polvos nanométricos requiere la dispersión de estos en un solvente apropiado, lo que normalmente se logra con el uso de surfactantes específicos. Los instrumentos actuales de dispersión dinámica de luz (DLS) pueden determinar la distribución de tamaño de partícula de una muestra en el rango de valores desde 0.1 nm hasta decenas de μm (Beltran, Maribel; Marcilla, 2010).

2.5.5 Análisis termo gravimétrico (TGA)

Las técnicas de análisis termo gravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC), en su conjunto, son herramientas de gran ayuda en la caracterización de materiales mediante el estudio de la respuesta de éstos, a los cambios de temperatura. El análisis termo gravimétrico (TG) revela los cambios posibles de masa que tienen lugar en una muestra que es calentada de manera programada, lo que dependiendo del material puede asociarse a procesos de deshidratación, descarboxilación y deshidroxilación entre otros. Por su parte, la calorimetría diferencial de barrido (DSC) mide la energía por unidad de tiempo, necesaria para que se lleven a cabo procesos endotérmicos y exotérmicos en un material cuya temperatura se mantiene controlada respecto a la de otro material de referencia. Los procesos endotérmicos y exotérmicos son importantes ya que estos suelen estar asociados a transiciones de fase, es así como, en la fusión de un sólido se absorbe calor ya que la energía térmica, en este caso, es usada para promover el cambio de fase (Beltran, Maribel; Marcilla, 2010).

2.5.6 Potencial Zeta

El potencial Zeta es el potencial eléctrico que existe en el plano de corte de la partícula, con una distancia corta de la superficie.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las partículas coloidales dispersas en una solución están cargadas eléctricamente gracias a sus características iónicas y características de bipolaridad. El desarrollo de una red de carga eléctrica en la superficie de la partícula puede afectar la distribución de iones en una región interfacial vecina, y provocar un aumento de la concentración de iones contados (iones de carga contraria a las partículas) cerca de la superficie.

Cada partícula dispersa en una solución se rodea de iones cargados con carga opuesta que se denomina capa fija. Fuera de esta capa fija, existen distintas composiciones de iones de polaridad opuesta, formando un área nebulosa. De esta manera se crea una capa doble eléctrica en la región de interfase partícula- líquido ("Potencial Zeta - Lenntech", 2017).

Es una medida de la estabilidad de una partícula e indica el potencial que se requiere para penetrar la capa de iones circundante en la partícula para desestabilizarla. Por lo tanto, el potencial Zeta es la potencia electrostática que existe entre la separación de las capas que rodean a la partícula (Yoval, Palacios, & Soberanis, 2013).

El potencial Zeta es determinado por la naturaleza de la superficie de la partícula y el medio de dispersión. El pH es a menudo un parámetro importante, Ilustración 2 muestra una acción típica del efecto del pH. El punto de intercesión a determinado pH cuando la carga es cero se le conoce como punto isoeléctrico (Marketizer.com, 2017).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

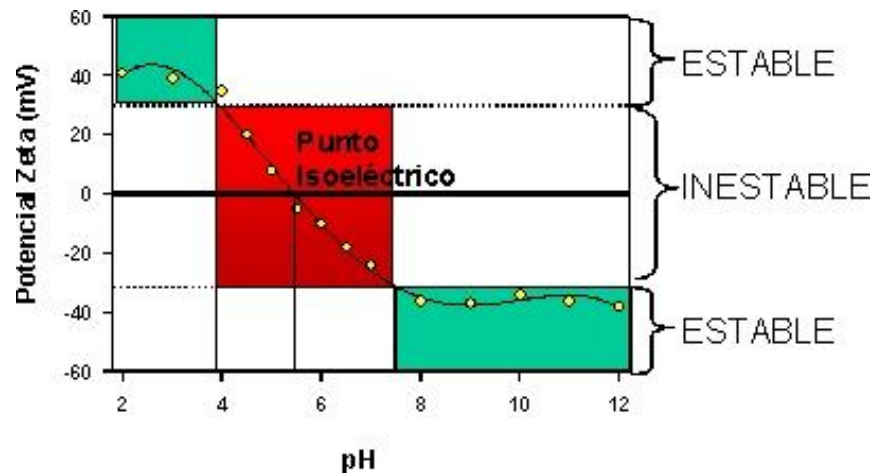


Ilustración 2. Punto isoeléctrico (Potencial Z, 2017).

2.6 Termosifones

Los Tubos Termosifones bifásicos y los tubos de calor, en inglés “Heat Pipes”, son dispositivos relativamente de simple construcción, individualmente se consideran como un sistema cerrado que contiene un fluido en su interior, él puede cambiar de fase (evaporación y condensación) por efecto de intercambio de calor. Estos termosifones aprovechan los cambios de fase de un fluido para transportar calor de un proceso a otro de una manera eficiente. Básicamente los termosifones están divididos en 3 partes: evaporador, condensador y zona adiabática.

Son dispositivos de forma tubular en los cuales se deposita una cantidad de un fluido de trabajo y luego se sellan extrayendo el aire interior, de tal manera que la presión de vapor del fluido dentro del tubo sea mayor que cuando existe una atmosfera alrededor. Al realizar esta adaptación, se consigue que el fluido pueda evaporarse a una temperatura mucho menor a la que lo hace normalmente a la presión atmosférica. El ciclo de operación del termosifón empieza cuando el extremo inferior del tubo se calienta, haciendo que el fluido se evapore. El vapor generado se traslada hacia la parte superior del tubo, donde el

intercambio de calor con los alrededores hace que este vapor se condense y regrese por acción de la gravedad a la parte inferior, donde nuevamente empieza el ciclo con la evaporación. Por tanto, como la acción de retorno del fluido de trabajo del condensador al evaporador es por medio de la gravedad, los termosifones solo se pueden ubicar de manera tal que una de sus componentes permita que por medio de la fuerza gravitacional retorne el fluido de trabajo al evaporador, es decir, los termosifones deben de operar en forma vertical o en ángulos que permitan dicho proceso.

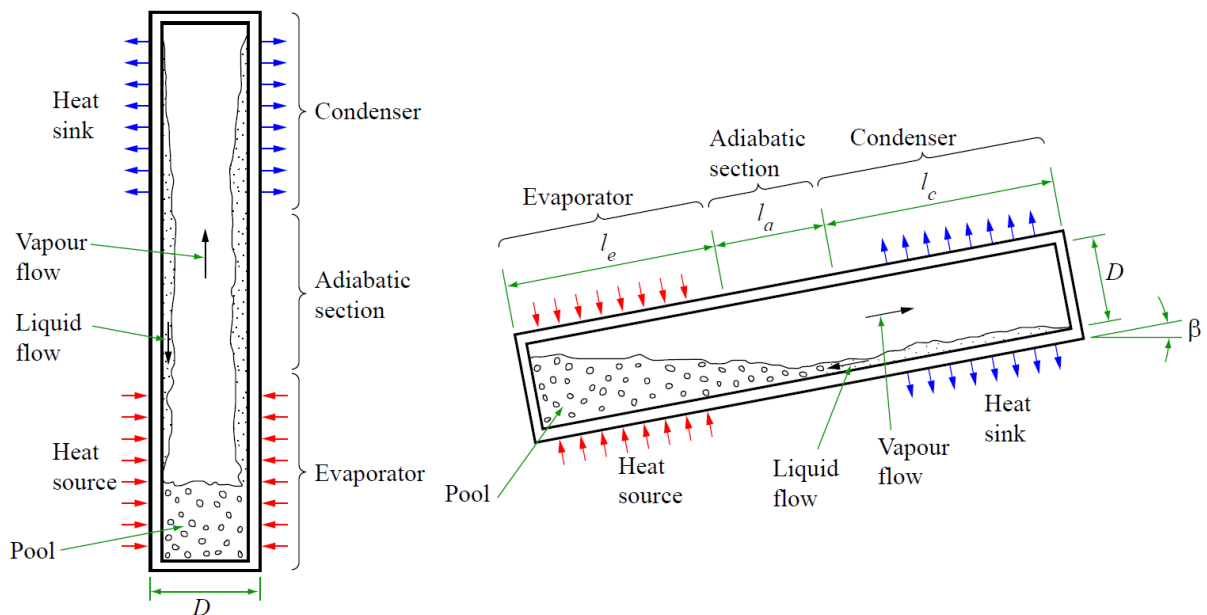


Ilustración 3. principio de operación termosifones (ESDU, 1983).

2.6.1 Fluidos de trabajo de los termosifones

Un elemento fundamental para la transferencia de calor en termosifón es el fluido que transporta la energía por medio de cambios de fase desde el evaporador hasta el condensador y viceversa. Dependiendo del rango de temperatura en el que operara el

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

termosifón, se debe seleccionar un fluido de trabajo que opere aproximadamente en estos límites.

Tabla 1. Rangos útiles de temperaturas de trabajo (Reay et al., 2014).

FLUIDO DE TRABAJO	RANGO ÚTIL DE TEMPERATURA (°C)
ACETONA	0-120
METANOL	10-130
ETANOL	0-130
AGUA	30-200
MERCURIO	250-650
SODIO	600-1200

2.7 Termosifones con nanofluidos de óxido de grafeno

Los nanofluidos son empleados en sistemas de intercambio de calor, esto se hace con el fin de mejorar la eficiencia de dichos dispositivos o sistemas. El fluido de trabajo de los termosifones es de suma importancia durante la operación del termosifón, debido a esto investigadores han utilizado en termosifones nanofluidos con el fin de mejorar las capacidades de transferencia de calor de estos dispositivos.

Amiri et al. , (2015), utilizaron nanopartículas de grafeno con SDBS para sintetizar nanofluidos de grafeno no covalentes, y para preparar nanofluidos de grafeno covalentes realizaron una mezcla de HNO_3 y H_2SO_4 con las nanopartículas de grafeno, estos nanofluidos fueron utilizados en un termosifón para analizar su rendimiento térmico, observaron que el rendimiento de los nanofluidos de grafeno covalentes muestran mejor rendimiento, en comparación con los nanofluidos de grafeno no covalente utilizados a las mismas condiciones, Los resultados también muestran que la adición de nanopartículas de grafeno con SDBS al agua desionizada aumenta la caída de presión y la viscosidad en la operación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

del termosifón, más que los nanofluidos preparados de nanopartículas de grafeno con HNO_3 y H_2SO_4 en agua desionizada. En resumen, observaron que la funcionalización covalente bajo radiación de microondas es rápida y rentable, además mejora rendimiento térmico del termosifón.

