

UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales

Preparación de nanofluidos a base de nanopartículas de AuCu y AgCu y estudio de sus propiedades de transporte

Que para obtener el título de

MAESTRO EN CIENCIA DE MATERIALES

PRESENTA:

Ing. Alan Germán Acedo Mendoza

HERMOSILLO, SONORA.

Octubre 2016

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Esta tesis se realizó en el Laboratorio de Nanomateriales del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora bajo la dirección de la Dra. Judith Celina Tánori Córdova, con el apoyo de una beca otorgada por el CONACyT (No. Becario: 637138) y con fondos del proyecto financiado por CONACyT (242943 y 269519)

Aprobación

Los miembros del jurado designado para revisar la Tesis Profesional de **Alan German Acedo Mendoza** la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para la obtención de grado de Maestro en Ciencia de Materiales.

Dra. Judith Celina Tánori Córdova

Dra. María Elisa Martínez Barbosa

Dr. Rafael Cabanillas López

Dr. Francisco Brown Bojórquez

Dr. Cesar Márquez Beltrán

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría y por el financiamiento del proyecto.

A la Universidad de Sonora por aceptar el ingreso al posgrado y por brindar el apoyo sin el cual este trabajo no sería posible.

Al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales por darme la oportunidad de formar parte del excelente grupo que lo conforma.

Al Laboratorio de Nanomateriales del Departamento de Polímeros y Materiales por darme la oportunidad de realizar el trabajo de investigación en el área.

A mi directora de tesis la Dra. Judith Tánori por su apoyo y guía durante todo el periodo de trabajo, por su paciencia, por compartir su conocimiento y por tener confianza en mi, puedo decir con toda seguridad que si he progresado en esta área es gracias a ella. Sinceramente, muchas gracias.

Al Dr. Rafael Cabanillas, por su apoyo al aportar ideas para el proyecto, y por prestar el equipo, del cual se obtuvieron algunos resultados que se presentan en este trabajo.

Al Dr. Arturo García, del Instituto Politécnico Nacional de la Escuela Superior de Física y Matemáticas, por haberme recibido para realizar una estancia en la Ciudad de México.

A mi madre, Guadalupe Mendoza, y mi hermana, Perla, por su apoyo incondicional teniendo fe en mi.

A mi familia por los buenos principios y los buenos ejemplos que me han inculcado y que gracias a ellos seguiré triunfando en todas mis metas.

A los grandes grupos de amigos de los cuales formo parte, que durante este tiempo me han dado grandes consejos que me han llevado al lugar donde me encuentro en este momento.

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi mamá, hermana y tíos, que siempre han estado para mí desde el día que nací.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	VII
NOMENCLATURAS.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	6
2. ANTECEDENTES.....	7
2.1 <i>Nanopartículas</i>	7
2.2 <i>Síntesis por la Técnica de Microemulsiones</i>	8
2.3 <i>Técnicas de caracterización</i>	10
2.3.1. Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM)	10
2.3.1.1. Difracción Electrónica.....	11
2.3.1.2. Análisis de composición química.....	11
2.3.2. Espectrofotometría UV-Visible.....	12
2.4. <i>Nanofluidos</i>	13
2.4.1. Movimiento Browniano	14
2.4.2. Propiedades físicas de los nanofluidos.....	15
2.4.2.1 Densidad.....	15
2.4.2.2. Viscosidad.....	16
2.4.2.3. Conductividad Térmica.....	16
2.5. <i>Técnicas de Caracterización</i>	18
2.5.1. Hilo Caliente	18
2.5.1.1. Ecuaciones de estado	21
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. <i>Síntesis de Nanopartículas por la Técnica de Microemulsiones</i>	24
3.2. <i>Caracterización de las Nanopartículas</i>	25
3.2.1. Espectrofotometría de UV-Visible.....	25
3.2.2. Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)	26

3.2.3. Medición de Conductividad Térmica, Método del Hilo Caliente	26
3.2.4. Medición de viscosidad con el reómetro Aton Paar.	26
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	27
4.1. <i>Nanopartículas de Oro-cobre (NpsAuCu)</i>	27
4.1.1. Análisis de Distribución de Tamaño en Base a los Resultados por TEM	28
4.1.2. Análisis de HRTEM	30
4.1.3. Análisis de XEDS de las Nanopartículas de AuCu	32
4.1.5 Análisis de Conductividad Térmica del Nanofluido AuCu.	35
4.1.6. Análisis de Viscosidad de Nanofluido AuCu	37
4.2. <i>Nanopartículas de Cobre – Plata (NPs_{CuAg})</i>	39
4.2.1 Análisis de distribución de tamaño de las Nanopartículas AgCu.	40
4.2.2. Análisis de HRTEM de las Nanopartículas AgCu.....	42
4.2.3. Análisis de EDS de las Nanopartículas de AgCu.	44
4.2.5. Análisis de Conductividad Térmica del Nanofluido de AgCu.....	47
4.2.6. Análisis de Viscosidad del Nanofluido de AgCu	49
5. Conclusiones	52
6. REFERENCIAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA MICELA INVERSA ¹⁵	9
FIGURA 2. VISTA INTERIOR DEL DISPOSITIVO DEL HILO CALIENTE ³⁹	19
FIGURA 3. ELEMENTOS DEL DISPOSITIVO KD2.	20
FIGURA 4. PARTES DEL EQUIPO KD2, A) SENSOR Y B) UNIDAD DE SALIDA DE RESULTADOS.	20
FIGURA 5. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA CONTRA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA TEÓRICA.....	22
FIGURA 6. ESPECTRO DE UV-VISIBLE PARA EL SISTEMA DE NANOPARTÍCULAS DE COBRE.	27
FIGURA 7. ESPECTROSCOPIA DE UV-VISIBLE PARA EL SISTEMA DE NANOPARTÍCULAS SÍNTETIZADAS EN AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAUCL ₄]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 MM.	28
FIGURA 8. MICROGRAFÍA OBTENIDA POR TEM DONDE SE OBSERVA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS NP'S AuCu MOSTRANDO REDUCCIÓN DE LA POLIDISPERSIDAD EN TAMAÑO, REDUCCIÓN DE LA AGLOMERACIÓN Y COALESCENCIA ENTRE LAS NP'S DE AuCu PRESENTANDO UN TAMAÑO PROMEDIO DE 3.86±1.09 NM. ...	29
FIGURA 9. HISTOGRAMA DE RESULTADOS DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE LA POBLACIÓN DE NP'S AU SINTETIZADAS AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAUCL ₄]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 MM.....	30
FIGURA 10. MICROGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN DE NP'S DE AuCu SINTETIZADOS EN EL SISTEMA AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAUCL ₄]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 MM. LA DISTANCIA OBTENIDA FUE DE 1.980 Å QUE CORRESPONDE AL PLANO (200) Y PROVIENE DE LA ESTRUCTURA TETRAGONAL DEL AuCu. .	31
FIGURA 11 MICROGRAFIA DE ALTA RESOLUCIÓN DE NP'S DE AuCu SISNTETIZADAS EN EL SISTEMA DE AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAUCL ₄]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 MM. LAS DISTANCIAS OBTENIDAS FUERON 2.038 Å, 2.3012 Å Y 2.3092 Å QUE CORRESPONDEN A LOS PLANOS (111), (200) Y (111) LOS CUALES PROVIENE DE LA ESTRUCTURA CUBICA CENTRADA EN LAS CARAS DEL Au.	32
FIGURA 12. ESPECTRO PUNTUAL DE XEDS OBTENIDO DE UNA NANOPARTÍCULA DE AuCu SINTETIZADA EN EL SISTEMA DE AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT] = 0.1 M, W=10, [HAUCL ₄] = [Cu(AOT) ₂] = 0.1 MM, SE DETECTARON LOS ELEMENTOS DE ORO Y COBRE A DEMÁS DE NÍQUEL (MATERIAL DE LA REJILLA).	33
FIGURA 13. A) ESPECTRO DE XEDS EN LÍNEA DE B) MICROGRAFÍA POR CONTRASTE Z DE NP'S DE AuCu PARA UNA MUESTRA PREPARADA EN AOT - AGUA - ISOCTANO; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAUCL ₄]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 MM. LOS ELEMENTOS AG Y CU, SE ENCUENTRAN PRESENTE A LO LARGO DE	

LA LÍNEA DE ESCANEADO EN EL COMPARATIVO DE LAS SEÑALES LA PARA AMBOS ELEMENTOS, LA PLATA SE ENCUENTRA EN MAYOR CANTIDAD EN EL CENTRO DE LA PARTÍCULA.	34
FIGURA 14. A) ESPECTRO DE XEDS EN MAPEO ELEMENTAL DE IMAGEN DE B) MICROGRAFÍA POR CONTRASTE Z DE NP'S DE AuCu PARA UNA MUESTRA PREPARADA EN AOT - AGUA - ISOCTANO; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAuCl ₄]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 mM. LOS ELEMENTOS Au Y Cu, SE ENCUENTRAN PRESENTE EN TODA EL ÁREA DE ESCANEADO, C) ES EL COMPARATIVO DE LAS SEÑALES MA DEL ORO Y PARA LA KA DEL COBRE DONDE EL ROJO REPRESENTA EL ORO Y EL VERDE REPRESENTA EL COBRE, EN ESTE CASO EL ORO SE ENCUENTRA EN MAYOR CANTIDAD EN EL CENTRO DE LA PARTÍCULA.....	35
FIGURA 15. DATOS OBTENIDOS DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA AL CAMBIAR LA CONCENTRACIÓN DEL SISTEMA DE NP'S DE AuCu.....	36
FIGURA 16. RAZÓN DE CAMBIO EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA AL VARIAR LA CONCENTRACIÓN DE VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AuCu.....	37
FIGURA 17. CAMBIO DE LA VISCOSIDAD CON RESPECTO AL PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN EN VOLUME DEL SISTEMA DE NP'S DE AuCu.....	38
FIGURA 18. RAZÓN DE CAMBIO DEL FLUIDO BASE (ACEITE MOBILTHERM 603) CON RESPECTO AL NANOFLUIDO PREPARADO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AuCu.	39
FIGURA 19. COMPORTAMIENTO NEWTONIANO DE LOS NANOFLUIDOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AuCu.	39
FIGURA 20. ESPECTROSCOPIA DE UV-VISIBLE PARA EL SISTEMA DE NP'S SINTETIZADO EN AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [AgNO ₃]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 mM.....	40
FIGURA 21. MICROGRAFÍA OBTENIDA POR TEM DONDE SE OBSERVA LA DISTRIBUCIÓN DE LAS NP'S DE AgCu MOSTRANDO REDUCCIÓN DE LA POLIDISPERSIDAD EN TAMAÑO, REDUCCIÓN DE LA AGLOMERACIÓN Y COALESCENCIA ENTRE LAS NP'S DE AgCu PRESENTANDO UN TAMAÑO PROMEDIO DE 3.98±0.819 NM.	41
FIGURA 22. HISTOGRAMA DE RESULTADO DEL ESTUDIO ESTADÍSTICO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE LA POBLACIÓN DE NP'S DE AgCu SINTETIZADAS AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [AgNO ₃]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 mM.....	42
FIGURA 23. MICROGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN DE NP'S DE AgCu SINTETIZADAS EN EL SISTEMA DE AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 MM W=10, [AgNO ₃]=[Cu(AOT) ₂]=0.1 mM. LAS DISTANCIAS OBTENIDAS	

FUERON 1.4661 Å, 1.978 Å, 1.2291 Å, 1.918 Å Y 2.426 Å QUE CORRESPONDEN A LOS PLANOS (202), (103), (202), (202) Y (101) RESPECTIVAMENTE QUE PROVIENEN DE LA ESTRUCTURA HEXAGONAL DE LA PLATA.	43
FIGURA 24. MICROGRAFÍA DE ALTA RESOLUCIÓN DE NP'S DE AGCU SINTETIZADAS EN EL SISTEMAS DE AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [AgNO3]=[Cu(AOT)2]=0.1 M. LAS DISTANCIAS OBTENIDAS FUERON 1.616 Å, 1.985 Å Y 2.295 Å QUE CORRESPONDEN A LOS PLANOS (202), (-112) Y (200) RESPECTIVAMENTE LAS CUALES CORRESPONDEN A LA ESTRUCTURA CRISTALINA MONOCLINICA DEL OXIDO DE COBRE.	44
FIGURA 25. ESPECTRO PUNTUAL DE XEDS OBTENIDO DE UNA NANOPARTÍCULA DEL SISTEMA DE AGCU SINTETIZADAS EN EL AOT - AGUA - ISOCTANO: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAgNO3]=[Cu(AOT)2]=0.1 MM, SE DETECTARON LOS ELEMENTOS DE LA PLATA Y EL COBRE ADEMÁS DEL ORO QUE ES EL MATERIAL DE LA REJILLA.	45
FIGURA 26. A) ESPECTRO DE XEDS EN LÍNEA DE B) MICROGRAFÍA POR CONTRASTE Z DE NP'S DE AGCU PARA UNA MUESTRA PREPARADA EN AOT - AGUA - ISOCTANO; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAgNO3]=[Cu(AOT)2]=0.1 MM. LOS ELEMENTOS AG Y CU, SE ENCUENTRAN PRESENTE A LO LARGO DE LA LÍNEA DE ESCANEO EN EL COMPARATIVO DE LAS SEÑALES LA PARA AMBOS ELEMENTOS, LA PLATA SE ENCUENTRA EN MAYOR CANTIDAD EN EL CENTRO DE LA PARTÍCULA.....	46
FIGURA 27. A) ESPECTRO DE XEDS MAPEO ELEMENTAL DE IMAGEN B) MICROGRAFÍA POR CONTRASTE Z DE NP'S DE AGCU PARA UNA MUESTRA PREPARADA EN AOT - AGUA - ISOCTANO; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAgNO3]=[Cu(AOT)2]=0.1 MM. LOS ELEMENTOS AG Y CU, SE ENCUENTRAN PRESENTE EN TODA EL ÁREA ESCANEADA EN EL C) SE PUEDE VER EN CONTRASTE DE COLORES LA PRESENCIA DE AMBOS ELEMENTOS, EL ROJO REPRESENTA EL ELEMENTO DE LA PLATA Y EL VERDE AL DEL COBRE, COMPARATIVO DE LAS SEÑALES LA DE LA PLATA Y LAS KA DEL COBRE, LA PLATA SE ENCUENTRA EN MAYOR CANTIDAD EN EL CENTRO DE LA PARTÍCULA.	47
FIGURA 28. CAMBIO EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA AL CAMBIAR LA CONCENTRACIÓN DEL SISTEMA DE NP'S DE AGCU.	48
FIGURA 29. RAZÓN DE CAMBIO EN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA AL VARIAR LA CONCENTRACIÓN DE VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AGCU.....	49

FIGURA 30. CAMBIO DE LA VISCOSIDAD CON RESPECTO AL PORCENTAJE DE CONCENTRACIÓN EN VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AGCU..... 50

FIGURA 31. RAZÓN DE CAMBIO DEL FLUIDO BASE (ACEITE MOBILTHERM 603) CON RESPECTO AL NANOFUIDO PREPARADO CON DIFERENTES CONCENTRACIONES EN VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AGCU. 51

FIGURA 32. COMPORTAMIENTO NEWTONIANO DEL NANOFUIDO A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AGCU. 51

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO KD2.....	20
TABLA 2. ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DEL EQUIPO KD2.	21
TABLA 3. NANOFUIDOS PREPARADOS A DIFERENTES CONCENTRACIÓN (% VOL) DE SISTEMA DE NANOPARTÍCULAS DE AuCu Y DE AgCu.	25
TABLA 4. PORCENTAJES DE CONCENTRACIÓN (% VOL) DEL SISTEMA DE NANOPARTÍCULAS DE ORO-COBRE CON LOS CUALES FUERON PREPARADO LOS NANOFUIDOS Y SU VALOR DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	36
TABLA 5. DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE VISOSIDAD DE LOS FLUIDOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES (% VOL) DE LOS SISTEMAS DE NP'S DE AuCu.....	38
TABLA 6. PORCENTAJE EN VOLUMEN DEL SISTEMA DE NP'S DE AgCu EN LAS CUALES FUERON PREPARADOS LOS NANOFUIDOS Y SU CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	48
TABLA 7. DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN DE VISCOSIDAD DE LOS NANOFUIDOS A DIFERENTES CONCENTRACIÓN DE VOLUMEN DE LOS SISTEMAS DE NP'S DE AgCu.	50

NOMENCLATURAS

λ	Longitud de onda
h	Constante de Plank
m	Masa del electrón
c	Velocidad del electrón
ρ	Densidad
ρ_{eff}	Densidad efectiva
ρ_{hf}	Densidad del fluido base
ρ_{np}	Densidad de nanopartículas
η	Viscosidad
η_{eff}	Viscosidad efectiva
η_{bf}	Viscosidad del fluido base
ϕ	Diámetro del nanofluido
k	Conductividad térmica
k_{eff}	Conductividad térmica efectiva
k_{np}	Conductividad térmica de las nanopartículas
k_{bf}	Conductividad térmica del fluido base
ψ	Factor de forma
α	Difusividad térmica
R	Resistividad térmica
T	Temperatura
t	Tiempo
r	Distancia
q	Calor producido por unida de longitud por unidad de tiempo
E_i	Función integral exponencial
γ	Constante de Euler

1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos antiguos, los materiales sólidos han desempeñado un papel importante en el progreso de la humanidad. En la edad de piedra, el hombre de las cavernas utilizaba piedras afiladas como armas y herramientas, mientras que en la edad de hierro anunciaba la aparición de los metales como principales materiales. En aquellos tiempos, las propiedades de los materiales naturalmente disponibles fueron descubiertas a prueba y error, y fueron empleados para un uso beneficioso. Hoy en día, la tecnología de la ciencia de los materiales está en una fase tan avanzada como para diseñar nuevos materiales, este avance de la ciencia y la tecnología de los materiales se debe principalmente al conocimiento de la relación molecular entre la estructura y sus propiedades¹.

