



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“RECUPERACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFÁN DEL  
REFRIGERANTE SECUNDARIO PROPILENGLICOL MEDIANTE  
VARIOS MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE MEZCLAS”**

**CAYAMBE CAYAMBE EDWIN SANTIAGO**  
**CASTAÑEDA CHÁVEZ AIDE BRICEIDA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2019**

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

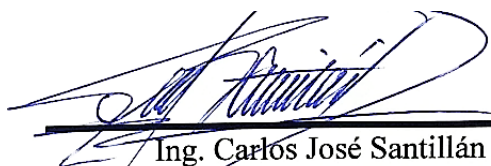
**CAYAMBE CAYAMBE EDWIIN SANTIAGO**

Titulado:

**“RECUPERACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFAN DEL REFRIGERANTE  
SECUNDARIO PROPILENGLICOL MEDIANTE VARIOS MÉTODOS DE  
SEPARACIÓN DE MEZCLAS”**


Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

  
Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

  
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

  
Dr. Jorge Efrén Silva Yumi  
**MIEMBRO DEL PROYECTO**

**APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

2018-10-23

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

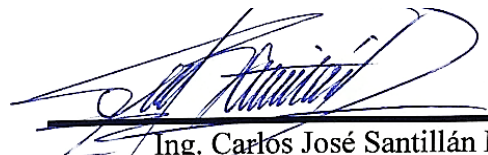
**CASTAÑEDA CHAVEZ AIDE BRICEIDA**

Titulado:

**“RECUPERACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFAN DEL REFRIGERANTE  
SECUNDARIO PROPILENGLICOL MEDIANTE VARIOS MÉTODOS DE  
SEPARACIÓN DE MEZCLAS”**


Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

  
Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

  
Ing. Felmo Jesús Moreno Romero  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

  
Dr. Jorge Efrén Silya Yumi  
**MIEMBRO DEL PROYECTO**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

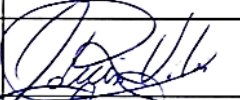

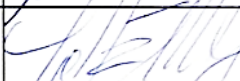
## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CAYAMBE CAYAMBE EDWIN SANTIAGO

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “RECUPERACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFAN DEL REFRIGERANTE SECUNDARIO PROPILENGLICOL MEDIANTE VARIOS MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE MEZCLAS”

**Fecha de Examinación:** 2019-03-22

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>	✓		
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero <b>DIRECTOR</b>	✓		
Dr. Jorge Efrén Silva Yumi <b>MIEMBRO</b>	✓		

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

# ESPOCH

Facultad de Mecánica



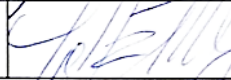
## EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** CASTAÑEDA CHÁVEZ AIDE BRICEIDA

**TRABAJO DE TITULACIÓN:** “RECUPERACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALOFAN DEL REFRIGERANTE SECUNDARIO PROPILENGLICOL MEDIANTE VARIOS MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE MEZCLAS”

**Fecha de Examinación:** 2019-03-22

### RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>	✓		
Ing. Telmo Jesús Moreno Romero <b>DIRECTOR</b>	✓		
Dr. Jorge Efrén Silva Yumi <b>MIEMBRO</b>	✓		

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

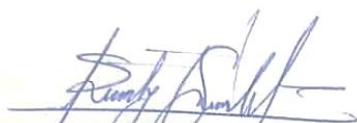
\_\_\_\_\_

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



---

**Edwin Santiago Cayambe Cayambe**



---

**Aide Briceida Castañeda Chávez**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Cayambe Cayambe Edwin Santiago y Castañeda Chávez Aide Briceida, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.



---

**Edwin Santiago Cayambe Cayambe**  
Cedula de Identidad: 060454873-5



---

**Aide Briceida Castañeda Chávez**  
Cedula de Identidad: 060450779-8

## **DEDICATORIA**

A mis padres Silvia y Santiago quienes son pilares importantísimos de todo esto, ellos quienes me inculcaron desde pequeño que jamás debo rendirme a pesar de todas las malas circunstancias en mi camino, gracias a ustedes me convertí en profesional todo se lo debo a ustedes. A mis hermanos Mercy, Renato, Janet, Nancy, Alex, Katy, Esthelita y Ariel, les dedico este trabajo, porque me ayuda a ser un ejemplo de que en esta vida cuando hay convicción y dedicación todo se puede, gracias por su apoyo y compañía durante todo este tiempo. A mi abuelito Pablo por fin lo logré abuelito sé que donde se encuentre estará muy orgulloso, aunque tarde mucho tiempo nos volveremos a ver, gracias por todo mi querido abuelito.

*Edwin Santiago Cayambe Cayambe*

A mis padres: Milton y Lourdes, hermanas: Daniela, Cecilia y Alisson, mis sobrinitos, a mi esposo Alex, mi pequeño Alan, mis abuelitos Rosita y Edmundo, con su apoyo, consejos, valores y amor fueron la motivación y razón para obtener este título.

Para aquellas personas que a lo largo de la carrera han llegado a formar lazos de amistad y de alguna forma fueron partícipes para alcanzar esta profesión.

*Aide Briceida Castañeda Chávez*



## AGRADECIMIENTO

A mis padres Silvia y Santiago por todos sus esfuerzos, paciencia y dedicación porque sin sus enseñanzas no hubiese podido culminar esta meta, agradezco a Dios por darme estos maravillosos padres. A mi abuelito Pablo por enseñarme la bondad y cariño, muchas gracias por los años que me acompañó en este camino, igual a mi abuelita Leocadia por el amor que me brinda día a día le doy gracias a Dios por aún tenerla conmigo. A mis hermanos por su paciencia y ayuda, los quiero muchas gracias por todos estos años sobre todo por creer en mí a pesar de que todos los demás decían que no podría, muchas gracias. Al Dr. Silva por su guía durante esta investigación a la Ing. Raquel Coba por su paciencia y sobre todo su ayuda emocional y al Ing. Fausto Tapia por su guía espiritual, gracias a todos. A mi compañera Aidé por su paciencia y dedicación, y en general a todos mis familiares, a mis amigos gracias por ser parte de mi vida jamás los olvidaré, en especial a una amiga que me acompañó mientras trabajaba mi tesis, gracias por esos bonitos recuerdos, M.

*Edwin Santiago Cayambe Cayambe*

Los planes de Dios son perfectos.....

Con ello quiero iniciar dándole gracias a Dios por permitirme alcanzar un peldaño más.

A toda mi familia abuelitos, tíos, primos en especial a mis Padres: Milton y Lourdes por su amor, trabajo, sacrificio y que ante todo siempre han estado conmigo, a mis hermanas Daniela, Cecilia y Alisson por su cariño. A mi esposo Alex y a mi pequeño Alan por su apoyo, paciencia y amor, este es un logro que hemos alcanzado juntos. A mi compañero Santiago por su dedicación y trabajo, a las autoridades y cuerpo docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica, a los técnicos Docentes de los laboratorios de Investigación y Química Orgánica de la facultad de Ciencias de la ESPOCH, Tutor, Asesor y a todas los amigos y compañeros que a lo largo de este trayecto me han brindado su amistad por lo cual me llevo gratos recuerdos.

*Aide Briceida Castañeda Chávez*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>CAPÍTULO I</b>	
1.1. Problematización.....	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Alcance.....	1
1.4. Objetivos.....	1
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	1
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	1
1.5. Marco Teórico.....	2
1.5.1. <i>Refrigerante</i> .....	2
1.5.2. <i>Efecto de Refrigeración</i> .....	2
1.5.3. <i>Propiedades de los fluidos refrigerantes</i> .....	2
1.5.4. <i>Refrigerantes secundarios</i> .....	3
1.5.5. <i>Nanotecnología</i> .....	7
1.5.6. <i>Nanopartículas</i> .....	8
1.5.7. <i>Método de obtención de nanopartículas</i> .....	8
1.5.8. <i>Aplicaciones de las nanopartículas</i> .....	11
1.5.9. <i>Peligro de Nanopartículas</i> .....	12
1.5.10. <i>Nanopartículas de Atofán</i> .....	15
1.5.11. <i>Nanofluidos</i> .....	17
1.5.12. <i>Métodos de Separación de Nanopartículas</i> .....	23
<b>CAPÍTULO II</b>	
2. MARCO METODOLÓGICO .....	25

2.1.	Materiales.....	25
2.2.	Elaboración Nanorefrigerante.....	28
2.2.1.	<i>Concentración de propilenglicol para el Fluido Refrigerante.....</i>	29
2.2.2.	<i>Masa de fluidos Refrigerantes: 15 % y 21 % de propilenglicol.....</i>	29
2.2.3.	<i>Método del picnómetro para comprobar las concentraciones del 15% y 21% de propilenglicol.....</i>	30
2.2.4.	<i>Concentración de nanopartículas para elaborar el nanorefrigerante.....</i>	32
2.2.5.	<i>Procedimiento Elaboración Nanorefrigerante.....</i>	32
2.3.	Estabilización del nanorefrigerante.....	34
2.3.1.	<i>Estabilización mediante variación de pH.....</i>	34
2.3.2.	<i>Estabilización mediante SDS.....</i>	36
2.4.	Caracterización de la suspensión de NPs de alofán mediante espectrofotometría. .	37
2.5.	Métodos de recuperación de nanopartículas de Alofán. ....	38
2.5.1.	<i>Centrifugación.....</i>	38
2.5.2.	<i>Destilación al vacío.....</i>	41
2.5.3.	<i>Nanofiltración.....</i>	42
2.6.	Caracterización de las NPs recuperadas, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).....	44

### **CAPÍTULO III**

3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES. ....	46
3.1.	Estabilidad mediante variación de PH.....	46
3.2.	Estabilidad mediante SDS.....	47
3.2.1.	<i>Medición de absorbancia de las muestras con y sin SDS.....</i>	48
3.3.	Resultados Recuperación de NPs, mediante centrifugación.....	50
3.3.1.	<i>Estimación del tiempo de sedimentación mediante centrifugación con velocidades de 500 y 2500 rpm, muestras sin y con SDS.....</i>	50
3.3.2.	<i>Disolución de Propilenglicol de las NPs recuperadas en la Centrifuga.....</i>	54
3.3.3.	<i>Eficiencia de la cantidad de refrigerantes y NPs recuperadas.....</i>	56
3.3.4.	<i>Espectrofotometría IR de las NPs recuperas de nanorefrigerantes sin y con SDS.....</i>	59
3.4.	Resultados Recuperación de NPs. mediante Destilación al vacío (Rotavapor). ....	60

3.5.	Caracterización de NPs recuperadas en diferentes métodos, mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).....	64
3.5.1.	<i>Muestra: Alofán sintético.....</i>	65
3.5.2.	<i>Muestra: NPs recuperadas por centrifugación.....</i>	67
3.5.3.	<i>Muestra: NPs recuperadas en el rotavapor.....</i>	68
3.5.4.	<i>Muestra: NPs recuperadas por centrifugación con posible presencia de SDS.....</i>	70
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Refrigerantes más usados. ....	3
<b>Tabla 2-1:</b> Temperatura de cristalización mezc la agua-cloruro de calcio. ....	4
<b>Tabla 3-1:</b> Temperatura de cristalización mezc la agua-cloruro de sodio. ....	5
<b>Tabla 4-1:</b> Tabla de disoluciones del Propilenglicol. ....	6
<b>Tabla 5-1:</b> Propiedades físico-químico del Propilenglicol. ....	7
<b>Tabla 6-1:</b> Mejoramiento de la Conductividad Térmica mediante adición de NPs.....	17
<b>Tabla 7-2:</b> Reactivos y Compuestos. ....	25
<b>Tabla 8-2:</b> Equipos de laboratorio. ....	26
<b>Tabla 9-2:</b> Materiales laboratorio. ....	28
<b>Tabla 10-2:</b> Valores de Masa de Fluidos Refrigerantes: 15 % y 21 % Proplg.....	30
<b>Tabla 11-2:</b> Datos para determinar la densidad del fluido refrigerante: 15% Proplg. ....	30
<b>Tabla 12-2:</b> Datos para determinar la densidad del fluido refrigerante: 21% Proplg. ....	31
<b>Tabla 13-2:</b> Fluidos Refrigerantes concentración volumen Proplg, y masa NPs. A. ....	33
<b>Tabla 14-2:</b> Nanorefrigerantes 0,2% NPs. A. a diferentes concentraciones de SDS.....	36
<b>Tabla 15-2:</b> Nanorefrigerantes 0,5% NPs. A. a diferentes concentraciones de SDS.....	37
<b>Tabla 16-2:</b> Descripción partes del rotavapor. ....	41
<b>Tabla 17-3:</b> pH de muestras preparadas con 15% Proplg., y 0,2% NPs. A.....	46
<b>Tabla 18-3:</b> pH de muestras preparadas con el 0,2% NPs. A. ....	47
<b>Tabla 19-3:</b> pH de muestras preparadas con el 0,5% NPs. A. ....	47
<b>Tabla 20-3:</b> Concentración de NPs mediante absorbancia (15%Prop, 0,5% NPs) 500rpm. ....	50
<b>Tabla 21-3:</b> Concentración de NPs mediante absorbancia (15% Prop, 0,5% NPs) 2500rpm.....	51
<b>Tabla 22-3:</b> Concentración de NPs mediante absorbancia (21% Prop, 0,2% NPs) 500rpm. ....	52
<b>Tabla 23-3:</b> Concentración de NPs mediante absorbancia (21% Prop, 0,2% NPs) 2500 rpm....	53
<b>Tabla 24-3:</b> Densidades de disolución, muestra 15% Proplg, y 0,5% NPs. A.....	55
<b>Tabla 25-3:</b> Densidades de disolución, muestra 21%Proplg., y 0,2% NPs. A.....	55
<b>Tabla 26-3:</b> Densidades de disolución, muestra 15%Proplg; 0,5% NPs A y 1% SDS. ....	56
<b>Tabla 27-3:</b> Densidades de disolución, muestra 21%Proplg; 0,2% Np. A., y 0,4% SDS. ....	56
<b>Tabla 28-3:</b> Valores de Refrig. y NPs recuperados (15% Proplg y 0,5% NPs. A).....	57
<b>Tabla 29-3:</b> Valores de Refrig. y NPs recuperados (21% Proplg y 0,2% NPs. A).....	57
<b>Tabla 30-3:</b> Valores Refrig. y NPs recuperadas (15% Proplg, 0,5% NPs. A y 1% SDS). ....	58
<b>Tabla 31-3:</b> Valores Refrig. y NPs recuperadas (21% Proplg, 0,2% NPs A y 0,4% SDS). ....	58
<b>Tabla 32-3:</b> Nanorefrigerantes para experimentar mediante destilación al vacío. ....	60

<b>Tabla 33-3:</b> Valores de Presión y Temperatura para destilar agua.....	61
<b>Tabla 34-3:</b> Valores de Presión y Temperatura para destilar propilenglicol. ....	62
<b>Tabla 35-3:</b> Volúmenes recuperados en el rotavapor muestras sin SDS.....	63
<b>Tabla 36-3:</b> Cantidades de NPs recuperadas suspendidas en propilenglicol. ....	64
<b>Tabla 37-3:</b> Muestras de NPs a ser analizadas en el SEM.....	64
<b>Tabla 38-3:</b> Porcentajes de elementos presentes en la muestra Alofán Sintético.....	66
<b>Tabla 39-3:</b> Porcentajes de elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación. ....	67
<b>Tabla 40-3:</b> Elementos presentes NPs recuperadas en el rotavapor. ....	69
<b>Tabla 41-3:</b> Elementos presentes NPs recup por centrifugación posible presencia de SDS. ....	71

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<b>Gráfico 1-1:</b> Punto de congelación solución a base etilenglicol. ....	5
<b>Gráfico 2-1:</b> Densidad para concentraciones de Propilenglicol según temperatura. ....	6
<b>Gráfico 3-1:</b> Punto de congelación solución a base Propilenglicol. ....	7
<b>Gráfico 4-1:</b> Efecto del nanofluido sobre la capacidad de transporte de calor.....	22
<b>Gráfico 5-2:</b> Comprobación de concentración 15 % Propilenglicol. ....	31
<b>Gráfico 6-2:</b> Densidad fluido refrigerante 21 % Propilenglicol. ....	31
<b>Gráfico 7-2:</b> Curva absorbancia vs longitud de onda NPs. A.....	39
<b>Gráfico 8-2:</b> Curva Abs. vs concentraciones de NPs. A. con 21% Proplg. ....	39
<b>Gráfico 9-2:</b> Curva Abs. vs concentración de NPs. A. con 15% Proplg. ....	40
<b>Gráfico 10-2:</b> Presión Total vs Temperatura de ebullición para soluciones de Proplg. ....	42
<b>Gráfico 11-3:</b> Abs. vs tiempo, muestras preparadas con 0,2% NPs. A.....	48
<b>Gráfico 12-3:</b> Abs. vs tiempo, muestras preparadas con 0,5% NPs. A.....	48
<b>Gráfico 13-3:</b> Abs. vs tiempo de sedimentación, muestras sin y con SDS.....	49
<b>Gráfico 14-3:</b> Abs. vs tiempo de centrifugación (15% Proplg, 0,5% Np. A) a 500 rpm. ....	50
<b>Gráfico 15-3:</b> Abs. vs t de centrifugación (15% Proplg, 0,5% Np. A, 1% SDS), 2500 rpm. ....	51
<b>Gráfico 16-3:</b> Abs. vs t de centrifugación (21% Proplg; 0,2% Np. A). a 500 rpm.....	52
<b>Gráfico 17-3:</b> Abs. vs t de centrifugación (21% Proplg, 0,2% Np. 0,4% de SDS) a 2500 rpm. ....	53
<b>Gráfico 18-3:</b> Comparación espectro IR NPs sintéticas y recuperadas sin SDS (0,5% alofán)..	59
<b>Gráfico 19-3:</b> Espectro IR de SDS, NPs sintéticas y recuperadas posible presencia de SDS ....	60
<b>Gráfico 20-3:</b> Valores de Presión de vacío y Temperatura para destilar propilenglicol. ....	61
<b>Gráfico 21-3:</b> Elementos presentes en la muestra Alofán Sintético. ....	66
<b>Gráfico 22-3:</b> Elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación. ....	68
<b>Gráfico 23-3:</b> Elementos presentes en NPs recuperadas en el rotavapor. ....	69
<b>Gráfico 24-3:</b> Elementos presentes NPs recup centrifugación con posible presencia de SDS. ...	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Método de producción de nanopartículas.....	8
<b>Figura 2-1:</b> Elementos básicos de un molino de atricción.....	9
<b>Figura 3-1:</b> Síntesis nanopartículas mediante plasma.....	10
<b>Figura 4-1:</b> Síntesis nanopartículas mediante sol-gel.....	11
<b>Figura 5-1:</b> Fuentes comunes de nanopartículas en el medio Ambiente.....	14
<b>Figura 6-1:</b> Daños que pueden causar las nanopartículas.....	14
<b>Figura 7-1:</b> Morfología de la nanopartícula de alofán.....	16
<b>Figura 8-1:</b> Proceso de Centrifugación, precipitados según densidad.....	24
<b>Figura 9-1:</b> Comparación entre tecnologías de filtración por membrana.....	255
<b>Figura 10-2:</b> Nanorefrigerantes elaborados, muestras 1, 2, 3 y 4.....	33
<b>Figura 11-2:</b> Precipitación de NPs. A., 20 min después de la preparación.....	33
<b>Figura 12-2:</b> (A) Nanofluido dispersión uniforme, y (B) Nanofluido sedimentado.....	34
<b>Figura 13-2:</b> Formación de enlaces al añadir compuestos. (A) <i>HN03</i> y (B) <i>NaOH</i> .....	35
<b>Figura 14-2:</b> Muestras de nanorefrigerante 15% Proplg.-0,2% NPs. A., a diferentes pH.....	35
<b>Figura 15-2:</b> Molécula surfactante Sodio Dodecil sulfato (SDS).....	36
<b>Figura 16-2:</b> Esquema funcionamiento del espectrofotómetro.....	38
<b>Figura 17-2:</b> Partes del rotavapor BOECO Germany RVO 400 SD.....	41
<b>Figura 18-2:</b> Instalación de equipos y materiales prueba Nanofiltración.....	43
<b>Figura 19-2:</b> Obstrucción de nanorefrigerante en la membrana.....	43
<b>Figura 20-2:</b> Funcionamiento básico del microscopio electrónico de barrido (SEM).....	44
<b>Figura 21-2:</b> Espectro de varios elementos de una muestra (SEM).....	45
<b>Figura 22-3:</b> Muestras a diferentes pH, sedimentación 20 min después de la preparación.....	46
<b>Figura 23-3:</b> Muestras 15 y 16, 24h después preparación.....	49
<b>Figura 24-3:</b> Sedimentación NPs. A., muestras (a), (b), (c) y (d) a 2500rpm.....	54
<b>Figura 25-3:</b> Generación de burbujas muestra (a) (15% Proplg; 0,5% NPs A; 1% SDS).....	63
<b>Figura 26-3:</b> NPs. A. suspendidas en Proplg., después de la evaporación del agua.....	64
<b>Figura 27-3:</b> Alofán sintético con x3500 de aumento.....	65
<b>Figura 28-3:</b> Análisis de elementos presentes en la muestra Alofán Sintético.....	65
<b>Figura 29-3:</b> NPs recuperadas por el método de centrifugación a x13000 de aumento.....	67
<b>Figura 30-3:</b> Análisis elementos presentes en la muestra NPs recup por centrifugación.....	67
<b>Figura 31-3:</b> NPs recuperadas por Rotavapor a x5000 de aumento.....	68
<b>Figura 32-3:</b> Análisis de elementos presentes NPs recuperadas por rotavapor.....	69



**Figura 33-3:** NPs recuperadas por el método de centrifugación a x8000 de aumento.....70

**Figura 34-3:** Análisis de elem presentes NPs recup centrif con posible presencia de SDS. ....70

## LISTA DE ABREVIACIONES

NPs	Nanopartículas
NPs. A	Nanopartículas de Atofán
Refrig	Refrigerante
Propilg	Propilenglicol
SDS	Sodio Dodecil Sulfato
Abs	Absorbancia
SEM	Microscopio Electrónico de Barrido

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A:** Muestras de nanorefrigerante después de 24 h de la preparación.
- Anexo B:** Variación concentración de NPs. A. según el tiempo de centrifugación.
- Anexo C:** Instalación equipo rotavapor para la destilación al vacío.