Se han utilizado nanopartículas de grafeno en acetona como fluidos de trabajo en termosifones, como lo es de caso de los investigadores Asirvatham, Wongwises, y Babu, (2016), quienes en sus estudios sobre el rendimiento de la transferencia de calor de un termosifón de vidrio utilizando como fluido de trabajo nanofluidos de acetona y grafeno, observaron que el uso de nanopartículas de grafeno en bajas concentraciones disminuye la resistencia térmica del termosifón en un 70.3%, además se dio un aumento del 37.3% de la conductividad térmica efectiva. Por tanto, los investigadores Asirvatham, Wongwises, y Babu, concluyeron que añadir pequeñas cantidades de nanopartículas de grafeno mejoran el rendimiento termico de un termosifon.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en el laboratorio de energía térmica del Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM). Se prepararon nanofluidos de óxido de grafeno utilizando el método de dos pasos a diferentes concentraciones, las nanopartículas de óxido de grafeno fueron sintetizadas en el laboratorio de energía térmica del ITM por el grupo de investigación materiales avanzados y energía (MATyER). También se utilizó un termosifón, en el cual se realizarán las experimentaciones con nanofluidos preparados. Todos los recursos utilizados fueron aportados por el grupo de investigación Materiales Avanzados y Energía (MATyER).

3.1 Preparación de nanofluidos de óxido de grafeno

Los nanofluidos de óxido de grafeno se prepararon utilizando el método de dos pasos. Este método consiste en dispersar las nanopartículas de óxido de grafeno en el fluido base por medio de un equipo de ultrasonidos. se usó un equipo de ultrasonido Qsonica Q500 (20 kHz, Qsonica LLC, USA). Se realizó una revisión de la literatura para determinarlas concentraciones más usadas en la preparación de nanofluidos de óxido de grafeno, se observó que estas concentraciones son del 0.05 y 0.1 % p/p, (Esfahani, Languri, & Nunna, 2016; Fan et al., 2015; Ghozatloo, Shariaty-Niasar, & Rashidi, 2013; Hajjar, Rashidi, & Ghozatloo, 2014; Liu et al., 2014; Martin-Gallego et al., 2011; Mehrali et al., 2014; Mohd Zubir et al., 2015) además al aumentar la concentración, las nanopartículas tienden a aglomerarse con mayor facilidad debido a que hay mayor probabilidad de colisión entre partículas ocasionadas por el movimiento browniano (Sharma & Mital, 2016), (Spectroscopy, 1985). Finalmente, teniendo en cuenta los criterios anteriores, las concentraciones utilizadas en la preparación de los nanofluidos de óxido de grafeno fueron 0,05 y 0,1 % p/p.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para pesar las nanopartículas y el surfactante, se utilizó una balanza Precisa Gravimetrics EP225SM-DR (Precisa, Switzerland). Con el volumen del fluido base y la cantidad de nanopartículas definido, se determinó la concentración de los nanofluidos preparados. El tiempo de ultrasonido fue determinante a la hora de preparar los nanofluidos, ya que este afecta directamente la estabilidad de las nanopartículas en el fluido base. Previo a la preparación de los nanofluidos de óxido de grafeno se realizaron pruebas de amplitud, potencia y tiempo de ultrasonido, esto con el fin de determinar los parámetros de operación óptimos para la dispersión de las nanopartículas de óxido de grafeno por medio de ultrasonido, mediante estas pruebas preliminares, se determinaron tiempos de ultrasonido de 20 minutos con pulsos interrumpidos 1 segundos ON y 2 segundos OFF, esto con el fin de evitar la erosión de la punta de la sonda de ultrasonido y posterior la contaminación de la muestra por dichas partículas erosionadas. Durante el proceso de ultrasonido el beaker con el nanofluido fue sumergido en agua para simular un sumidero de calor, con el fin de evitar sobrecalentamiento del nanofluido durante la preparación y evaporación de la muestra. Debido a la naturaleza hidrofóbica de las nanopartículas de óxido de grafeno (GO), se utilizó dodecilsulfonato de sodio (SDBS) para mejorar la suspensión de las nanopartículas de óxido de grafeno en el fluido base. La suspensión coloidal se preparó en 20 mL de agua desionizada tipo 1 con una conductividad eléctrica de $0.5 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ y una resistividad de $18,2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$. para disolver el SDBS en el agua desionizada se utilizó agitación magnética a través de un agitador magnético con calentamiento Modelo PC420D Corning a 1000 RPM y durante 10 minutos.

A continuación, en la Tabla 2 se definen las concentraciones de nanofluidos preparados.

Tabla 2. concentraciones de los nanofluidos preparados

PREPARACIONES		CONCENTRACIÓN NANOPARTICULAS
		[%P/P]
NF1	GO funcionalizado con SDBS	0,05
NF2	GO funcionalizado con SDBS	0,1

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

NF3	GO funcionalizado	0,05
NF4	GO con SDBS	0,05
NF5	GO con SDBS	0,1

3.2 Determinación de la conductividad térmica

Para determinar la conductividad térmica del nanofluido, se utilizó un medidor de fuente de línea transitoria KD2 Pro, DECAGON Devices, Inc. La conductividad térmica de los nanofluidos de GO fueron medidas justo después de la preparación de estos. Con el fin de evitar errores durante esta medición, la temperatura del nanofluido se controló entre valores próximos a 25°C, para ello se utilizó un baño termoestático LAUDA ALPHA RA 24. Se realizaron 3 mediciones a cada nanofluido preparado con el fin de determinar la dispersión de los resultados. Para determinar el porcentaje de aumento de conductividad térmica de los nanofluidos preparados, se evaluó la conductividad térmica del agua desionizada utilizada como fluido base en la preparación de los nanofluidos.

3.3 Evaluación de la estabilidad de los nanofluidos

Se evaluó la estabilidad de los nanofluidos de óxido de grafeno, ya que, esta determina en gran parte la utilidad de los nanofluidos en un sistema de intercambio de calor. Para evaluar la estabilidad se utilizaron los siguientes métodos:

3.3.1 Potencial Zeta

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se realizaron mediciones de potencial Zeta a los nanofluidos de óxido de grafeno preparados, para determinar el potencial Zeta de los nanofluidos de óxido de grafeno preparados se utilizó un analizador de tamaño de partícula y potencial Zeta NanoPlus HD de Particulate Systems.

3.3.2 Espectrofotometría de absorción molecular UV-Vis

Esta técnica se basa en la medición de absorción de radiación ultravioleta (U.V) o visible por determinadas moléculas. Las radiaciones correspondientes a estas regiones del espectro electromagnético provocan transiciones electrónicas a longitudes de ondas características de la estructura molecular de un compuesto. Para el análisis de absorbancia de los nanofluidos de óxido de grafeno se utilizó un Sistema de Espectroscopía UV-visible Agilent 8453 de Agilent technologies. Autores reportan que para el óxido de grafeno el pico de absorbancia característico puede estar ubicado entre los 230 nm a 360 nm (Garcia Martinez, 2013), (Hajjar et al., 2014). La absorbancia de los nanofluidos preparados fue medida a una longitud de onda de 315 nm, ya que experimentalmente por medio de diluciones se observó que a esa longitud de onda se encuentra el pico de absorbancia característico de las nanopartículas de óxido de grafeno utilizadas.

3.3.3 Inspección visual

Se capturaron fotografías de los nanofluidos de óxido de grafeno preparados, esto con el fin de tener una concepción visual de la sedimentación de las nanopartículas de óxido de grafeno en el fluido base durante el tiempo. Lo que se realizó fue un análisis de las fotografías tomadas al nanofluido justo después de la preparación y se compara con las

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

tomadas posterior a esta. Se capturaron fotografías de los nanofluidos de óxido de grafeno preparados durante 1 mes.

3.4 Experimentación con el termosifón

Para el desarrollo de las pruebas experimentales en el termosifón, fueron utilizadas las guías sobre tubos de calor- desempeño de termosifones cerrados de dos fases (*Heat pipes – performance of two-phase closed thermosyphons*), elaboradas por Engineering Sciences Data Unit.(ESDU, 1983). El termosifón inicialmente operó con agua desionizada como fluido de trabajo, el volumen de llenado del fluido de trabajo fue de un 60% del evaporador. Se utilizaron 3 potencias de calor de entrada 40, 60, 80 W, además, se usó agua de refrigeración que provenía de un baño termostático en la sección del condensador, el cual fue ajustado a 9°C a un flujo másico de aproximadamente 83 g/min.

El rendimiento térmico del termosifón operando con nanofluidos de óxido de grafeno, se comparó con el obtenido con agua desionizada. El termosifón que fue utilizado en esta evaluación experimental está construido de vidrio y tiene las dimensiones mostradas en la tabla 3, con él se logró observar la fenomenología del proceso en el interior del termosifón. El flujo de calor de entrada en el termosifón fue controlado a través de un equipo de medición de flujo por Coriolis SITRANS FC MASS 6000 Ex d de SIEMENS. Para las pruebas experimentales se evaluó el comportamiento del termosifón durante 80 minutos y 40 minutos adicionales inicialmente para que el termosifón pudiera alcanzar el estado estacionario. El montaje experimental utilizado se esquematizo en la Ilustración 4. Diagrama montaje experimental termosifón

En la Tabla 3 y Tabla 4 se describen las secciones y dimensiones del termosifón.