La tecnología a nanoescala requiere el control y la manipulación de la materia en una escala que va desde uno a cien nanómetros. Cuando los materiales son sintetizados a nanoescala adquieren propiedades físicas y químicas diferentes de los materiales convencionales, de dimensiones más grandes. La introducción de nanopartículas en el diseño de materiales convencionales aumenta el desempeño o el rendimiento en la aplicaciones industriales de los mismos².

La nanociencia y la nanotecnología ofrecen nuevas oportunidades para hacer materiales con mejor rendimiento para su uso en la industria, en la salud y en aplicaciones ambientales. A medida que el uso de los nanomateriales se hace más común, resulta natural que estos materiales tengan el potencial de penetrar en el ambiente durante su producción, distribución, uso, disposición, o muy frecuentemente durante el ciclo de vida de estos materiales³.

Las nanopartículas bimetálicas son de gran importancia pues pueden mostrar gran variación de propiedades catalíticas, mecánicas, ópticas, electrónicas, magnéticas, mayor calor específico y aumento de resistividad eléctrica con respecto a la monometálicas, ya sea en forma de aleación o núcleo-coraza. Por ejemplo, los cambios significativos de topología que se encuentran en la superficie de las nanopartículas como facetas, bordes, esquinas, etc., podrían crear sitios reactivos adicionales. Pequeñas partículas de metal que tienen una alta

energía de enlace de sus electrones internos pueden influir en la interacción entre los sitios de la superficie con los reactivos y productos. Al ser bimetálicas presentan nuevas propiedades catalíticas que están ausentes en las nanopartículas monometálicas. La deposición de un segundo metal también puede mejorar la reactividad química por el cambio de las propiedades electrónicas de superficie⁴.

En tiempo recientes, ha surgido la necesidad en diferentes campos de la industria de nuevos medios de refrigeración con un rendimiento mejorado de transferencia de calor en comparación con los fluidos actualmente disponibles. También es conocido que los materiales líquidos tienen una conductividad térmica baja en comparación con los sólidos. Por lo tanto, se espera que los líquidos que contienen partículas sólidas en suspensión tengan un incremento en la conductividad térmica comparados con los líquidos puros como el agua, aceite y etilenglicol⁴. Se entiende por nanofluidos a líquidos con partículas suspendidas de tamaño nanométrico, este término fue introducido por primera vez en 1995 por Choi⁴. Se han encontrado mejoras en la conductividad térmica en nanofluidos y estas pueden encontrar aplicaciones en el área de transferencia de calor⁴.

Los sólidos cristalinos generalmente tienen una conductividad térmica de 1 a 3 órdenes de magnitud más alta que los fluidos, a si mismo se podría esperar que un fluido con partículas sólidas en suspensión aumentara su conductividad térmica en comparación al mismo fluido puro⁵. Cuando se logran suspender sólidos cristalinos de dimensiones nanométricas en un fluido (agua, aceite o etilenglicol), para formar una suspensión homogénea estable, y generar un cambio en la conductividad térmica en comparación a la del fluido base, se le llama nanofluido⁵⁻⁸. Los métodos de preparación de los nanofluidos son: el de un paso en el que las nanopartículas se sintetizan dentro del fluido base a utilizar, y en el de dos pasos, las nanopartículas se sintetizan fuera del fluido base, en el método de dos pasos la síntesis de las nanopartículas es independiente, sin embargo se pueden formar partículas de gran tamaño debido a la aglomeración que ocurre durante el secado, almacenamiento, transportación y re-dispersión de las partículas⁶.

Una gran variedad de nanopartículas y fluidos base han sido evaluados en la última década, poniendo a prueba sus propiedades termofísicas, con especial énfasis en la conductividad térmica y viscosidad⁴.

Hasta la fecha, ha habido un pequeño número de estudios basado en la caracterización de dispersión y propiedades reológicas de los nanofluidos. Es fundamental el estudio de las propiedades reológicas ya que estos se utilizan para la comprensión del mecanismo de transferencia de calor, se necesita saber que interacciones hay entre las partículas con el fluido y entre ellas misma dentro del fluido^{5,7,8}.

La estabilidad de la suspensión es de gran importancia, tanto para el estudio científico como para las aplicaciones prácticas. La aglomeración de las nanopartículas afectan de manera importante la estabilidad y puede ser responsable de la diferencia entre los resultados experimentales y las predicciones⁷.

Los nanofluidos son suspensiones estables de partículas de tamaño nanométrico (que van de 1 a 100 nm) en fluidos de transferencia térmica convencionales tales como aceite, agua y etilenglicol.

En el presente trabajo se sintetizaron y caracterizaron nanopartículas de oro-cobre y plata-cobre. Con estas nanopartículas se prepararon nanofluidos suspendiéndolas en aceite mobiltherm 603 y se analizaran sus efectos en las propiedades térmicas y de transporte.

En este trabajo se presentan primeramente un apartado de antecedentes en cual se describen ciertas generalidades del área sobre las nanopartículas y nanofluidos así como la síntesis y caracterización de estas.

Enseguida se da una descripción detallada de los materiales, método de síntesis y caracterización utilizada durante el desarrollo del trabajo, siendo utilizadas la técnica de microemulsiones para la síntesis, hilo caliente y reología para la caracterización.

Posterior a esto se presentan los resultados y discusiones experimentales obtenidos. En esta sección se presentan el análisis de las imágenes obtenidas por TEM, los resultados de la medición de conductividad térmica con el dispositivo KD2 y los valores obtenidos de la viscosidad empleando el Reometro Aton Paar.

Por último, se presentan las conclusiones obtenidas a partir del estudio.

JUSTIFICACIÓN

El avance tecnológico, la generación de energía por medio de fuentes renovables, entre otras actividades industriales, han dado la necesidad de nuevos sistemas de transportes térmicos mas eficientes, esta necesidad ha crecido debido a las cantidades de energía que deben transportarse de una parte del proceso a otra. Por esta razón, la investigación de la mejora de nuevos fluidos que actualmente son el medio de transporte es preponderante. Es por este motivo que se requiere establecer la base de una línea de investigación aún más profunda, a través de la generación de datos que permitan conocer el comportamiento de los nanofluidos, su eficacia y el establecimiento de un método de preparación.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Estudiar la preparación de nanofluidos formados con nanopartículas bimetálicas de AgCu y AuCu a partir del estudio de la síntesis y caracterización de las nanopartículas y comportamiento de sus propiedades de transporte: viscosidad y conductividad térmica.

Objetivos particulares.

- Sintetizar nanopartículas de plata-cobre y de oro-cobre por medio del método de microemulsiones.
- Estudiar los sistemas de plata-cobre y de oro-cobre sintetizados según su morfología, distribución de tamaño, estructura cristalográfica y composición química cualitativa por medio de microscopía electrónica de transmisión: modo TEM, HRTEM, modo STEM, HAADF y EDS. Así como por espectroscopia de UV-Visible.
- Preparar los nanofluidos de plata-cobre y de oro-cobre utilizando como fluido base aceite mobiltherm 603.
- Estudiar las propiedades térmicas de los sistemas de nanofluidos formados por nanopartículas de plata-cobre/aceite mobiltherm 603 y por nanopartículas oro-cobre/aceite mobiltherm 603 por medio de la técnica de hilo caliente.
- Estudiar las propiedades de flujo de los sistemas de nanofluidos formados por nanopartículas de plata-cobre/aceite mobiltherm 603 y por nanopartículas de oro-cobre/aceite mobiltherm 603 por medio de reología rotacional.

2. ANTECEDENTES

2.1 Nanopartículas

A nivel mundial la nanotecnología ha tomado una gran importancia, ya que se le ha nombrado “la ciencia del futuro”, parte de esto se debe a que es una ciencia multidisciplinaria, solo Estados Unidos ha invertido miles de millones de dólares para investigación científica en esta área. Desglosándola en sus diferentes disciplinas podemos mencionar ejemplos como la nanomedicina dónde se está trabajando en diseño de medicamentos más seguros y eficientes; la nanoelectrónica está enfocada en los nanochips para guardar más información en menor espacio y en los nanomateriales que pueden llegar a intensificar las propiedades físicas o químicas de los materiales que ya se conocen a macroescala⁹.

Las diversas formas de la nanotecnología tienen el potencial de tener un impacto muy significativo en la sociedad. Generalmente, se puede suponer que la aplicación de la nanotecnología será beneficiosa para las personas y las organizaciones. Aunque aún se desconoce mucho de los efectos en la salud. Muchas de estas aplicaciones implican nuevos materiales, que proporcionan propiedades radicalmente diferentes funcionando a nanoescala, donde los nuevos fenómenos están asociados con el área de superficie muy grande en relación con el volumen experimentado en estas dimensiones y con los efectos cuánticos que no se obtienen en las dimensiones a la que estamos acostumbrado a ver. Estos incluyen materiales en forma de láminas muy finas utilizadas en la catálisis y electrónica, nanopartículas de nanotubos y nanoalambres para los sistemas ópticos y magnéticos, y también se utiliza en cosméticos, productos farmacéuticos y revestimientos¹⁰.

Los sectores industriales que abarcan más fácilmente la nanotecnología son por ejemplo, los sectores de la información y las comunicaciones incluyendo campos electrónicos y optoelectrónicos, tecnología de los alimentos, la tecnología de la energía y el sector de productos médicos, incluyendo muchas facetas diferentes de fármacos y sistemas de administración de fármacos, diagnósticos y tecnología médica, donde los términos nanomedicina y bionanotecnología ya son algo común¹¹. Productos de la nanotecnología pueden también ofrecer nuevos retos para la reducción de la contaminación ambiental.

En México la investigación en la nanociencia y nanotecnología está incrementándose cada vez más. Sólo en el 2007 ya había 17 centros académicos realizando investigación en esta área. En el periodo de 1998-2002 el presupuesto destinado por CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) para la investigación en nanotecnologías fue de 7.4 millones y en el 2003 el fondo total para 19 instituciones fue de 12.5 millones de pesos. Actualmente, se hace investigación en nanociencia y nanotecnología en muchas universidades públicas y privadas del país, así como en los centros CONACYT de investigación¹².

Por otro lado, dentro de la distintas técnicas para la síntesis de nanopartículas existen dos grandes ramas, la primera es de “top-down” que consiste en la construcción de nanopartículas a partir de un sólido mas grande por desgaste. Por mencionar un ejemplo, se inicia con polvos pasándose por un proceso de molienda, lo que se puede llegar a tener partículas de tamaño nanométrico pero de tamaños muy variables¹¹. La segunda división es “botton-up” en donde se inicia de una fase líquida o gaseosa implicando la condensación de átomos o componentes moleculares, en este proceso se considera mas prometedor debido a que se tiene un mayor nivel de control. Por la vía de “botton-up” se han producido numerosos tipos de nanopartículas por síntesis de la fase líquida, tales como co-precipitaciones de productos solubles por reacción de adición, reacción de intercambio, reacción de reducción, oxidación o hidrólisis, entre otras¹⁴.

Ahora bien, en cuanto a los procesos actuales para la fabricación de nanopartículas metálicas se encuentran: la molienda mecánica, precipitación química, deposición de vapor químico, microemulsiones y pulverización térmica¹³. Aquí hablaremos de la técnica de microemulsiones por que es la técnica utilizada en el presente estudio.

2.2 Síntesis por la Técnica de Microemulsiones

Una microemulsión es una dispersión termodinámica estable de dos líquidos inmiscible en presencia de un emulsionante o tensioactivo. Se caracteriza por una ultra-baja tensión superficial, gran área interfacial y la capacidad para solubilizar tanto el agua como componentes de aceite. Entre las aplicaciones de las microemulsiones se encuentra la recuperación de petróleo, los lubricantes, entre otros. Las microemulsiones son homogéneas

macroscópicamente, pero se pueden observar las distintas fases a niveles microscópicos¹⁵. Los surfactantes son moléculas con una cabeza polar hidrófila (atraída por el agua) y una cadena hidrocarburo hidrófoba (atraída por aceite). Durante la disolución de un agente tensioactivo en agua o en un disolvente polar, las cadenas tienden a autoasociarse para formar diversos agregados. Las micelas inversas son agregados obtenidos en un entorno en el que el disolvente es el aceite, y el agua se muestra en muy pequeñas cantidades, formándose esferas con el surfactante, en donde la cabeza polar se encuentra atraída por el agua de tal forma que la rodea y la cadena hidrófoba en afección con el solvente (figura 1).

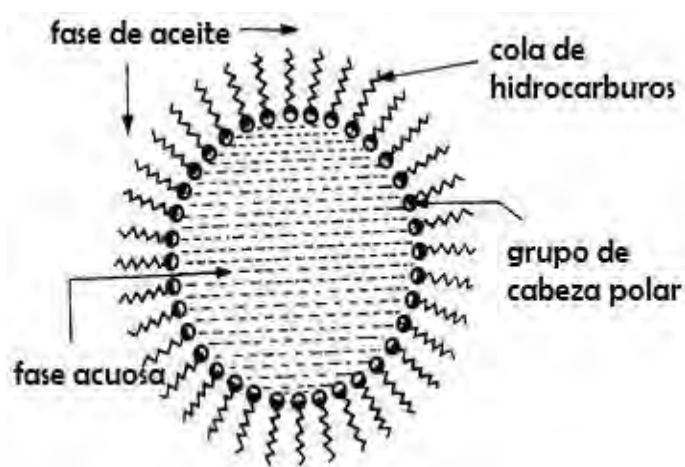


Figura 1. Representación esquemática de una micela Inversa¹⁵

Estos sistemas son liotrópicos en equilibrio termodinámico. Para lograr la estabilidad, el sistema debe tener una composición definida a presión y temperatura constantes, cada uno de los tres componentes tiene que estar dentro de un intervalo de composición según la zona del diagrama de fases correspondiente a la forma de la microemulsión.

Como se mencionó anteriormente las micelas inversas con pequeños volúmenes de agua pueden servir como nanorreactores. En estos espacios se puede introducir iones metálicos ya que tienen carga y son atraídos por la parte polar del sistema, obteniendo así un espacio nanométrico específico para que ocurra cierta reacción.

Este método se puede hacer a temperatura ambiente y no se necesita equipo de alto costo económico, también se le atribuye que al ser un nanorreactor las reacciones son más controladas y se obtienen tamaños homogéneamente aceptables en tamaño, forma y

estructura cristalina. Debido a esto es considerado un método factible al momento de pensar en la síntesis de nanopartículas¹⁶.