## RESUMEN

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo recuperar nanopartículas de alofán de refrigerante secundario a base propilenglicol, con el fin de dar a conocer los métodos que se puede aplicar. La ejecución del trabajo se inició con la experimentación de la dispersión uniforme de nanopartículas en el fluido base y luego se procedió con métodos separación de mezclas como: centrifugación y destilación al vacío. Los resultados obtenidos muestran que mediante la adición de surfactante SDS (sodio dodecil sulfato) las nanopartículas quedaron estables en un 46 por ciento después de 24 horas de la elaboración, pese a que se logró mejorar su estabilidad no es aconsejable trabajar porque genera espuma al ser agitado y actúa como aislante térmico. La recuperación mediante centrifugación tiene una alta eficiencia llegando al 92 por ciento de nanopartículas recuperadas, mientras que el método de destilación al vacío tiene una eficiencia del 100 por ciento permitiendo recuperar sus compuestos por separado (agua y propilenglicol) mientras que las NPs quedan aisladas completamente, la única dificultad es su recolección total. Se recomienda la implementación de un sistema de refrigeración para el rotavapor además de instalar un sistema de mezclado en el reservorio del chiller para dispersar las nanopartículas, en cuanto a la recuperación mediante el método de centrifugación se recomienda para volúmenes pequeños.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <NANOPARTÍCULAS DE ALOFÁN>, <PROPILENGLICOL>, <SODIO DODECIL SULFATO>, <ABSORBANCIA>, <CENTRIFUGACIÓN>, <DESTILACIÓN AL VACÍO>, <DISOLUCIÓN>.



## SUMMARY

The objective of this research work is to recover allophane nanoparticles of secondary refrigerant with propylene glycol base, in order to make known the methods that can be applied. The execution of the work began with the experimentation of the uniform dispersion of nanoparticles in the base fluid and then proceeded with separation methods of mixtures such as: centrifugation and vacuum distillation. The results obtained show that by means of the addition of surfactant SDS (sodium dodecyl sulphate), the nanoparticles remained stable at 46 percent after 24 hours of processing, although it was possible to improve its stability, it is not advisable to work because it generates foam when agitated and acts as a thermal insulator. The recovery by centrifugation has a high efficiency reaching 92 percent of recovered nanoparticles, while the vacuum distillation method has a 100 percent efficiency allowing recovering their compounds separately (water and propylene glycol) while the NPs are completely isolated, the only difficulty is its total collection. It is recommended the implementation of a refrigeration system for the rotavapor in addition to installing a mixing system in the chiller reservoir to disperse the nanoparticles, in terms of recovery using the centrifugation method is recommended for small volumes.

**Keywords:** <TECHNOLOGY AND SCIENCES OF ENGINEERING>, <NANOPARTICLES OF ALLOPHANE>, <PROPYLENE GLYCOL>, <SODIUM DODECYL SULPHATE>, <ABSORBANCE>, <CENTRIFUGATION>, <VACUUM DISTILLATION>, <DISSOLUTION>



## INTRODUCCIÓN

La refrigeración se emplea en diversas aplicaciones industriales: como procesamiento y/o conservación de alimentos, cervecería, climatización, petroquímica y diversos procesos industriales, los sistemas de refrigeración emplean fluidos denominados refrigerantes, estos transportan energía en forma de calor desde la fuente de generación de calor (calderas, núcleos de reactores nucleares, etc.) a sistemas que van a emplearlos (sistemas de almacenamiento térmico, generadores de vapor, reactores químicos, etc.), para determinar el refrigerante que se va a emplear se deben considerar aspectos como corrosión, toxicidad, inflamabilidad, costos y daños al medio ambiente (Martínez, Milton, 2014) los más empleados son: agua, etilenglicol, propilenglicol, aceites térmicos y sales fundidas, estos tienen su rendimiento térmico limitado debido a su baja conductividad térmica, con el fin de potenciar sus propiedades térmicas se han desarrollado investigaciones sobre la dispersión de nanopartículas (NPs) en ellos, se han experimentado con NPs de: carbón, óxidos de: aluminio, silicio, titanio, cobre, mejorando hasta en un 40% la conductividad térmica.

Las NPs representan un gran avance científico-tecnológica, están presentes en medicina, ingeniería de materiales, industrial, alimenticia, etc., brindan innumerables beneficios pero también representa riesgos como peligrosidad, efectos biológicos, químicos, contaminación, circulación y concentración en el medio ambiente (Reyes, y otros, 2018) y por ende daños a ecosistemas (organismos, flora, fauna y seres humanos), por esta razón surgen temas de investigación basados en la recuperación de NPs.

Esta investigación se centra en la recuperación de nanopartículas de alofán dispersas en el refrigerante secundario a base de propilenglicol, aunque no existan estudios aún que indiquen los riesgos y la toxicidad de estas si lo hay de sus componentes como los Óxidos de Silicio y Aluminio (fibrosis pulmonar, daños hepáticos, afecciones cardiacas y linfáticas) (Song, y otros, 2009). Se la realiza con el fin de aportar y generar conocimientos respecto a la recuperación, indicar métodos y equipos que se pueden emplear para conseguir dicho fin además de dar inicio a futuros temas de investigación.

## CAPÍTULO I

### 1.1. Problematización.

Con el fin de lograr un enfriamiento eficiente con un bajo consumo de energía para reducir costos en procesos, se han desarrollado diversas formas para mejorar las propiedades térmicas de los fluidos refrigerantes una de ellas mediante la adición de nanopartículas que permiten tratar con temperaturas más bajas de las que comúnmente se trabaja. Esta tecnología es muy importante, sin embargo, no se sabe a ciencia cierta lo que las nanopartículas dispersas en el refrigerante pueden causar al ser humano y al medio ambiente si son liberadas, ya sea de manera accidental, natural o intencional.

Si una persona es expuesta a estas nanopartículas existen tres rutas de exposición la inhalación, ingestión y dérmica, lo que conlleva a problemas de salud como la inflamación de vías respiratorias, alergias, sensibilidad, cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias, trombosis, entre otras. En cuanto al medio ambiente los efectos más comunes son formación de nubes de polvo, composición atmosférica, temperatura estratosférica y acumulación en la matriz biológica, lo que provoca cambios en el entorno físico, biológico y químico.

### 1.2. Justificación.

Esta investigación se realiza con el fin de aportar y generar conocimientos de forma concreta sobre la recuperación de nanopartículas de afofán adicionadas al refrigerante secundario propilenglicol, empleando conocimientos de síntesis, recuperación y caracterización de nanopartículas, para la presente investigación se experimentará con los siguientes métodos: centrifugación, destilación al vacío y nanofiltración, determinando la eficiencia y factibilidad de cada una de ellas.

En la actualidad las industrias empiezan a optimizar sus sistemas de refrigeración mediante adición de nanopartículas, lo que conlleva una producción de las mismas en gran cantidad y debido a esto el riesgo de liberación, contaminando el medio ambiente y al ser humano, para dar solución a este problema se utilizará los métodos mencionados, tratando de recuperar la mayor cantidad de NPs del nanorefrigerante, dependiendo de su estado y composición después de los procesos de recuperación podrían ser reutilizar en otras aplicaciones relacionadas a: sistemas de refrigeración, absorbente para remediación ambiental, celdas fotocombustibles, antibacterial y antiinflamatorio, remoción de enzimas, entre otros.

### 1.3. Alcance.

El alcance del presente trabajo tiene como finalidad recuperar las nanopartículas de alofán del nanorefrigerante a base propilenglicol mediante tres métodos de separación que son: centrifugación, destilación al vacío y nanofiltración, con el fin de evitar la liberación al ambiente y con ello una posible reutilización de las mismas principalmente en el área de refrigeración.

### 1.4. Objetivos.

#### 1.4.1. *Objetivo General.*

Recuperar nanopartículas de alofán del nanorefrigerante base propilenglicol mediante la experimentación con métodos de separación de mezclas e identificar el método más eficiente.

#### 1.4.2. *Objetivos Específicos.*

- Identificar los daños que causan las nanopartículas a los seres vivos y al medio ambiente.
- Elaborar el nanorefrigerante y experimentar con la estabilidad de las nanopartículas de alofán.
- Investigar sobre métodos de separación de mezclas, centrados en la recuperación de nanopartículas.
- Experimentar con los métodos identificados anteriormente empleando equipos, materiales siguiendo procedimientos correspondientes.
- Realizar comparación de resultados obtenidos por los métodos empleados en la recuperación de nanopartículas mediante análisis cuantitativos.



## 1.5. Marco Teórico.

### 1.5.1. Refrigerante.

Sustancia capaz de absorber calor de otra, como hielo, agua, aire, salmuera, etc. Se basa en la evaporación y la condensación del fluido para absorber y disipar calor, el refrigerante debe poseer características físicas para que se pueda repetir en ello la transformación de líquido a gas y de gas en líquido (Goribar Hernández, 2009, p. 227).

El refrigerante también es un fluido utilizado en la transmisión de calor, absorbe calor a bajas temperaturas y presión después cediéndolo a temperatura y presiones más altas. Este proceso tiene lugar con cambios de estado del fluido debido a la cantidad de energía que se maneja (Tomé Fernandez, 2009).

### 1.5.2. Efecto de Refrigeración.

El efecto de refrigeración es la cantidad de calor que es capaz de absorber desde el estado líquido del fluido, hasta su salida en estado de vapor. Esto nos lleva a decir que los líquidos que poseen un alto calor latente tienen un buen efecto de refrigeración. Por lo tanto, el efecto de refrigeración es la diferencia entre el calor contenido en estado líquido y el calor contenido en estado de vapor después de pasar por la fuente de calor (Goribar Hernández, 2009, p. 241).

### 1.5.3. Propiedades de los fluidos refrigerantes.

#### 1.5.3.1. Densidad

Propiedad que relaciona la cantidad de masa por unidad de volumen de una sustancia (Mott, 2006, p. 14).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad} \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

$$m = \text{Masa} [kg]$$

$$V = \text{Volumen} [m^3]$$

#### 1.5.3.2. Absorbancia.

Cuando incide un haz de luz sobre un cuerpo traslúcido, una parte de esta es absorbida por el cuerpo mientras que el restante la atraviesa. La absorbancia es utilizada en laboratorios para determinar la concentración de un elemento o compuesto en una muestra, es proporcional a la cantidad de luz absorbida y por ende a la concentración (Gonzalez, 2010).

#### 1.5.4. Refrigerantes secundarios.

Son fluidos que se emplean cuando por motivos de seguridad, toxicidad e higiene el sistema a enfriar no debe tener contacto directo con el fluido refrigerante (Martinez, 2014).

**Tabla 1-1:** Refrigerantes más usados.

NOMBRE REFRIGERANTE	FORMULA
Agua	$H_2O$
Cloruro de Calcio	$CaCl_2$
Cloruro de Sodio	$NaCl$
Etileno	$C_2H_4$
Etilenglicol	$C_2H_6O_2$
Propilenglicol	$C_3H_8O_2$
Metano	$CH_4$
Glicerina	$C_3H_8O_3$

Fuente: (Goribar Hernández, 2009)

##### 1.5.4.1. Agua.

En la mayoría de los casos, cuando la temperatura no baja de 32 °F, el agua, se usa como segundo refrigerante, esto por tener muy buenas propiedades como fluidez, alto calor específico, alto coeficiente de película, bajo costo y casi no es corrosivo (Goribar Hernández, 2009, p. 356).

##### 1.5.4.2. Salmuera.

Cuando se requieran temperaturas que estén debajo del punto de congelación, el agua ya no puede emplearse como fluido refrigerante, en este caso se usa la salmuera. La salmuera es una solución de agua y sales, al disolver la sal en el agua la temperatura de congelación de la solución es menor que la del agua pura (Goribar Hernández, 2009, p. 356).

Hasta un cierto punto mientras más sal tenga la solución, menor es el punto de congelación. Sin embargo, si la concentración aumenta más allá de cierto grado, el punto de congelación aumentara en vez de bajar. En otras palabras, una solución de sal y agua tiene una concentración a la cual es mínimo el punto de congelación, este punto se llama solución eutéctica. Las salmueras comerciales son de dos clases: cloruro de calcio  $CaCl_2$  y cloruro de sodio  $NaCl$  (sal común) (Goribar Hernández, 2009, p. 356).

#### 1.5.4.3. Cloruro de Calcio.

Se usa en la industria donde se requieran temperaturas menores a  $0\text{ }^{\circ}F$ ; la temperatura eutéctica aproximadamente es de  $-67\text{ }^{\circ}F$ , que se produce con una concentración de 30% por peso (ver Tabla 2-1) (Goribar Hernández, 2009).

**Tabla 2-1:** Temperatura de cristalización mezcla agua-cloruro de calcio.

% $CaCl_2$ por peso	Inicio de cristalización ( $^{\circ}F$ )
5	27.7
8	24.6
10	22.3
12	19.3
15	13.5
18	5.9
20	-0.4
22	-7.8
25	-21
28	-37.8
29,87	-67
30	-50.8
32	-19.5
34	+4.3

Fuente: (Goribar Hernández, 2009)

Cuando el cloruro de calcio se usa para alimentos, se diseña el sistema de refrigeración de modo que el refrigerante nunca entre en contacto con ellos (método de atomización), esto debido a su sabor amargo y su efecto deshidratante (Goribar Hernández, 2009).

#### 1.5.4.4. Cloruro de Sodio.

El cloruro de sodio se emplea en aplicaciones donde no se usa el cloruro de calcio todo esto debido a la contaminación que produce el cloruro de calcio. Se usa para congelar

carne, pescado, etc. La mínima temperatura que tiene es de  $-6,8^{\circ}\text{F}$  a una concentración del 23% (ver Tabla 3-1) (Goribar Hernández, 2009).

**Tabla 3-1:** Temperatura de cristalización mezcla agua-cloruro de sodio.

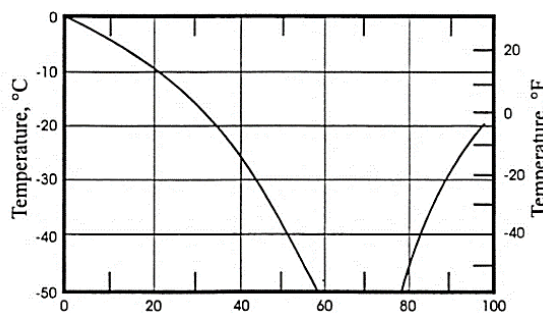
% NaCl por peso	Inicio de cristalización ( $^{\circ}\text{F}$ )
5	27,0 $^{\circ}\text{F}$
10	20,4
15	15
20	+1.8
21	-0.8
22	-3.0
23	-6.8
24	+3.8
25	+16.1
25,2	+32.

Fuente: (Goribar Hernández, 2009)

#### 1.5.4.5. Anticongelantes base glicol.

##### a) Etilenglicol.

Este anticongelante tiene numerosas aplicaciones tanto industriales como comerciales. Su mejor uso es en mezclas de anticongelantes y fluidos de refrigeración. Se usa en aeropuertos como fluido de deshielo, en frenos hidráulicos y fluidos de transferencia de calor en algunos sistemas de energía solar. El etilenglicol es tóxico para el ser humano afecta principalmente al sistema nervioso central y puede llevar hasta un paro respiratorio, similar a una intoxicación con etanol (Wexler, 2014, p. 287).



**Gráfico 1-1:** Punto de congelación solución a base etilenglicol.

Fuente: (Stoecker, 1998, p. 659)

Para que el etilenglicol pueda llegar a una temperatura similar a la salmuera de cloruro de calcio, necesita mayor concentración para trabajar a temperaturas menores de  $-40^{\circ}\text{C}$ , pudiendo llegar hasta los  $-50^{\circ}\text{C}$ , esta concentración puede incrementar la viscosidad, lo

que relativamente se utiliza a temperaturas mayores, alrededor de  $-10^{\circ}\text{C}$  (Guamán Caba, y otros, 2017, p. 42).

b) *Propilenglicol.*

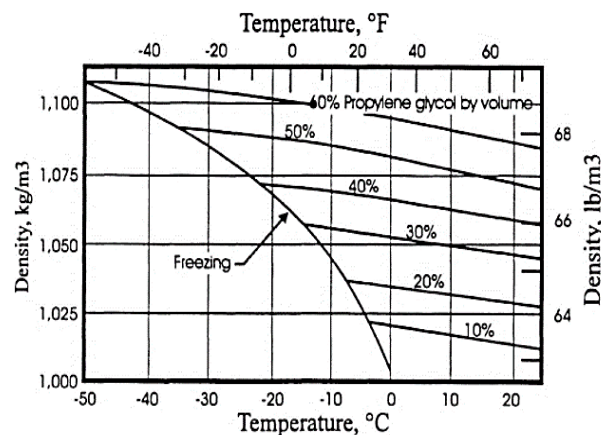
Fluido soluble en agua considerado seguro para usar en alimentos, medicamentos y cosméticos. Sus propiedades como solvente, humectante y anticongelante de baja toxicidad ayudan a su utilización en la industria alimenticia. Es el mejor elemento de anticongelantes y líquidos de deshielo de autos, aviones, barcos, etc. (Wexler, 2014, p. 554) Al ser un fluido soluble en agua estos se pueden mezclar para obtener un refrigerante de mayor calidad y estabilidad en la aplicación de refrigeración, los porcentajes recomendados para la disolución en agua se muestra en la Tabla 4.1.