Tabla 3. Secciones termosifón

LONGITUD [mm]	SECCIÓN DEL TUBO
100	Evaporador
100	Adiabática
200	Condensador

Tabla 4. Dimensiones termosifón

Longitud total del tubo [mm]	400
Diámetro interno [mm]	26
Volumen [mm ³]	212371,7
Volumen [mL]	212,4

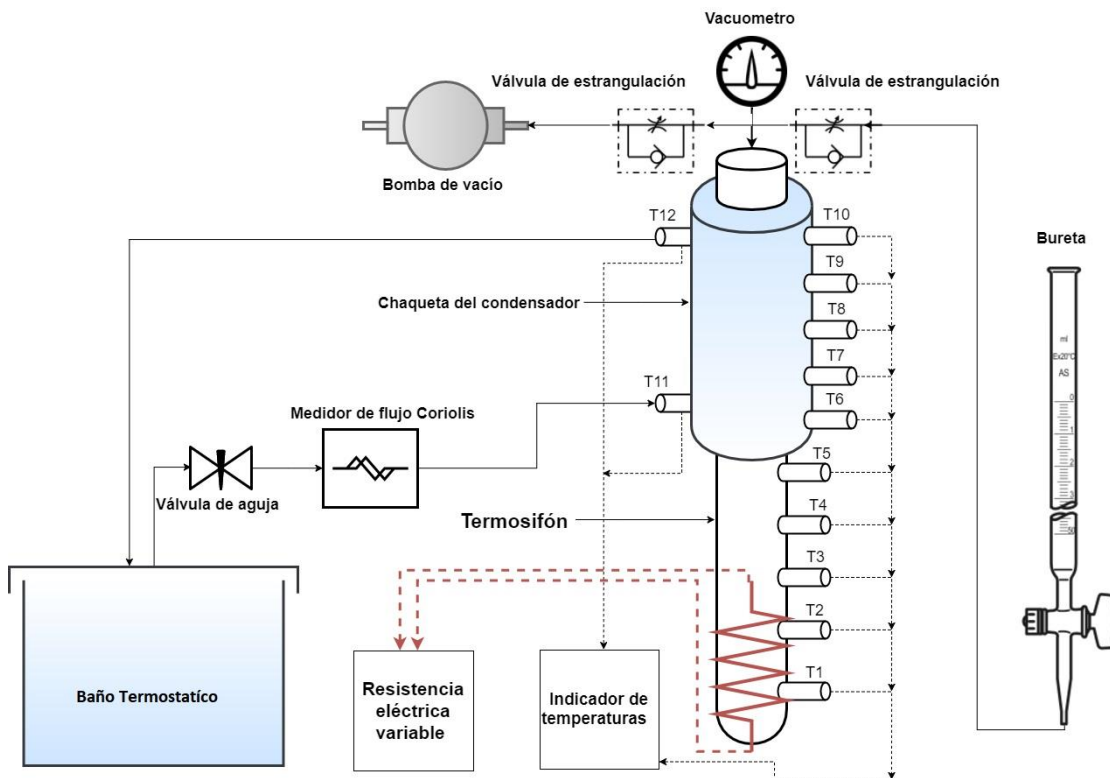


Ilustración 4. Diagrama montaje experimental termosifón

Para realizar el estudio sobre el comportamiento de transferencia de calor del termosifón evaluando así el rendimiento térmico, la resistencia térmica y el coeficiente global de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

transferencia de calor. Para calcular el flujo de calor de salida fue utilizada la ecuación 12, para calcular la eficiencia del termosifón se utilizó la ecuación 13, y para calcular la resistencia térmica total del termosifón fue utilizada la ecuación 14.

$$\dot{Q}_{out} = \dot{m} C_p (T_{in} - T_{out}) \quad (12)$$

El flujo de calor de salida (\dot{Q}_{out}) es aquel que es retirado en la sección de condensación por la chaqueta de recirculación de agua, donde \dot{m} es el flujo másico de agua, C_p es el calor específico del agua a la temperatura de trabajo, T_{in} y T_{out} son la temperatura de entrada y de salida del flujo de agua.

la eficiencia del termosifón (η) es la relación entre el flujo de calor de salida (\dot{Q}_{out}) y el flujo de calor de entrada (\dot{Q}_{in}).

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \quad (13)$$

La resistencia térmica de total del termosifón (R_T) es la relación que hay entre la diferencia de temperatura de la sección del evaporador (\bar{T}_E) y la sección del condensador (\bar{T}_C), con respecto al flujo de calor de entrada.

$$R_T = \frac{\bar{T}_E - \bar{T}_C}{\dot{Q}_{in}} \quad (14)$$

El termosifón cuenta con 10 termocuplas ubicadas en toda su longitud de T_1 a T_{10} , en la sección del evaporador están ubicadas de la T_1 a la T_3 , en la sección adiabática se localizan T_4 y T_5 , en la sección de condensación están de la T_6 a la T_{10} . Por lo cual \bar{T}_E es la suma de la T_1 a la T_3 y \bar{T}_C es la suma de T_6 a la T_{10} (Amiri, Sadri, Shanbedi, Ahmadi, Chew, & Kazi, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Preparación de nanofluidos de óxido de grafeno

Fueron preparados 5 nanofluidos de óxido de grafeno, estos difieren según la concentración de nanopartículas de óxido de grafeno en el fluido base, el tipo de nanopartícula, y si se utilizó o no tensioactivo (SDBS). Para dispersar las nanopartículas en el fluido base se utilizó ultrasonidos durante 20 minutos, Se realizó una revisión de la literatura para determinarlas concentraciones más usadas en la preparación de nanofluidos de óxido de grafeno, se observó que estas concentraciones son del 0.05 y 0.1 % p/p, (Esfahani, Languri, & Nunna, 2016; Fan et al., 2015; Ghozatloo, Shariaty-Niasar, & Rashidi, 2013; Hajjar, Rashidi, & Ghozatloo, 2014; Liu et al., 2014; Martin-Gallego et al., 2011; Mehrali et al., 2014; Mohd Zubir et al., 2015) además al aumentar la concentración, las nanopartículas tienden a aglomerarse con mayor facilidad debido a que hay mayor probabilidad de colisión entre partículas ocasionadas por el movimiento browniano (Sharma & Mital, 2016), (Spectroscopy, 1985). Finalmente, teniendo en cuenta los criterios anteriores, las concentraciones utilizadas en la preparación de los nanofluidos de óxido de grafeno fueron 0,05 y 0,1 % p/p.

Al aumentar las concentraciones de nanopartículas de óxido de grafeno se incrementa al igual la conductividad térmica, sin embargo, para el uso de nanofluidos de óxido de grafeno en un termosifón es necesario tener en cuenta la estabilidad de la dispersión de las nanopartículas en el fluido base en el tiempo, ya que si el nanofluido no es estable las nanopartículas se aglomerarán y posteriormente se sedimentarán provocando que las propiedades termofísicas del nanofluido cambien, el aumentar la concentración del nanofluido favorece la aglomeración y posterior sedimentación de nanopartículas. En comparación con la literatura, se observó similitud con los métodos utilizados para la preparación.

Ghozatloo et al. (2013), quienes en su estudio sobre el mejoramiento convectivo de transferencia de calor de nanofluidos de grafeno en el intercambiador de calor de cáscara y tubo prepararon nanofluidos de óxido de grafeno alcalino en agua a concentraciones del 0.05, 0.75, y 0.1 %p/p, para dispersar las nanopartículas de óxido de grafeno alcalino

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

utilizaron ultrasonido durante 15 min. Hajjar et al. (2014), en su estudio sobre el aumento de la conductividad térmica de nanofluidos de óxido de grafeno utilizaron ultrasonidos para preparar nanofluidos de óxido de grafeno a concentraciones del 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 %p/p. Diferentes investigadores han utilizado concentraciones de 0.05 y 0.1 %p/p para la preparación de nanofluidos que empleen nanopartículas de óxido de grafeno (Esfahani et al., 2016), (Dhar et al., 2013), (Amiri, Sadri, Shanbedi, Ahmadi, Chew, & Kazi, 2015), (Fan et al., 2015), etc.

4.2 Determinación de la conductividad térmica

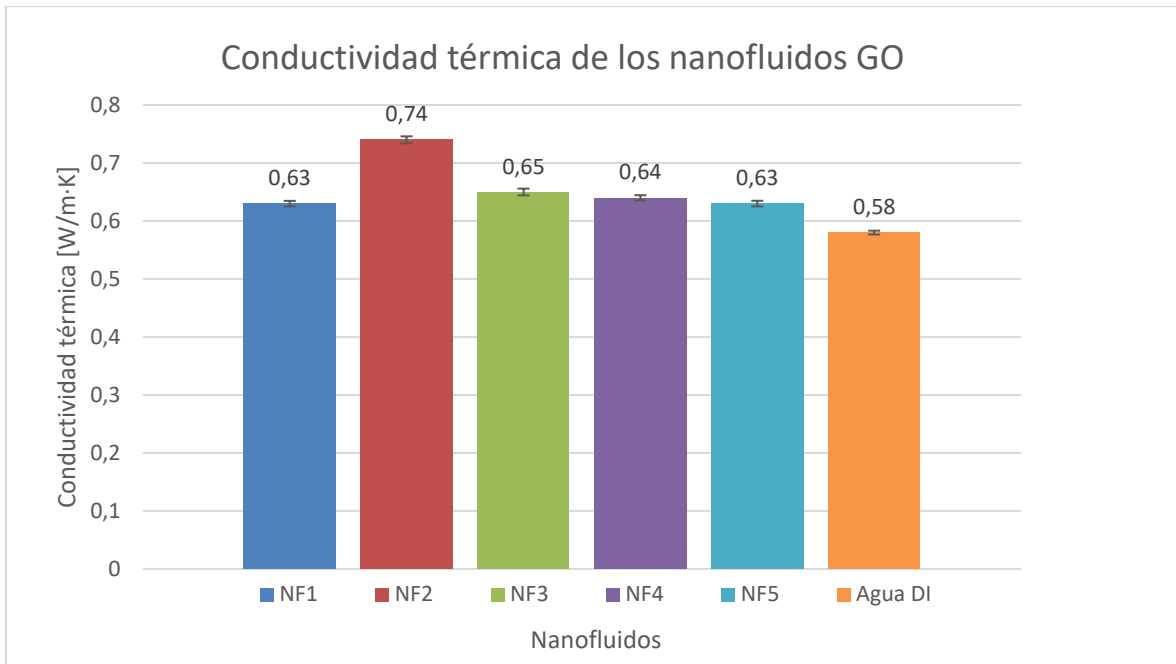
Se determinó la conductividad térmica de los 5 nanofluidos preparados, estos se compararon con la conductividad térmica medida del fluido base utilizado (agua desionizada), esto con el fin de conocer el porcentaje de aumento de conductividad térmica, los datos obtenidos se muestran la Tabla 5.

Tabla 5. Conductividad térmica y porcentaje de aumento de los nanofluidos con respecto al fluido base

Nanofluido	conductividad térmica Promedio [W/m·K]	porcentaje promedio de error medida	Porcentaje de aumento de conductividad térmica
NF1	0,63	0,47 %	8,61 %
NF2	0,74	0,60 %	28,11 %
NF3	0,65	0,58 %	11,02 %
NF4	0,64	0,45 %	10,44 %
NF5	0,63	0,49 %	8,49 %
Agua DI	0,58	0,33 %	0,00 %

En la Grafica 1. Conductividad térmica de los nanofluidos de óxido de grafeno preparados se presenta la conductividad térmica de los nanofluidos preparados: NF1 (0.05% p/p, GO funcionalizado con SDBS), NF2 (0.1% p/p, GO funcionalizado con SDBS), NF3 (0.05% p/p, GO

funcionalizado), NF4 (0.05% p/p, GO con SDBS), NF5 (0.1% p/p, GO con SDBS). El porcentaje de aumento de la conductividad térmica con respecto al agua desionizada de los nanofluidos 1, 2, 3, 4 y 5 es de 8.61%, 28.11%, 11.02%, 10.44%, y 8.49% respectivamente. Se observó que al aumentar la concentración de los nanofluidos del 0.05 al 0.1 % p/p, no hay un cambio significativo en la conductividad térmica del nanofluido.