2.3 Técnicas de caracterización

2.3.1. Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM)

El microscopio electrónico de transmisión (TEM) ha sido un herramienta muy poderosa para analizar la estructura de los metales y aleaciones debido a su capacidad para proporcionar información morfológica, detalles cristalográficos y composición química de las fases distribuidas en una escala muy fina en una microestructura dada. La difracción de electrones de haz convergente, nanodifracción y difracción electrónica de área selecta se han utilizado para obtener información de la microestructura de los materiales, así como también puede estudiarse la microestructura a partir de la información proporcionada por microscopía electrónica de alta resolución (HRTEM), así como con sus capacidades multifacéticas como la nanodifracción, análisis de composición de imágenes y capacidades a caracterización de Nanomateriales¹⁷.

La resolución de los microscopios ópticos está limitado por la longitud de onda de la luz, por lo que para mejorar es necesario cambiar totalmente la radiación que se utiliza para formar la imagen por otra con mucha menor longitud de onda, tal es el caso de los electrones. El microscopio electrónico utiliza un haz de electrones para formar la imagen, los electrones se aceleran utilizando voltaje, entre mas alto sea el voltaje de aceleración, mayor es la velocidad que presentan los electrones. De acuerdo a la ecuación de DeBroglie.

$$\lambda = \frac{h}{mc} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde λ es la longitud de la onda de un haz de electrones, h es la constante de Planck, m es la masa del electrón y c es la velocidad del electrón. Por lo que si aumenta la velocidad del electrón (c) disminuye la longitud de onda, la velocidad se aumenta con el voltaje. Aún no se construye un microscopio electrónico de transmisión perfecto que se acerque al límite de resolución mencionado. Aun así, los microscopios electrónicos de última generación han alcanzado hasta 0.05 nm en sus mejores condiciones de trabajo¹⁷.

En el TEM los electrones son emitidos por un filamento y acelerados en un campo eléctrico. Una lente condensadora es la encargada de enfocar los electrones al objetivo que

se desea ampliar. Debido a que el aire interfiere con el paso de los electrones la cámara donde se encuentra la muestra y ocurre todo el recorrido del haz de electrones debe estar al alto vacío, por lo que la muestra que vaya a ser introducida al microscopio para su posterior observación debe estar libre de solvente y sometida a vacío; el porta muestra se introduce por una cavidad que se encuentra de manera aislada para tener más control sobre el vacío del interior. Después con la función de amplificar la imagen del punto que se quiere ver, esta pasa a una pantalla fluorescente donde la imagen ya es visible al ojo humano¹⁷.

2.3.1.1. Difracción Electrónica.

El uso de la difracción de electrones para resolver problemas cristalográficos fue iniciado en la Unión Soviética por B. K. Vainshtein y sus colegas en la década de 1940¹⁸. La difracción electrónica con ayuda del Microscopio Electrónico de Transmisión es un método muy utilizado para la caracterización de materiales y especialmente a escala nanométrica, ya sea cristales perfectos o con defectos cristalográficos¹⁸. Lo que da lugar a este efecto es la naturaleza ondulatoria del electrón, en el TEM se tiene que enfocar en los electrones que se desvían poco, ya que en relación a estos se obtiene información importante del material observado como la estructura y la química de la muestra. Gracias a la difracción electrónica se puede determinar la distancia que hay entre los distintos planos de átomos en los cristales apoyándonos en las posiciones de los haces difractados de electrones que son determinados por el tamaño y la forma de la celda unitaria, y las intensidades de estos mismos haces varía con base en la distribución, el número y los tipos de átomos de la muestra¹⁷.

En la actualidad la difracción electrónica es parte fundamental del TEM debido a algunas de las ventajas ya mencionadas, por lo que es de gran utilidad para este trabajo, conocer la estructura cristalina y sus efectos en los fluidos¹⁷.

2.3.1.2. Análisis de composición química.

El análisis de composición química se hace por medio de espectroscopia de dispersión de Energía de Rayos X (XEDS por sus siglas en inglés). Está técnica fue desarrollada a finales de 1960, era una opción en muchos sistemas y aun más generalizado en el microscopio electrónico de barrido (SEM por sus siglas en inglés). Esta rápida propagación da por hecho

que el XEDS es un instrumento extraordinario, que incorpora muchas de las características avanzadas de la tecnología de semiconductores. Es compacto, estable, fuerte, fácil de usar, y se puede obtener lecturas rápidas. El XEDS utiliza un semiconductor de silicio o en ocasiones de germanio para tal proceso. El detector genera pulsos de voltaje que son proporcionales a la energía de rayos X. La transducción electrónica de los pulsos traduce la energía de rayos X en una señal a un canal específico en un sistema de almacenamiento controlado por una computadora. Los resultados se muestran en un espectro donde se puede apreciar los picos característicos de cada elemento encontrado en la muestra, o mejor aún, una imagen de composición o “mapa”¹⁷.

Las tres partes principales del XEDS son el detector, la electrónica de procesamiento y la computadora. En resumen el trabajo del XEDS es el siguiente, el detector genera un pulso de carga proporcional a la energía de los rayos X, este pulso se convierte primero en un voltaje, el voltaje se amplifica a través de un transistor de efecto de campo (FET por sus siglas en inglés) a continuación, es identificado electrónicamente en una placa de rayos X de energía específica, después una señal digitalizada se almacena en el canal asignado a esa energía en la pantalla del ordenador. La velocidad de este proceso es tal que el espectro parece ser generada en paralelo con la gama completa de energía de rayos X que son detectados simultáneamente, pero en realidad el proceso implica un desarrollo en serie muy rápido de cada señal de rayos X.

Por lo tanto, la XEDS tanto detecta los rayos X y los dispersa en un espectro de acuerdo a su energía; de ahí el nombre del espectrómetro¹⁷.

2.3.2. Espectrofotometría UV-Visible

En el estudio de nanomateriales se utiliza la banda de plasmón de superficie (BPS). Esta banda es fuerte y amplia observada en la absorción en el espectro UV-Visible para NPs metálicas más grandes que dos nanómetros. Esta adsorción también se conoce como resonancia de Mie, nombre proveniente del investigador Gustav Mie por ser uno de los más importante contribuyentes de esta teoría. Para partículas más pequeñas, los efectos cuánticos son predominantes y no se observan en la banda de plasmón de superficie. Todos los materiales cuentan con esta propiedad , sin embargo, la ventaja de la serie metálica Au-

Ag-Cu es que muestra una banda de plasmón intensa, además de facilidad de síntesis, estabilidad y el éxito de las nanopartículas de oro y plata en la nanociencia y nanotecnología. La posición, la forma y la intensidad de la banda de plasmón de superficie depende de varios factores: la constante dieléctrica del sistema coloidal, las interacciones electrónicas entre los ligandos estabilizantes y la nanopartícula, las cuales alteran la densidad de electrones en el interior de la nanopartícula, el tamaño, la forma y monodispersidad de las NPs. Existen otros tipos de señales, tales como polaritones de plasmón de superficie producida por películas metálicas, en flexión o transmisión. Siendo de mayor interés para este trabajo la banda de plasmón de superficie debido al enfoque hacia las NPs AuCu y AgCu¹⁹.

2.4. Nanofluidos

Los fluidos comerciales tienen propiedades bajas de transferencia de calor comparadas con la mayoría de los sólidos, por tal motivo el *Argonne National Laboratory*, desarrolló un nuevo concepto de fluidos refrigerantes llamado nanofluido, que son creados introduciendo partículas de tamaño nanométrico, de metales y no metales, en fluidos tradicionales como agua, aceite de motor y etilenglicol²⁰.

Desde la década de los 90's se realizan investigaciones en todo el mundo para el desarrollo de nanofluidos y dispositivos de refrigeración de alta eficiencia y de bajo impacto ambiental que suplan las necesidades del creciente mercado. Tales investigaciones enfocadas principalmente en el modelado de propiedades y el estudio de la transferencia de momentum y calor en fluidos y dispositivos²⁰.

Choi en el año de 1994 fue el primero que utilizó el término nanofluido para referirse a tales suspensiones. Demostró que la adición de una pequeña cantidad (menos de 1% en volumen) de nanopartículas en líquido de transferencia de calor tradicionales aumentaba la conductividad térmica del mismo hasta aproximadamente dos veces²⁰.

Los nanofluidos son suspensiones estables de partículas de tamaño nanométrico (1×10^{-9}) en fluidos de transferencia térmica convencionales tales como aceite, agua y etilenglicol.

Algunas investigaciones experimentales han revelado que dichos fluidos tienen conductividad térmica remarcablemente más alta y propiedades de transferencia de calor mejores que las de los fluidos convencionales puros^{20,21}. A la par, fue propuesto un modelo

teórico y uno experimental que descubren el rendimiento de la transferencia de calor de un nanofluido fluyendo dentro de un tubo. Los resultados experimentales indican que la conductividad térmica incrementa sustancialmente con la fracción volumétrica de nanopartículas²².

En el 2001, un fluido con partículas de cobre dispersas en etilenglicol, demostró tener una conductividad térmica mucho más efectiva que el etilenglicol puro o etilenglicol conteniendo la misma fracción volumétrica de nanopartículas de óxido de cobre²³. Así mismo Xuan y Li, han estudiado el comportamiento de la transferencia de calor por convección y flujo del fluido de cobre – agua en un tubo²⁴, que después fue detalladamente investigado por Sarit y col²⁵. En un experimento, con incremento de temperatura, los resultados de los nanofluidos hechos a base de agua – cobre y agua – aluminio, indicaron que incrementaron positivamente las características estudiadas, lo que hace a los nanofluidos aún más atractivos para aplicaciones con grandes cantidades de energía que las propuestas a temperatura ambiente previamente²⁴. Inclusive, la curva de cambio de fase (ebullición) para los nanofluidos saturados a 60°C ha demostrado que el flujo de calor crítico incrementa enormemente comparado con el del agua pura (~200% de incremento)²⁵.

Hacia el 2004, algunos investigadores estudiaron el comportamiento térmico de un fluido con oro en un intercambiador de calor, con una tubería de 170 mm de longitud y un diámetro externo de 6 mm. Los rangos de resistencia térmica para el intercambiador de calor fueron de 0.17 a 0.215°C/W mostrando que la resistencia térmica del dispositivo es más baja con el uso de nanofluidos que con el agua pura²⁶.

2.4.1. Movimiento Browniano

El movimiento browniano es el movimiento que se observa en algunas partículas microscópicas que se hallan en un medio fluido (por ejemplo, polen en una gota de agua). Recibe su nombre en honor al escocés Robert Brown, biólogo y botánico que descubrió este fenómeno en 1827 y observó que pequeñas partículas de polen se desplazaban en movimientos aleatorios sin razón aparente²⁷. El movimiento aleatorio de estas partículas se debe a que su superficie es bombardeada incesantemente por las moléculas del fluido, sometidas a una agitación térmica. Este bombardeo a escala atómica no es siempre

completamente uniforme y sufre variaciones estadísticas importantes. Así, la presión ejercida sobre los lados puede variar ligeramente con el tiempo, y de esta manera se genera el movimiento observado.

El movimiento Browniano de las partículas se caracteriza por:

- Un movimiento irregular, compuesto por traslaciones y rotaciones, y su trayectoria no tiene tangente.
- Las partículas se mueven de forma independiente, incluso cuando se acercan entre sí a una distancia menor que su diámetro.
- El movimiento es más activo en cuanto menor sea la viscosidad del fluido y mayor la temperatura.
- El movimiento no cesa.

Tanto la difusión de masa como la ósmosis se basa en el movimiento browniano, y la descripción matemática del fenómeno fue elaborada por Albert Einstein, construyendo el primero de sus artículos escritos en 1903²⁸.

Los sistemas de nanopartículas no son afectados por la gravedad por lo que están sujetos al movimiento browniano²⁸.

2.4.2. Propiedades físicas de los nanofluidos

2.4.2.1 Densidad

La densidad, simbolizada con la letra ρ , es una magnitud escalar referida a la cantidad de la masa de un cuerpo que ocupa un determinado volumen. La densidad media es la razón entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa. En el Sistema internacional las unidades utilizadas son $[\text{Kg}/\text{m}^3]$. En los nanofluidos mediante la teoría de mezclas ideales se puede deducir fácilmente una expresión para el cálculo de la densidad dada por la Ec. 2, para ello se debe asumir volúmenes aditivos entre partículas y fluido base, esto implica partículas no porosas:

$$\rho_{eff} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_{np} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde los subíndice ρ_{eff} , ρ_{bf} y ρ_{np} son la densidad efectiva de la suspensión, del fluido base y de las nanopartículas respectivamente.

2.4.2.2. Viscosidad

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, es decir la oposición al flujo. Esta propiedad sólo se manifiesta en fluidos en movimiento. Un fluido sin viscosidad se llama fluido ideal²⁹.

La viscosidad de un líquido puede medirse por un parámetro dependiente de la temperatura llamado coeficiente de viscosidad. En el Sistema Internacional las unidades que se utiliza es [Pa·s] y se simboliza con la letra griega η .

Debido a la presencia de partículas, la viscosidad de los nanofluidos cambia en comparación a la del fluido base. Para la determinación de la viscosidad de suspensiones coloidales se han desarrollado algunas expresiones teóricas, las cuales presentan resultados aceptables en la relación a mediciones experimentales. Así Einstein desarrolló una expresión teórica para la ecuación de la viscosidad efectiva, η_{eff} de una suspensión diluida de partículas esféricas dada por la Ec. 3³⁰.

$$\eta_{eff} = \eta_{bf}(1 + 2.5\phi) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde η_{eff} es la viscosidad efectiva del nanofluido, η_{bf} es la viscosidad del fluido base y ϕ es la fracción volumétrica del sólido en suspensión.

La ecuación de Einstein fue extendida por Brinkman para suspensiones con concentraciones volumétricas menores al 5%³¹

$$\eta_{eff} = \frac{\eta_{bf}}{(1-\phi)^{2.5}} \quad \text{Ec. 4}$$

2.4.2.3. Conductividad Térmica

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que se está en contacto³². Es uno de los parámetros más importantes en la transferencia de calor, y la mayor parte de los trabajos experimentales en nanofluidos procuran estudiar esta propiedad como función de la temperatura y la fracción volumétrica de las nanopartículas en suspensión. En el Sistema Internacional las unidades utilizadas para medir la conductividad térmica es [W/(K·n)].

Dada la “alta” conductividad térmica de las partículas suspendidas en nanofluidos, se

ha encontrado un considerable aumento en la conductividad térmica efectiva de éstas suspensiones, aun a baja concentraciones³³. Así, datos experimentales muestran un aumento en la conductividad térmica de la suspensión al incrementar la temperatura y la fracción volumétrica de las partículas^{20,34}. La comprensión convencional de la conductividad térmica efectiva de las mezclas se origina a partir de la formulaciones de medios continuos que implican típicamente sólo la fracción volumétrica, forma, tamaño de la partícula y asumir la transferencia de calor difusiva en ambas fases, fluido y sólido. Este método puede dar una buena predicción para sistemas sólido-líquido con partículas más grandes, de tamaño microscópico, pero no explica las características inusuales de transferencia de calor en nanofluidos.