**Tabla 4-1:** Tabla de disoluciones del Propilenglicol.

PROPILENGLICOL	PROTECCIÓN ( $^{\circ}\text{C}$ )
Puro	$-59^{\circ}\text{C}$
50%	$-34^{\circ}\text{C}$
40%	$-22^{\circ}\text{C}$
30%	$-14^{\circ}\text{C}$
20%	$-8^{\circ}\text{C}$
12%	$-5^{\circ}\text{C}$
10%	$-3^{\circ}\text{C}$

Fuente: (CHQUÍMICA, 2018)

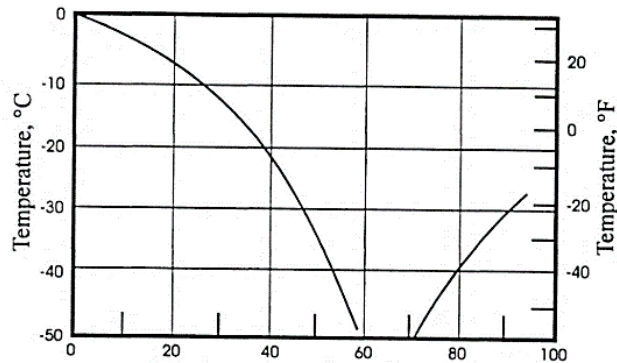
Para controlar la concentración de propilenglicol se emplea el Grafico 2-1, a determinada concentración y temperatura un solo valor de densidad.



**Gráfico 2-1:** Densidad para concentraciones de Propilenglicol según temperatura.

Fuente: (Stoecker, 1998, p. 662)

La temperatura de congelación mínima es de  $-59^{\circ}\text{C}$ , pero presenta un inconveniente al aumentar su concentración y disminuir su temperatura aumenta la viscosidad, por lo que requiere mayor potencia de bombeo es recomendable trabajar hasta concentraciones del 21% aproximadamente ( $-7^{\circ}\text{C}$ ). (Guamán Caba, y otros, 2017, p. 42)



**Gráfico 3-1:** Punto de congelación solución a base Propilenglicol.

Fuente: (Stoecker, 1998)

Las propiedades físico-químicas del Propilenglicol, se muestran en la Tabla 5-1.

**Tabla 5-1:** Propiedades físico-químico del Propilenglicol.

Punto de congelación	$<-59^{\circ}\text{C}$ ( $-4^{\circ}\text{F}$ )
Punto de ebullición	$184^{\circ}\text{C}$ ( $363^{\circ}\text{F}$ )
Inflamabilidad	No es inflamable ni combustible
Punto de inflamación (1000, 1hPa)	$104^{\circ}\text{C}$ ( $219^{\circ}\text{F}$ )
Presión de vapor ( $25^{\circ}\text{C}$ )	20 Pa
Densidad ( $20^{\circ}\text{C}$ )	$1,03\text{ g/cm}^3$
Solubilidad ( $20^{\circ}\text{C}$ )	100% soluble en agua
Viscosidad cinemática ( <b>cSt</b> a $25^{\circ}\text{C}$ )	43,4 cP (dinámica)

Fuente: (GTM, 2017)

#### 1.5.5. Nanotecnología.

Ciencia que estudia, diseña, crea y manipula la materia a nivel molecular y atómico, con una de sus dimensiones inferior a 100nm, tiene variedad de aplicaciones: medioambiente, sector energético, medicina, electrónica, exploración espacial, construcción, etc., el impacto de la nanotecnología en la sociedad esta generado la revolución industrial del siglo XXI (Nanotecno Chile, 2018).

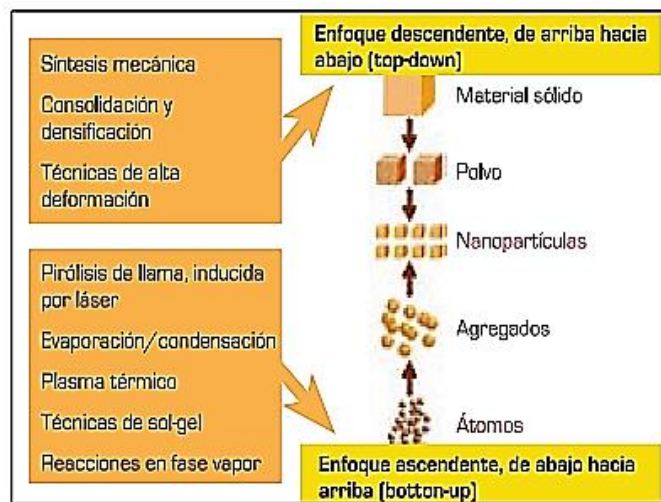
Dentro de este tamaño de la materia entran las nanopartículas que son de alta utilidad para variadas aplicaciones y pueden mejorar las propiedades de una forma sorprendente según la necesidad (Pedraza Luque, 2016, p. 32).

### 1.5.6. Nanopartículas.

Son partículas en las que una de sus dimensiones está comprendida entre 1 y 100nm, (millonésima parte de un milímetro), se pueden presentar en diferentes formas morfológicas: esferas, fibras, tubos y hojas. Las nanopartículas presentan cambios significativos en sus propiedades, razón por lo cual son empleadas en diferentes industrias: biomedicina, farmacéutica, cosmética, aeronáutica, agricultura, automotriz entre otros, como ejemplo: empleo de nanopartículas en biomateriales debido a su biocompatibilidad y biodegradabilidad con nanopartículas de hierro:  $Fe_3O_4$ , aditivos alimentarios  $SiO_2$  (reguladores de la acidez, antioxidantes, colorantes, emulsiones (López de la Peña, y otros, 2016), cremas corporales para prevenir el envejecimiento y protección solar mediante bloqueadores de la luz UV ( $ZnO$ ), Textiles inteligentes que repelen la suciedad, impermeables.

### 1.5.7. Método de obtención de nanopartículas.

Existen dos enfoques: De arriba-abajo (top down) y de abajo-arriba (bottom up), en la Figura 1-1 se representa los procesos mencionados (Urrutia, 2011, p. 28).



**Figura 1-1:** Método de producción de nanopartículas.

Fuente: (Urrutia, 2011, p. 28)

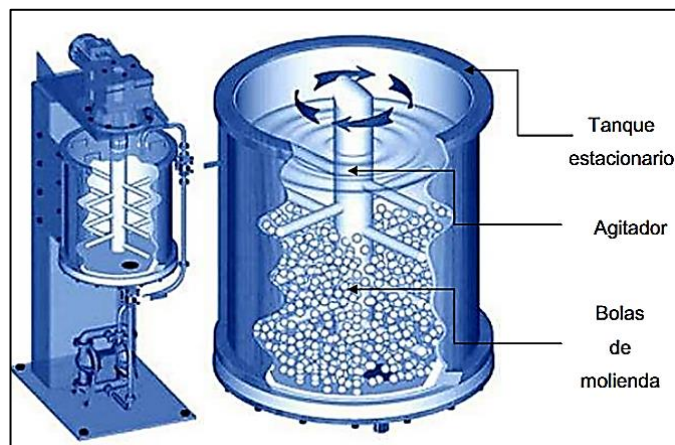
#### 1.5.7.1. Enfoque Top Down.

Radica en reducir el tamaño de las partículas por medio de procesos: mecánicos (molienda, desgaste, trituración), deformación, consolidación y densificación (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 11).

a) *Molienda Mecánica.*

Consiste en continuos impactos de alta energía a las que son sometidos las partículas por parte de esferas de acero, causando repetidas microforjas, (las esferas adhieren, unen y fracturan), reduciendo el tamaño de las partículas de polvo, modificando su morfología y cambiando sus propiedades.

Este método se puede realizar por medio de molienda seca y molienda húmeda. La molienda seca es cuando cargamos directamente las bolas (circonio) de la molienda en el tanque e iniciamos el proceso de reducción de tamaño de las partículas, este proceso genera gran cantidad de calor debido a la fricción que existe entre el material y las bolas dentro del tanque, por otro lado la molienda húmeda es cuando a más del material a moler se introduce un fluido en una cantidad que supera el 50% en peso del material, lo que hace que se produzca una sustancia pastosa dentro del tanque, el esquema de funcionamiento se puede observar en la Figura 2-1 (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 11).



**Figura 2-1:** Elementos básicos de un molino de atrición.

**Fuente:** (Alvarez Zambrano, y otros, 2011, p.6)

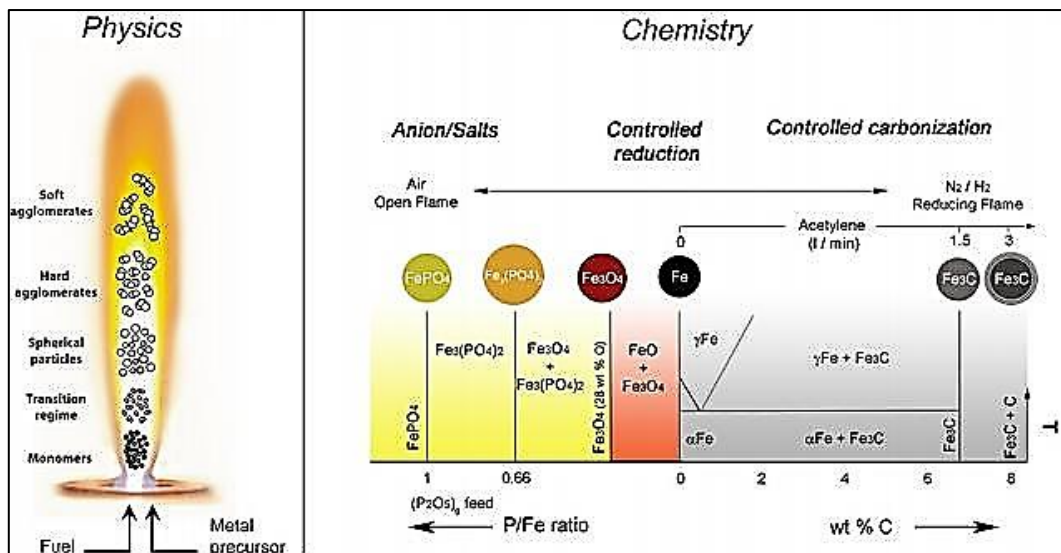
1.5.7.2. *Enfoque Bottom up.*

Se centra principalmente en obtener partículas de mayor tamaño, empezando de estructuras más pequeñas como las moléculas y átomos. Los procesos utilizados mediante este método son: pirolisis por llama, inducida por láser, evaporación/condensación, plasma térmico, técnicas sol gel (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 12).



a) *Pirolisis por llama.*

Método donde un precursor de vapor que puede ser líquido o gas se quema a una alta presión, se obtiene hollín, este proceso tiene una desventaja que se relaciona con la aglomeración de las partículas. El proceso se muestra en la Figura 3-1 (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 13).

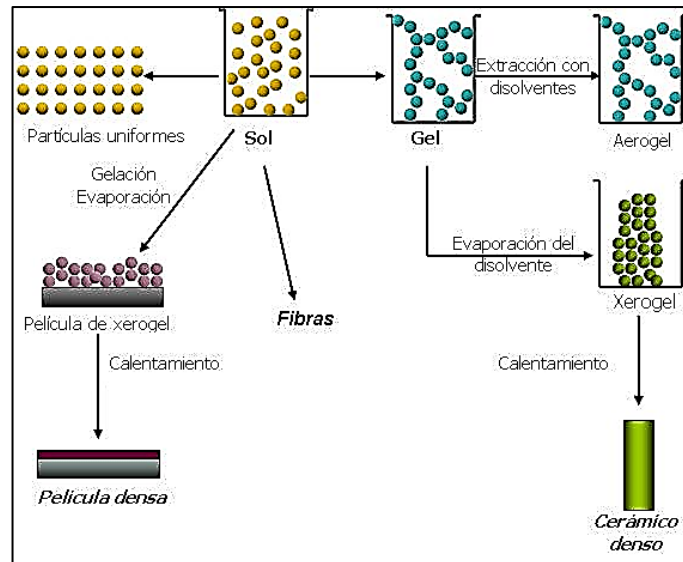


**Figura 3-1:** Síntesis nanopartículas mediante plasma.

Fuente: (UNAD, 2015, p. 8)

b) *Sol-Gel.*

Método químico utilizado para obtener híbridos orgánicos-inorgánicos, es una ruta química que empieza con síntesis de una suspensión coloidal de partículas sólidas (sol) y la hidrólisis y condensación de este sol para formar un material lleno de solvente (gel). Este proceso se lleva a cabo a una temperatura ambiente dejando reposar el solvente posteriormente se extrae el gel, este período de reposo se llama envejecimiento, el gel se recoge al expulsar el solvente y agua. (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 14) Se observa en la Figura 4-1 el esquema del método.



**Figura 4-1:** Síntesis nanopartículas mediante sol-gel.

**Fuente:** (Castañeda Contreras, 2018)

### 1.5.8. Aplicaciones de las nanopartículas.

Tienen variedad de aplicaciones entre las principales encontramos: ingeniería, medicina, energía, medio ambiente entre otras.

#### 1.5.8.1. Ingeniería.

Por las nuevas propiedades físicas y químicas obtenidas a escala nanométrica, ofrece mejores propiedades mecánicas como: elasticidad, resistencia, conductividad térmica. Algunos ejemplos a continuación: (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 9)

- Recubrimientos resistentes al desgaste y abrasión (nanopartículas de alúmina  $Al_2O_3$ ).
- Pigmentos con nanopartículas (*Plomo, Zinc, Plata*).
- Tintas conductoras y magnéticas utilizando polvos de metal (buenos conductores como la plata).
- Cemento reforzado con nanotubos de carbono.
- Mejora estructural y física de polímeros y materiales compuestos (nanoarcillas, nanoóxidos, nanohidróxidos de metales  $TiO_2, SiO_2$ ).

#### 1.5.8.2. *Medicina.*

Las enfermedades a nivel molecular, células cancerígenas pueden ser curadas con nanodrogas controladas por microchips, los cuales realizan seguimientos y eliminación de los virus (Wong, y otros, 2010).

- Protectores solares ( $ZnO$  y  $TiO_2$ ).
- Apósitos para heridas antibacterianas (Nanopartículas de Plata).

#### 1.5.8.3. *Energía.*

Tiene relación con la mejora de sistemas de producción y almacenamiento de energía, nanofluidos, algunos ejemplos de aplicación: (Wong, y otros, 2010)

- Almacenamiento de hidrógeno (nanopartículas híbridas metálicas).
- Catalizadores ambientales ( $TiO_2$ ).
- Células solares ( $TiO_2$ ,  $ZnO$ ).

#### 1.5.8.4. *Medio Ambiente.*

Para la conservación del medio ambiente toma en cuenta el desarrollo de los materiales energías y procesos, neutralización de microorganismos, tratamiento de aguas, absorbentes de petróleo, etc. (Wong, y otros, 2010)

- Absorbentes de petróleo.
- Control de emisiones de contaminantes ( $TiO_2$ ).
- Tratamientos de agua (foto catálisis) se utilizan nanopartículas de materiales cerámicos, óxidos metálicos como el  $TiO_2$ , nanotubos de carbono y alúmina.
- Plásticos biodegradables.

#### 1.5.9. *Peligro de Nanopartículas.*

Las investigaciones disponibles indican que los motivos de preocupación por las nanopartículas son dos: (Reyes, y otros, 2018)

- Peligrosidad, las propiedades de las nanopartículas a tamaño nano modifican la materia aumentando su toxicidad, se refiere a los efectos biológicos y químicos generando daños a microorganismos y problemas a la salud humana.

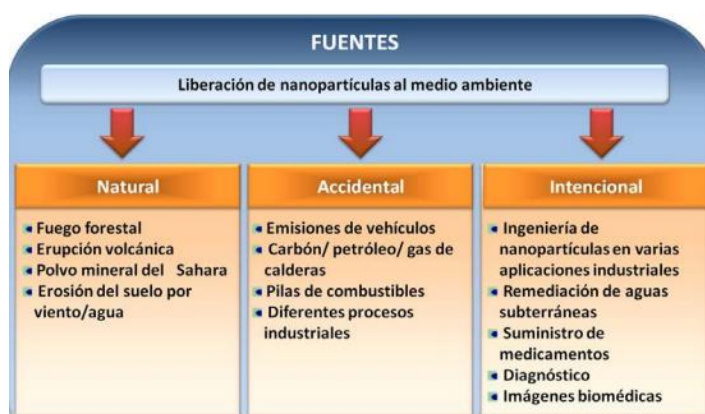
- Contaminación, tiene que ver con los escapes, dispersión al medio ambiente, circulación y concentración, que pueden representar un peligro para los organismos o los ecosistemas.

Algunos problemas identificados por: (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2013, p. 280)

- Debido a su tamaño tienen mayor habilidad para atravesar las barreras celulares de nuestro cuerpo (cerebro, pulmones, corazón, ADN, membrana placentaria).
- Bioacumulación en seres vivos.
- Los nanotubos de carbón y las fibras de amianto pueden causar daños al tejido respiratorio.
- Por su tamaño muchas NPs no pueden ser detectadas por los macrófagos, son un tipo de células del sistema inmunológico, pueden entrar al sistema circulatorio, linfático, teniendo una elevada capacidad tóxica. (Reyes, y otros, 2018)
- La toxicología de las nanopartículas proviene del hecho que muchas de ellas poseen propiedades redox o son fotoactivas por ejemplo, las NPs de dióxido de titanio presentes en bloqueadores solares son fotocatalíticas por lo que la exposición al sol genera radicales libres que podrían degradar sus componentes o bien atacar a las biomoléculas del usuario, sin embargo, aunque los estudios no muestran que en realidad exista algún riesgo tampoco los descarta completamente. (Reyes, y otros, 2018)
- Uno de los pocos estudios relevantes del efecto de nanopartículas de carbono en ratones demostró que éstas inducen granulomas dependientes de la concentración y, en algunos casos, inflamación intersticial en los animales. En una investigación realizada recientemente se demostró que los Fullerenos C60, uno de los nanomateriales con mayor potencial, inducen estrés oxidativo en peces. Se ha encontrado que las NPs poseen cualidades muy parecidas a las de los asbestos, los cuales se dejaron de usar por ser altamente cancerígenos.
- Según (Song, y otros, 2009) se trataría del primer caso laboral descrito en la literatura científica a lo que les sucedió a 8 personas que trabajaban en el departamento de Pinturas decorativas y de impresión en una fábrica China, se encargaban de preparar, manipular, calentar y aerosolizar cierta pasta que mezclaba polvo de marfil con éster poliacrílico (contiene NPs de óxido de silicio y nanosilicatos) tras laborar en un espacio confinado empleando ocasionalmente mascarillas y el ducto de ventilación

obsoleto comenzaron a presentar los mismos síntomas respiratorios, EPOC, derrame pleural, al aerosolizar se presentaba erupciones cutáneas que producían picor en la cara, manos y brazos, al inhalar las nanopartículas estas se depositaron en el tejido pulmonar intersticial produciendo inflamación pulmonar que evoluciono en fibrosis pulmonar, también presentaron inflamación de ganglios linfáticos, derrames pericárdicos, daños hepáticos, e incluso produjo la muerte a 2 trabajadoras por fibrosis pulmonar rápidamente progresiva.

En la Figura 5-1 se indica las Fuentes de liberación de Nanopartículas y en la Figura 6-1 se puede ver los daños que provocan la liberación de nanopartículas al medio ambiente y a la salud.



**Figura 5-1:** Fuentes comunes de nanopartículas en el medio Ambiente.

Fuente: (Smita, y otros,2010)



**Figura 6-1:** Rutas de exposición, efectos al ambiente y salud causadas por NPs.

Fuente: (Smita, y otros,2010)

Es por estas razones que recuperar las nanopartículas debe ser un estudio a tomar en cuenta al ver las repercusiones que causa tanto a los seres vivos como al ambiente, por tal razón es necesario aplicar métodos para evitar liberar estos nanofluidos ya sea de manera involuntaria o accidental en laboratorios o en grandes industrias donde su producción es aún mayor.

#### *1.5.10. Nanopartículas de Alofán.*

Es una nanopartícula natural que se encuentra en los suelos volcánicos, sus propiedades son versátiles y sus aplicaciones son variadas como por ejemplo en la remediación ambiental y en uso de catálisis. (Silva, y otros, 2017)

La partícula de alofán posee una forma similar a una esfera porosa, con un diámetro que varía entre 3 a 5 nm, en cuanto a su estructura esta consiste en una capa externa formada por octaedros de Al y una capa interna formada por tetraedros de silicio, debido a esto existe alofán rico en aluminio y también en silicio. Esta partícula también presenta una gran área superficial, porosidad y también carga variable, estas propiedades permiten aplicaciones como adsorbente de cationes y aniones, compuestos derivados del benceno, detergentes y ácidos grasos. (Silva, y otros, 2017)

Otra aplicación muy importante a investigar es la adición de nanopartículas de alofán a un refrigerante y analizar el poder calorífico, se conoce que las nanopartículas de silicio y titanio mejoran los coeficientes de transferencia de calor del fluido base, por tal motivo el alofán que es rico en Al y Si es una nanopartícula que podría dar muy buenos resultados en formar un nanorefrigerante con alta transferencia de calor.