Grafica 1. Conductividad térmica de los nanofluidos de óxido de grafeno preparados

Se observó que el nanofluido 4 el cual es a una concentración del 0.05 %p/p muestra un incremento del 10.44% de la conductividad térmica con respecto al agua desionizada, además a esto este nanofluido muestra menos error asociado a la medición. Se han encontrado similitud en el valor de conductividad térmica determinado experimentalmente en este proyecto en comparación con la literatura desarrollada por investigadores sobre la conductividad térmica de los nanofluidos de grafeno en comparación con el fluido base utilizado. Sadeghinezhad et al., (2016) en su revisión sobre los nanofluidos de grafeno: investigación, desarrollo y aplicaciones recientes, muestra valores de conductividad térmica reportados por algunos autores de nanofluidos de grafeno en concentraciones de 0.05 y 0.1 % p/p, por ejemplo muestra que la conductividad térmica de nanofluidos de grafeno

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

exfoliado con hidrógeno aumenta entre 10 a 75 % con respecto al fluido base (Baby & Ramaprabhu, 2011). Mohd Zubir et al. (2015) en su estudio encontró que la dispersión de nanopartículas de óxido de grafeno reducido en agua desionizada aumento la conductividad térmica ente el 15–17%.

4.3 Evaluación de la estabilidad de los nanofluidos

4.3.1 Potencial Zeta

Se realizó el análisis de potencial Zeta justo después de la preparación de los nanofluidos de óxido de grafeno. En general, se observó que los nanofluidos preparados estaban alejados del punto isoeléctrico, lo cual representa que los nanofluidos preparados son estables. El nanofluido de óxido de grafeno preparado que más alejado esta del punto isoeléctrico es el NF 5 con -39.02 mV, por otra parte, el que más cerca estuvo del punto isoeléctrico fue el NF3 con -15.74 mV. Se considera que una suspensión coloidal es estable si el potencial Zeta es mayor a 30 mV o menor a -30 mV (Kashyap, Mishra, & Behera, 2014). En la Tabla 6 se muestra el potencial Zeta de los nanofluidos preparados.

Tabla 6. Potencial Zeta de los nanofluidos preparados

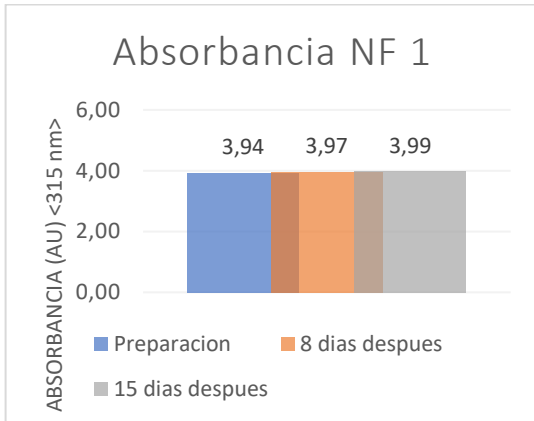
Nanofluido	Potencial Zeta [mV]
NF1	-36.76
NF2	-35.79
NF3	-15.74
NF4	-36.39
NF5	-39.02

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

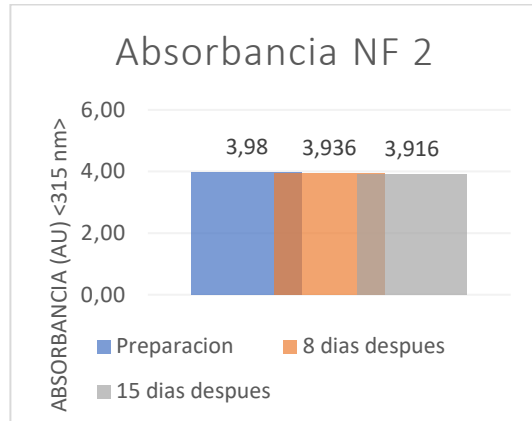
4.3.2 Espectrofotometría de absorción molecular UV-VIS

Aunque esta técnica no es muy usada para determinar la estabilidad de muestras oscuras, se realizaron mediciones de absorbancia a los nanofluidos de óxido de grafeno preparados, para ello se realizaron diluciones de 1 a 10, es decir por cada 1 ml de nanofluido de óxido de grafeno se agregaron 10 ml, esto se realizó con el fin de que la muestra fuera más clara y se pudiera realizar las mediciones. Hajjar et al. (2014), en su estudio aumento de la conductividad térmica de nanofluidos de óxido de grafeno evaluaron la estabilidad de los nanofluidos preparados por espectrofotometría de absorción molecular UV-VIS, para ello realizaron diluciones de las muestras preparadas, observaron por este método que los nanofluidos preparados eran estables durante el tiempo de evaluación.

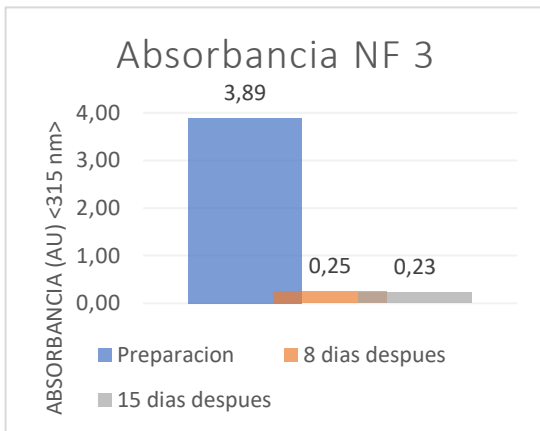
Se midió la absorbancia de los nanofluidos preparados a una longitud de 315 nm durante 15 días, con el fin de analizar la variación de absorbancia en el tiempo ya que la absorbancia está asociada con la dispersión de las nanopartículas en el fluido base. En general, en los nanofluidos 1, 2, 4 y 5 no se observó una variación significativa de la absorbancia durante el tiempo de medición oscilando en valores de 4 a 3.80 en una longitud de onda de 315 nm, por el contrario, en el nanofluido 3 se observó una variación representativa de la absorbancia, pasando de 3.89 en el momento de la preparación a 0.23 después de 15 días de su preparación a una longitud de onda de 315 nm. Lo anterior es coherente con los resultados obtenidos por inspección visual y potencial Zeta, los cuales muestran que el nanofluido 3 tuvo una rápida sedimentación, además de que se observó que el valor de potencial Zeta fue cercano al punto isoeléctrico. A continuación, en la graficas Grafica 2Grafica 3Grafica 4Grafica 5Grafica 6, se describe el comportamiento de la absorbancia en el tiempo de evaluación de los nanofluidos 1, 2, 3, 4, y 5 respectivamente.