Maxwell desarrolló un modelo para determinar la conductividad eléctrica o térmica de medios heterogéneos con fracción volumétrica mínima de partículas Ec. 5 donde determina la conductividad térmica efectiva k_{eff} , relacionando la conductividad térmica del fluido y de las nanopartículas k_{bf} y k_{np} respectivamente, junto la fracción volumen ϕ . Aunque ha sido aplicado con éxito en compuestos sólidos, es aplicable en menor medida en suspensiones líquidas homogéneas, diluidas, y de partículas esféricas; sin embargo no predice con exactitud la conductividad térmica de los nanofluidos, pues no contempla todos los mecanismos involucrados en el aumento de la misma³⁵.

$$k_{eff} = \frac{2k_{np} + k_{bf} + \phi(k_{np} - k_{bf})}{2k_{np} + k_{bf} - 2\phi(k_{np} - k_{bf})} \quad \text{Ec. 5}$$

Hamilton y Crosser³⁶ ampliaron el trabajo de Maxwell para aplicación en partículas no esféricas mediante el factor de forma simbolizado por la letra ψ . Este puede determinarse experimentalmente para diferentes tipos de materiales. El objetivo de su investigación era desarrollar un modelo como una función de la forma de las partículas, la composición y la conductividad de las dos fases. El modelo de Hamilton y Crosser para la conductividad térmica esta dado por la Ec. 6:

$$k_{eff} = k_{bf} \cdot \frac{k_{np} + (\psi - 1)k_{bf} - (\psi - 1)\phi(k_{bf} - k_{np})}{k_{np} + (\psi - 1)k_{bf} + \phi(k_{bf} - k_{np})} \quad \text{Ec. 6}$$

donde $\psi = 3/\epsilon$ es el factor de forma, y ϵ es la esfericidad de la partícula, que se define como la relación de las áreas de la superficie de una esfera con igual volumen al de la partícula. El

modelo de Hamilton-Crosser se reduce al modelo de Maxwell cuando las partículas son esféricas, es decir $\epsilon=1$, y es válido siempre y cuando la conductividad de las partículas es mayor que la conductividad del fluido por lo menos en un factor de cien.

En la literatura se encuentran expresiones que incorporan un efecto adicional a la conductividad térmica de una suspensión diluida estática, el cual surge de las corrientes de microconvecciones generadas por el movimiento caótico e incesante de las partículas. De ésta forma, k_{eff} estaría dada por:

$$k_{eff} = k_{static} + k_{dynamic} \quad \text{Ec. 7}$$

El aporte dinámico se puede derivar a partir de los efectos convectivos que resultan del movimiento Browniano de las partículas. De ésta manera, las condiciones dinámicas del sistema pueden ser modeladas mediante dinámica Browniana, mientras que el aporte estático puede ser calculado mediante expresiones del tipo Maxwell.

2.5. Técnicas de Caracterización

2.5.1. Hilo Caliente

La exactitud de la medición de propiedades térmicas toma importancia en numerosas aplicaciones químicas, físicas o de la medicina. Los métodos estandarizados para la medición de estos parámetros están basados en técnicas de estado estable. Para la medición de la conductividad térmica el método de hilo caliente ha sido de gran ayuda, ya que es relativamente simple y rápido y está basado en la medición del incremento de temperatura de un hilo calentado uniformemente por una corriente eléctrica.

Un sistema de hilo caliente envuelve un cilindro vertical donde el hilo o cable sirve tanto como termómetro como elemento de calentamiento. Este método es conocido por ser rápido y eficiente para mediciones de conductividad térmica en fluidos. El calor generado se disipa de una línea continua y delgada que es el cable o hilo, de longitud infinita hasta el medio líquido. En la mayoría de los casos se utiliza aluminio como opción para el cable^{37,38}.

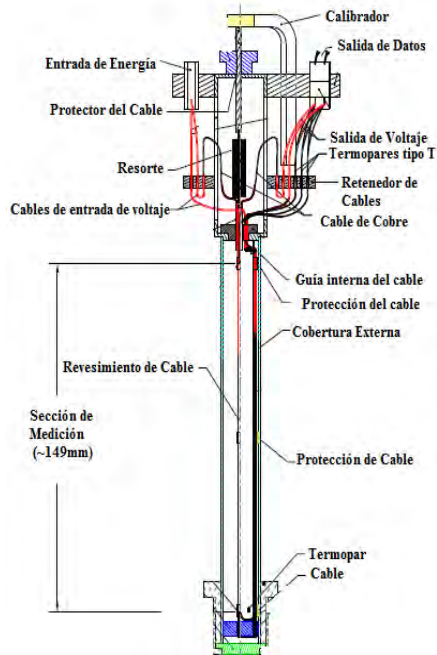


Figura 2. Vista interior del sensor de la técnica hilo caliente modelo KD2³⁹.

En la práctica, el cable es eléctricamente calentado, el cambio en la resistencia del cable, así como su temperatura, se mide en el función del tiempo usando un puente circuito Wheatstone y los datos se computarizan en el sistema adquirente de datos. Finalmente la conductividad térmica se determina a partir del calor generado y la pendiente de la grafica del cambio de temperatura contra el logaritmo del tiempo. En la figura 2 se muestra una esquematización de las partes internas del sensor de esta técnica.

Para el presente estudio la conductividad térmica fue medida con un dispositivo llamado KD2, Figura 3 y 4, que funciona de acuerdo a las suspensiones subsecuentes. El dispositivo calcula los valores de la conductividad térmica (k), resistividad (R) y difusividad (D), monitoreando la disipación de calor desde una línea de calor dada a un cierto voltaje. En la tabla 1 podemos ver la especificaciones del equipo KD2, y en la tabla 2 se muestra las características del sensor de este mismo.



Figura 3. Elementos del dispositivo KD2.

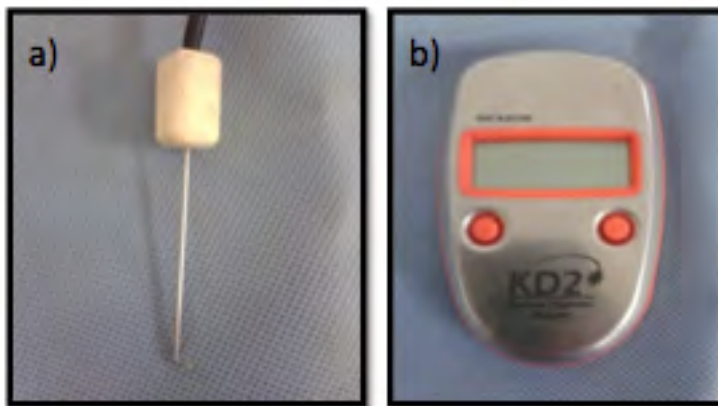


Figura 4. Partes del equipo KD2, a) Sensor y b) Unidad de salida de resultados.

Tabla 1. Especificaciones del equipo KD2.

Velocidad de Medición	2 minutos
Exactitud	5% Conductividad térmica – resistividad. 10% Difusividad térmica.
Fuente de poder	Batería de ion litio de 3.0V CR2
Peso	Peso: 148g
Temperatura de operación	5°C – 40°C
Rango de Medición	k (conductividad térmica) 0.02 – 5 W/m°C α (difusividad térmica) 0.1- 1.0 mm ² /s R (resistividad térmica) .5 – 10 m°C/W

El sensor consiste de una aguja conectada a un cable con extremo USB Introducido al dispositivo.

Tabla 2. Especificaciones del sensor del equipo KD2.

Longitud de aguja	60mm
Diámetro de aguja	1.28mm
Longitud de cable	72cm

2.5.1.1. Ecuaciones de estado

Para el cálculo de los parámetros de interés, el KD2, requiere de ciertos principios y suposiciones que se basan en la ecuación de conducción de calor radial en un medio homogéneo e isotrópico dada a continuación:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + r^{-1} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde T es la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), t es el tiempo (s), α es la difusividad térmica (m^2s^{-1}) y r es la distancia radial (m). Cuando la aguja calentada eléctricamente se introduce a un medio, el aumento de la temperatura de la aguja, desde una temperatura inicial T_0 , a cierta distancia r , de la aguja es dada por la siguiente ecuación

$$T - T_0 = \left(\frac{q}{4\pi k} \right) Ei \left(\frac{-r^2}{4\alpha t} \right) \quad \text{Ec. 9}$$

Donde q es el calor producido por unidad longitudinal por unidad de tiempo (Wm^{-1}), k es la conductividad térmica del medio ($\text{Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$) y Ei es la función integral exponencial, descrita por la Ec. 10.

$$-Ei(-a) = \int_a^{\infty} -\exp(-u) du = -\gamma - \ln \left(\frac{r^2}{4\alpha t} \right) + \frac{r^2}{4\alpha t} - \left(\frac{r^2}{8\alpha t} \right)^2 + \dots \quad \text{Ec. 10}$$

Donde $a = \frac{r^2}{4\alpha t}$ y γ es la constante de Euler. Cuando t alcanza valores muy elevados, los términos de orden más altos pueden ser ignorados, de esta manera si combinamos las ecuaciones 9 y 10, obtenemos la Ec. 11

$$T - T_0 \cong \frac{q}{4\pi k} \left(\ln(t) - \gamma - \ln \left(\frac{r^2}{4\alpha} \right) \right) \quad \text{Ec. 11}$$

Aparentemente la relación entre la conductividad térmica y $\Delta T = T - T_0$ muestra que ΔT y $\ln(t)$ están relacionados linealmente por una pendiente $m = \left(\frac{q}{4\pi m}\right)$. Aplicando una regresión lineal de ΔT en $\ln(t)$ da como resultado:

$$K \cong \frac{q}{4\pi m} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde se conoce el valor de q por la energía suministrada al calentador. La difusividad también se puede obtener de la ecuación Ec. 12. La intersección de la línea de regresión con el eje $t(\Delta T = 0)$ da como resultado

$$\ln(t_0) = \gamma + \ln\left(\frac{r^2}{4\alpha}\right) \quad \text{Ec. 13}$$

La Ec. 13 nos proporciona la difusividad a partir de t_0 ya calculado (de la intersección de ΔT con $\ln(t)$ y una r finita.

Ya que los términos de órdenes elevados han sido eliminados, la Ec. 13 no es exacta. Sin embargo la pendiente y la intercepción son calculadas solo para valores de ΔT y $\ln(t)$, donde t es utilizada por la k y α . Para verificar estas relaciones, se utilizaron valores de k y α , variando tanto k y la capacidad de calor volumétrica (ρC_p), y la pendiente resultante se tabulan para un tiempo de 1 a 30 segundos. Dichas gráficas están en escalas logarítmicas y se presentan en la figura 5.

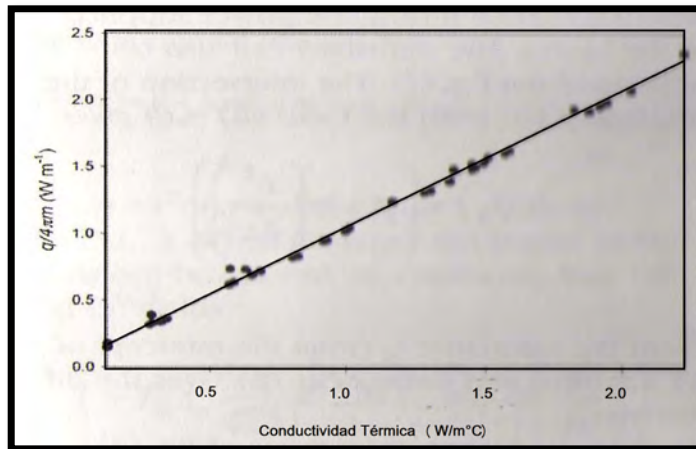


Figura 5. Conductividad térmica contra conductividad térmica teórica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

- Materiales
 - Ácido tetracloroáurico HAuCl_4 al 99%, SIGMA-ALDRICH, número CAS: 16961-25-4
PM: 393.83
 - Nitrato de plata AgNO_3 al 99%, SIGMA-ALDRICH, número CAS: 577-11-7
PM: 169.88
 - Sulfato de Cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, SPECTRUM, número CAS: 7758-99-8
PM: 249.69
 - Dioctilsulfosuccinato de sodio $\text{C}_{20}\text{H}_{37}\text{NaO}_7\text{S}$ (AOT) al 99%, SIGMA-ALDRICH
número CAS: 577-11-7 PM: 444.55
 - Isooctano 2.2.4-trimetilpentano al 99%, SIGMA-ALDRICH, número CAS: 302-01-2
PM: 114.23
 - Hidrazina H_2NNH_2 , SIGMA-ALDRICH, número CAS: 302-01-2, PM: 32.05
 - 1-dodecanotiol $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SH}$ al 98%, SIGMA-ALDRICH, número CAS: 112-55-0
PM: 202.40
 - Agua desionizada H_2O Milli-Q 18.2 Ω
 - Acetona $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ al 99%, FERMONT, número CAS: 67-64-1 , PM: 58.05
 - Aceite Mobiltherm 603, Proveedor ExxonMobil de Mexico S. A. De C. V. Bases
tratadas Severamente, Código 201560802010, Uso para Transferencia de calor
Densidad relativa (15°C) 0.835.

- Equipo
 - Microscopio electrónico de transmisión modelo JEOL JEM 2010F de JEOL y
Microscopio de Resolución Atómica, modelo JEM-ARM200CF.
 - Espectrofotómetro UV-Visible modelo Lambda 20 de Perkin Elmer.
 - KD2 Thermal Properties Analyzer, Decagon Divices, Inc.
 - Reómetro Modular Compacto modelo MCR 502 de Anton Paar.

3.1. Síntesis de Nanopartículas por la Técnica de Microemulsiones

La síntesis de nanopartículas plata-cobre y oro-cobre se llevaron a cabo en atmósfera inerte de nitrógeno utilizando una cámara de atmósfera controlada de LABCONCO Parts & Service. La preparación de los sistemas de trabajo, suspensión de AOT en isooctano, suspensión de $\text{Cu}(\text{AOT})_2$ en isooctano y soluciones acuosas de HAuCl_4 y AgNO_3 , se hizo a temperatura de laboratorio (25°C) y a 759.71 mm Hg de presión.

❖ Síntesis de nanopartículas de oro-cobre y plata-cobre

La síntesis de las nanopartículas por el método de microemulsiones se hicieron en tubos de ensayos de 18x150 mm a una temperatura de laboratorio de 25°C y a una presión de 759.71 mm Hg, empezando con el sistema, AOT 0.1 M en isooctano, con un contenido de agua equivalente a 10, considerando el contenido de agua= $[\text{H}_2\text{O}]/[\text{AOT}]$; los iones de cobre provienen del sistema $\text{Cu}(\text{AOT})_2$ en isooctano y los de oro de la solución acuosa de HAuCl_4 en proporción 1:1 a una concentración de 0.1 mM. Se inició la reacción con los iones de cobre en el sistema al adicionar el agente reductor, en este caso la hidracina en proporción metal reductor de 1:3. Después de una hora de iniciada la reacción se añadieron los iones de oro al sistema. Tanto para parar el proceso como para estabilizar las nanopartículas, se añadió 1-dodecanotiol en razón de 10 μL por mL de suspensión.

Para la síntesis de las nanopartículas de plata-cobre se siguió el mismo procedimiento que las de oro-cobre, con la diferencia de que los iones de plata fueron introducidos al sistema a partir de una solución acuosa de AgNO_3 en vez de la solución acuosa de HAuCl_4 .

Al añadir cada reactivo se hizo una agitación fuerte, el tiempo en el que se agrega el dodecanotiol determina el tiempo de la reacción y esto puede influir en la distribución de tamaño de las nanopartículas resultantes.

Las nanopartículas suspendidas en el sistema de reacción son precipitadas por desestabilización del sistema de reacción, sometidas a centrifugación y lavadas dos veces con acetona en proporción 2:1 para liberar el exceso de moléculas de AOT.

3.2 Preparación de nanofluidos a base de nanopartículas metálicas y aceite.

En la preparación de los nanofluidos a diferentes concentraciones de porcentaje en volumen de sistema de nanopartículas de oro-cobre y de plata-cobre se tomó un volumen de

10 mililitros, el cual era suficiente para las mediciones de la conductividad térmica y de viscosidad. Para ello, se pesaron los viales antes de agregar los fluidos, se procedió primero a depositar el sistema de nanopartículas seguido del aceite mobiltherm 603, se registro el peso del sistema de nanopartículas y del nanofluido. En la tabla 3 se muestran los Nanofluidos y las densidades.

Tabla 3. Nanofluidos preparados a diferentes concentración (% vol) de sistema de nanopartículas de AuCu y de AgCu.

Muestra	Densidad (Kg/m ³)
Mobiltherm 603	854.47
AuCu1%	855.59
AuCu2%	848.03
AuCu3%	845.00
AuCu4%	853.84
AuCu5%	841.82
AuCu6%	841.59
AgCu1%	872.74
AgCu2%	855.07
AgCu3%	849.11
AgCu4%	843.49
AgCu5%	845.07
AgCu6%	840.60

3.2. Caracterización de las Nanopartículas

3.2.1. Espectrofotometría de UV-Visible

La caracterización por espectroscopia UV-Visible se llevó a cabo en el Laboratorio de Espectroscopia del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora utilizando para ello el espectrofotómetro UV-Visible marca Perkin Elmer, modelo Lambda 20.