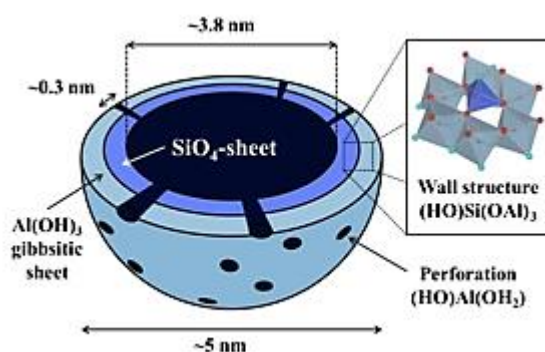
##### *1.5.10.1. Formación.*

El alofán se forma por la meteorización rápida del vidrio volcánico. Cuando el pH del suelo es aproximadamente 5, el Al y Si se desprenden del material volcánico, estos reaccionan y forman alofán, halloysita e imogolita. (Silva, y otros, 2017)

Las partículas de alofán domina en suelos sometidos a régimen de alta precipitación, por otra parte, la halloysita predomina en suelos de baja precipitación. Se puede extraer de andosoles después de una serie de pasos que de manera general son: eliminar la materia orgánica, eliminar óxidos de hierro y separar las fracciones nanométricas, aunque también se puede sintetizar por métodos de obtención de nanopartículas. (Silva, y otros, 2017)

### 1.5.10.2. Características estructurales.

La nanopartícula de alofán tiene forma esférica porosa, con un diámetro externo que varía de 3.5 a 5 nm, un radio interior de 1 a 2 nm, espesor de 0.7 y 1 nm, poros con diámetros entre 0.3 y 0.4 nm y un área superficial entre 400 a 900  $m^2 g^{-1}$ . La capa exterior está formada por octaedros de Al y la interna formada de tetraedros de Si, aunque es posible encontrar el aluminio (Al) en forma de tetraedros y también octaedros, en la Figura 7-1 se observa la morfología del alofán. (Silva, y otros, 2017)



**Figura 7-1:** Morfología de la nanopartícula de alofán.

**Fuente:** (Arakawa, y otros, 2014)

De acuerdo al predominio del Al o Si en la partícula de alofán su composición cambia y se pueden encontrar en la naturaleza alofán rico en silicio ( $\text{Al/Si} = 1$ ) y rico en aluminio ( $\text{Al/Si} = 2$ ), su fórmula química se presenta como:  $1 - 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 - 6\text{H}_2\text{O}$ . (Silva, y otros, 2017)

### 1.5.10.3. Aplicaciones de nanopartículas de Alofán.

- *Adsorbente para remediación ambiental.* El área superficial y el tamaño de la partícula es una característica importante que los materiales absorbentes deben poseer para el tratamiento del agua y eliminar los contaminantes carcinogénicos y tóxicos. El alofán posee cationes de adsorción. (Fumitoshi I., 2012)
- *Celdas fotocombustibles.* Mediante la oxidación de materiales combustibles durante la irradiación UV es un método muy utilizado actualmente para generar electricidad. (Silva, y otros, 2017)
- *Antibacterial y antiinflamatorio.* El alofán es biocompatible, aplicable a la medicina y sus propiedades bactericidas que al ser potenciadas forman nanocompuestos que se basa en la inmovilización de nanopartículas, tiene propiedades bactericidas como Cu y Ag. (Silva, y otros, 2017)

- *Inmovilización de enzimas.* El alofán tiene una gran área superficial sirve como un soporte de enzimas, inmoviliza la fosfatasa ácida y evalúa la mineralización de fósforo orgánico de estiércol de ganado, el cual es descompuesto con complejos de arcillas y nanoarcillas-fosfatasa ácida. La inmovilización incrementa la actividad específica enzimática y la cinética de la desmineralización de P. (Silva, y otros, 2017)

#### 1.5.11. Nanofluidos.

Son suspensiones diluidas que poseen nanopartículas, se utilizan para modificar las propiedades del fluido: densidad, viscosidad y aumentar la capacidad de transferencia de calor, conductividad térmica. El fluido base puede ser: agua, etilenglicol, propilenglicol, aceites. (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 17)

Las NPs empleadas para crear nanofluidos son: óxidos ( $Al_2O_3, CuO$ ), nitruros ( $AlN, SiN$ ), carburos ( $SiC, TiC$ ), metales ( $Cu, Ag, Au$ ), semiconductores ( $TiO_2, SiC$ ), nanotubos de carbón, en la Tabla 6-1 se muestran estudios relacionados con el mejoramiento de la conductividad térmica de ciertos refrigerantes mediante la adición de NPs, los resultados son positivos se aumentó el porcentaje de transferencia de calor.

**Tabla 6-1:** Mejoramiento de la Conductividad Térmica mediante adición de NPs.

Año	Nanofluido	Mejoramiento de la conductividad térmica (%)
1993	4.3% ( $Al_2O_2, SiO_2$ y $TiO_2$ ) dispersas en agua	26,7 y 11
1999	4% ( $Al_2O_2, CuO$ ) dispersas en agua	20
2000	2,5 – 7,5% NPs de Cu dispersas en agua	1,24 a 1,78
2001	NPs de Cu dispersas en etilenglicol	40
2006	1% $CuO$ disperso en etilenglicol 1% $SiO_2$ disperso en agua	5 3
2007	4% $Al_2O_2$ , 4% $CuO$ NPs en agua (efectos de temperatura)	Incremento de temperatura de 9,4 a 24,3
2007	(0,1 – 2%) grafito 106 nm disperso en agua	10 – 37
2009	4% $Al_2O_2$ (15 – 50 nm) disperso en agua 4% $Cu$ (25 – 60 nm) disperso en agua	13 15
2010	0,5% $Al_2O_2$ disperso en agua	31



2012	Cu disperso en Cloruro de amonio	La conductividad térmica aumenta con el aumento de temperatura
2013	1% alúmina dispersa en etilenglicol 1% alúmina dispersa en propilenglicol	38,71 40,2
2013	Al <sub>2</sub> O <sub>2</sub> disperso en agua	Mejora en conductividad térmica y calor específico

Fuente: (Hussein, y otros, 2013)

#### 1.5.11.1. *Dispersión de nanopartículas en fluidos base.*

La preparación de los Nanofluidos es clave para su estudio, hay que tomar en cuenta que estos fluidos no son mezclas simples de líquido-sólido por lo que se debe procurar algunas características especiales como: suspensión estable, aglomeración de partículas despreciable, todo esto sin cambio químico en el fluido (Cueva Toalombo, et al, 2016, p. 18).

La suspensión de nanopartículas en el fluido base (propilenglicol) se puede llevar a cabo mediante dos métodos; el de una sola etapa y el método de dos etapas.

##### a) *Técnica de un solo paso.*

Este método no es usado porque se debe sintetizar las nanopartículas y enseguida dispersarlas en el fluido base. Esto es complicado ya que sería mucho mejor adquirir las nanopartículas en vez de sintetizarlas (Cueva Toalombo, et al, 2016, p. 18).

Ventajas de este método:

- Mínima aglomeración de nanopartículas.
- La estabilidad del nanofluido aumenta.

Inconvenientes de este método:

- El líquido debe estar a una presión de vapor baja, si se lleva a cabo a presiones altas se producen problemas relacionados a la aglomeración de nanopartículas, por esta razón esta técnica es limitada.

Otra técnica de una sola etapa que se ha descubierto es la condensación de vapor química. La ventaja de esa técnica frente a la evaporación directa es que esta ofrece el control del

tamaño de la partícula, fácil de escalar y con la posibilidad de producir nanoestructuras de recubrimiento (Pedraza Luque, 2016, p. 71).

a) *Técnica de los dos pasos.*

Es muy usada teniendo en cuenta la disponibilidad de las nanopartículas en el mercado para emplear este método generalmente se usan equipos ultrasónicos que dispersan intensivamente las partículas y reducen la aglomeración, éste método funciona bien con nanopartículas de óxido, mientras que para partículas metálicas no se ha tenido el mismo éxito, para ambos casos, se emplean tratamientos ultrasónicos para evitar las aglomeraciones en el nanofluido, así obteniendo una serie de nanofluidos que posee aglomeraciones de partículas controladas con diferentes conductividades térmicas (Pedraza Luque, 2016, p. 71).

1.5.11.2. *Aplicaciones de los nanofluidos.*

a) *Fluidos Inteligentes.*

- Recubrimientos de superficies: anticorrosivos (para diversas condiciones climáticas y ambientes marinos permite reducir programas de mantenimiento debido a daños estructurales prematuros), desgaste, autolimpieza contra grasas y contaminación, como ventaja es que estos recubrimientos son invisibles al ojo humano y no alteran la percepción visual del material tratado (Campos, 2014 pp. 41-42).
- Dentro de la explotación y producción de Petróleo y Gas el empleo de nanofluidos permite reducir la fricción entre la tubería de perforación y las paredes del yacimiento, mejorar las propiedades de los fluidos de perforación y la conductividad térmica, reducir problemas de adherencia en tuberías, reducir fuerzas de dragado y como aglomerantes en la consolidación de arenas (Delgado Linares, y otros, 2015, pp. 159-160).

b) *Reactores Nucleares.*

- En una investigación realizada por el departamento de Ciencia e Ingeniería Nuclear del Instituto de Tecnología de Massachusetts lograron aumentar el flujo de calor Crítico en la generación de vapor empleando nanofluidos en vez de agua en un reactor de agua presurizada (PWR) aumentado su producción y mejorando el rendimiento de sistemas de refrigeración, en casos en donde el núcleo llegase a

fundirse este se reubica en el fondo del recipiente del reactor generando calor por descomposición al emplear nanofluidos aumenta en un 40% la capacidad de retención de calor de los recipientes de los reactores generando beneficios económicos e incremento en la seguridad de la planta de energía. (Wong, y otros, 2010).

- Acumuladores de partículas nocivas y contaminantes en los reactores nucleares (Cueva Toalombo, y otros, 2016, p. 19).

c) *Extracción de energías geotérmicas y otras energías.*

Para extraer energía de la corteza terrestre, se debe perforar longitudes entre 5 a 10 km, con temperaturas de 500°C a 1000°C, debido a esto su extracción es limitada siendo aprovechado solo cierta cantidad, al emplear nanofluidos se puede: enfriar tuberías, maquinaria y equipos que trabajan en alta fricción al perfora; como un superconductor de fluidos, para extraer energía del núcleo de la tierra y esta se puede procesar en un sistema de planta de energía PWR que genere mayor cantidades de energía (Wong, y otros, 2010).

Mediante la implementación de fluidos en el área de la tecnología de perforación es fundamental para la potencia geotérmica, sensores mejorados y electrónica refrigerada por nanofluidos capaces de operar a mayor temperatura en herramientas de fondo del pozo y mejoras revolucionarias que utilizan nuevos métodos de penetración de rocas refrigeradas y lubricadas por los nanofluidos que reducirían los costos de producción, tales mejoras permitirán el acceso a regiones más profundas y calientes en formaciones de alto grado a temperaturas económicamente aceptables en formaciones de menor grado (Wong, y otros, 2010).

d) *Nanorefrigerante.*

Potenciar sistemas de refrigeración: de Vehículos, procesos industriales: químicos farmacéuticos y alimenticios, además de los que se indicó anteriormente el empleo de nanorefrigerantes en reactores nucleares, sistemas de perforación de pozos para extraer petróleo y energía.

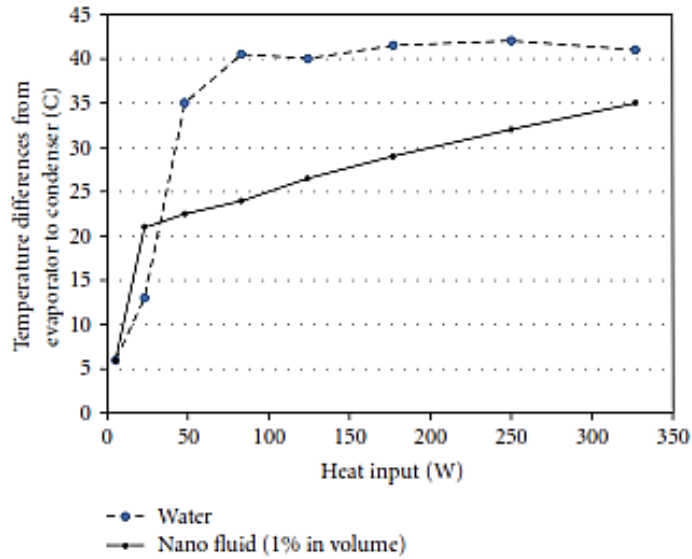
e) *Nanofluidos en Combustible.*

Al combustionar una mezcla de diésel, agua y nanopartículas de aluminio que fueron producidas mediante arco de plasma provocando que esten cubiertas con capas de óxido de aluminio (alúmina), esta actúa como catalizador mientras que las Nps descomponen al agua y producen más hidrógeno aumentando el calor de combustión total mientras se disminuyó la concentración de humo y óxido de nitrógeno en la emisión de escape del motor. (Wong, y otros, 2010)

f) *Enfriamiento de Microchips.*

Una limitación principal en el desarrollo de microchips más pequeños es la rápida disipación de calor. Sin embargo, los nanofluidos pueden usarse para enfriar líquidos procesadores de computadora debido a su alta conductividad térmica, se predice que la próxima generación de chips de computadora producirá un flujo de calor localizado de más de 10MW/m (Wong, y otros, 2010).

NGUYEN, G. investigó la mejora de la transferencia de calor y el comportamiento del  $Al_2O_3$ , nanofluido de agua con intención de usarlo en un sistema cerrado de enfriamiento diseñado para microprocesadores u otros dispositivos electrónicos. El experimento se realizó con la inclusión de nanopartículas en agua destilada produciendo un aumento significativo del enfriamiento. En una partícula dada una concentración de 6.8%, el coeficiente de transferencia de calor aumento tanto como 40% en comparación con el fluido base de agua. Una investigación adicional en la refrigeración electrónica conducirá al desarrollo de la próxima generación de dispositivos que tengan nanofluidos incluidos para sistemas electrónicos de ultra alta temperatura de flujo. En el Gráfico 4-1 se observa cómo afecta las nanopartículas en la capacidad de transporte de calor de un fluido.



**Gráfico 4-1:** Efecto del nanofluido sobre la capacidad de transporte de calor.

Fuente: (Wong, y otros, 2010)

g) *Terapias contra el cáncer.*

El uso de nanopartículas a base de hierro para la radiación en pacientes con cáncer. Los nanofluidos magnéticos se deben usar para guiar las partículas del torrente sanguíneo a un tumor con imanes, esto permitirá a los médicos suministrar altas dosis locales de drogas o radiación sin dañar el tejido sano cercano que es un efecto de los métodos tradicionales del tratamiento de cáncer (Wong, y otros, 2010).

Las nanopartículas magnéticas son más adhesivas a las células tumorales que las células no malignas y que absorben con mucha más potencia que las macropartículas en campos magnéticos de corriente alterna tolerable para los humanos; hacen excelentes candidatos para terapia contra el cáncer, se usan nanopartículas magnéticas porque en comparación a otras de tipo metálico, estas proporcionan una característica para el manejo y la manipulación del nanofluido por fuerza magnética. Esta combinación de energía dirigida y la liberación controlada también disminuirá la probabilidad de toxicidad sistémica ya que la droga esta encapsulada y biológicamente no disponible durante el tránsito en circulación sistémica (Chieh Chiang, y otros, 2007).

1.5.11.3. *Ventajas e inconvenientes de los nanofluidos.*

a. *Ventajas*

- Protección anticorrosiva, desgaste, limpieza.

- Reducción de costos de mantenimiento en equipos sometidos a diversas condiciones climáticas, ambientes marinos y fricción.
- Mayor superficie de transferencia de calor entre las partículas y el nanofluido.
- Potencian conductividad térmica y capacidad calorífica.
- Incremento en el nivel de seguridad de plantas de energía nuclear.
- Mayor redito económico en la extracción de petróleo, gas y energía geotérmica.
- Reducción de tamaño y peso en componentes vehiculares (motor y radiador).
- Potenciar combustibles y reducir emisión de gases.
- Eliminar de forma selectiva células malignas.

*b. Inconvenientes.*

- Incremento en la viscosidad, lo cual conlleva a un aumento en la energía de bombeo.
- Aglomeración y Sedimentación,
- Empleo de sustancias adicionales para mejorar la estabilidad.
- En el intento de generar nuevas aplicaciones se contamina.

*1.5.12. Métodos de Separación de Nanopartículas*

Para realizar la experimentación es necesario conocer los métodos que se pueden aplicar a la investigación, para según su complejidad o disponibilidad de equipos elegir los más eficientes, tomando en cuenta que la meta es separar las NPs de Alofán y recuperar la mayor cantidad de Propilenglicol del nanorefrigerante entre los métodos tenemos los siguientes.

*1.5.12.1. Evaporación al vacío.*

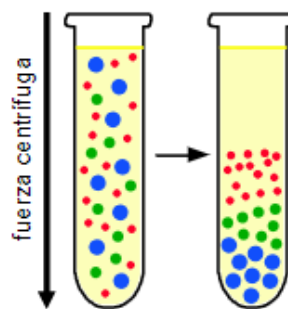
Permite separar, purificar, concentrar una disolución, consiste en inducir vacío mediante una bomba con el fin de disminuir el punto de ebullición de una de los componentes para que se evapore y posteriormente se condense (destilar).

Este método es muy factible para extraer agua y propilenglicol por separado y aislar las nanopartículas de alofán en el matraz de destilación, el propilenglicol puede mantenerse en estado líquido hasta los 188 °C, para llegar a esta temperatura la cantidad de energía que se necesita es alta, pero con la evaporación al vacío no es necesario llegar a tal

temperatura si no que con cierta presión de vacío y temperatura se lograría recuperar, ahorrando considerablemente el consumo de energía.

#### 1.5.12.2. Método de centrifugación.

Se emplea para acelerar la sedimentación gracias a la fuerza centrífuga, sirve para separar partículas o moléculas de la mezcla. Se utiliza en varios campos como por ejemplo para el análisis de la sangre en laboratorios clínicos, separar el suero sanguíneo y el plasma, cuantificar la cantidad de grasa que contiene la leche, etc. En la fig. 8-1 se observa como las partículas se van sedimentando de acuerdo a su peso y tamaño.



**Figura 8-1:** Proceso de Centrifugación, precipitados según densidad.

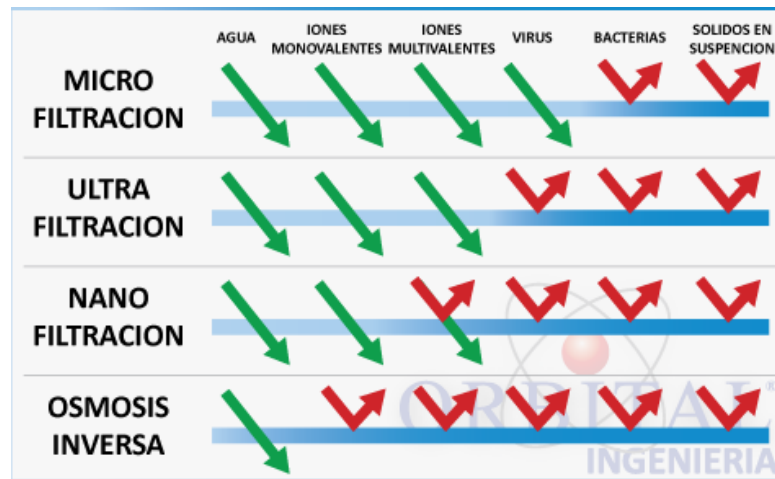
Fuente: (Biomodel, 2013)

Se utiliza principalmente cuando la sedimentación es demasiado lenta, la centrifugación ayuda a que esta operación se acelere, esto por acción de girar la muestra a gran velocidad gracias a una fuerza centrífuga, los sedimentos que poseen mayor peso se sedimentan rápidamente mientras que los de menor peso necesitan de mayor tiempo y velocidad (Coronado, y otros, 2018).