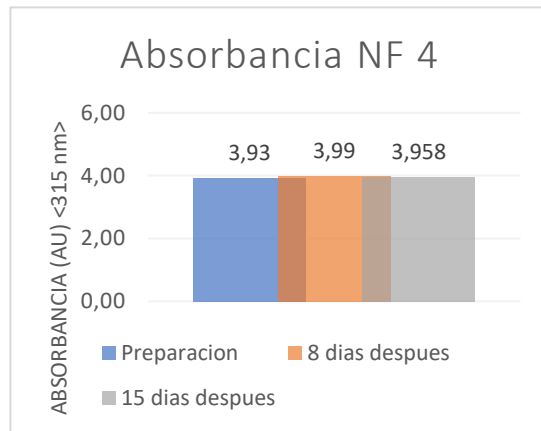
Grafica 2. Absorbancia NF 1



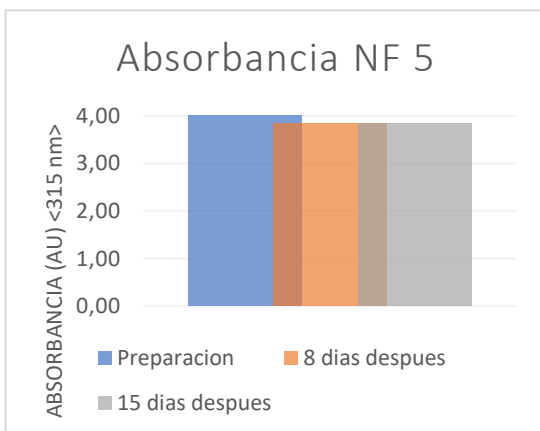
Grafica 3. Absorbancia NF 2



Grafica 4. absorbancia NF 3



Grafica 5. absorbancia NF4



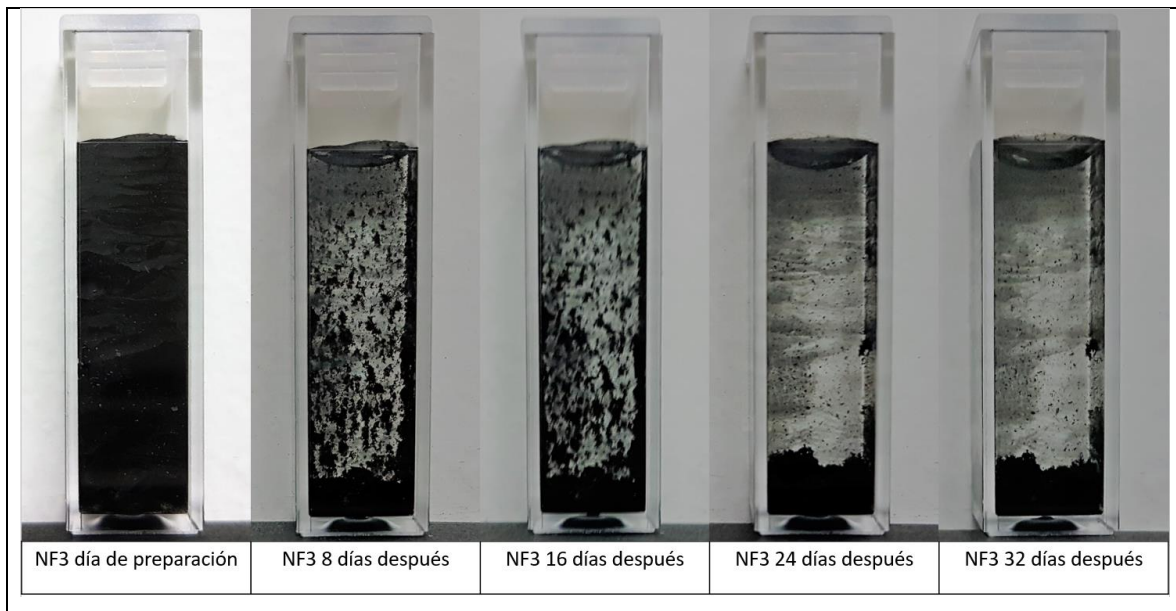
Grafica 6. Absorbancia NF 5

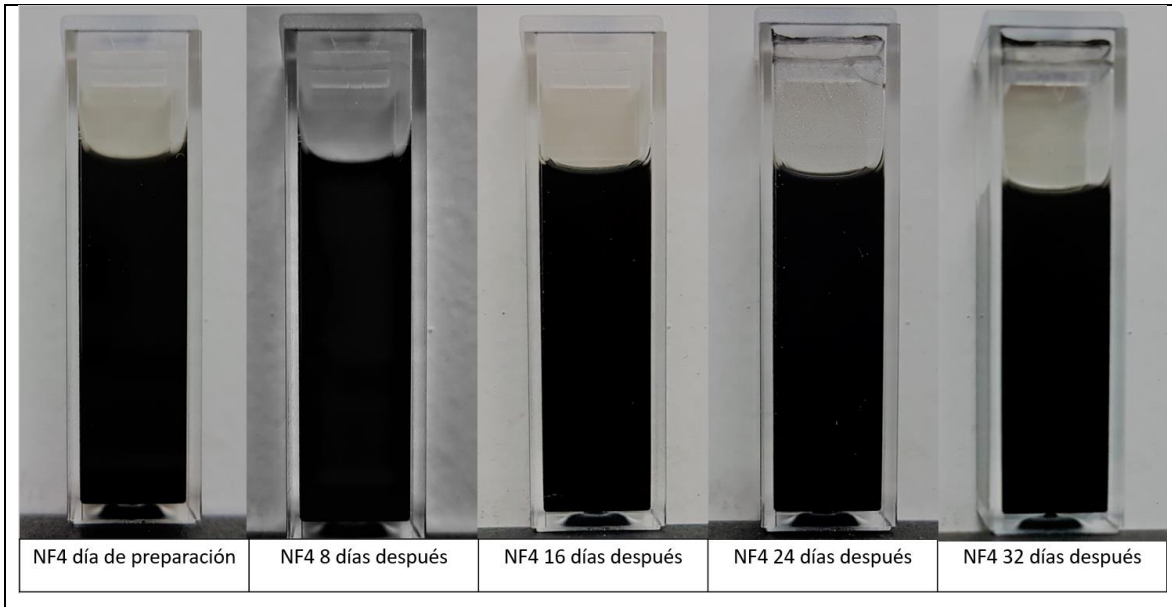
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.3.3 Inspección visual

Por medio de la inspección visual se logró tener una percepción visual de la estabilidad de los nanofluidos. Fueron tomadas fotografías de los nanofluidos preparados durante 1 mes, se observó que visualmente los nanofluidos 1, 2, 4 y 5 fueron estables durante el tiempo de examinación, por lo contrario, el nanofluido 3 el cual fue inestable, mostró visualmente sedimentación en 1 hora después de su preparación. En tabla 5 se muestran una comparación de imágenes tomadas a los nanofluidos 3 y 4 desde el momento de la preparación hasta 32 días después de esta, siendo el nanofluido 4 uno de los que mejor estabilidad mostró y el nanofluido 3 es que peor estabilidad mostró. En estas imágenes se visualiza la variación de la dispersión de nanopartículas de óxido de grafeno en agua desionizada durante el tiempo de evaluación.

Tabla 7. Inspección visual nanofluidos preparados





4.4 Resultados experimentales de las pruebas en el termosifón

Los resultados experimentales en el termosifón se dividen en dos etapas, la primera es la experimentación en el termosifón utilizando como fluido de trabajo el fluido base utilizado para preparar los nanofluidos de óxido de grafeno, es decir, agua desionizada. la segunda es la experimentación en el termosifón utilizando como fluido de trabajo en nanofluido de óxido de grafeno que mejor conductividad térmica mostro, es decir, el NF 4. Preliminarmente se utilizó un porcentaje de llenado del 60% del volumen total del termosifón, sin embargo, durante la experimentación con este porcentaje de llenado utilizando como fluido de trabajo el NF 4 se observó expansión del fluido (Ilustración 5), lo cual produjo la eliminación de la zona adiabática cambiando así el correcto funcionamiento del termosifón, ya que de esta manera se genera una resistencia térmica la cual disminuye la transferencia de calor, además de que la expansión del nanofluido no permite el retorno del fluido de trabajo del condensador al evaporador. Debido a lo mencionado anteriormente, se realizaron pruebas con el termosifón a el 30% de llenado a 40 W de potencia de entrada utilizando como fluido de trabajo el NF4, para las pruebas con agua se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

utilizaron potencias de entrada de 40W, 60W y 80W. Durante las pruebas al 30% de llenado a 40 W que utilizaron como fluido de trabajo el NF4 también se observó expansión del fluido, pero a diferencia de las pruebas realizadas a el 60% de llenado no hubo eliminación de la zona adiabática, el efecto de la expansión del nanofluido se puede atribuir al uso de tensoactivo (SDBS).

Asirvatham et al. (2016) en su estudio sobre el rendimiento térmico de un termosifón de vidrio utilizando nanofluidos de grafeno- acetona, observo que el uso de nanopartículas de grafeno en concentraciones del 0.05, 0.07, 0.09 % p/p en acetona para ser usado como fluido de trabajo para un termosifón reduce la resistencia térmica en un 70.3%. en su estudio utilizaron potencias de entrada entre 10 y 50 W y el porcentaje de llenado en este estudio fue del 100%.

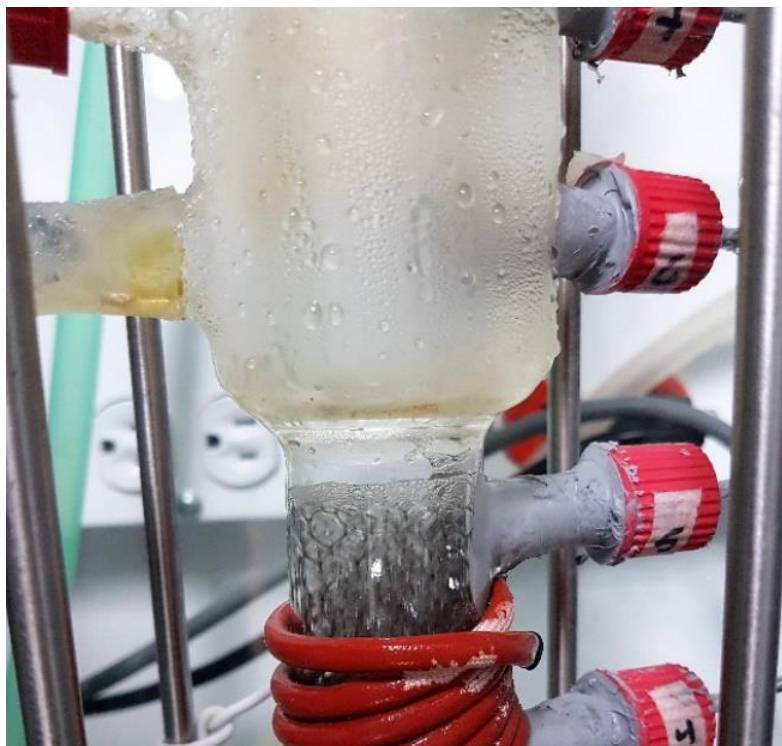
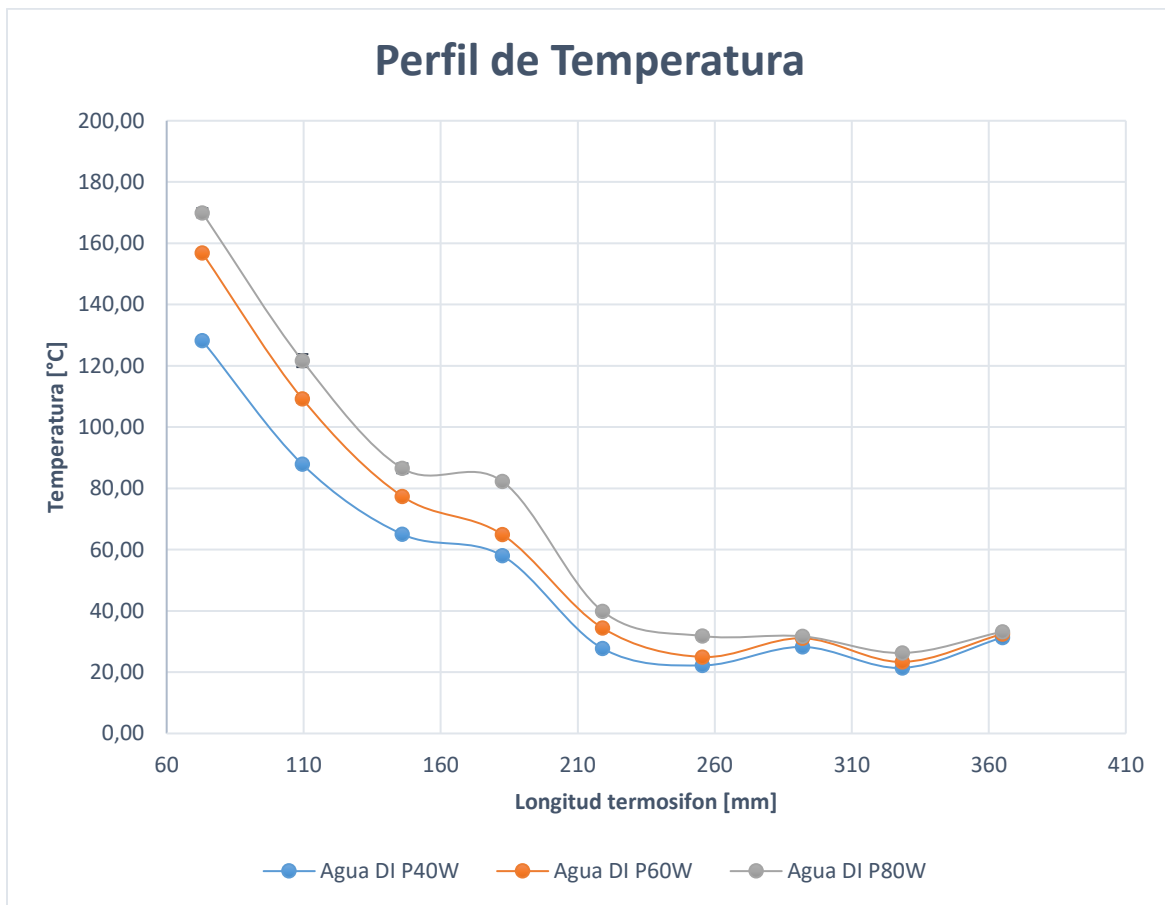