Para el estudio de la BPS, se introdujo la suspensión en el espectrofotómetro de UV-Visible para obtener los espectros correspondientes.

3.2.2. Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)

La caracterización por microscopía electrónica de transmisión se llevó a cabo en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión de la Universidad de Sonora en un Microscopio Electrónico de Transmisión marca JOEL modelo JEM 2010F equipado con espectrómetro de dispersión de energía de rayos x, XEDS, marca Bruker y cámara de CDD ORIUS 200 de Gatan, Inc.

También se realizaron estudios en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Transmisión de Alta Resolución Atómica del Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnología del Instituto Politécnico Nacional en un TEM marca JOEL modelo JEM-ARM200CF que opera en modo TEM y en modo STEM, equipado con espectrómetro XEDS, cámara CCD, Espectroscopia por pérdidas de energía, EELS por sus siglas en inglés y contraste Z o HAADF.

Para la preparación de las muestras se añadieron dos gotas de la suspensión de nanopartículas de AuCu ó AgCu en respectivas rejillas de cobre con película de carbón, posteriormente la muestra fue lavada con tres gotas de isooctano para quitar los residuos de AOT, y se dejaron secar a vacío por 24 horas antes de la observación por TEM.

3.2.3. Medición de Conductividad Térmica, Método del Hilo Caliente

El modulo experimental utilizado para medición de la conductividad térmica, consistió en un soporte universal en el cual se montó el sensor y las pipetas pasteur donde se encuentra la muestra de nanofluido, para registrar la temperatura de la habitación se adjuntó un termómetro digital.

3.2.4. Medición de viscosidad con el reómetro Aton Paar.

El término Reología fue sugerido en 1929 por Eugene Cool Binham para definir la rama de la Física que tiene por objetivo el conocimiento de la deformación o flujo de la materia.

Para la medición de la viscosidad en este trabajo se utilizo un Reómetro Modular Compacto de Aton Paar. Éste equipo tiene diferentes geometrías; platos paralelos, cono y plato cónico, cilindros concéntricos y sistema de doble espacio anular, en este caso se realizó la medición de la viscosidad con el sistema de doble espacio anular por tratarse de una muestra de baja viscosidad y para utilizar bajo volumen. Se depositaron 6 ml del nanofluido preparado en el espacio anular, se llevó el equipo a la distancia de medición (1mm) se esperó

a que la temperatura se estabilizara para realizar la medición (21.8°C, temperatura promedio que se realizaron a la mediciones de la conductividad térmica).

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Nanopartículas de oro-cobre (NpsAuCu)

Primeramente, se realizó un estudio con el microscopio electrónico de transmisión en el cual se observó que las NPs de AuCu sintetizadas presentan relativa baja polidispersidad en tamaño con partículas desde los 2.5 nm hasta partículas de 15 nm aproximadamente, también presentan baja aglomeración y buena cristalización. Una vez conseguidas las condiciones de reacción necesarias para obtener los resultados descritos anteriormente, el método de síntesis se escaló en proporción de 1:40, esto, pensando en la cantidad requerida para el estudio de conductividad térmica y viscosidad.

Durante la síntesis de las NP's se tomaron muestras para el análisis de formación de estas mediante la técnica de Espectrometría de UV-Visible. En la figura 6, se presentan los espectros de la RPS durante la formación de las nanopartículas de cobre. En este caso no se observan la absorbancia de los iones Cu^{+2} , ni la banda de resonancia de plasmón de superficie típica de nanopartículas de cobre a los 570 nm de longitud de onda. Por esta razón se puede esperar tener nanopartículas muy pequeñas de cobre, con diámetros menores a 2 nm.

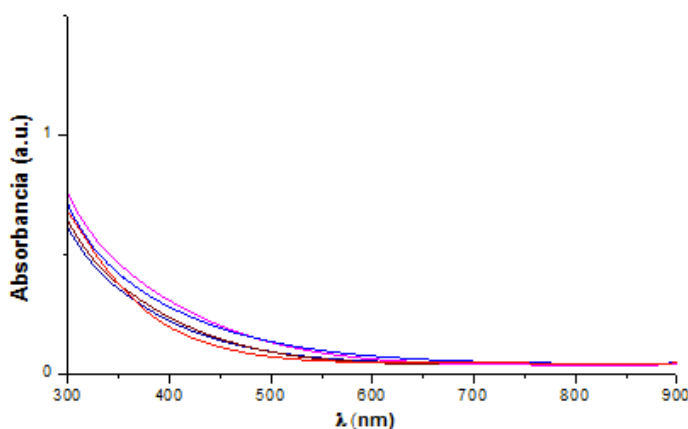


Figura 6. Espectro de UV-Visible para el sistema de nanopartículas de cobre.

La adición de los iones de oro al sistema completa la formación de las nanopartículas oro-cobre, el espectro de absorción de la figura 7, presenta una banda de plasmón de superficie a los 530 nm la cual se encuentra entre los valores máximos de la BRPS del oro, 520 nm, y de la BRPS del cobre, 570 nm. Tomando en cuenta que este fenómeno es superficial, tomado para las nanopartículas en volumen, provee información de los átomos superficiales que en este caso presenta la información de una probable aleación oro-cobre.

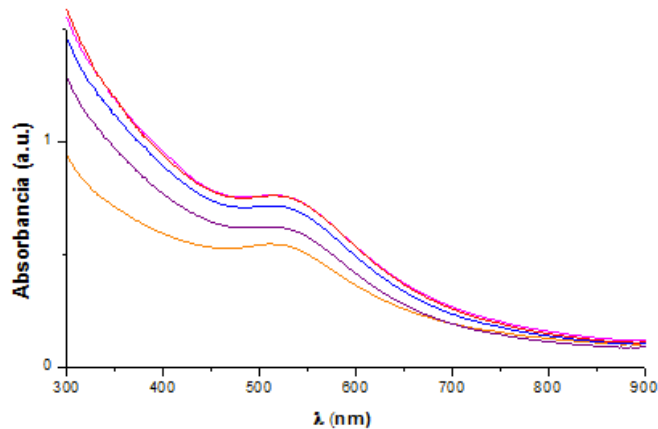


Figura 7. Espectroscopia de UV-Visible para el sistema de nanopartículas sintetizadas en AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAuCl₄]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM.

4.1.1. Análisis de Distribución de Tamaño en Base a los Resultados por TEM

El análisis de distribución de tamaño se llevó a cabo con la información de los resultados de TEM. En la figura 8 se presenta una micrografía representativa de las NP's de AuCu obtenidas. El sistema AuCu presenta un diámetro promedio de 3.86 ± 1.09 nm con un coeficiente de variación de un 28%, lo cual indica una polidispersidad relativamente baja en tamaño; también presenta baja aglomeración y coalescencia entre las nanopartículas siendo entonces un sistema con alta dispersión, sin embargo, por la diferencia de contraste que se observa al interior de una misma nanopartícula es posible que el sistema de NP's AuCu presenta heterogeneidad química, es decir diferentes proporciones de oro y de cobre en una misma nanopartícula pero aparentemente con un patrón diferente de homogeneidad de partícula a partícula, esto debe estudiarse por microanálisis químico pues también es posible que haya una partícula sobre la otra.

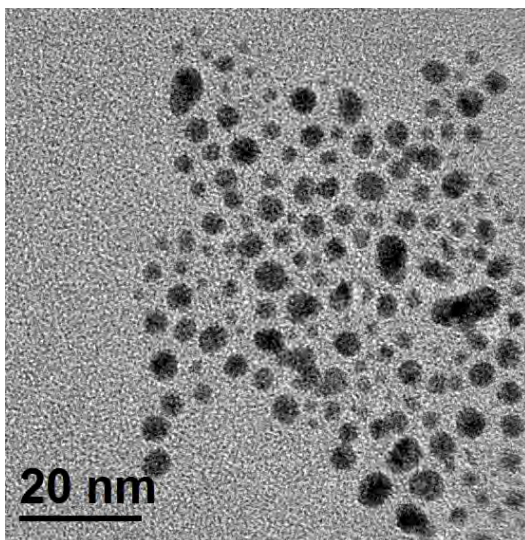


Figura 8. Micrografía obtenida por TEM donde se observa la distribución de las NP's AuCu mostrando una reducción de la polidispersidad, reducción de aglomeración y coalescencia entre las NP's de AuCu las que presentan un tamaño promedio de 3.86 ± 1.09 nm.

En la figura 9 se presenta el histograma de la distribución de tamaños obtenidos mediante el estudio estadístico. Para conocer la distribución de tamaños se realizó un estudio estadístico con la medición de 249 NP's del sistema de AuCu a partir de las micrografías obtenidas por TEM, donde la mayoría de las nanopartículas presentó un tamaño entre 2.5 y 4.5 nm, con una media de 3.98 ± 0.819 nm, con un diámetro mínimo de 2.087 nm y uno máximo de 6.453 nm, por lo que el coeficiente de variación es de 21%.

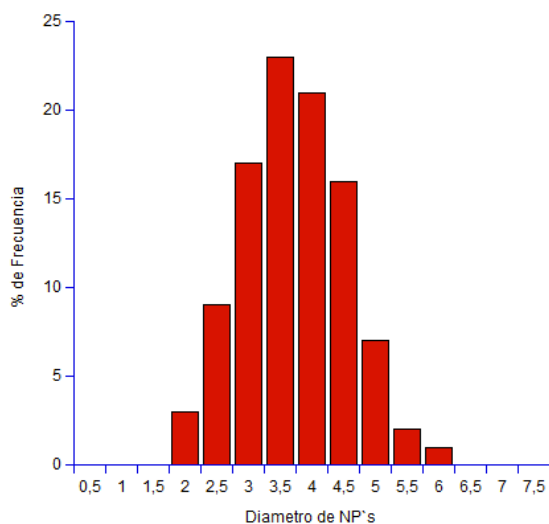


Figura 9. Histograma de resultados del estudio estadístico sobre la distribución de tamaños de la población de NP's Au sintetizadas AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAuCl₄]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM.

4.1.2. Análisis de HRTEM

En la figura 10 se tiene una micrografía de alta resolución modo TEM a la que se le hizo análisis del difractograma por FFT para obtener información de la estructura cristalográfica. La distancia interplanar correspondiente a la reflexión del difractograma es 1.980 Å que corresponde al plano (200) y proviene de la estructura tetragonal de una aleación oro-cobre (JCPDS 00-025-1220).

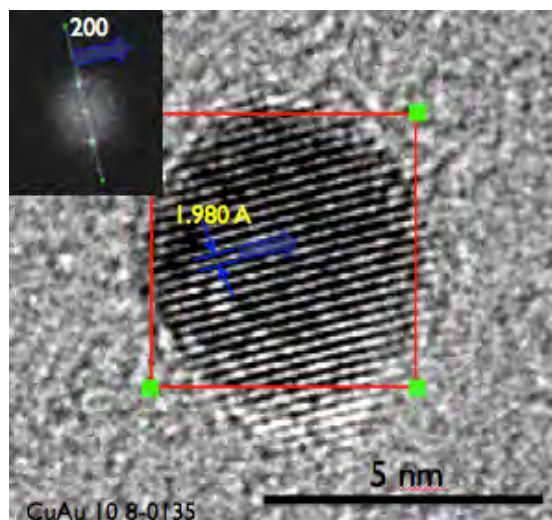


Figura 10. Micrografía de alta resolución de NP's de AuCu sintetizados en el sistema AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAuCl₄]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM. La distancia obtenida fue de 1.980 Å que corresponde al plano (200) y proviene de la estructura tetragonal del AuCu.

En la figura 11 se puede observar una micrografía de alta resolución de una nanopartícula a la cual se le hizo un análisis cristalográfico para conocer las distancias interplanares. Las distancias obtenidas fueron 2.038 Å, 2.3012 Å y 2.3092 Å que corresponden a los planos (111), (200) y (111) respectivamente, y corresponden a la estructura cubica centrada en las caras del oro (JCPDS 00-044-0784).

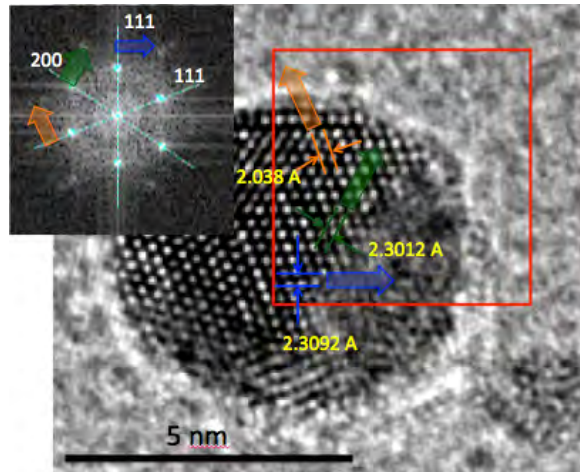


Figura 11 Micrografía de alta resolución de NP's de AuCu sintetizadas en el sistema de AOT - agua - isooctano: $[AOT]=0.1$ M, $W=10$, $[HAuCl_4]=[Cu(AOT)_2]=0.1$ mM. Las distancias obtenidas fueron 2.038 Å, 2.3012 Å y 2.3092 Å que corresponden a los planos (111), (200) y (111) los cuales proviene de la estructura cubica centrada en las caras del Au.

4.1.3. Análisis de XEDS de las Nanopartículas de AuCu

La composición química de las nanopartículas se estudió por espectroscopia de dispersión de energía de rayos X la cual nos da información sobre los elementos químicos presentes en la muestra.

En la figura 12 se presenta un espectro de XEDS de un conjunto de NP's de AgCu sintetizadas en el sistema AOT-agua-isooctano: $[AOT] = 0.1$ M, $W = 10$, $[HAuCl_4] = [Cu(AOT)_2] = 0.1$ mM. Al igual, se presenta el espectro donde se puede apreciar la presencia de ambos metales en una partícula individual basados en la energía de dispersión de rayos X de los electrones del oro. Se presenta la línea espectral $L\alpha$ para el oro con energía de 9.713 KeV y la línea espectral $L\alpha$ para del mismo con 2.123 KeV.

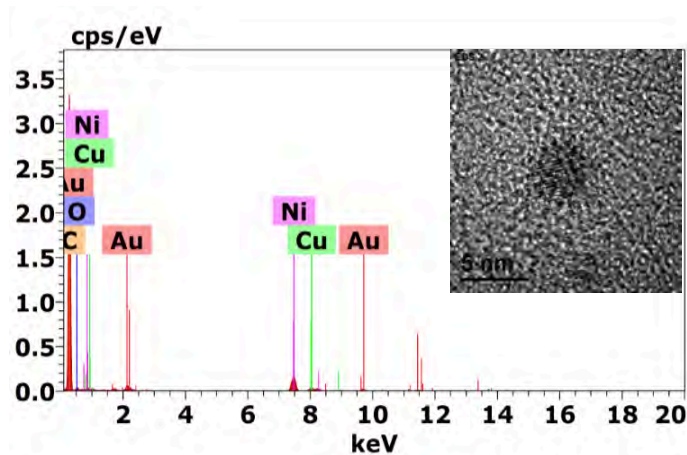


Figura 12. Espectro puntual de XEDS obtenido de una nanopartícula de AuCu sintetizada en el sistema de AOT - agua - isooctano: $[AOT] = 0.1 \text{ M}$, $W=10$, $[HAuCl_4] = [Cu(AOT)_2] = 0.1 \text{ mM}$, se detectaron los elementos de oro y cobre a demás de níquel (material de la rejilla).

En la figura 13 a) se presenta el espectro de XEDS en línea para una nanopartícula de AuCu, la cual se presenta en la figura 13 b) donde se aprecia la distancia recorrida del escaneo por la línea verde en nm. En el eje de la Y, se presenta la CPS que hace el detector XEDS de los rayos X característicos de los elementos en cuestión. Al comparar las señales $L\alpha$ del oro y del cobre en el espectro, observamos que ambos metales están presentes, sin embargo, el oro se encuentra en mayor cantidad a lo largo de toda la partícula.