#### 1.5.12.3. Nanofiltración.

Es conocida también como el proceso de ultraosmosis, es un proceso que filtra solutos de peso molecular bajo, por medio de membranas que operan a baja presión. Es un proceso nuevo que usa membranas que tienen tamaños de poro mayor en comparación a las membranas OI (Ósmosis Inversa), existe un rango de membranas entre las cuales se encuentran las membranas de ultrafiltración y Osmosis Inversa (Poo Barrera, 2005, p. 19), estas membranas son capaces de retener partículas de tamaño manométrico alrededor de los 2 nm, también es capaz de retener especies iónicas bivalentes como los aniones y cationes, siendo una ventaja muy grande (García Olmos, 2002, p. 16).

Utiliza el principio de separación de la solución-difusión, siendo el material de las membranas la poliamida (polimerización interfacial). Como principales aplicaciones están la retención de contaminantes tales como insecticida, pesticidas etc., que se encuentran en el agua para consumo humano. (García Olmos, 2002, p. 16) En la fig. 9-1. se observa la selectividad de las membranas para Nanofiltración comparadas con las de MF (micro filtración), UF (ultra filtración), OI (Osmosis Inversa).



**Figura 9-1:** Comparación entre tecnologías de filtración por membrana.

**Fuente:** (Orbital Ingeniería, 2014)



## CAPÍTULO II




### 2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se detalla: reactivos, compuestos, equipos, materiales, procedimientos, concentraciones de: propilenglicol, nanopartículas de alofan y surfactante empleados en la elaboración del nanorefrigerante como en la recuperación de nanopartículas.

#### 2.1. Materiales.

Los compuestos, equipos y materiales para elaborar el nanorefrigerante, dispersar y recuperar las nanopartículas se muestran en las Tablas 7-2, Tabla 8-2, y Tabla 9-2 respectivamente.

**Tabla 7-2:** Reactivos y Compuestos.



Reactivos y Compuestos	Ilustración	Propiedades
1. Nanopartículas de Alofan		<ul style="list-style-type: none"><li>• Fórmula: <math>1 - 2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 - 6\text{H}_2\text{O}</math></li><li>• Suspensas en Agua destilada.</li></ul>
2. Agua Destilada		<ul style="list-style-type: none"><li>• Fórmula: <math>\text{H}_2\text{O}</math></li><li>• Densidad: <math>1 \text{ g/cm}^3</math></li><li>• Masa Molar: <math>18,015 \text{ g/mol}</math></li></ul>
3. Propilenglicol		<ul style="list-style-type: none"><li>• Fórmula: <math>\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2</math></li><li>• Densidad: <math>1,04 \text{ g/cm}^3</math></li><li>• Masa Molar: <math>76,09 \text{ g/mol}</math></li></ul>

**Tabla 7-2 (Continua):** Reactivos y Compuestos.






<p>4. Sodio Dodecil Sulfato</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>C_{12}H_{25}NaO_4S</math></li> <li>• Densidad: 450 g/l</li> <li>• Pureza: 98%</li> </ul>
<p>5. Ácido Nítrico</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>HNO_3</math></li> <li>• Concentración: 1 molar</li> <li>• pH: 0,655</li> </ul>
<p>6. Hidróxido de Sodio</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórmula: <math>HNO_3</math></li> <li>• Concentración: 0,5 molar</li> <li>• pH: 11,964</li> </ul>

Realizado por: Autores

**Tabla 8-2:** Equipos de laboratorio.

Equipos	Ilustración	Características
<p>1. Balanza Analítica</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: OHAUS Corporation.</li> <li>• Modelo: EX224</li> <li>• Capacidad máxima: 220 g.</li> <li>• Precisión: 0,0001 g.</li> <li>• T. Recomendada: 21,9 °C.</li> </ul>
<p>2. Estufa</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: MEMMERT</li> <li>• Modelo: SyngleDISPLAY</li> <li>• Temperatura hasta a 180 °C</li> <li>• Sensor Pt100, panel control de fácil manejo.</li> </ul>

**Tabla 8-2 (Continúa):** Equipos de laboratorio.

<p>3. Rotavapor</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: BOECO Germany</li> <li>• Modelo: RVO 400 Sd</li> <li>• Rango volumen: 20 -4000 ml.</li> <li>• Velocidad rotación: 0, 10 hasta 280 rpm.</li> <li>• Temperatura máx.: 100 °C agua; 180 °C aceite.</li> <li>• Presión vacío: 1-500 mbar.</li> </ul>
<p>4. Bomba de vacío</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: BUCHI</li> <li>• Modelo: V-700</li> <li>• Vacío final (absoluto): 10 mbar.</li> <li>• Vacío final (con lastre de aire): 24 mbar.</li> <li>• Velocidad de revolución: máx. 1600 rpm/min.</li> </ul>
<p>5. PHmetro</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Fisher Scientific</li> <li>• Modelo: F-L.INV-001</li> <li>• Rango de PH: 0 a 14</li> <li>• Rango temperatura: 0 a +100 °C</li> <li>• Punto Neutro: PH 7</li> <li>• Tiempo de respuesta: &lt; 1 sec.</li> </ul>
<p>6. Agitador Magnético</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: SONICA Sweep System</li> <li>• Modelo: 500 WATT MODEL</li> <li>• Rango temperatura: 5-40°C.</li> <li>• Humedad relativa: 20-90% sin condensación.</li> </ul>
<p>7. Centrífuga</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: ORTO alresa</li> <li>• Modelo: DIGTOR 21 C 110V</li> <li>• Rotor capacidad máx.: 4 x 100 ml</li> <li>• Velocidad rotación máx.: 3000 rpm.</li> </ul>

**Tabla 8-2 (Continua):** Equipos de laboratorio.

<p>8. Espectrómetro de Ultra Violeta</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Thermo Scientific.</li> <li>• Modelo: Genesys 10S UV-VIS</li> <li>• Rango de longitud de onda: 90 – 1100 nm</li> <li>• Número de muestras máximas: 6</li> </ul>
<p>9. Espectrómetro de Infrarrojo</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Jasco</li> <li>• Modelo: FT/IR-4100</li> <li>• Rango espectral de onda: 7800-350 (cm<sup>-1</sup>)</li> <li>• Resolución: 0,9cm<sup>-1</sup>, 2 cm<sup>-1</sup>, 4cm<sup>-1</sup>, 8cm<sup>-1</sup>, 16cm<sup>-1</sup></li> </ul>
<p>10. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Marca: Jeol SEM</li> <li>• Modelo: JSM-IT100</li> <li>• Resolución: 3 nm(30kv), 4nm(20kv), 8nm(3kv), 15 nm(1kv)</li> <li>• Aumento: x5 a x300,000</li> <li>• Tamaño de imagen: (128x96) mm</li> </ul>

Elaborado por: Autores

**Tabla 9-2:** Materiales laboratorio.

<p>1. Vasos de precipitación de 25, 50, 100, 150, 600, 1000 ml.</p>	<p>2. Picnómetro</p>
<p>3. Pipeta de 10 ml.</p>	<p>4. Piceta</p>
<p>5. Pera de succión</p>	<p>6. Probeta 50 ml.</p>
<p>7. Termómetro</p>	<p>8. Espátula</p>
<p>9. Vidrio Reloj</p>	<p>10. Mortero y Pistilo</p>
<p>11. Balón de 1000 ml.</p>	<p>12. Celdas para espectrofotómetro.</p>

Realizado por: Autores

## 2.2. Elaboración Nanorefrigerante.

Antes de iniciar con la parte experimental se pone a consideración los términos que se emplearan:

Fluido Refrigerante: Solución acuosa con propilenglicol, (Soluta: Propilenglicol, Solvente: Agua), nanofluido: nanopartículas suspendidas en agua destilada y nanorefrigerante: solución resultante al mezclar el refrigerante más nanofluido.

Para la siguiente investigación se va a trabajar con propilenglicol y nanopartículas de alofán en concentraciones de volumen y masa respectivamente, se inició con la elaboración del fluido refrigerante a diferentes concentraciones de Propilenglicol, el porcentaje empleado se detalla a continuación.

### 2.2.1. Concentración de propilenglicol para el Fluido Refrigerante

Para la elaboración del fluido refrigerante se utilizó una mezcla de: agua y porcentajes del 15% y 21% en volumen de propilenglicol, tomadas del “Análisis de datos de un chiller para determinar el Comportamiento de las curvas de Enfriamiento del Propilenglicol y su Comparación con el Cloruro de Calcio”. (Guamán Caba, y otros, 2017), se tomó en cuenta dichas concentraciones ya que al experimentar con esos valores se puede alcanzar temperaturas de  $-4^{\circ}\text{C}$  y  $-7^{\circ}\text{C}$  respectivamente sin que se congele la bomba y/o el condensador, además que al comparar con las curvas de enfriamiento del refrigerante que empleaba las mismas concentración de cloruro de calcio estas no lograron alcanzar la temperatura ni la velocidad de enfriamiento, es por ello que mediante la adición de NPs se pretende aumentar la conductividad térmica.

Para encontrar el volumen de soluto se empleó la siguiente fórmula:

$$v/v = \frac{V_{\text{soluta}}}{V_{\text{solución}}} \times 100\% \quad (2)$$

$$V_{\text{solución}} = V_{\text{soluta}} + V_{\text{agua}} \quad (3)$$

Dónde:

$v/v$  = Concentración por volumen de solución [%]

$V_{\text{soluta}}$  = Volumen de propilenglicol [ml]

$V_{\text{solución}}$  = Volumen de la solución [ml]

### 2.2.2. Masa de fluidos Refrigerantes: 15 % y 21 % de propilenglicol

El nanorefrigerante tendrá concentraciones en masa de nanopartículas de Alofán (NPs. de Alofán), para ello fue necesario determinar el valor de la masa de cierta cantidad de

volumen de fluido refrigerante, mediante las fórmulas (2) y (3) se determinó la cantidad en *ml* de Agua y Propilenglicol para las concentraciones de 15% y 21%, los datos se indican en la Tabla 10-2.

**Tabla 10-2:** Valores de Masa de Fluidos Refrigerantes: 15 % y 21 % Propylg.

% Vol. Propilenglicol	Vol. Propilenglicol (ml)	Vol. Agua (ml)	Vol. Fluido Refrigerante (ml)	Masa Fluido Refrigerante (g)
15	15	85	100	101,92
21	21	79	100	103,94

Fuente: Autores

2.2.3. *Método del picnómetro para comprobar las concentraciones del 15% y 21% de propilenglicol.*

Este método consiste en medir la densidad del fluido refrigerante elaborado, comparar con curvas de densidad vs temperatura para hallar la concentración de propilenglicol, para ello se emplea el picnómetro.

Se pesa el picnómetro vacío y luego con el fluido refrigerante dentro de él, la diferencia de estas cantidades representa la masa del fluido, al conocer el volumen introducido se puede calcular la densidad a cierta temperatura.

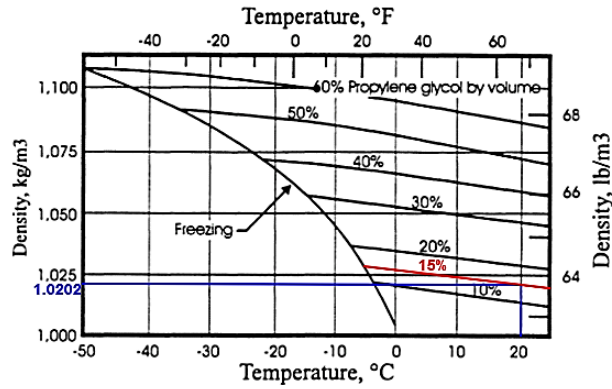
Los datos obtenidos tras las mediciones y el valor de la densidad se indican en las Tablas 11-2 y 12-2 para las diferentes concentraciones de 15% y 21%.

**Tabla 11-2:** Datos para determinar la densidad del fluido refrigerante: 15% Propylg.

		Unidad
Temperatura del Fluido Refrigerante	20	°C
Masa del picnómetro vacío	14,665	<i>g</i>
Masa del picnómetro+ fluido refrigerante	25,067	<i>g</i>
Masa fluido refrigerante	10,402	<i>g</i>
Vol. fluido refrigerante introducido en el picnómetro	10,196	<i>ml</i>
Densidad fluido refrigerante	1,0202	<i>g/ml</i>
Densidad fluido refrigerante	<b>1020,2</b>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>

Realizado por: Autores

Se ubica el valor de densidad y temperatura en el Gráfica 5-2, la intersección de estas indica que la concentración es la correcta.



**Gráfico 5-2:** Comprobación de concentración 15 % Propilenglicol.

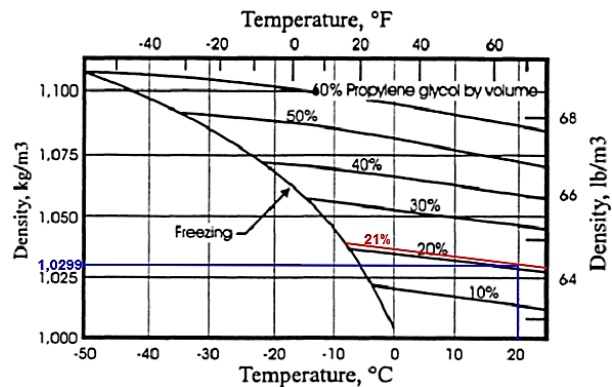
Fuente: (Stoecker, 1998)

**Tabla 12-2:** Datos para determinar la densidad del fluido refrigerante: 21% Propylg.

		Unidad
Temperatura del Fluido Refrigerante	20	°C
Masa del picnómetro vacío	14,665	g
Masa del picnómetro+ fluido refrigerante	25,166	g
Masa fluido refrigerante	10,501	g
Vol. fluido refrigerante introducido en el picnómetro	10,196	ml
Densidad fluido refrigerante	1,0299	g/ml
Densidad fluido refrigerante	1029,9	kg/m <sup>3</sup>

Realizado por: Autores

Se ubica el valor de la densidad y temperatura en el Gráfico 6-2, la intersección de estas indica que la concentración es la correcta.



**Gráfico 6-2:** Densidad fluido refrigerante 21 % Propilenglicol.

Fuente: (Stoecker, 1998)

Realizado por: Autores.

#### 2.2.4. *Concentración de nanopartículas para elaborar el nanorefrigerante.*

La concentración de nanopartículas para líquidos refrigerantes está en un rango (0,05 – 5)% en masa según varios estudios realizados con nanofluidos (Nor Azwadi Che Sidik, 2015), si excedemos de 5% se corre el riesgo de tener aglomeraciones, mientras que si la concentración es menor a 0,05% es posible que no haya cambio significativo en la capacidad calorífica del refrigerante.

Las nanopartículas de alofán fueron proporcionadas en suspensión, por lo cual se calculó la cantidad de nanopartículas presentes en el nanofluido, el procedimiento empleado se detalla a continuación:

Se trabajó con tres muestras para tener valores más exactos, se pesaron los vasos secos, se introdujo un volumen de 5 ml de nanofluido, se los llevó a la estufa a una Temperatura de 110°C por 4 h, no se las retiro luego de este tiempo y se dejó 2 horas adicionales para que se enfríen lentamente y no se produzca daños a los recipientes, adiciónamele luego de extraerlas se las coloco dentro de un desecador por media hora para que no absorbiera humedad del ambiente, se masó las muestras secas y la diferencia de masas representa la cantidad de nanopartículas mediante un promedio de estas se sabe que en 5 ml se encuentra 0,1875 g.

En el presente trabajo se utilizó porcentajes en masa: 0,2 y 0,5 de nanopartículas de alofán en los fluidos refrigerantes 15% y 21% en vol. de propilenglicol.

Para calcular la cantidad en masa de nanopartículas se empleó la siguiente fórmula:

$$m/m = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solución}}} \times 100\% \quad (4)$$

Dónde:

$m/m$  = Concentración en masa de solución [%]

$m_{\text{soluto}}$  = Masa de nanopartículas [g]

$m_{\text{solución}}$  = Masa del fluido refrigerante [g]

#### 2.2.5. *Procedimiento Elaboración Nanorefrigerante*

Luego de conocer las fórmulas a emplear para determinar: volumen de propilenglicol (2), masa de nanopartículas (4), se indica el procedimiento empleado para elaborar el nanorefrigerante:



Dependiendo de la cantidad de nanorefrigerante a preparar se determina la cantidad de propilenglicol en base al porcentaje de volumen, empleando la cantidad de masa calculado para cada una de ellas. Tabla 10-2 se halla la cantidad de masa de NPs de Alofán, cabe recordar que están suspendidas por ello se calcula el volumen de nanofluido a añadir, la cantidad de agua corresponde a la que complete el volumen deseado del nanorefrigerante, para que las nanopartículas ganen energía se las llevó al agitador magnético por 20 min. En la Tabla 13-2 se muestra un resumen de los porcentajes utilizados.

**Tabla 13-2:** Fluidos Refrigerantes concentración volumen Propylg, y masa NPs. A.

Muestras	% Vol. Propilenglicol	% masa NPs. Alofán	Tiempo de agitación (min)
1	15	0,2	20
2	15	0,5	20
3	21	0,2	20
4	21	0,5	20

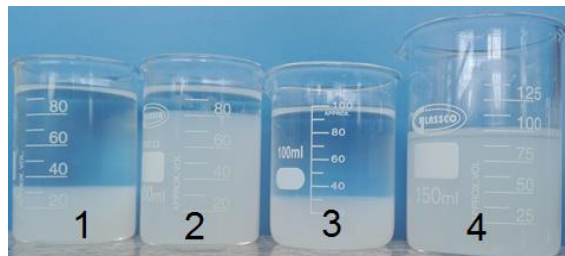
Fuente: Autores

En la Figura 10-2 y Figura 11-2, se observa la elaboración y sedimentación de nanopartículas 20 min después de la preparación.



**Figura 10-2:** Nanorefrigerantes elaborados, muestras 1, 2, 3 y 4

Fuente: Autores



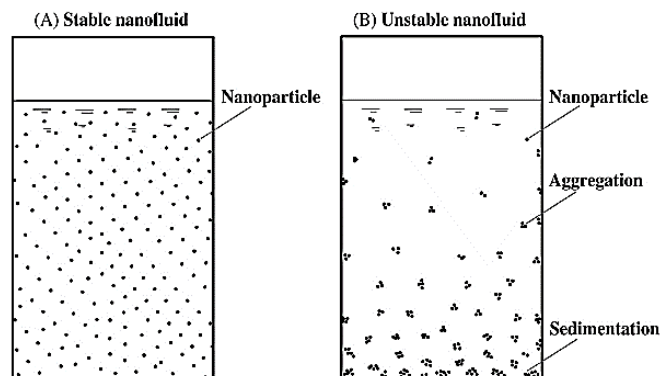
**Figura 11-2:** Precipitación de NPs. A., 20 min después de la preparación.

Fuente: Autores.

Los Nanorefrigerantes no presentan estabilidad, se puede ver que las muestras 1 y 3 (0,2% NPs de Alofán) tiende a precipitarse rápidamente en comparación a las muestras 2 y 4 (0,5%) esta última se demora más en sedimentar se cree que es debido a que la concentración de propilenglicol y NPs, el siguiente procedimiento a realizar es el de lograr mantener las nanopartículas suspendidas por mayor tiempo.

### 2.3. Estabilización del nanorefrigerante

La estabilización de las nanopartículas es muy importante para mejorar las propiedades del nanorefrigerante, influye mucho el tamaño, forma de las nanopartículas, cantidad, pH y temperatura, al no tener una buena estabilidad se puede tener efectos adversos en el nanorefrigerante como aumento de viscosidad que es una propiedad muy importante sobre todo para el sistema de bombeo, la cantidad añadida debe ser la adecuada ya que si existen muchas nanopartículas no tendrán movimiento libre y se aglomerarán y precipitarán al no poseer la suficiente fuerza de repulsión entre ellas, en la Figura 12-2 observamos cómo es la comparación de una dispersión uniforme y no uniforme.