Ilustración 5. Eliminación de la zona adiabática por expansión del NF 4

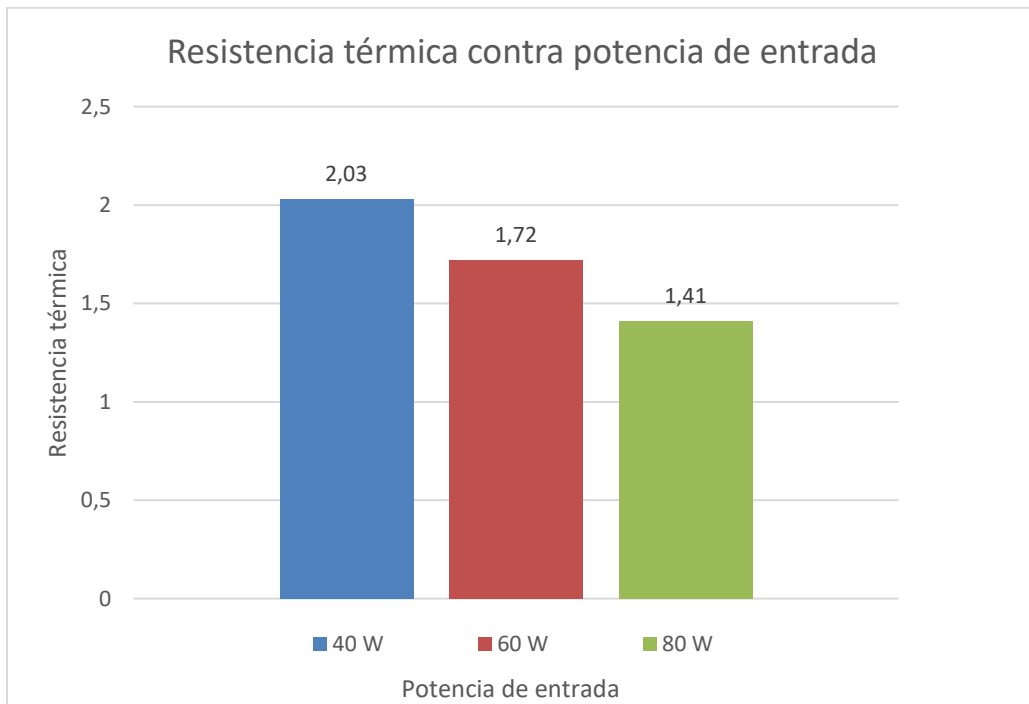
4.4.1 Perfil de temperatura

A continuación, en la gráfica 1 se presentan los resultados obtenidos del perfil de temperatura del termosifón que utilizó como fluido de trabajo agua desionizada a diferentes potencias de entrada 40 W, 60 W y 80 W con un porcentaje de llenado del termosifón del 30%. Se observó que la temperatura de operación del termosifón aumenta con el incremento de la potencia de entrada, en la sección del evaporador a los 73 mm de la longitud del termosifón es donde mayor temperatura se alcanza, llegando a temperaturas de hasta aproximadamente 170 °C. Esto ocurrió debido a que en ese lugar se da el cambio de fase del fluido de trabajo, además de que en ese punto se generaba un sobrecalentamiento de las paredes del termosifón por la ausencia del fluido de trabajo.



Grafica 7. Perfil de temperatura termosifón con agua desionizada a diferentes potencias

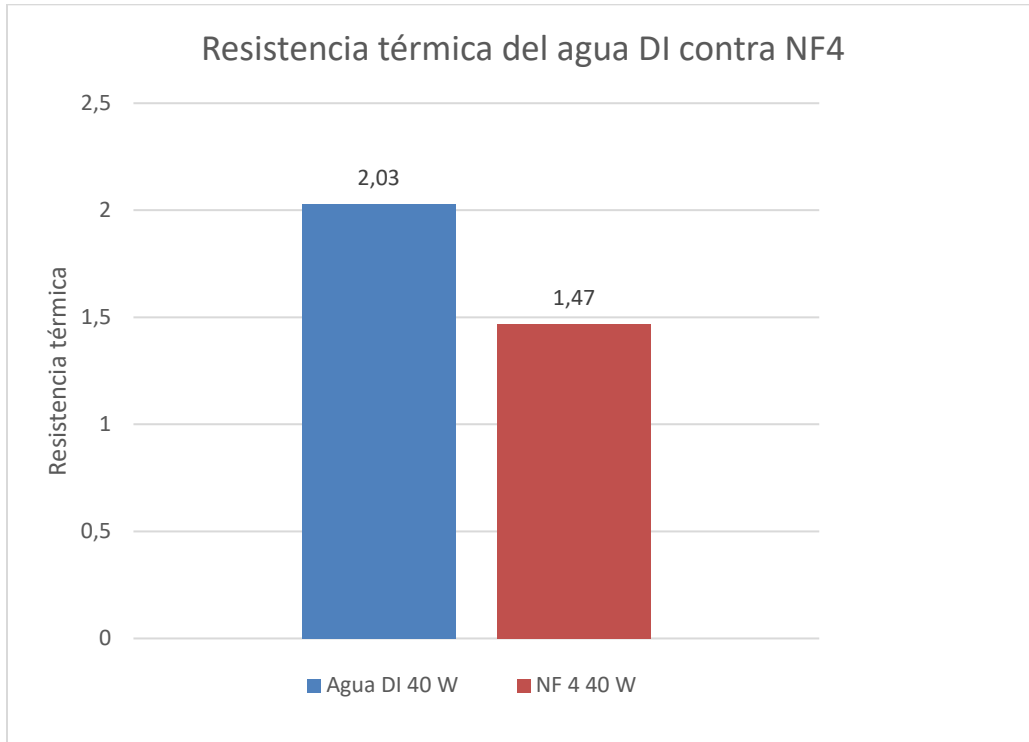
El perfil de temperatura de termosifón nos sirve para conocer la resistencia térmica total del termosifón. Se calculó la resistencia térmica del termosifón que utilizo agua desionizada como fluido de trabajo a diferentes potencias, así como la resistencia térmica del termosifón operando con el NF4 a una potencia de entrada de 40 W con un porcentaje de llenado del 30%. Para el agua desionizada se observó que la resistencia térmica (R_T) disminuye con el aumento de la potencia de entrada, las potencias de entrada de 40, 60 y 80 W tuvieron una R_T de 2.03, 1.72, 1.41 °C/W respectivamente.



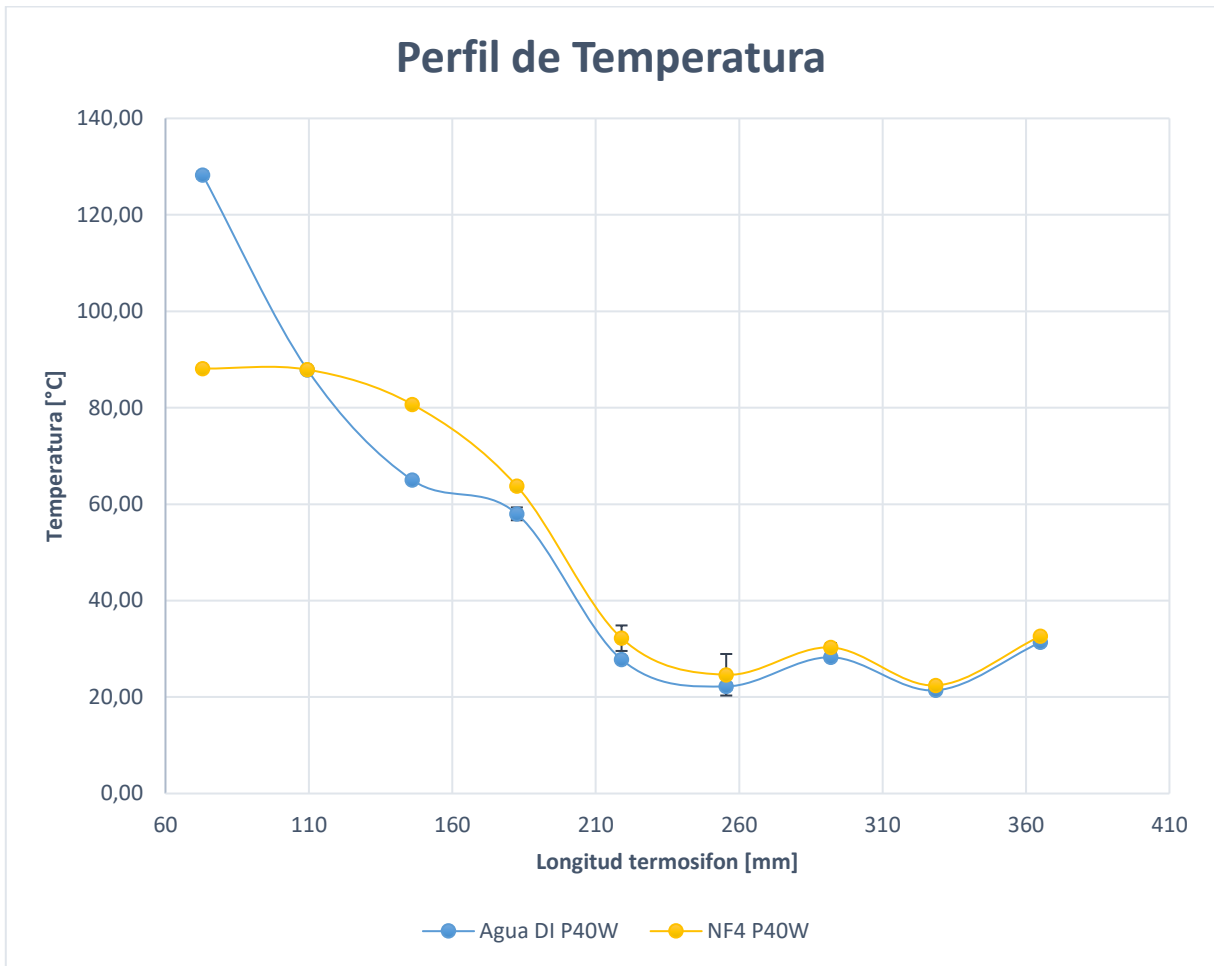
Grafica 8. Resistencia térmica total del termosifón operando con agua desionizada a diferentes potencias de entrada

Por otra parte, se comparó el perfil de temperatura del agua desionizada a una potencia de entrada de 40 W y el NF4 a la misma potencia de entrada (Grafica 9. disminución de la resistencia térmica total del termosifón que utilizó como fluido de trabajo el NF4). Se observó que hay una disminución en la temperatura de operación en la sección del evaporador, esto se

ve reflejado en la R_T del termosifón, la cual disminuyó en aproximadamente un 28% en las pruebas realizadas utilizando como fluido de trabajo el NF 4.