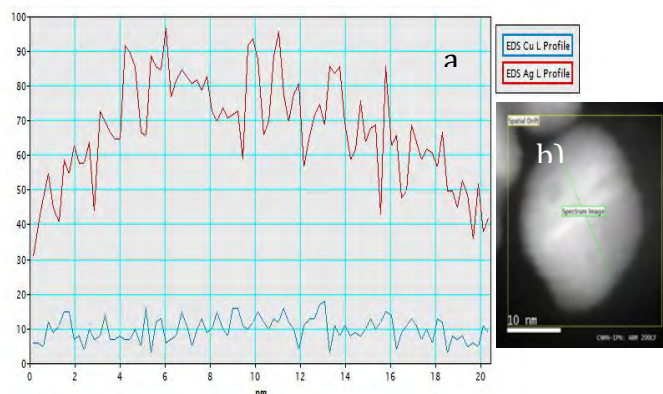


Figura 13. a) Espectro de XEDS en línea de b) micrografía por contraste Z de NP's de AuCu para una muestra preparada en AOT - agua - isooctano; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAuCl₄]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM. Los elementos Ag y Cu, se encuentran presente a lo largo de la línea de escaneo en el comparativo de las señales L α para ambos elementos, la plata se encuentra en mayor cantidad en el centro de la partícula.

En la figura 14 a) se presenta el espectro de XEDS para una nanopartícula de AuCu mostrada en la figura 14 b) correspondientes a la micrografía en contraste Z de la nanopartícula analizada junto con el área escaneada, y en la figura 14 c) se puede apreciar el mapeo por contraste de colores donde el rojo representa el M α del oro y el verde representa el K α del cobre. En el eje de la Y, se presenta las CPS que hace el detector XEDS de los rayos X característicos de los elementos en cuestión. Al comparar las señales M α del oro y la del K α de cobre en el espectro, observamos que ambos metales están presentes, sin embargo, el oro se encuentra en mayor cantidad a lo largo de toda la partícula.

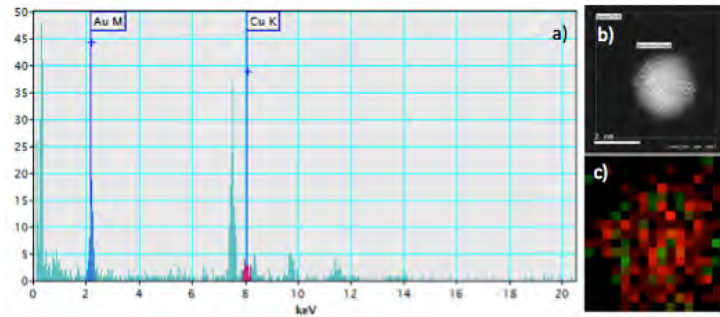


Figura 14. a) Espectro de XEDS en mapeo elemental de imagen de b) micrografía por contraste Z de NP's de AuCu para una muestra preparada en AOT - agua - isooctano; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAuCl₄]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM. Los elementos Au y Cu, se encuentran presente en toda el área de escaneo, c) es el comparativo de las señales M α del oro y para la K α del cobre donde el rojo representa el oro y el verde representa el cobre, en este caso el oro se encuentra en mayor cantidad en el centro de la partícula.

4.1.5 Análisis de Conductividad Térmica del Nanofluido AuCu.

Para el estudio de conductividad térmica en el sistema de oro-cobre, se prepararon diferentes nanofluidos en las cuales se varió la concentración en volumen del sistema de nanopartículas de AuCu. La conductividad térmica se midió por medio de la técnica del hilo caliente con el equipo KD2. En la tabla 4 se muestran las diferentes concentraciones de volumen utilizada para la preparación de nanofluido, la conductividad térmica registrada por el equipo KD2, la temperatura que el fluido alcanzó cuando se realizó la medición de la conductividad térmica y la temperatura del laboratorio cuando se realizó la medición.

Tabla 4. Porcentajes de concentración (% vol) del sistema de nanopartículas de oro-cobre con los cuales fueron preparado los nanofluidos y su valor de conductividad térmica.

Aceite - NP's	k (W/m°C)	T fluido (°C)	T amb (°C)
AuCu 0%	0.18	26.3	22.3
AuCu 1%	0.23	28.0	22.1
AuCu 2%	0.19	25.8	21.6
AuCu 3%	0.2	26.6	21.8
AuCu 4%	0.19	25.9	21.7
AuCu 5%	0.18	25.8	21.8
AuCu 6%	0.19	26.2	21.8
AuCu +6%	0.18	25.8	21.6

En la figura 15 se muestra los valores graficados obtenidos de la medición de conductividad térmica, el cual al agregarle la primera concentración del sistema de NP's de AuCu, la conductividad térmica muestra su máximo incremento, posteriormente disminuye pero manteniendo una conductividad térmica por arriba a la del fluido base.

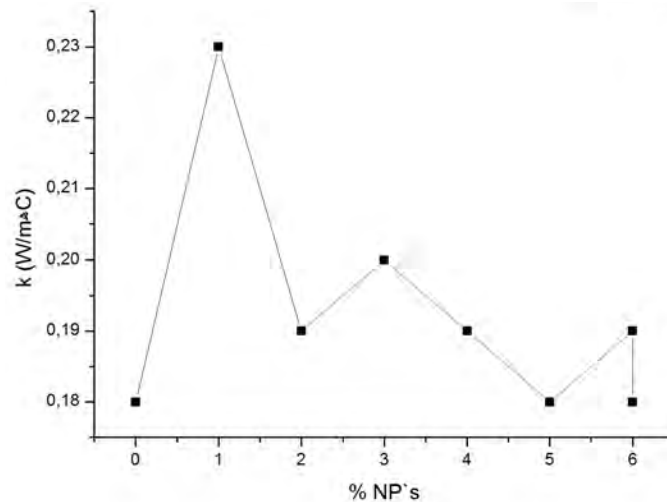


Figura 15. Datos obtenidos de la conductividad térmica al cambiar la concentración del sistema de NP's de AuCu.

En la figura 16 se muestra la razón de cambio de la conductividad térmica del nanofluido al variar la concentración en porcentaje en volumen del sistema de NP's AuCu. Se puede observar que la conductividad térmica muestra un incremento de un 23% con un valor de 0.23 en la concentración del 1%, después al ir aumentando la concentración, la conductividad

térmica decae pero se mantiene por arriba (0.19 – 0.20) del valor presentado para la conductividad térmica del fluido base de 0.18.

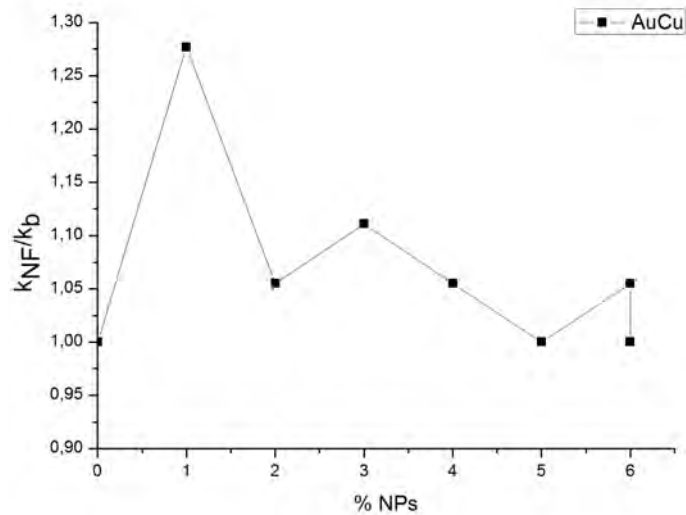


Figura 16. Razón de cambio en la conductividad térmica al variar la concentración de volumen del sistema de NP's de AuCu.

4.1.6. Análisis de Viscosidad de Nanofluido AuCu

Las mediciones de la viscosidad se realizaron a los diferentes nanofluidos preparados con porcentajes en volumen de nanopartículas que varían de 0 a 6%. Las mediciones se realizaron por reometría rotacional, los resultados obtenidos (tabla 5) muestran que al incrementar el porcentaje del sistema de NP's de AuCu la viscosidad tiende a disminuir. Todas las mediciones se realizaron a una temperatura de 21.8°C, que es la temperatura promedio a la cual se realizaron las mediciones de la conductividad térmica.

Tabla 5. Datos obtenidos de la medición de viscosidad de los fluidos a diferentes concentraciones (% vol) de los sistemas de NP's de AuCu.

Muestra	η (Pa*s)
Aceite Mobiltherm 603	38.88
AuCu 1%	36.7
AuCu 2%	33.94
AuCu 3%	32.01
AuCu 4%	29.12
AuCu 5%	27.42
AuCu 6%	25.06
AuCu +6%	24.7

En la figura 17 se muestra como va disminuyendo la viscosidad al ir incrementado la concentración en volumen del sistema de nanopartículas de oro-cobre.

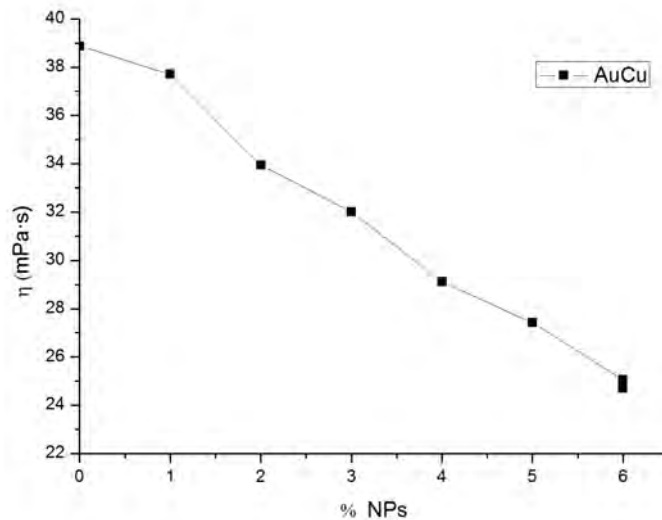


Figura 17. Cambio de la viscosidad con respecto al porcentaje en volumen del sistema de NP's de AuCu.

En la figura 18 se puede apreciar la razón de cambio de la viscosidad del fluido base (aceite mobiltherm 603) con respecto al nanofluido. Se puede ver que al incrementar la concentración del sistema de NP's de oro-cobre, la viscosidad disminuye cerca de un 35% con una concentración en volumen de 6%.

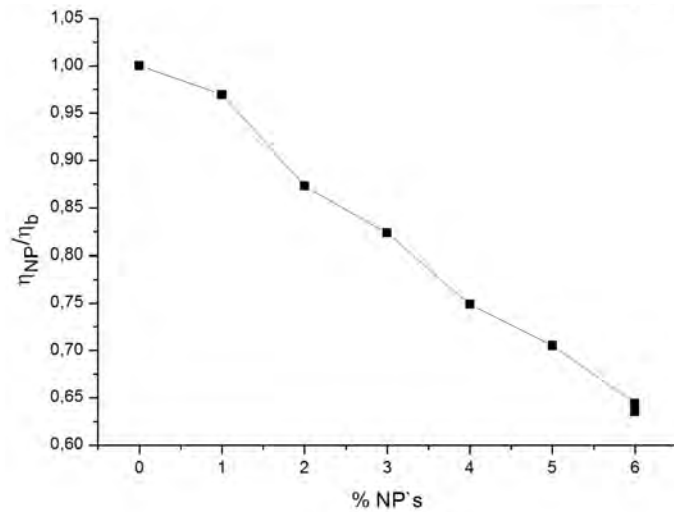


Figura 18. Razón de cambio del fluido base (aceite mobiltherm 603) con respecto al nanofluido preparado a diferentes concentraciones (% vol) del sistema de NP's de AuCu.

En la figura 19 se observa que a pesar que la viscosidad disminuye considerablemente el nanofluido sigue conservando sus propiedades newtonianas.

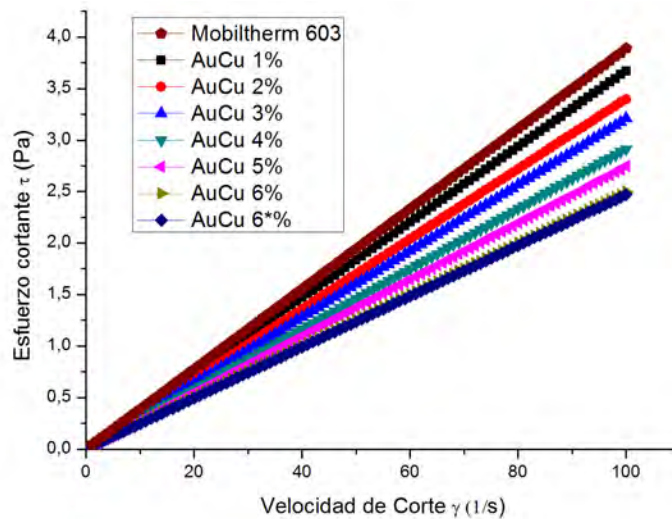


Figura 19. Comportamiento newtoniano de los nanofluidos a diferentes concentraciones de volumen del sistema de NP's de AuCu.

4.2. Nanopartículas de Cobre – Plata (NPs_{CuAg})

La síntesis de las nanopartículas se llevaron acabo por el método de microemulsiones. Se inició la reacción al adicionar el agente reductor, en este caso la hidracina en proporción

metal reductor de 1:3. Tanto para parar el proceso como para estabilizar las nanopartículas. Una vez ya listo el método de síntesis se escaló en una proporción de 1:40, esto, pensando en la cantidad requerida para el estudio de conductividad térmica y viscosidad.

La adición de los iones de plata al sistema completa la formación de las nanopartículas plata-cobre, el espectro de absorción de la figura 20, presenta una banda de plasmón de superficie a los 422 nm la cual se encuentra entre los valores máximos de la BRPS del plata, 400 nm, y de la BRPS del cobre, 570 nm. Tomando en cuenta que este fenómeno es superficial, tomado para las nanopartículas en volumen, provee información de los átomos superficiales que en este caso presenta la información de una probable aleación plata-cobre.

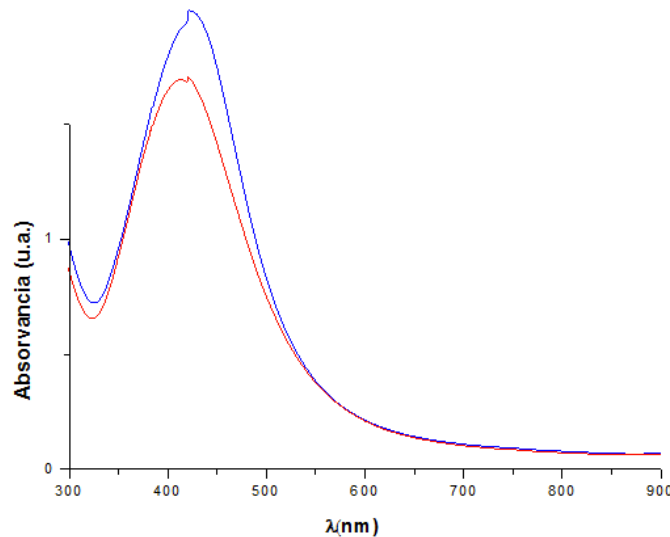


Figura 20. Espectroscopia de UV-Visible para el sistema de NP's sintetizado en AOT - agua - isooctano: $[AOT]=0.1$ M, $W=10$, $[AgNO_3]=[Cu(AOT)_2]=0.1$ mM.

4.2.1 Análisis de distribución de tamaño de las Nanopartículas AgCu.

En la figura 21 se presenta una micrografía representativa de las NP's de AgCu obtenidas. El sistema AgCu presenta un diámetro promedio de 3.98 ± 0.82 nm con un coeficiente de variación de un 21%, lo cual indica baja polidispersidad en tamaño; también presenta baja aglomeración y coalescencia entre las nanopartículas siendo entonces un sistema con alta dispersión entre las partículas, sin embargo, por la diferencia de contraste que se observa al interior de una misma nanopartícula es posible que el sistema de NP's AgCu presente heterogeneidad química, es decir diferentes proporciones de plata y de cobre en una misma

nanopartícula pero aparentemente con un patrón diferente de homogeneidad de partícula a partícula.