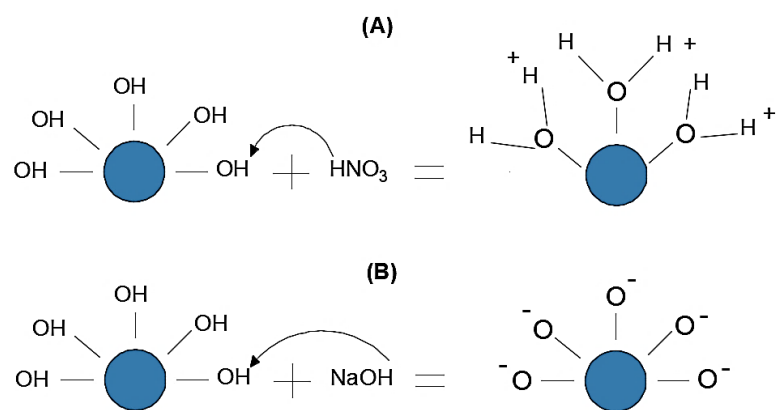
**Figura 12-2:** (A) Nanofluido dispersión uniforme, y (B) Nanofluido sedimentado.

Fuente: (MAHBUBUL, 2014).

Con el fin de mejorar la estabilidad del nanorefrigerante se optó por experimentar con dos métodos: Variación de pH y con el Surfactante Sodio Dodecil Sulfato (SDS),

#### 2.3.1. Estabilización mediante variación de pH

Entre los compuestos utilizados para variar el pH están el hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) y ácido nítrico ( $HNO_3$ ), los efectos que causa en las partículas se muestran en la Figura 13-2.



**Figura 13-2:** Formación de enlaces al añadir compuestos. (A)  $HNO_3$  y (B)  $NaOH$ .

Fuente: Autores

Al añadir  $HNO_3$  al nanorefrigerante, se espera que los grupos OH tomen un H y formen enlaces positivos con el O de esta manera cargándose positivamente y repeliéndose entre sí al tener las mismas cargas lo que en teoría debería ser, mientras que al añadir  $NaOH$  los grupos OH cederán un H y quedara solo el O cargado negativamente lo que como en el caso anterior deberían repelerse las partículas entre si al tener las mismas cargas.

Para elevar o disminuir el pH se empleó  $NaOH$  (0,5 molar) pH: 11,964 y  $HNO_3$  (1 molar) pH: 0,655, respetivamente, se experimentó con la concentración de 15% de Propilenglicol y 0,2 % de NPs. de Alofán, debido a que se precipitaban más pronto, se empleó 7 muestras: 1 nanorefrigerante en condiciones normales para comparar, 3 para subir y 3 para bajar, se empleó el Ph-métro.



**Figura 14-2:** Variación de pH nanorefrigerante 15% Propylg. 0,2% NPs. A.

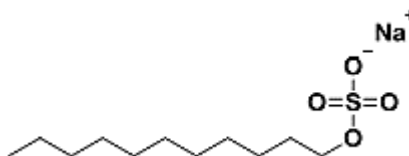
Fuente: Autores

Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo III.

### 2.3.2. Estabilización mediante SDS

Debido a su fácil adquisición y a que su relación costo beneficio es alta según los resultados obtenidos de estudios acerca de la estabilidad de nanopartículas en fluidos base, se optó por experimentar con este surfactante (Rodríguez Bou, 2016, p. 13).

El SDS es un surfactante aniónico, produce repulsiones esféricas y/o electroestáticas cuando se adsorben a la superficie de nanopartículas, evitando que se puedan aglomerar (Rodríguez Bou, 2016), además son moléculas anfífilas, lo que significa que una parte de ellas es soluble en agua y el resto en hidrocarburos, en la Figura 15-2 se observa la molécula del SDS.



**Figura 15-2:** Molécula surfactante Sodio Dodecil sulfato (SDS).

**Fuente:** (Ospina, 2012)

Se preparó suspensiones con 15%, 21% de Propilenglicol; 0,2% y 0,5% de nanopartículas de Alofan, para experimentar con diferentes concentraciones en masa de SDS respecto al peso del nanorefrigerantes, con el fin de observar con que cantidad se logra estabilizar al nanorefrigerante, los porcentajes empleados se muestran en la Tabla 14-2 y Tabla 15-2.

**Tabla 14-2:** Nanorefrigerantes 0,2% NPs. A. a diferentes concentraciones de SDS

Muestra	Propilenglicol Volumen (%)	NPs. Alofan. masa (%)	(SDS). masa %	Srfe- Nanorefrigerante.	Tiempo agitación magnética (min).
1	15	0,2	-	0-1	15
2	15	0,2	0,2	1-1	15
3	15	0,2	0,4	2-1	15
4	15	0,2	0,6	3-1	15
5	21	0,2	-	0-1	15
6	21	0,2	0,2	1-1	15
7	21	0,2	0,4	2-1	15
8	21	0,2	0,6	3-1	15

**Realizado por:** Autores

**Tabla 15-2:** Nanorefrigerantes 0,5% NPs. A. a diferentes concentraciones de SDS

Muestra	Propilenglicol Volumen (%)	NPs. Alofan. masa (%)	(SDS). masa %	Srfc- Nanorefrigerante.	Tiempo agitación magnética (min).
9	15	0,5	-	0-1	15
10	15	0,5	0,5	1-1	15
11	15	0,5	1	2-1	15
12	15	0,5	1,5	3-1	15
13	21	0,5	-	0-1	15
14	21	0,5	0,5	1-1	15
15	21	0,5	1	2-1	15
16	21	0,5	1,5	3-1	15

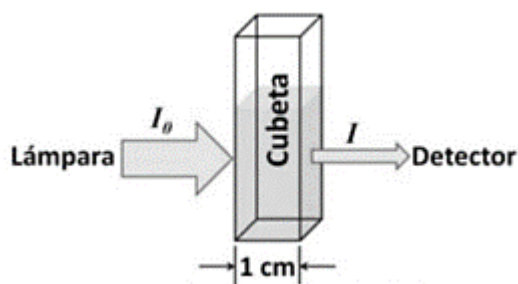
Realizado por: Autores

Primero se elaboró el nanorefrigerante en concentraciones del 15% y 21% de Propilenglicol, con 0,2 % NPs de Alofán, luego se añadió el surfactante, según las cantidades mostradas en la Tabla 14-2, las masas fueron medidas en una balanza analítica. Las muestras se llevaron al agitador magnético durante 15 min, a temperatura ambiente, posteriormente se midió el pH.

También se experimentó con nanorefrigerantes en concentraciones de propilenglicol del 15% y 21% en volumen, con 0,5% NPs de Alofán con las concentraciones de surfactante mostradas en la Tabla 15-2. El procedimiento utilizado es el mismo de muestras anteriores con la diferencia que al momento de la agitación magnética se realizó a una temperatura de 40 °C aproximadamente.

#### 2.4. Caracterización de la suspensión de NPs de alofán mediante espectrofotometría.

El método que se usó para caracterizar las muestras fue el de espectrofotometría UV, la espectrofotometría de absorción se basa en la interacción de radiación electromagnética con la materia, cuando un haz de luz atraviesa la muestra las partículas absorben la radiación causando que la intensidad del haz de luz baje, este procedimiento se puede observar en la Figura 16-2. (Rodríguez Bou, 2016, p. 19)



**Figura 16-2:** Esquema funcionamiento del espectrofotómetro.

**Fuente:** (Rodríguez Bou, 2016, p. 19).

Para conocer la dispersión de las nanopartículas con el tiempo, se tomó pequeñas muestras de nanorefrigerante cada 4h durante 1 día, luego se procedió a medir la absorbancia de las muestras para obtener una curva de suspensión vs tiempo.

## 2.5. Métodos de recuperación de nanopartículas de Alofán.

Para experimentar con los métodos de recuperación se trabajó con dos muestras de nanorefrigerantes la primera con concentración de 15% de Propilenglicol con 0,5 % de NPs de Alofán y la segunda con 21% de Propilenglicol con 0,2 % de NPs de Alofán, se empleó estas debido a que en el “Análisis de Datos de un Chiller para Determinar el Comportamiento de las Curvas de Enfriamiento del Propilenglicol y su comparación con el Cloruro de Calcio”, al trabajar con tales concentraciones de Propilenglicol la velocidad de enfriamiento es similar pero la viscosidad aumenta a medida que se alcanza bajas temperaturas y es proporcional a la concentración de propilenglicol por ello se adicionara el 0,5% de NPs a la primera, mientras que para la 2 muestra solo se empleara el 0,2 % NPs.

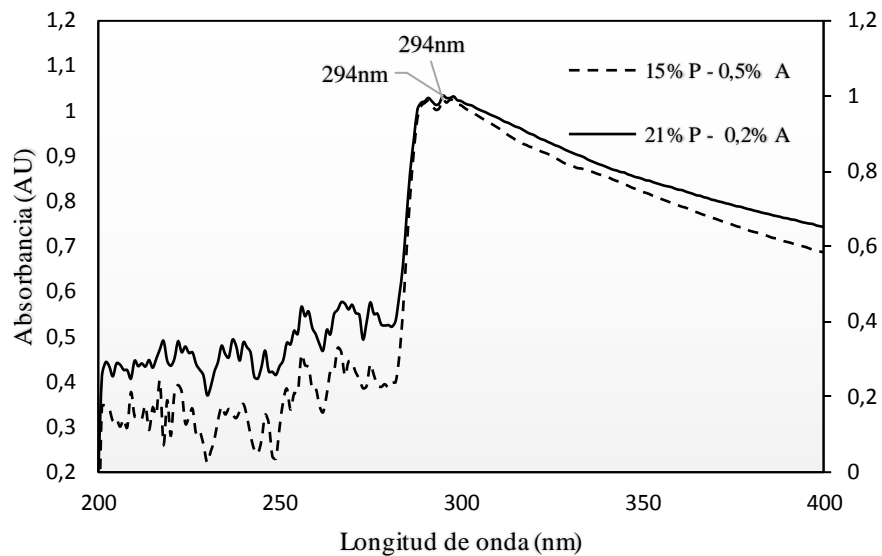
### 2.5.1. Centrifugación.

Al ingresar las muestras en el Equipo de Centrifugación mediante la fuerza centrífuga se acelera la sedimentación de las NPs de Alofán, para determinar el tiempo óptimo en que las nanopartículas se precipitan completamente a diferentes velocidades de rotación, se expone la siguiente metodología:

#### 2.5.1.1. Medición de Absorbancia vs Tiempo de Centrifugación.

Se realizaron mediciones de absorbancia para saber la concentración de nanopartículas según el tiempo y la velocidad de centrifugación, por lo cual fue necesario obtener una curva de concentración vs absorbancia del nanorefrigerante.

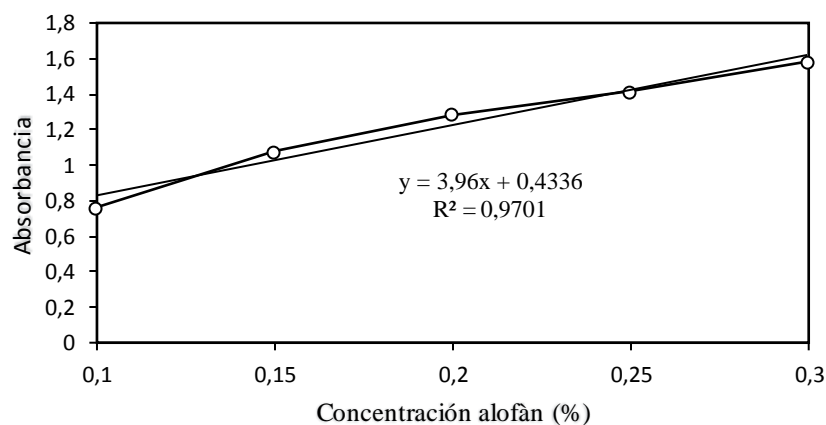
Para encontrar la longitud de onda para las nanopartículas de Alofán se realizó mediciones en un rango de longitud de 200 a 400 nm, dando origen a la gráfica mostrada en el Gráfico 7-2. Se determinó que la longitud de onda con la que se trabajara es de 294nm para las concentraciones de 0,2% y 0,5% de NPs. de Alofán.



**Gráfico 7-2:** Curva absorbancia vs longitud de onda NPs. A.

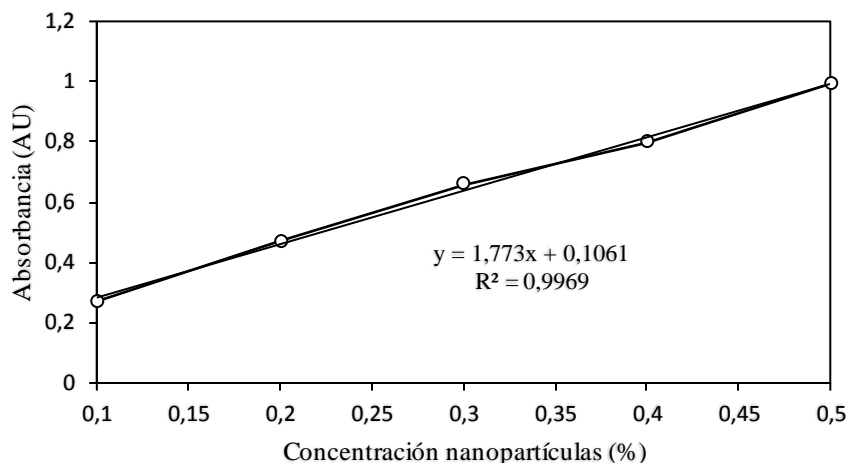
Fuente: Cayambe Santiago; Castañeda Aide, 2019.

Ya conocida el valor de la longitud de onda se procedió a construir las gráficas de concentración vs absorbancia según el porcentaje en masa de NPs tanto para 0,2% de alofán (21% Propylg) Gráfico 8-2 y 0,5% de alofán (15% Propylg) Gráfico 9-2, estas curvas nos servirán posteriormente para saber en qué tiempo las NPs se han sedimentado completamente al ser centrifugadas a diferentes velocidades.



**Gráfico 8-2:** Curva Abs. vs concentraciones de NPs. A. con 21% Propylg.

Realizado por: Autores



**Gráfico 9-2:** Curva Abs. vs concentración de NPs. A. con 15% Propylg.

Realizado por: Autores

2.5.1.2. *Procedimiento para determinar el tiempo en que las NPs se sedimentan mediante la medición de absorbancia.*

Primero se elaboraron los nanorefrigerantes en concentraciones de 15% y 21% de Propilenglicol con 0,5% y 0,2% de NPs. de Alofán respectivamente, cierta cantidad se colocó en los tubos de ensayo, se enciende el equipo de centrifugación y se introduce las muestras, se fija parámetros de tiempo y velocidad de rotación, el tiempo programado es de 5 min con el fin de extraer pequeñas cantidades de los nanorefrigerantes y medir la absorbancia cuando esta se aproxime o llegue a cero las NPs se has sedimentado completamente. Con los datos de absorbancia y tiempo a una determinada velocidad de rotación construimos una gráfica, al conocer el tiempo necesario para cada nanorefrigerante se introduce nuevas muestras en la centrifuga, se programa con la velocidad y el tiempo determinado, se extrae las muestras, con ayuda de una pipeta se retira el refrigerante dejando las NPs en el fondo de los tubos, estas se extraerán con ayuda de una pipeta plástica graduada con el fin de medir que cantidad es la recuperada, sin embargo estas siguen dispersas en agua más propilenglicol, se procede a diluir con varios procesos de lavado con agua destilada.

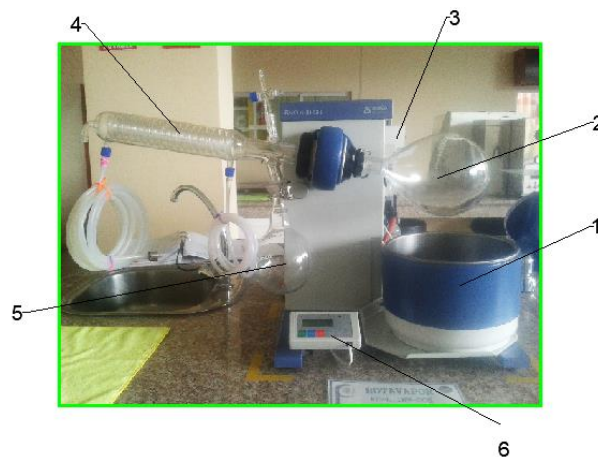
Para saber el número de disoluciones necesarias se utilizó un picnómetro para medir la densidad de cada disolución, cuando la densidad sea igual a la del agua destilada es cuando las nanopartículas están listas para su caracterización.



### 2.5.2. Destilación al vacío.

El equipo empleado para la destilación al vacío fue el Rotavapor, permite destilar los componentes a temperaturas muy por debajo de las de ebullición, debido a la aplicación de presión al vacío.

Este método de forma teórica es el más recomendable ya que permitiría extraer primero el agua, luego el propilenglicol dejando solamente en el matraz de destilación las NPs, Las partes del rotavapor se indican en la Figura 17-2 y se detallan en la Tabla 16-2.



**Figura 17-2:** Partes del rotavapor BOECO Germany RVO 400 SD.

**Fuente:** Autores

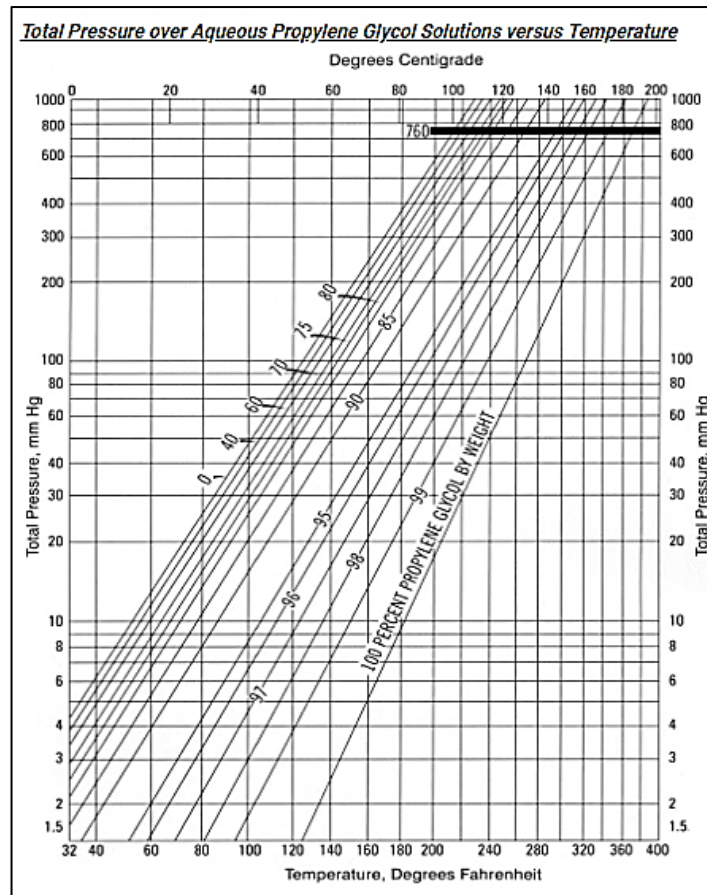
**Tabla 16-2:** Descripción partes del rotavapor.

No.	Nombre
1	Baño calefactor
2	Matraz de destilación
3	Bomba de vacío
4	Refrigerante de serpentín
5	Matraz de recolección
6	Panel de control

**Realizado por:** Autores.

#### 2.5.2.1. Parámetros de Temperatura y Presión para destilar agua y propilenglicol.

Mediante la hoja técnica del Rotavapor se sabe que a una temperatura de 40°C con una presión de 80 mbar se logra destilar el agua, el propilenglicol con la misma temperatura a una presión de 0,2 mbar, este valor no se puede alcanzar en la bomba de vacío por lo cual se trabajó con los parámetros de la Gráfica 10-2, para valores de temperatura por debajo de los 80°C se empleó agua destilada como fluido caloportador y para valores de 100°C en adelante se utilizó aceite de girasol debido a que su punto de Humeo es de 160°C.