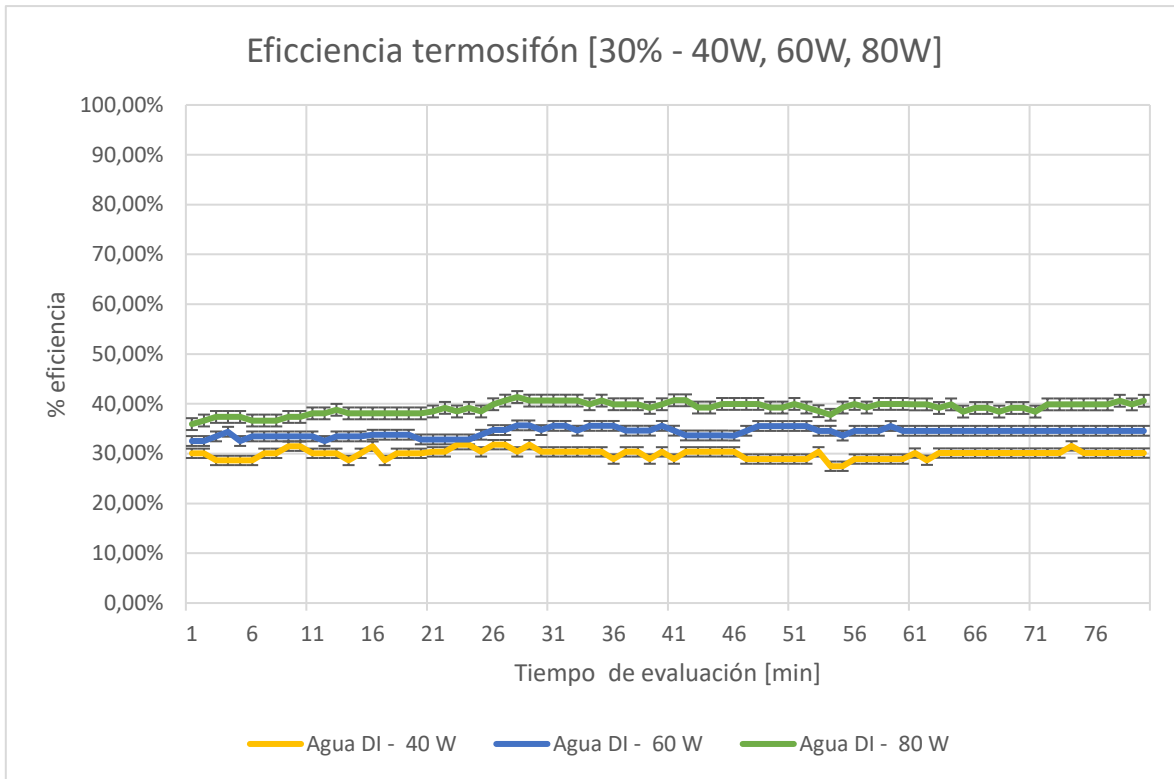
Grafica 9. disminución de la resistencia térmica total del termosifón que utilizó como fluido de trabajo el NF4



Grafica 10. Perfil de temperatura Agua DI contra el NF 4

4.4.2 Eficiencia del termosifón

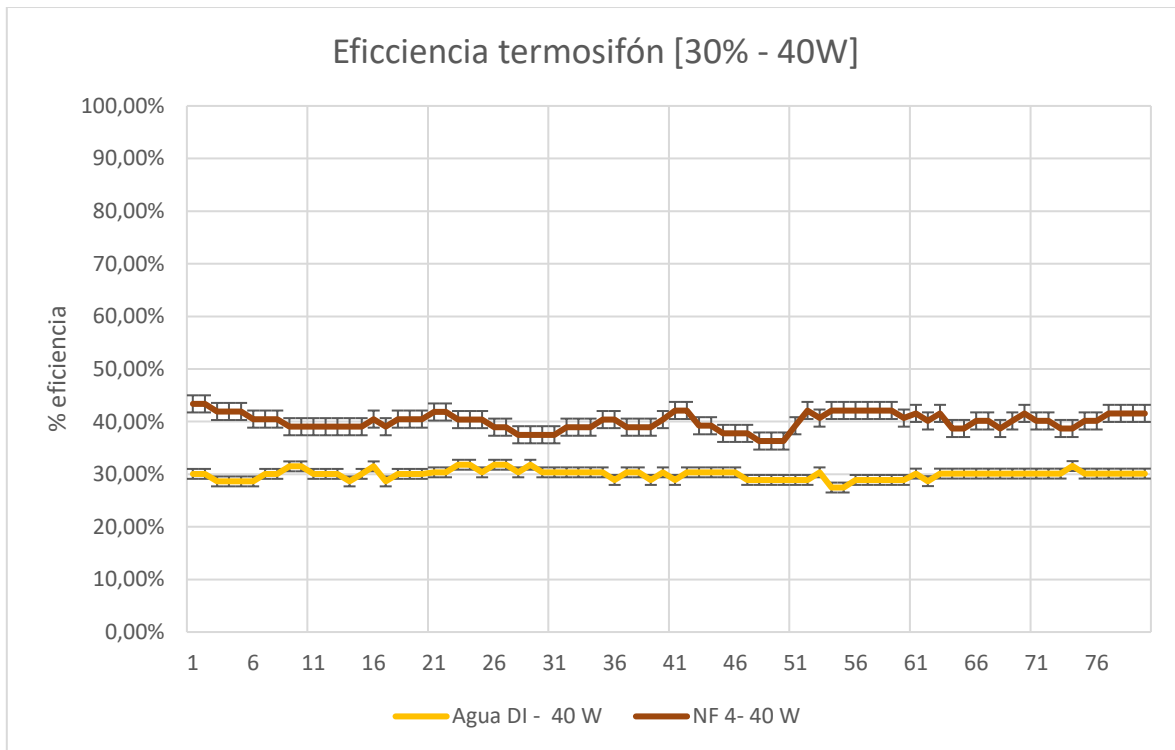
Se evaluó la eficiencia del termosifón utilizando agua desionizada como fluido de trabajo a diferentes potencias de entrada 40W, 60W y 80W a un porcentaje de llenado del termosifón del 30%, se observó que hay un aumento de la eficiencia del termosifón con el incremento de la potencia de entrada. La gráfica 8 muestra el comportamiento de la eficiencia del termosifón que utiliza agua desionizada a diferentes potencias de entrada durante un tiempo de evaluación de 80 minutos.



Grafica 11. Eficiencia del termosifón operando con agua desionizada a diferentes potencias de entrada

Se analizó el comportamiento de la eficiencia del termosifón que utilizo como fluido de trabajo el NF4 en comparación con el que utilizo como fluido de trabajo agua desionizada a la misma potencia de entrada 40 W a un porcentaje de llenado del termosifón del 30%, durante 80 minutos. Se observó que el termosifón que opero con el NF 4 tiene en promedio un 10.1 % más de eficiencia que el que opero con agua desionizada. en la grafica 12 se muestra el comportamiento de la eficiencia del termosifón operando con agua desionizada y con el NF 4, en promedio la eficiencia del termosifón con el NF4 fue del 40% y la de agua desionizada a la misma potencia fue de 30%. Lo cual es coherente con lo reportado en la literatura, Mohamed Salem, et al. , (2017) en su estudio sobre el rendimiento de transferencia de calor de un tubo de calor múltiple con nanofluidos de óxido de grafeno/agua, observaron un incremento del rendimiento del tubo de calor en comparación operando con nanofluidos de óxido de grafeno en comparación con el agua.

Asirvatham et al. (2016) en su estudio sobre el rendimiento de transferencia de calor de un termosifón de vidrio utilizando nanofluidos grafeno-acetona observaron que la adición de nanopartículas de grafeno en concentraciones del 0.05 y 0.07 % en volumen a acetona incrementa el rendimiento térmico de termosifón.



Grafica 12. Eficiencia del termosifón operando con agua desionizada contra el NF 4

En la Tabla 7. Observaciones pruebas experimentales termosifónse presentan las características de operación en las pruebas experimentales del termosifón, así como las observaciones correspondientes sobre el funcionamiento general del termosifón en cada una de las pruebas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 7. Observaciones pruebas experimentales termosifón

Fluido de trabajo	Potencia de entrada	Porcentaje de llenado	Observaciones
Agua desionizada	40 W, 60 W, 80 W	60 %	Funcionamiento normal del termosifón: Dentro del rango de temperatura útil del fluido de trabajo (30 – 200 °C), contorno de temperatura del evaporador (85 – 90 °C), retorno del fluido del condensador hasta el evaporador, eficiencia del 35, 41 y 48 % para potencias de 40, 60 y 80 W respectivamente.
	40 W, 60 W, 80 W	30 %	Funcionamiento normal del termosifón: Dentro del rango de temperatura útil del fluido de trabajo (30 – 200 °C), contorno de temperatura del evaporador (87 – 128 °C), retorno del fluido del condensador hasta el evaporador, eficiencia del 30, 34 y 39 % para potencias de 40, 60 y 80 W respectivamente.
Nanofluido GO (NF4)	40 W, 60 W, 80 W	60 %	Eliminación de la zona adiabática del termosifón por expansión del fluido, contorno de temperatura del evaporador (85 – 91 °C), se impide el retorno del fluido de trabajo del condensador al evaporador, eficiencia del 52, 42 y 49 % para potencias de 40, 60 y 80 W respectivamente.
	40 W	30 %	Ligera expansión del fluido, comportamiento ordinario, eliminación de la zona adiabática con potencias de entradas de 60 y 80 W, contorno de temperatura del evaporador (87 – 88 °C), retorno del