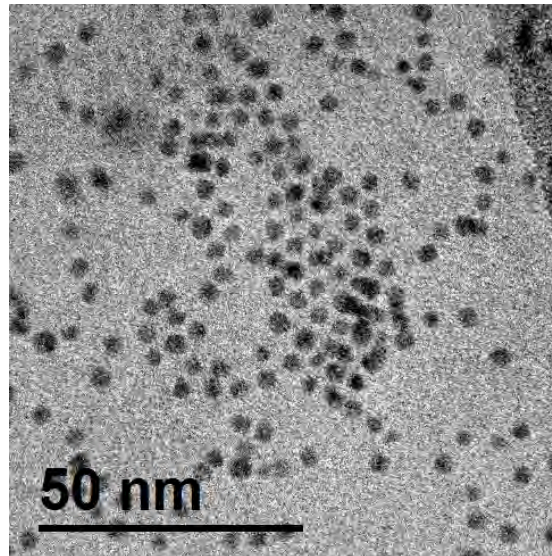


Figura 21. Micrografía obtenida por TEM donde se observa la distribución de las NP's de AgCu mostrando una baja polidispersidad en tamaño, baja aglomeración y coalescencia entre las NP's de AgCu presentando un tamaño promedio de 3.98 ± 0.819 nm.

En la figura 22 se presenta el histograma de la distribución de tamaños obtenidos mediante el estudio estadístico. Para conocer la distribución de tamaños se realizó un estudio estadístico con la medición de 519 NP's del sistema de AgCu a partir de las micrografías obtenidas por TEM, donde la mayoría de las nanopartículas presentó un tamaño entre 2.5 y 5 nm, con una media de 3.86 ± 1.09 nm, con un diámetro mínimo de 2.446 nm y uno máximo de 14.912 nm, por lo que el coeficiente de variación es de 28%.

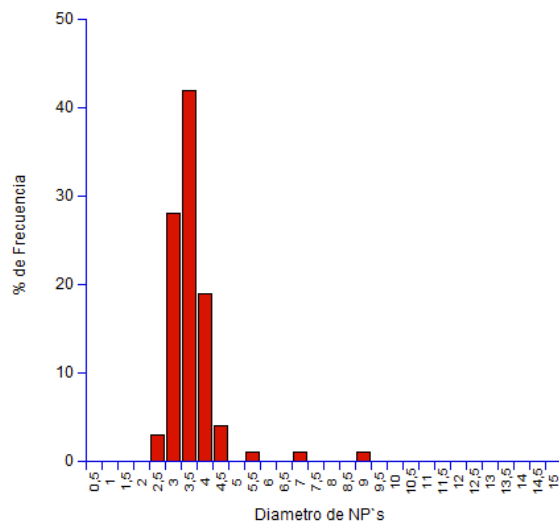


Figura 22. Histograma de resultado del estudio estadístico sobre la distribución de tamaños de la población de NP's de AgCu sintetizadas AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 M, W=10, [AgNO₃]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM.

4.2.2. Análisis de HRTEM de las Nanopartículas AgCu.

En la figura 23 se tiene una micrografía de alta resolución a la que se le hizo análisis cristalográfico para conocer las distancias interplanares que tiene una nanopartícula del sistema de AgCu sintetizados en AOT – agua – isooctano. Las distancias obtenidas fueron 1.4661 Å, 1.978 Å, 1.2291 Å, 1.918 Å y 2.426 Å que corresponde al plano (202), (103), (202), (202) y (101) respectivamente y proviene de la estructura hexagonal de la plata (JCPDS 00-041-1402).

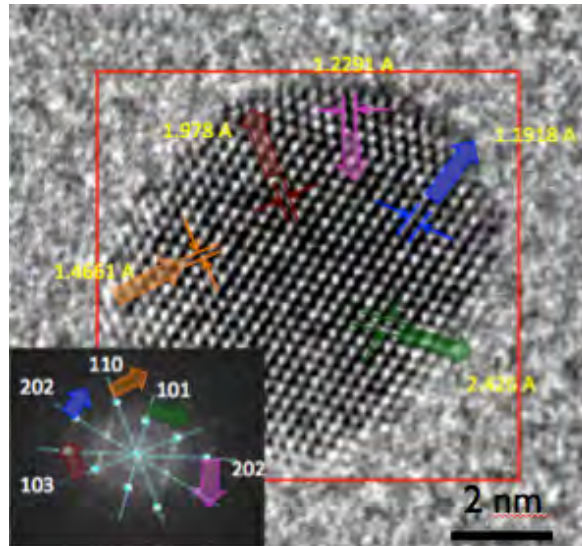


Figura 23. Micrografía de alta resolución de NP's de AgCu sintetizadas en el sistema de AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 Mm W=10, [AgNO₃]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM. Las distancias obtenidas fueron 1.4661 Å, 1.978 Å, 1.2291 Å, 1.918 Å y 2.426 Å que corresponden a los planos (202), (103), (202), (202) y (101) respectivamente y provienen de la estructura hexagonal de la plata.

En la figura 24 se puede observar una micrografía de alta resolución de otra nanopartícula a la cual se le hizo un análisis cristalográfico para conocer las distancias interplanares. Los distancias obtenidas fueron 1.616 Å, 1.985 Å y 2.295 Å que corresponden a los planos (202), (-112) y (200) respectivamente, la cual corresponde a la estructura cristalina monoclinica del óxido de cobre (JPCDS 00-041-0254).

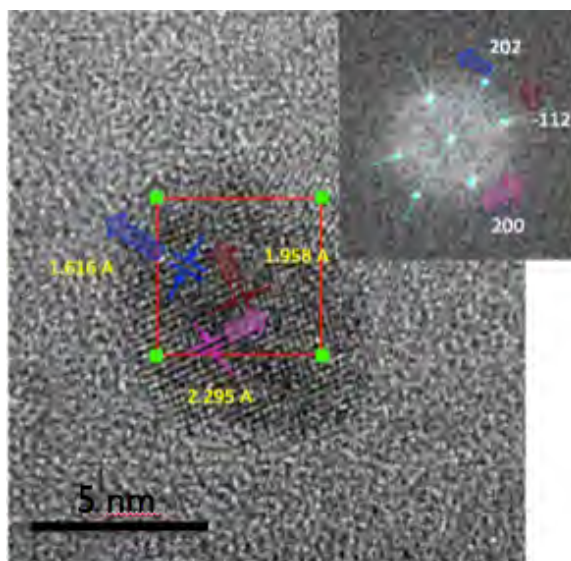


Figura 24. Micrografía de alta resolución de NP's de AgCu sintetizadas en el sistemas de AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 M, W=10, [AgNO₃]=[Cu(AOT)₂]=0.1 M. Las distancias obtenidas fueron 1.616 Å, 1.985 Å y 2.295 Å que corresponden a los planos (202), (-112) y (200) respectivamente las cuales corresponden a la estructura cristalina monoclinica del oxido de cobre.

4.2.3. Análisis de EDS de las Nanopartículas de AgCu.

La composición química de las nanopartículas se estudió por espectroscopia de dispersión de energía de rayos X la cual nos da información sobre los elementos químicos presentes en la muestra.

En la figura 25 se presenta un espectro de XEDS de un conjunto de NP's de AgCu sintetizadas en el sistema AOT – agua - isooctano: [AOT] = 0.1 M, W= 10, [HAuCl₄] = [Cu(AOT)₂] = 0.1 mM. En este espectro se puede apreciar la presencia de ambos metales en la población basados en la energía de dispersión de rayos X de los electrones de la plata que en su línea espectral $L\alpha$, presenta un valor característico de 2.983 KeV y en su línea espectral $K\alpha$ presenta un valor de 22.163 KeV.

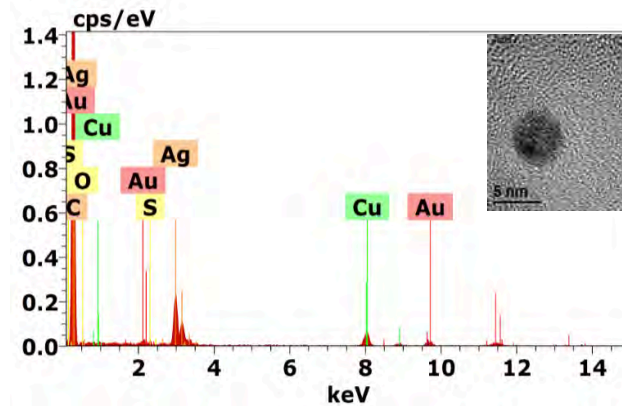


Figura 25. Espectro puntual de XEDS obtenido de una nanopartícula del sistema de AgCu sintetizadas en el AOT - agua - isooctano: [AOT]=0.1 M, W=10, [HAgNO₃]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM, se detectaron los elementos de la plata y el cobre además del oro que es el material de la rejilla.

En la figura 26 a) se presenta el espectro de XEDS en línea para una nanopartícula de AgCu, la cual se presenta en la figura 13 b) donde se aprecia la distancia recorrida del escaneo por la línea verde en nm. En el eje Y, se presenta la CPS que hace el detector XEDS de los rayos X característicos de los elementos en cuestión. Al comparar las señales $L\alpha$ del la plata y $L\alpha$ del cobre en el espectro, observamos que ambos metales están presentes, sin embargo, en la parte del centro la plata se encuentra en mayor cantidad de la partícula.

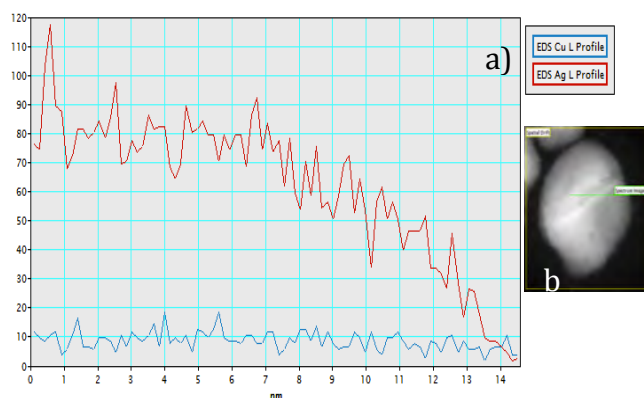


Figura 26. a) Espectro de XEDS en línea de b) micrografía por contraste Z de NP's de AgCu para una muestra preparada en AOT - agua - isooctano; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAgNO₃]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM. Los elementos Ag y Cu, se encuentran presente a lo largo de la línea de escaneo en el comparativo de las señales L α para ambos elementos, la plata se encuentra en mayor cantidad en el centro de la partícula.

En la figura 27 a) se presenta el espectro de XEDS para una nanopartícula de AgCu mostrada en la figura b) correspondiente a la micrografía en contraste Z de la nanopartícula analizada y el área analizada y en la figura 27 c) se puede apreciar el mapeo por contraste de colores, donde el rojo representa el L α de la plata y el verde representa el K α del cobre.. En el eje Y, se presenta la CPS que hace el detector XEDS de los rayos x característicos de los elementos en cuestión. Al comparar las señales L α del la plata y de la K α del cobre en el espectro en observamos que ambos metales están presentes, sin embargo, en la parte del centro la plata se encuentra en mayor cantidad.

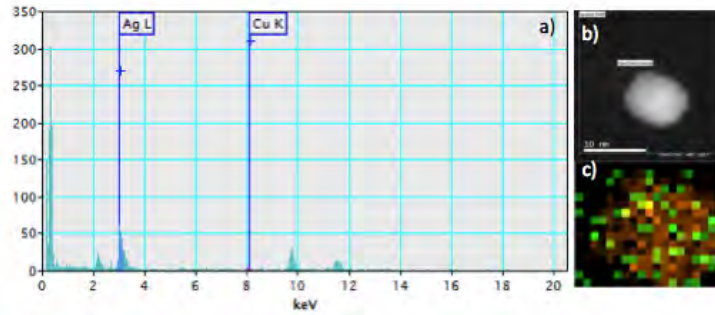


Figura 27. a) Espectro de XEDS mapeo elemental de imagen b) micrografía por contraste Z de NP's de AgCu para una muestra preparada en AOT - agua - isooctano; [AOT]=0.1 M, W=10, [HAgNO₃]=[Cu(AOT)₂]=0.1 mM. Los elementos Ag y Cu, se encuentran presente en toda el área escaneada en el c) se puede ver en contraste de colores la presencia de ambos elementos, el rojo representa el elemento de la plata y el verde al del cobre, comparativo de las señales L α de la plata y las K α del cobre, la plata se encuentra en mayor cantidad en el centro de la partícula.

4.2.5. Análisis de Conductividad Térmica del Nanofluido de AgCu

Para el estudio de conductividad térmica en el sistema de plata-cobre, se prepararon diferentes nanofluidos en las cuales se varió la concentración (% volumen) del sistema de nanopartículas de AgCu a los cuales se les midió la conductividad térmica por medio de la técnica del hilo caliente con el equipo KD2. En la tabla 5 se muestra las diferentes concentraciones utilizadas para la preparación del nanofluido, la conductividad térmica registrada por el equipo KD2, la temperatura que el fluido alcanzó cuando se realizó la medición de la conductividad térmica y la temperatura del laboratorio cuando se realizó la medición.

Tabla 6. Porcentaje en volumen del sistema de NP's de AgCu en las cuales fueron preparados los nanofluidos y su conductividad térmica.

Aceite - NP's	k (W/m°C)	T _{fluido} (°C)	T _{amb} (°C)
AgCu 0%	0.18	26.3	22.3
AgCu 1%	0.17	24.9	21.6
AgCu 2%	0.19	25.8	22.0
AgCu 3%	0.2	26.2	21.9
AgCu 4%	0.22	27.1	22.0
AgCu 5%	0.22	27.1	21.9
AgCu 6%	0.21	27.0	22.0

En la figura 28 se muestra los valores graficados obtenidos de la medición de conductividad térmica, el cual al agregarle la primera concentración del sistema de NP's de AgCu, la conductividad térmica decae, posteriormente al incrementar la concentración esta aumenta su conductividad térmica en su máxima para las concentraciones de volumen de 4% y 5%.

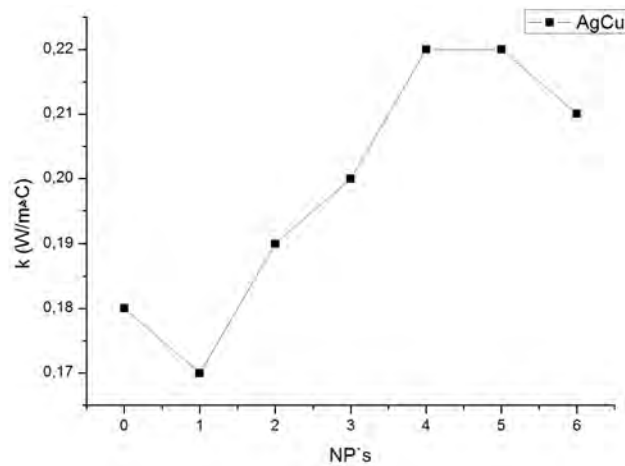


Figura 28. Cambio en la conductividad térmica al cambiar la concentración del sistema de NP's de AgCu.

En la figura 29 se muestra la razón de cambio de la conductividad térmica del nanofluido al variar la concentración en porcentaje en volumen del sistema de NP's AgCu. Se puede observar que la conductividad térmica muestra un decremento de un 5% en la concentración del 1% y un incremento de un 22%, en los porcentaje de concentración de 4% y 5% mostraron el mayor incremento.

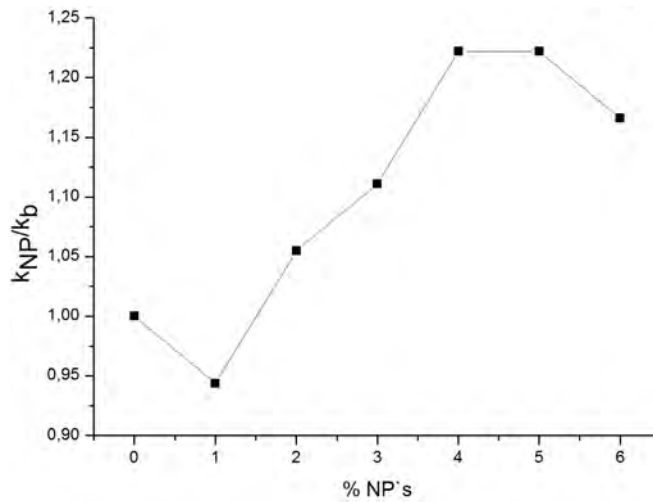


Figura 29. Razón de cambio en la conductividad térmica al variar la concentración de volumen del sistema de NP's de AgCu.