**Gráfico 10-2:** Presión Total vs Temperatura de ebullición para soluciones de Propilg.

Fuente: (DOW, 2017)

2.5.2.2. *Procedimiento para destilar los componentes del nanorefrigerante y extraer las nanopartículas de alofán.*

Como ya se tenían elaborados los nanorefrigerantes, se colocó cierto volumen en el matraz de destilación, en el baño calefactor se coloca el fluido caloportador hasta el nivel indicado, se realizan las conexiones de sistemas de refrigeración y vacío, el líquido refrigerante comienza a circular, se enciende el rotavapor, se fijan parámetros de temperatura y velocidad de rotación del matraz, cuando alcance la temperatura deseada se enciende la bomba de vacío y se establece la presión. Primero se fijaron los parámetros antes indicado para destilar el agua, posteriormente para el propilenglicol basados en la Gráfica 10-2, probando con diferentes presiones y temperaturas.

2.5.3. *Nanofiltración.*

Con el fin de atrapar las NPs se emplea este método, que consiste en hacer pasar el nanorefrigerante por una serie de membranas cada una con un tamaño de poro menor a la

otra (0,45, 0,22 y 0,18 nm), con ayuda de una bomba de vacío. Se inició la nanofiltración con una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ . En la Figura 18-2 se observa la instalación de los materiales y equipos que se utilizó para filtrar la muestra.



**Figura 18-2:** Instalación de equipos y materiales prueba Nanofiltración.

**Fuente:** Autores

La membrana utilizada fue de material de nitrato de celulosa con 0,45 $\mu\text{m}$  de tamaño de poro y un diámetro de 47 $\text{mm}$  esterilizada, mediante la bomba de vacío generamos una succión del nanorefrigerante hacia el matraz de recolección, la presión a la que se llegó fue hasta los 30  $\text{mbar}$  de vacío lo que no resultó adecuado para la membrana ya que esta empezó a romperse apenas empezada la prueba, por esta razón no se logró completara la experimentación, hay que tomar muy en cuenta el tamaño de poro si se obstruyó a 45 $\mu\text{m}$  eso quiere decir que con membranas de menor tamaño se obtendrá un resultado aun peor y por lo tanto se decidió que mediante este método no sería una buena opción recuperar las nanopartículas por lo que se excluyó de la investigación. En la Figura 19-2 se observa los daños que presento la membrana.

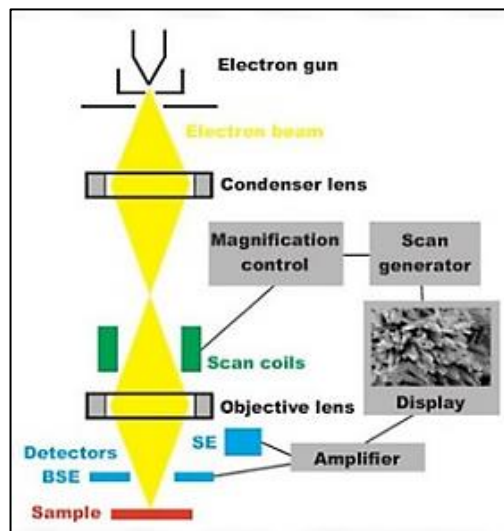


**Figura 19-2:** Obstrucción de nanorefrigerante en la membrana.

**Fuente:** Autores

2.6. Caracterización de las NPs recuperadas, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

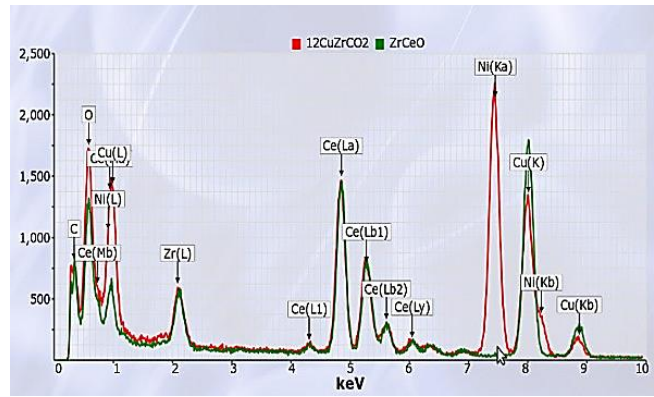
Las muestras preparadas para la caracterización son las que se recuperó por medio de los métodos de centrifugación y destilación al vacío. El microscopio que se utilizó es un equipo que se compone de dos sistemas el óptico y el electrónico, estos sistemas exploran la muestra gracias a un haz de electrones móvil (Pardell, 2019). En la Figura 20-2 se observa un esquema del funcionamiento.



**Figura 20-2:** Funcionamiento básico del microscopio electrónico de barrido (SEM).

Fuente: (Pardell, 2019)

El sistema óptico está compuesto por un lente objetivo y una condensadora, estos focalizan el haz que sale del cañón de electrones, cambiando su diámetro y focalizándolo sobre la muestra. Las bobinas deflectoras que se controlan por medio del generador de barrido son las que se encargan de que el haz rastree la muestra. El haz se mueve de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba de esta manera generando la imagen en el monitor (Pardell, 2019). El equipo también genera un espectro que nos indica los elementos presentes en la muestra, un ejemplo se presenta en la Figura 21-2.



**Figura 21-2:** Espectro de varios elementos de una muestra (SEM).

Fuente: (Málaga, 2010)

En el espectro se observa varios picos correspondientes a los elementos encontrados, así se puede determinar la composición presente, la altura de los picos depende de la cantidad total presente en la muestra.

De cada método de recuperación se llevó las muestras al SEM para poder determinar el tamaño y componentes existentes en la muestra de nanopartículas, este procedimiento se lo emplea más para ver el estado en que se encuentran las nanopartículas, si aún conservan su estructura esférica, porosa y si están aglomeradas o no.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

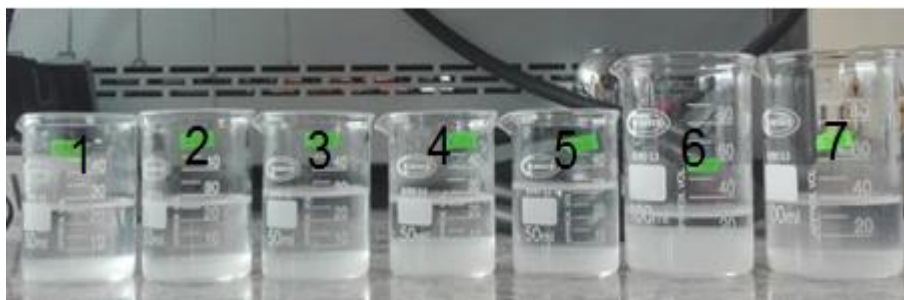
#### 3.1. Estabilidad mediante variación de PH

Se experimentó la estabilización con el Nanorefrigerante de 15% Propilenglicol y 0,2% de NPs. Alofán con variación de pH, en la Tabla 17-3 se indica los valores iniciales y finales y en la Figura 22-3 se observa la sedimentación de las NPs.

**Tabla 17-3:** pH de muestras preparadas con 15% Propylg., y 0,2% NPs. A.

Muestra	pH inicial	pH final
1	6,334	9,015
2	6,334	7,994
3	6,334	7,038
4	<b>6,334</b>	<b>6,334</b>
5	6,334	5,978
6	6,334	4,982
7	6,334	4,005

Realizado por: Autores



**Figura 22-3:** Muestras a diferentes pH, sedimentación 20 min después de la preparación.

Fuente: Autores

La muestra número 4 no se modificó, se empleó para comparar y en base a este valor aumentar o disminuir el pH, las muestras 1, 2, 3 y 5 se sedimentaron más pronto en comparación a la muestra base, mientras que las número 6 y 7 (pH aproximados a 5 y 4 respectivamente) la sedimentación es lenta, estos resultados no son positivos ya que no se logró la estabilidad del nanorefrigerante por un tiempo prolongado.

### 3.2. Estabilidad mediante SDS.

En la Tabla 18-3 y Tabla 19-3 se muestra el pH de cada una de las muestras preparadas.

**Tabla 18-3:** pH de muestras preparadas con el 0,2% NPs. A.

Muestra	% suspensión en peso de NPs. A.	% en volumen de propilenglicol.	% en peso de surfactante (SDS).	pH
1	0,2	15	-	6,33
2	0,2	15	0,2	8,08
3	0,2	15	0,4	8,17
4	0,2	15	0,6	8,21
5	0,2	21	-	7,58
6	0,2	21	0,2	8,32
7	0,2	21	0,4	8,34
8	0,2	21	0,6	8,48

Realizado por: Autores

**Tabla 19-3:** pH de muestras preparadas con el 0,5% NPs. A.

Muestra	% suspensión en peso de Np. A.	% en volumen de propilenglicol.	% en peso de surfactante (SDS).	pH
9	0,5	15	-	6,68
10	0,5	15	0,5	7,29
11	0,5	15	1	7,45
12	0,5	15	1,5	7,56
13	0,5	21	-	6,99
14	0,5	21	0,5	7,81
15	0,5	21	1	7,96
16	0,5	21	1,5	7,87

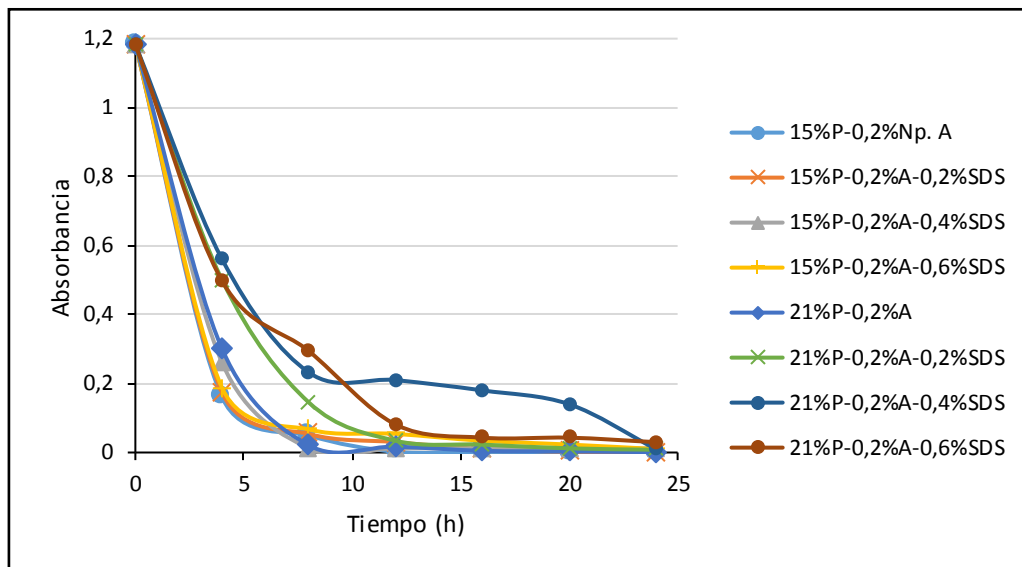
Realizado por: Autores

Al añadir el surfactante el pH de las muestras tiende a subir, el mayor incremento de pH lo presenta la muestra número 4 con un incremento del 29,7%, la muestra 8 con 11.9%, la muestra 12 con 13,17% y la muestra 16 con un 12,6%.

### 3.2.1. Medición de absorbancia de las muestras con y sin SDS.

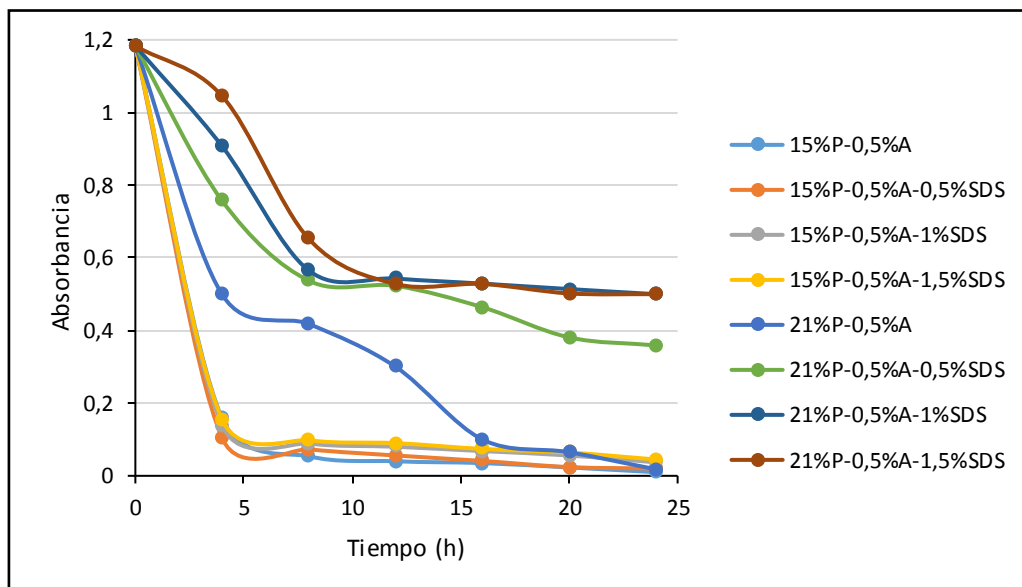
La mayor longitud es de 294 nm con la cual se realizó las mediciones de absorbancia y la posterior construcción de las gráficas en función del tiempo.

Estas mediciones fueron tomadas desde la preparación de las muestras luego de aplicar la agitación magnética durante 15 min, tomando mediciones de absorbancia cada cierto tiempo durante 24h. Estas curvas se pueden observar en el Gráfico 11-3 y Gráfico 12-3.



**Gráfico 11-3:** Abs. vs tiempo, muestras preparadas con 0,2% NPs. A.

Fuente: Autores

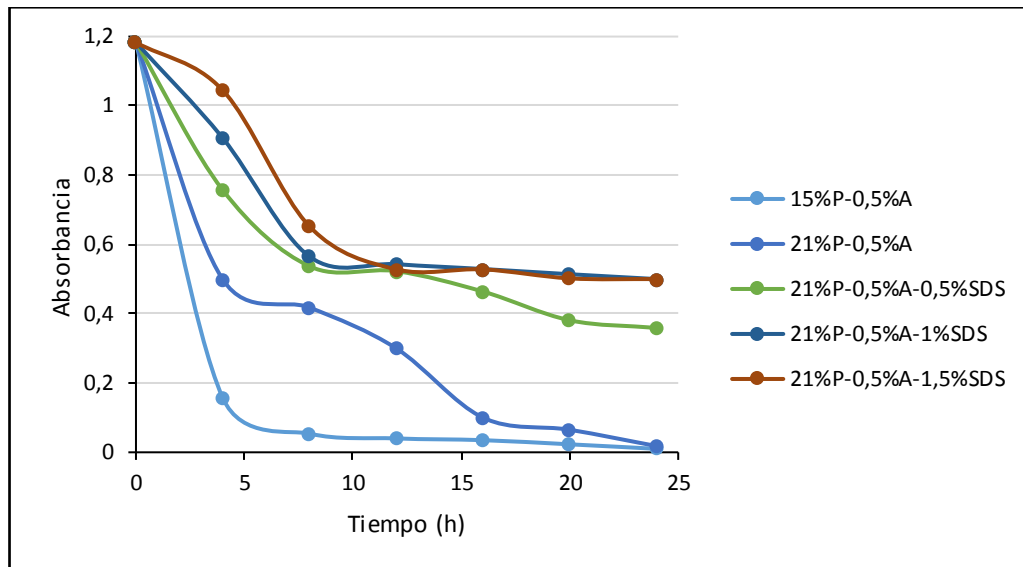


**Gráfico 12-3:** Abs. vs tiempo, muestras preparadas con 0,5% NPs. A.

Fuente: Autores



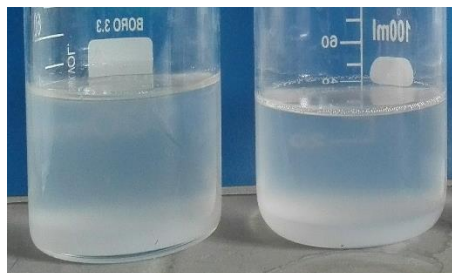
En los gráficos 11-3 y 12-3 se observa que en casi todas las muestras se tuvo precipitación antes de las 4h posteriores a la agitación magnética, esto indica que las NPs se aglomeran por lo cual se sedimentan. En la muestra 15 con 21% Propilenglicol, 0,5% NPs de Alofán y 1% SDS y la muestra 16 con 21% Propilenglicol-0,5% Alofán-1,5% SDS presentan un 46% de estabilidad luego de 24 horas, para visualizar de mejor manera en el Gráfico 13-3 se presentan las muestras sin SDS y las muestra 15 y 16.



**Gráfico 13-3:** Abs. vs tiempo de sedimentación, muestras sin y con SDS.

Fuente: Autores.

De acuerdo con estos resultados se logra una mejor estabilidad con relación de SDS-Nanorefrigerante de 1-1, 2-1 y 3-1, además la temperatura de agitación ayudó a mejorar su dispersión. En la Figura 23-3 se observa las muestras 15 y 16 después de 24h de la preparación.



**Figura 23-3:** Muestras 15 y 16, 24h después preparación.

Fuente: Autores

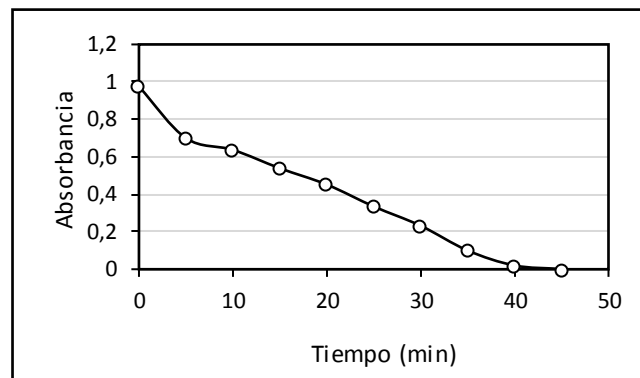
### 3.3. Resultados Recuperación de NPs, mediante centrifugación.

La centrífuga tiene un rango de velocidades de rotación de (0-3000) rpm, se trabajó con velocidades de 500 y 2500 rpm por lo cual se procedió a encontrar el tiempo en que las NPs se sedimentan.

#### 3.3.1. Estimación del tiempo de sedimentación mediante centrifugación con velocidades de 500 y 2500 rpm, muestras sin y con SDS

##### 3.3.1.1. Nanorefrigerante 15% de Propilenglicol y 0,5% NPs. De Alofán.

Se ingresó una muestra de nanorefrigerante y se procedió a centrifugar, se extrajo pequeñas cantidades para medir su absorbancia y determinar la concentración cada 5 min, primero con 500 y luego con 2500 rpm. La curva tiempo vs absorbancia se muestran en la Gráfica 14-3, además, se indica como es la variación de concentración de nanopartículas respecto al tiempo de centrifugación, esto se logró empleando la Gráfica 9-2, los valores se expresan en la Tabla 20-3.



**Gráfico 14-3:** Abs. vs tiempo de centrifugación (15% Proplg, 0,5% Np. A) a 500 rpm.

Realizado por: Autores.

**Tabla 20-3:** Concentración de NPs mediante medición de absorbancia (15% Proplg, 0,5% NPs. A) a 500rpm.

Tiempo centrifugación (min)	Absorbancia	Np. A Suspendidas % masa
0	0,975	0,49
5	0,7	0,33
10	0,637	0,29
15	0,539	0,24
20	0,452	0,19
25	0,335	0,12

30	0,232	0,07
35	0,11	0,022
40	0,01	0

Realizado por: Autores

En 40 min la absorbancia tiende a cero al igual que el porcentaje de las nanopartículas suspendidas en el nanorefrigerante lo que indica que las nanopartículas se han sedimentado por completo.

También se analizó a una velocidad de 2500 rpm y en 10 min las nanopartículas se sedimentaron, los resultados se observan a en la Tabla 21-3.

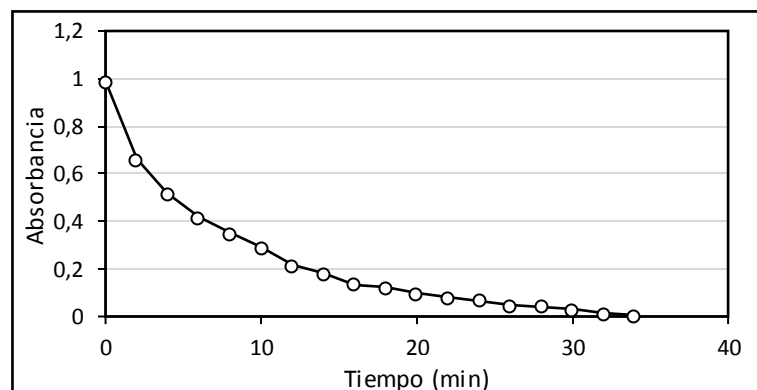
**Tabla 21-3:** Concentración de NPs mediante medición de absorbancia (15% Propylg, 0,5% NPs. A) a 2500rpm.