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

			fluido de trabajo del condensador al evaporador, eficiencia del 35%.
--	--	--	---

Se prepararon nanofluidos de óxido de grafeno en concentraciones del 0.05 y 0.1 % p/p, se utilizó SDBS como agente tensoactivo para ayudar a mejorar la dispersión de las nanopartículas en el fluido base. Se realizó una evaluación de la estabilidad de los nanofluidos por medio de espectrofotometría de absorción molecular UV-VIS, Potencial Zeta e inspección visual, por medio de estas técnicas se observó los nanofluidos 1, 2, 4, y 5, tienen una buena dispersión de las nanopartículas en el agua desionizada, a diferencia del nanofluido 3 el cual presentó sedimentación de las nanopartículas de óxido de grafeno a partir de 1 hora después de la preparación. Se observó que la conductividad térmica de los nanofluidos de óxido de grafeno preparados aumentó en comparación con el agua desionizada. se eligió el nanofluido con mejor conductividad térmica y menor error durante la medición para realizar las pruebas experimentales en el termosifón. Se observó que el uso de nanofluidos de óxido de grafeno aumenta la eficiencia del termosifón en aproximadamente un 10% y disminuye la resistencia térmica en aproximadamente un 28%.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se evaluó el efecto del uso de nanofluidos de óxido grafeno sobre la eficiencia térmica de un termosifón bifásico, con lo cual se obtuvo como resultado final un incremento del 10.1% de la eficiencia del termosifón en comparación con el termosifón operando con agua desionizada, por tanto, la implementación de nanofluidos de óxido de grafeno como fluidos de trabajo para termosifones pueden servir como alternativa para mejorar la eficiencia de este tipo de sistemas de intercambio de calor.
- Se evaluó la conductividad térmica y la estabilidad de nanofluidos de óxido grafeno. La adición de nanopartículas de óxido de grafeno aumenta la conductividad térmica con respecto a el fluido base hasta en un 28 % para concentraciones de 0.1 % p/p y 11 % para concentraciones de 0.05 % p/p. Con respecto a la estabilidad, durante el tiempo de evaluación todos los nanofluidos preparados fueron estables a excepción del NF3 el cual tuvo sedimentación desde 1 hora después de la preparación, la diferencia de este con respecto a los otros nanofluidos preparados es el uso de SDBS como agente tensoactivo.
- Se determinó experimentalmente la eficiencia térmica de un termosifón que tiene como fluido de trabajo nanofluidos de óxido de grafeno. El uso de nanofluidos de óxido de grafeno a una concentración del 0.05% p/p favoreció la eficiencia térmica del termosifón en comparación con el termosifón que utiliza agua desionizada, además de que el uso de nanofluidos en el termosifón disminuye la resistencia térmica en aproximadamente 28%.
- Se recomienda la implementación de un sistema de adquisición de datos para el montaje experimental del termosifón, esto facilitaría la toma de datos además de la confiabilidad

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de ellos, otro punto a tener en cuenta es la aislación del termosifón, en este estudio era importante poder ver la fenomenología del proceso por lo cual no se aisló, sin embargo, es un punto a tener en cuenta por las pérdidas hacia el medio asociadas.

- Uno de los trabajos futuros es la evaluación experimental de la eficiencia del termosifón utilizando nanofluidos de óxido de grafeno con un material de construcción del termosifón el cual facilite la transferencia de calor. Al igual que, realizar un estudio experimental sobre el efecto del uso de nanofluidos de óxido de grafeno a diferentes concentraciones en la eficiencia térmica de un termosifón bifásico. En un trabajo posterior se podría evaluar el efecto que tiene el uso de nanofluidos sobre la caída de presión, y propiedades físicas como la tensión superficial y la viscosidad, ya que, la alteración de estas propiedades puede resultar en un cambio en los mecanismos de transferencia de calor del termosifón.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Amiri, A., Sadri, R., Shanbedi, M., Ahmadi, G., Chew, B. T., & Kazi, S. N. (2015). Performance dependence of thermosyphon on the functionalization approaches : An experimental study on thermo-physical properties of graphene nanoplatelet-based water nanofluids. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT*, *92*, 322–330.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.051>
- Amiri, A., Sadri, R., Shanbedi, M., Ahmadi, G., Chew, B. T., Kazi, S. N., & Dahari, M. (2015). Performance dependence of thermosyphon on the functionalization approaches: An experimental study on thermo-physical properties of graphene nanoplatelet-based water nanofluids. *Energy Conversion and Management*, *92*, 322–330.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.051>
- Asirvatham, L. G., Wongwises, S., & Babu, J. (2016). Heat Transfer Performance of a Glass Thermosyphon Using Graphene – Acetone Nanofluid, *137*(November 2015), 1–9.
<https://doi.org/10.1115/1.4030479>
- Baby, T. T., & Ramaprabhu, S. (2011). Enhanced convective heat transfer using graphene dispersed nanofluids. *Nanoscale Research Letters*, *6*(1), 289.
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-289>
- Beltran, Maribel; Marcilla, A. (2010). Caracterización de nanopartículas. *Universidad Alquilante*.
- C Brunatti L, & A Martín. (2010). Introducción a la Espectroscopía de Absorción Molecular Ultravioleta, Visible e Infrarrojo Cercano. *Introducción a La Espectrofotometría*, 1–10. Retrieved from materias.fi.uba.ar/6305/download/Espectrofotometria.pdf
- Çengel, Y. A. (2011). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*. McGraw-Hill Interamericana de España S.L. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=HiSRZwEACAAJ>
- Clavijo, J. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Devendiran, D. K., & Amirtham, V. A. (2016). A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 21–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.055>
- Dhar, P., Gupta, S. Sen, Chakraborty, S., Pattamatta, A., Das, S. K., Dhar, P., ... Pattamatta, A. (2013). The role of percolation and sheet dynamics during heat conduction in poly-dispersed graphene nanofluids The role of percolation and sheet dynamics during heat conduction in poly-dispersed graphene nanofluids, *163114*(May). <https://doi.org/10.1063/1.4802998>
- ESDU. (1983). Heat pipes performance of two phase closedn thermosyphons. *ESDU International Plc*, 81038(October 1981).
- Esfahani, M. R., Languri, E. M., & Nunna, M. R. (2016). Effect of particle size and viscosity on thermal conductivity enhancement of graphene oxide nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.06.006>
- Fan, L., Li, J., Li, D., Zhang, L., Yu, Z., & Cen, K. (2015). International Journal of Thermal Sciences The effect of concentration on transient pool boiling heat transfer of graphene-based aqueous nano fl uids. *International Journal of Thermal Sciences*, 91, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2015.01.009>
- Fernández-Merino, M. J. (2013). Grafenos preparados por métodos químicos: características y aplicaciones, 30–44. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.06.034>
- Fernando, L., & Díaz, H. (2005). Índice General.
- Garcia Martinez, V. (2013). Estudio de la estabilidad del óxido de grafeno con el tiempo. *Instituto Nacional Del Carbón*, 61. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10651/19083>
- Ghozatloo, A., Rashidi, A., & Shariaty-niassar, M. (2013). Convective heat transfer enhancement of graphene nanofluids in shell and tube heat exchanger. *EXPERIMENTAL THERMAL AND FLUID SCIENCE*. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2013.11.018>
- Ghozatloo, A., Shariaty-Niasar, M., & Rashidi, A. M. (2013). Preparation of nanofluids from

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- functionalized Graphene by new alkaline method and study on the thermal conductivity and stability. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 42, 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2012.12.007>
- Hajjar, Z., Rashidi, A., & Ghozatloo, A. (2014). Enhanced thermal conductivities of graphene oxide nano fluids ☆. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 128–131. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2014.07.018>
- Holman, J. P. (1998). *Transferencia de calor. Mc graw hill* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Kashyap, S., Mishra, S., & Behera, S. K. (2014). Aqueous Colloidal Stability of Graphene Oxide and Chemically Converted Graphene, 2014.
- Liu, K., Chen, S., Luo, Y., Jia, D., Gao, H., Hu, G., & Liu, L. (2014). Noncovalently functionalized pristine graphene/metal nanoparticle hybrid for conductive composites. *Composites Science and Technology*, 94, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.01.006>
- Martin-Gallego, M., Verdejo, R., Khayet, M., de Zarate, J. M. O., Essalhi, M., & Lopez-Manchado, M. A. (2011). Thermal conductivity of carbon nanotubes and graphene in epoxy nanofluids and nanocomposites. *Nanoscale Research Letters*, 6(1), 610. <https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-610>
- Mehrali, M., Sadeghinezhad, E., Tahan Latibari, S., Mehrali, M., Togun, H., Zubir, M. N. M., ... Metselaar, H. S. C. (2014). Preparation, characterization, viscosity, and thermal conductivity of nitrogen-doped graphene aqueous nanofluids. *Journal of Materials Science*, 49(20), 7156–7171. <https://doi.org/10.1007/s10853-014-8424-8>
- Mohamed Salem, Tarek A. Meakhail, Magdy A. Bassily, & Shuichi Torii. (2017). Heat Transfer Performance of a Multi-heat Pipe Using Graphene Oxide/Water Nanofluid. *Journal of Energy and Power Engineering*, 11(2), 95–102. <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2017.02.004>
- Mohd Zubir, M. N., Badarudin, A., Kazi, S. N., Huang, N. M., Misran, M., Sadeghinezhad, E., ... Yusoff, N. (2015). Highly dispersed reduced graphene oxide and its hybrid

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

complexes as effective additives for improving thermophysical property of heat transfer fluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 87(Complete), 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.04.017>

Reay, D. A., Kew, P. A., & McGlen, R. J. (2014). *Heat Pipes. Heat Pipes*.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098266-3.00002-9>

Sadeghinezhad, E., Mehrali, M., Saidur, R., Mehrali, M., Tahan, S., Reza, A., ... Metselaar, C. (2016). A comprehensive review on graphene nanofluids : Recent research , development and applications. *Energy Conversion and Management*, 111, 466–487. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.004>

Sharma, S. K., & Mital, S. (2016). Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application : A review. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2016.06.029>

Spectroscopy, P. C. (1985). *Dynamic Light Scattering - Applications of Photo Correlation Spectroscopy*.

Yoval, L. S., Palacios, L. M., & Soberanis, M. P. (2013). Potencial Zeta como una Herramienta para Determinar la Aglomeración de las Partículas en la Reducción del Volumen del Lodo a Disponer. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES_____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____