4.2.6. Análisis de Viscosidad del Nanofluido de AgCu

Las mediciones de la viscosidad se realizaron a los diferentes nanofluidos preparados con porcentajes en volumen de nanopartícula variando de 0 a 6%, utilizando reometría rotacional, los resultados obtenidos muestran que al incrementar el porcentaje del sistema de NP's de AgCu la viscosidad tiende a disminuir, todas las mediciones se realizaron a una temperatura de 21.8°C, que es la temperatura promedio a la cual se realizaron las mediciones de la conductividad térmica. En la tabla 7 muestra los cambio de la viscosidad al aumentar el porcentaje de concentración en volumen de los sistemas de NP's de AgCu.

Tabla 7. Datos obtenidos de la medición de viscosidad de los nanofluidos a diferentes concentración de volumen de los sistemas de NP's de AgCu.

Muestra	η (Pa*s)
Aceite Mobiltherm 603	38.88
AgCu 1%	36.65
AgCu 2%	34.05
AgCu 3%	31.13
AgCu 4%	29.85
AgCu 5%	26.94
AgCu 6%	23.87

En la figura 30 se muestra como va disminuyendo la viscosidad al ir incrementado la concentración en volumen del sistema de nanopartículas de plata-cobre.

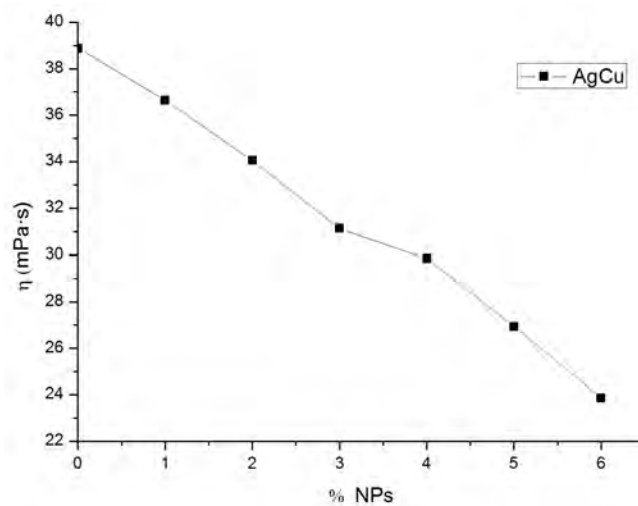


Figura 30. Cambio de la viscosidad con respecto al porcentaje de concentración en volumen del sistema de NP's de AgCu.

En la figura 31 se puede apreciar la razón de cambio de la viscosidad del fluido base (aceite mobiltherm 603) con respecto al nanofluido, se puede ver que al incrementa la concentración del sistema de NP's de plata-cobre, la viscosidad disminuye poco más de un 35% con una concentración en volumen de 6%.

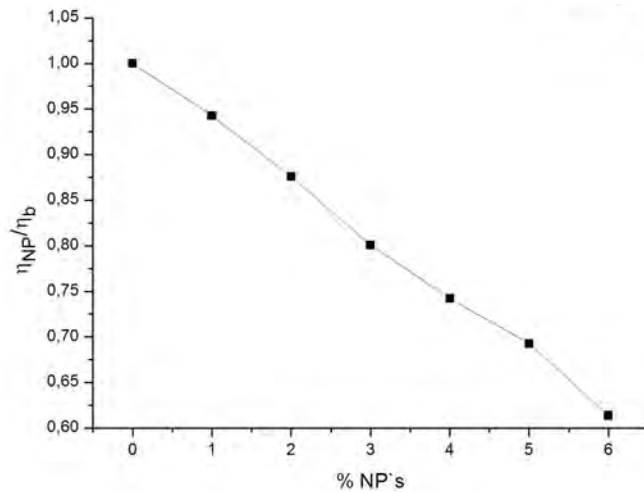


Figura 31. Razón de cambio del fluido base (aceite mobiltherm 603) con respecto al nanofluido preparado con diferentes concentraciones en volumen del sistema de NP's de AgCu.

En la figura 32 se observa que a pesar que la viscosidad disminuye considerablemente el nanofluido sigue conservando sus propiedades newtonianas.

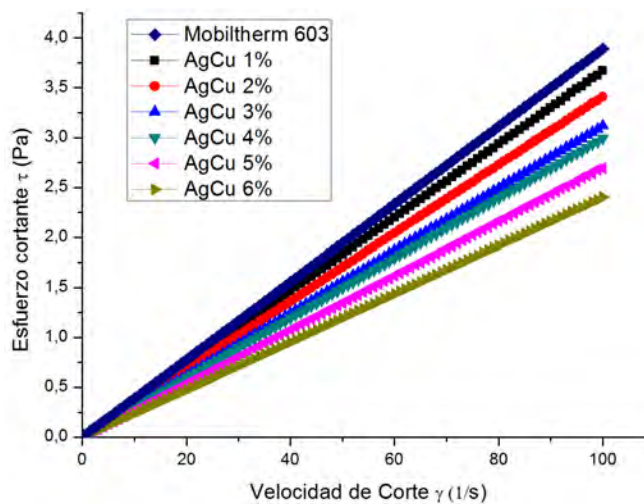


Figura 32. Comportamiento newtoniano del nanofluido a diferentes concentraciones de volumen del sistema de NP's de AgCu.

5. Conclusiones

Utilizando el método de microemulsiones mixtas agua-isoctano se sintetizaron NP's de oro-cobre y plata-cobre las cuales se vieron en el espectro de UV-visible y por microscopia electrónica de transmisión.

En el análisis de TEM ambos sistemas presentan morfología cuasi-esférica obteniendo un diámetro promedio de 3.86 ± 1.09 nm y una polidispersidad del 28% para el sistema de NP's de oro-cobre, un diámetro promedio y polidispersidad para el sistema de plata-cobre de 3.98 ± 0.818 nm y 21% respectivamente.

Los sistemas de NP's de oro-cobre y plata-cobre presentan principalmente la presencia de ambos elementos en partículas individuales en proporción de 9 a 1 en relación a los estudios de dispersión de energía de rayos X.

En los análisis por HRTEM de las muestras de oro-cobre se encontró la distancia de 1.980 Å propia al plano (200) correspondientes a la estructura tetragonal del oro-cobre. En el análisis de otra imagen de alta resolución de este mismo sistema se encontraron las distancias 2.038 Å, 2.3012 Å, 2.3092 Å propias a los planos (200), (111) y (111) correspondientes a la estructura cubica centrada en las caras del oro. Para los sistemas de plata-cobre se encontraron las distancias interplanares de 1.978 Å, 1.1918 Å, 1.4661 Å, 2.426 Å, y 1.2291 Å correspondientes a los planos (103), (202), (110), (101) 7 (202) respectivamente que corresponden a la estructura hexagonal de la plata. En el análisis de una imagen mas del sistema de NP's de plata-cobre se encontraron las distancias 1.616 Å, 1.958 Å y 2.295 Å correspondientes a los planos (202), (-112) y (200) respectivamente y corresponden a la estructura monoclinica del oxido de cobre.

La banda de plasmón de superficie es propia para los sistemas en aleación oro-cobre presentándose a 530 nm. La banda de plasmón de superficie del sistema plata-cobre se obtiene a 422 nm, propias de NP's en aleación de plata-cobre.

Se obtuvieron nanofluidos en los que se observaron una dispersión homogénea por alrededor de 24 horas, después de los cuales se formó una película fina en el fondo del recipiente para el sistema de oro-cobre, en el caso del sistema de plata-cobre la película fue menos evidente.

En las mediciones de conductividad térmica se obtuvo un incremento en el porcentaje de concentración del 1% en el sistema de oro-cobre y en el sistema de plata-cobre el incremento de la conductividad térmica se obtuvo en los porcentaje de concentración de 45 y 5%.

La viscosidad disminuyó con respecto al fluido base (aceite mobiltherm 603). Al aumentar la concentración en porcentaje en volumen de los sistemas de nanopartículas de oro-cobre y plata-cobre.

Recomendaciones

Es importante utilizar otros fluidos base (agua y etilenglicol) e inclusive otros aceites, ya que no todos los fluidos reaccionan de igual manera al agregarle nanopartículas, esto con fin de entender un poco el mecanismo de los nanofluidos.

6. REFERENCIAS

1. Keer VH. Principios de estado sólido. *New Age Int Publ.* 1993;pp 135-142.
2. Hussain SM. The Interaction of Manganese Nanoparticles with PC-12 Cells Induces Dopamine Depletion. *Toxicol Sci.* 2006;92(2):456-463. doi:10.1093/toxsci/kfl020.
3. Salunke GR, Ghosh S, Santosh Kumar RJ, et al. Rapid efficient synthesis and characterization of silver, gold, and bimetallic nanoparticles from the medicinal plant *Plumbago zeylanica* and their application in biofilm control. *Int J Nanomedicine.* 2014;9(1):2635-2653. doi:10.2147/IJN.S59834.
4. Saleh R, Putra N, Prakoso SP, Septiadi WN. Experimental investigation of thermal conductivity and heat pipe thermal performance of ZnO nanofluids. *Int J Therm Sci.* 2013;63:125-132. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2012.07.011.
5. Maiga, Sidi El Becaye, Palm, SJ., Nguyen, CT., Roy, G., Galanis N. Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows. *Int J Heat Flow Fluids.* 2005;26:530-546. doi:10.1016.
6. *Argonne Transportation Technology R&D Center.*; 2010.
7. Boungiorno J. Convective Transport in Nanofluids. *J Heat Transf (American Soc Mech Eng.* 2006;128:240-250. doi:10.1115.
8. Choi, S.U.S., Eastman JA. HEat Transfer Enhancement using Nanofluids. *Int Mech Eng Congr Exhib.* 1995. doi:10.2298.
9. El Naschie MS. *Nanotechnology for the Deveoping World.* Chaos, Solitons & Fractals; 2006. doi:10.1016.
10. SK Ansari SA. *Nanotechnology.* Pakistan & Gulf Economist; 2011.
11. Guadalupe M. *La Nanociencia Y La Nanotecnologia: Una Revolución En Curso.* redalyc. In R. José; 2007.
12. Cushing, B. L., Kolesnichenko, V. L., & O`Connor CJ. *Recent Adbances in the Liquid-Phase Syntheses of Inorganic Nanoparticle.* Chemical Review; 2004. doi:10.1021.
13. Das, S. K., Choi, S. U. S., Yu, W., Pradeep T. *Nanofluids: Science and Technology.* John Wiley. New Jersey; 2008.
14. Ganguli, A. K., Ganguly, A., & Vaidya S. *Microemulsion-Base Syntesis of Nanocrystalline*

- Materials*. Chemical Society Reviews; 2010. doi:10.1039.
15. Ganfuli, Al. K., Ganguly, A., Vaidya S. Microemulsion-based synthesis of nanocrystalline materials. *Chem Soc Rev*. 2010;39(2)(474-485). doi:10.1039.
 16. Ganguli, A. K., Vaidya S. Micremulsion-based synthesis of nanocrystalline materials. *Chem Soc Rev*. 2010;39(2):474-485. doi:10.1039.
 17. Carter, C. B., & Williams DB. *Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science*. 2nd Editio. (US S, ed.). New York: Col. 2.; 2; 2009.
 18. Bendersky, L. A., Gayle FW. Electron diffraction using transmission electron microscopy. *J Res Natl Inst Stand Technol*. 2001;106:997+.
 19. Moores, A., & Goettmann F d. r. The plasmon band in noble metal nanoparticles: an introduction to theory and applications. *NEw J Chem*. 2006. doi:10.1039/b604038c.
 20. Das, S. K., Choi, S. U. S., Yu, W., & Pradeep T. *NANofluids: Science and technology*. 2008;Jhon Wiley(New Jersey).
 21. Patel, H. E., Das, S. K., Sundararajan T. Thermal conductivities of naked and monolayer protected metal based nanofluid: Manifestation of anomalous Enhancement and chemical effects. *Appl Phys Letters*. 2003;83:14.
 22. Q. XY and L. Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids. *Int J heat Fluid Flow*. 2003;125:151-155. doi:10.1115.
 23. Choi, S. U. S., Eastman, J. A., Li, W. S., Yu, and Thompson J. Anomalousy Increased Effective Thermal Conductivities of Ethylene Glycol-based Containing Nanoparticles. *Appl Phys Lett*. 2001;78(6):718-720. doi:10.1063/1.1341218.
 24. Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P., Roetzel W. Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids. *J Heat Transfer*. 2003;125:567-574. doi:10.1063/1.1571080.
 25. You, S. M., Kim, J. H., and Kim KH. Effect of Nanoparticles on Cristal Head Flux of Water in Pool Boiling Heat Transfer. *Appl Phys Lett*. 2003;83(16):3374-3376. doi:10.1063/1.1619206.
 26. Tsai, C. Y., Chien, H. T., Chan, B., Chen, P. P., Luh TY. Effect of Structural Character og Gold Nanoaprticules in Nanofluid on Heat Pipe Thermal Performance. *Mater Lett*.

- 2004;83(16):1461-1465. doi:10.2298/TSC1100209056H.
27. Mazo R. *Brownian Motion: Fluctuations, Dynamics and Applications*. Vol. 112. New York: Oxford University Press; 2002.
 28. A. E. Investigations on the theory of the Brownian movement. *Ann Phys*. 1903. doi:170.
 29. Bird, B., Stewart, W., & Lightfoot E. *Fenómenos de Transporte*. (Wiley L, ed.). México; 2007.
 30. Deen WM. *Analysis of Transport Phenomena*. New York Oxford Univ Press. 1998.
 31. Huminic, G., & Huminic A. Application of nanofluids in heat exchangers: A Review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2012;16. doi:5625-5638.
 32. Espinosa SN, Masini GL. *Fundamentos de Transferencia de Calor*. 4 Ed. (Hall P, ed.). México; 2000.
 33. Kakac, S., & Pramuanjaroenkij A. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *Int J Heat Mass Transf*. 2009;52. doi:3187-3196.
 34. Abareshin, M., Elaheh, k., Mojtaba, S., Khandan, H., & Abbas Y. Fabrication, Characterization and Measurement of thermal conductivity of Fe₃O₄ nanofluids. *Journal Magn Magn Mater*. 2010;(322(24)). doi:3895-3901.
 35. Maxwell JC. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Vol. unabr. UK: Clarendon Press, Oxford; 1891.
 36. Hamilton, R. L., & Crosser OK. Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems. *Ind Eng Chem Fundam*. 1962;1(3):187-191. doi:10.1021.
 37. Kostic, M., Simham K. Computerized, Transient Hot-Wire Thermal Conductivity (HWTC) Apparatus for Nanofluids. 2009.
 38. Hammerschmidt, U., Sabuga W. Transient Hot Wire (THW) Method: Uncertainty Assessment. *Int J Thermophys*. 2006;21:1255-1278.
 39. Simham KC. Development of Computerized Transient Hot-Wire Thermal Conductivity (HWTC) Apparatus for Nanofluids. 2008.

7. Participaciones en eventos.

1. XI COLOQUIO BIENAL EN CIENCIA DE MATERIALES

- a. **Fecha:** 11 al 13 de Marzo del 2015
- b. **Lugar:** Hermosillo, Sonora, México
- c. **Titulo del trabajo:** Síntesis y caracterización de nanopartículas de oro-cobre y plata-cobre para la preparación de nanofluidos.
- d. **Tipo de trabajo:** Cartel

2. ESTANCIA EN EL INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.

- a. **Fecha:** 9 de Mayo al 10 de Junio del 2016.
- b. **Lugar:** Zacatenco, Ciudad de México
- c. **Institución:** Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Física y Matemáticas.
- d. **Contacto:** Dr. Arturo García Bórquez