Tiempo (min)	Absorbancia	Np. A Suspendidas % masa
0	0,975	0,49
5	0,13	0,025
10	0,001	0

Realizado por: Autores.

### 3.3.1.2. Nanorefrigerante 15% de Propilenglicol 0,5% NPs. De Alofán y 1% de SDS.

Se centrifugó la muestra a 2500 rpm debido a la presencia del Surfactante, ya que el nanorefrigerante posee mejor estabilidad, se extrajo muestras cada 5 min para medir su absorbancia, la curva tiempo vs absorbancia se muestran en el Gráfico 15-3., para esta muestra no se pudo hallar el porcentaje de concentración de nanopartículas como se hizo con la muestra sin SDS, debido a la presencia del mismo, ya que conjuntamente se precipitaría con las nanopartículas.



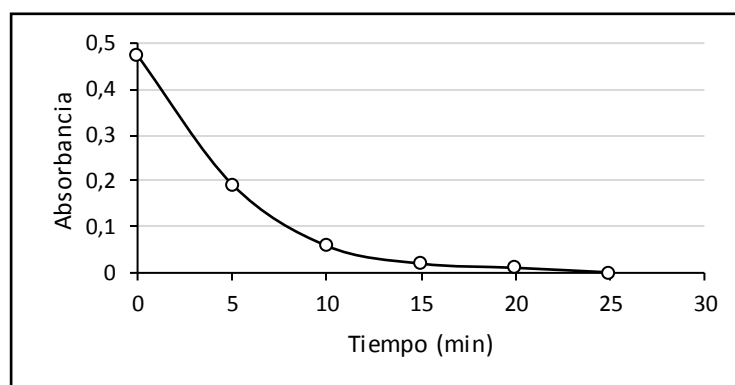
**Gráfico 15-3:** Abs. vs tiempo de centrifugación (15% Propylg, 0,5% Np. A, 1% SDS), a 2500 rpm.

Realizado por: Autores

Al cabo de 35 min la absorbancia es casi cero lo que indica que las nanopartículas se sedimentaron completamente, al comparar con el tiempo en que se demoró con la misma velocidad sin SDS se puede ver que el tiempo de centrifugación aumenta 3 veces.

### 3.3.1.3. Nanorefrigerante 21% de Propilenglicol y 0,2% NPs. De Alofán.

Se trabajó en la centrifuga con una velocidad de 500 rpm, siguiendo la misma metodología anterior, la curva tiempo vs absorbancia se muestran en la Gráfica 16-3. Además, se indica como es la variación de concentración de nanopartículas respecto al tiempo de centrifugación, empleando la Gráfica 8-2, los valores se expresan en la Tabla 22-3.



**Gráfico 16-3:** Abs. vs tiempo de centrifugación (21% Propylg; 0,2% Np. A). a 500 rpm.

Realizado por: Autores

**Tabla 22-3:** Concentración de NPs mediante medición de absorbancia (21% Propylg, 0,2% NPs. A) a 500rpm.

Tiempo centrifugación (min)	Absorbancia	Np. A Suspendedas % masa
0	0,473	0,19
5	0,193	0,1
10	0,059	0,01
15	0,02	0
20	0,011	0

Realizado por: Autores

En el lapso de 20 min la absorbancia es casi cero lo que corresponde que el porcentaje de concentración de nanopartículas es nulo, lo que indica que se sedimentaron completamente, al comparar con el tiempo de la muestra de 0,5% de NPs de Alofán sin SDS (40 min), a la misma velocidad, el tiempo es menor, debido a que la concentración

de nanopartículas es menor, también se evaluó a 2500 rpm y en 5 min se precipitaron completamente.

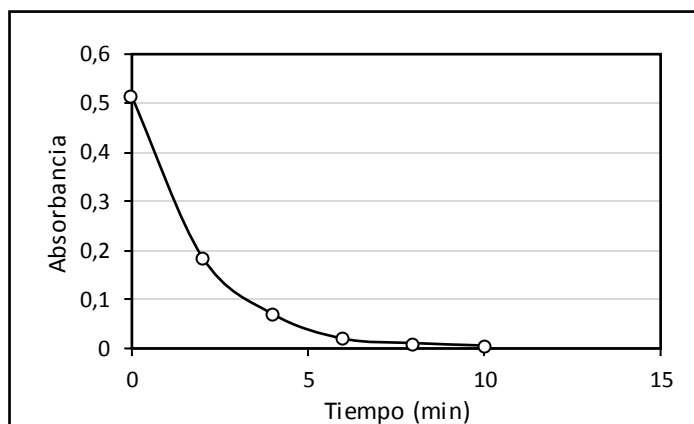
**Tabla 23-3:** Concentración de NPs mediante medición de absorbancia (21% Propylg, 0,2% NPs. A) a 2500 rpm.

Tiempo (min)	Absorbancia	Np. A Suspendidas % masa
0	0,975	0,49
5	0,06	0,01

Realizado por: Autores

#### 3.3.1.4. Nanorefrigerante 21% de Propilenglicol 0,2% NPs de Alofán y 0,4% SDS.

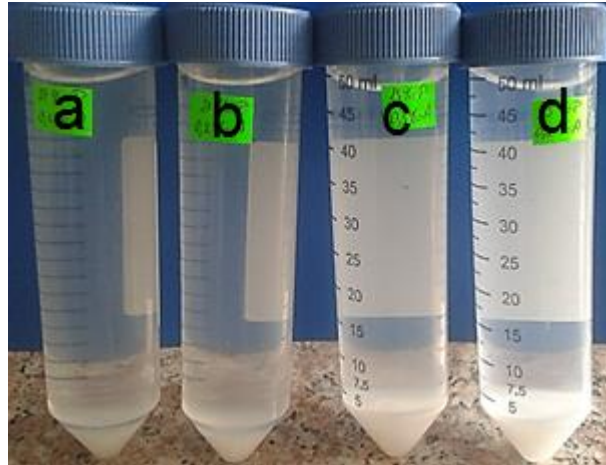
Al igual que la muestra anterior con SDS se trabajó a 2500 rpm con el mismo procedimiento para extraer las muestras y medir su absorbancia, la curva tiempo vs absorbancia se muestran en la Gráfica 17-3., para esta muestra no se pudo hallar el porcentaje de concentración de nanopartículas como se hizo con la muestra sin SDS, debido a la presencia del mismo, ya que conjuntamente se precipitaría con las nanopartículas.



**Gráfico 17-3:** Abs. vs tiempo de centrifugación (21% Propylg, 0,2% Np. A, 0,4% de SDS) a 2500 rpm.

Realizado por: Autores

Se observa en la Figura 24-3 que al cabo de 10 min de centrifugación las nanopartículas se han sedimentado por completo.



**Figura 24-3:** Sedimentación NPs. A a 2500rpm.

**Realizado por:** Autores

Según la Figura 24-3 las muestras corresponden a: (a) 21% Propylg; 0,2% NPs. A., (b) 21% Propylg; 0,2% NPs. A; 0,4% SDS, (c) 15% Propylg; 0,5% NPs. A, (d) 15% Propylg; 0,5% NPs. A; 1% SDS. Se observa que las nanopartículas ya están sedimentadas, el siguiente paso fue retirar la mayor cantidad del fluido refrigerante para dejar únicamente las nanopartículas.

### 3.3.2. *Disolución de Propilenglicol de las NPs recuperadas en la Centrifuga.*

Luego de haber determinado el tiempo en que las nanopartículas se precipitaron completamente, se trabajó con una velocidad de 2500 rpm con tiempos de Centrifugación de 10 min para la concentración 15% de Propilenglicol y 0,5 NPs de alofán y 5 min para las concentraciones de 21% de Propilenglicol y 0,2 NPs. de Alofán, luego de quedar precipitadas se extrajo el fluido refrigerante y se midió el volumen y densidad, se comparó con la densidad del fluido refrigerante de las Tablas 11-2 y 12-2, se pudo ver que era menor por lo que se supone que cierta parte del Propilenglicol también se precipitó, razón por la cual a las nanopartículas precipitadas se las lavo con agua destilada con el fin de diluir el propilenglicol, para ello se halló la densidad del agua destilada obteniendo un valor de 0,9869 g/ml (20°C), el procedimiento para lavar las nanopartículas fue: luego de extraído el fluido refrigerante se colocó agua destilada se agito los tubos y fueron llevados a la centrifuga hasta que las nanopartículas se precipiten, se repitió este procedimiento hasta que al medir las densidades tras cada lavada fue la del agua destilada.

3.3.2.1. *Disolución de Propilenglicol de las NPs recuperadas del nanorefrigerante 15% Propilenglicol y 0,5% de NPs de Alofán.*

**Tabla 24-3:** Densidades de disolución, muestra 15% Propylg, y 0,5% NPs. A.

Disolución	Densidad (g/ml)
Fluido recuperado	1,0015
1 <sup>ra</sup>	0,9968
2 <sup>da</sup>	0,9892
3 <sup>ta</sup>	0,9871
Agua destilada	0,9869

Realizado por: Autores

En la tercera disolución su densidad es casi similar a la del agua destilada, se puede decir que ya no existía presencia de Propilenglicol.

3.3.2.2. *Disolución de propilenglicol de las NPs. recuperadas del nanorefrigerante 21% Propilenglicol y 0,2% de NPs. de Alofán.*

**Tabla 25-3:** Densidades de disolución, muestra 21%Propylg., y 0,2% NPs. A.

Disolución	Densidad (g/ml)
Fluido recuperado	1,0136
1 <sup>ra</sup>	0,9970
2 <sup>da</sup>	0,9912
3 <sup>ra</sup>	0,9901
4 <sup>ta</sup>	0,9880
Agua destilada	0,9869

Realizado por: Autores

Debido a que es mayor la concentración de propilenglicol en la cuarta disolución la densidad tiende a ser aproximadamente igual a la del agua destilada, se puede decir que ya no existe presencia de Propilenglicol, al comparar el número de disoluciones de las muestras del 15% y 21% esta última necesito de una adicional debido a su concentración.

3.3.2.3. *Disolución de Propilenglicol y SDS de las NP. recuperadas del Nanorefrigerante 15% Propylg, 0,5% NPs Alofán y 1% de SDS*

Mediante medición de absorbancia se comprobó que a una velocidad de rotación de 2500 rpm y un tiempo de centrifugado de 30 min las nanopartículas se precipitan completamente, el incremento en el tiempo se debe a la presencia del surfactante, se lavó las muestras hasta que estas dejen de presentar espuma, siendo en la quinta lavada que ya no se vio presencia de burbujas.

**Tabla 26-3:** Densidades de disolución, muestra 15% Propylg; 0,5% NPs A y 1% SDS.

Disolución	Densidad (g/ml)
Fluido recuperado	1,0060
1 <sup>ra</sup>	0,9907
2 <sup>da</sup>	0,9953
3 <sup>ra</sup>	0,9916
4 <sup>ta</sup>	0,9884
5 <sup>ta</sup>	0,9867
Agua destilada	0,9869

Realizado por: Autores

3.3.2.4. *Disolución de Propilenglicol y SDS de las NPs. recuperadas del Nanorefrigerante 21% Propilenglicol 0,2% de NPs. de Alofán y 0,4% de SDS.*

Mediante medición de absorbancia se comprobó que a una velocidad de rotación de 2500 rpm y un tiempo de centrifugado de 15 min las nanopartículas se precipitan completamente, el incremento en el tiempo en comparación a la muestra si SDS se debe a la presencia del surfactante, se lavó las muestras hasta que estas dejen de presentar espuma, siendo en la tercera lavada que ya no se vio presencia de burbujas.

**Tabla 27-3:** Densidades de disolución, muestra 21% Propylg; 0,2% Np. A., y 0,4% SDS.

Disolución	Densidad (g/ml)
Fluido recuperado	1,0023
1 <sup>ra</sup>	0,9971
2 <sup>da</sup>	0,9888
3 <sup>ra</sup>	0,9866
Agua destilada	0,9869

Realizado por: Autores

3.3.3. *Eficiencia de la cantidad de refrigerantes y NPs recuperadas.*

3.3.3.1. *Eficiencia de refrigerante y NPs. recuperadas (15% Propylg y 0,5% NPs A).*

La cantidad con la que se trabajó en la centrifuga fue de 100 ml, tras lavar las muestras se recuperó un volumen de 22,6 ml de NPs suspendidas en agua destilada, para cuantificar que cantidad se recuperó se secó 2 muestras de 5 ml c/u en la estufa con lo que se supo que en dicho volumen están 0,0867 g de NPs, los valores de refrigerante y NPs recuperadas se indican en la Tabla 28-3.



**Tabla 28-3:** Valores de Refrig. y NPs recuperados (15% Proplg y 0,5% NPs. A)

Vol. de nanorefrigerante (ml)	Masa de NPs. suspendidas (g)	Vol. de refrigerante recuperado (ml)	Masa de NPs. recuperadas (g)	Eficiencia Refrigerante recuperado %	Eficiencia de NPs recuperadas %
100	0,5096	89	0,3919	<b>89</b>	<b>77</b>

Realizado por: Autores

La eficiencia en la recuperación del fluido refrigerante se debe a que las nanopartículas se sedimentaron en presencia de un pequeño volumen de este y la eficiencia de NPs es del 77% teniendo en cuenta que es mayor ya que solo se cuantificó lo que se extrajo debido a que estas se quedaban pegadas en la probeta y en las pipetas que se utilizaron para medir el volumen.

### 3.3.3.2. Eficiencia de refrigerante y NPs. recuperadas (21% Proplg y 0,2% NPs. A)

Se trabajó con un vol. de 100 ml, tras lavar las muestras se recuperó un volumen de 15 ml de nanopartículas suspendidas en agua destilada, para cuantificar que cantidad de nanopartículas se recuperó se secaron 2 muestras de 5 ml c/u en la estufa, se supo que en 5ml están 0,0635 de NPs., los valores de fluido refrigerante y nanopartículas recuperados se detallan en la Tabla 29-3.

**Tabla 29-3:** Valores de Refrig. y NPs recuperados (21% Proplg y 0,2% NPs. A)

Vol. de nanorefrigerante (ml)	Masa de NPs. suspendidas (g)	Vol. de refrigerante recuperado (ml)	Masa recuperada (g)	Eficiencia Refrigerante recuperado %	Eficiencia de NPs recuperadas %
100	0,2079	92	0,1905	<b>92</b>	<b>92</b>

Realizado por: Autores

La efectividad para recuperar el fluido refrigerante es alta debido a que la cantidad de NPs es menor y por ende se sedimentan en poca cantidad del refrigerante, la eficiencia de recuperación de las NPs es alta nuevamente debido a la baja concentración de estas por ello la cantidad al adherirse a las paredes de los recipientes empleados para medir no es demasiada.

3.3.3.3. *Eficiencia de refrigerante y NPs. recuperadas (15% Propylg, 0,5% NPs A y 1% SDS).*

La cantidad con la que se trabajó en la centrifuga fue de 50 ml, tras lavar las muestras se recuperó un volumen de 12 ml de NPs suspendidas en agua destilada, para cuantificar que cantidad se recuperó se secó una muestra de 2 ml en la estufa, se supo que en dicho volumen están 0,0448 g de NPs, los valores de fluido refrigerante y nanopartículas recuperados se detallan en la Tabla 30-3.

**Tabla 30-3:** Valores Refrig. y NPs recuperadas (15% Propylg, 0,5% NPs. A y 1% SDS).

Vol. de nanorefrigerante (ml)	Masa de NPs. suspendidas (g)	Masa de SDS	Vol. de refrigerante recuperado (ml)	Masa recuperada (g)	Eficiencia Refrigerante recuperado %	Eficiencia de NPs recuperadas %
50	0,2548	1,9943	45	0,2688	<b>90</b>	<b>1,06</b>

Realizado por: Autores

Como se obtuvo masa excedente se puede decir que también se recuperó cierta cantidad de surfactante, para verificar la presencia de este se procedió a realizar un análisis de espectrofotometría IR para comparar el espectro de las nanopartículas recuperadas y la del alofán sintético, si no existiese cambios en los espectros el excedente podría ser por un error: en el equipo de medición, humano o que la muestra se contaminó con agentes externos.

3.3.3.4. *Eficiencia de refrigerante y NPs. recuperadas (21% Propylg 0,2% NPs A y 0,4% de SDS).*

Al igual que la muestra anterior se trabajó con 50 ml, tras lavar las muestras se recuperó un volumen de 10 ml de NPs suspendidas en agua destilada, para cuantificar que cantidad se recuperó se secó una muestra de 2 ml c/u en la estufa, se supo que en dicho volumen están 0,0213 g de NPs, los datos se muestran en la Tabla 31-3.

**Tabla 31-3:** Valores Refrig. y NPs recuperadas (21% Propylg, 0,2% NPs A y 0,4% SDS).

Vol. de nanorefrigerante (ml)	Masa de NPs. suspendidas (g)	Masa de SDS	Vol. de refrigerante recuperado (ml)	Masa recuperada (g)	Eficiencia Refrigerante recuperado %	Eficiencia de NPs recuperadas %
50	0,1039	0,7926	47	0,1065	<b>94</b>	<b>1,02</b>

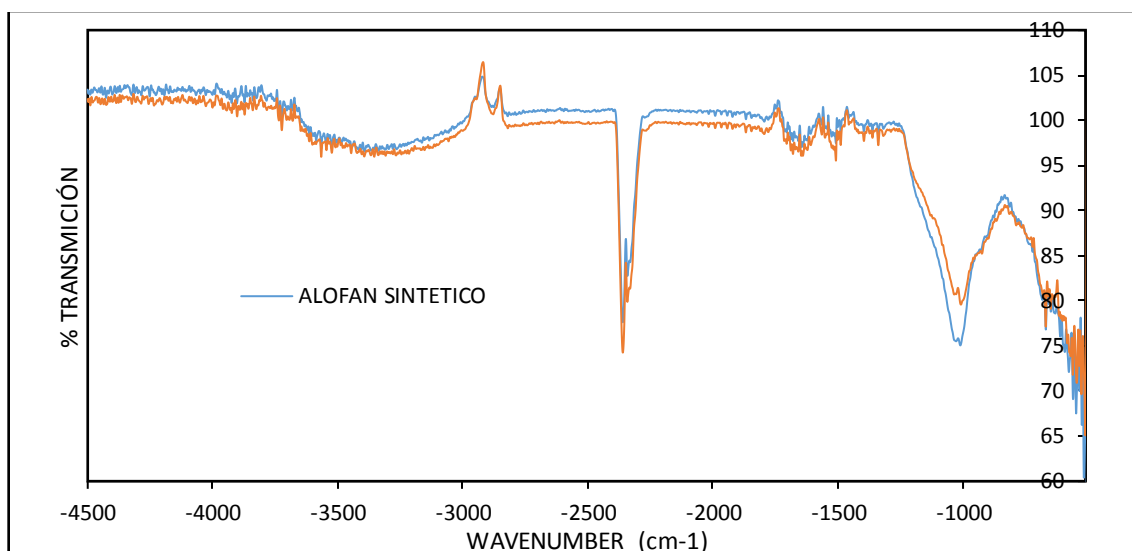
Realizado por: Autores

Al igual que la muestra anterior se tiene excedente de masa, se realizará el mismo procedimiento descrito anteriormente.

### 3.3.4. Espectrofotometría IR de las NPs recuperas de nanorefrigerantes sin y con SDS

Para verificar si el excedente de masa en las NPs recuperadas se debe a la presencia de SDS, se analizó mediante espectrofotometría IR a las NPs recuperadas de los nanorefrigerantes (15% Propilenglicol, 0,5% NPs A) sin y con presencia del surfactante (1% SDS) debido a que posee mayor cantidad de masa excedente, con el fin de comparar sus espectros con el de las Nps de Alofán sintéticas.

En la Gráfica 18-3. se compara el alofan sintético y las NPs recuperadas sin SDS.



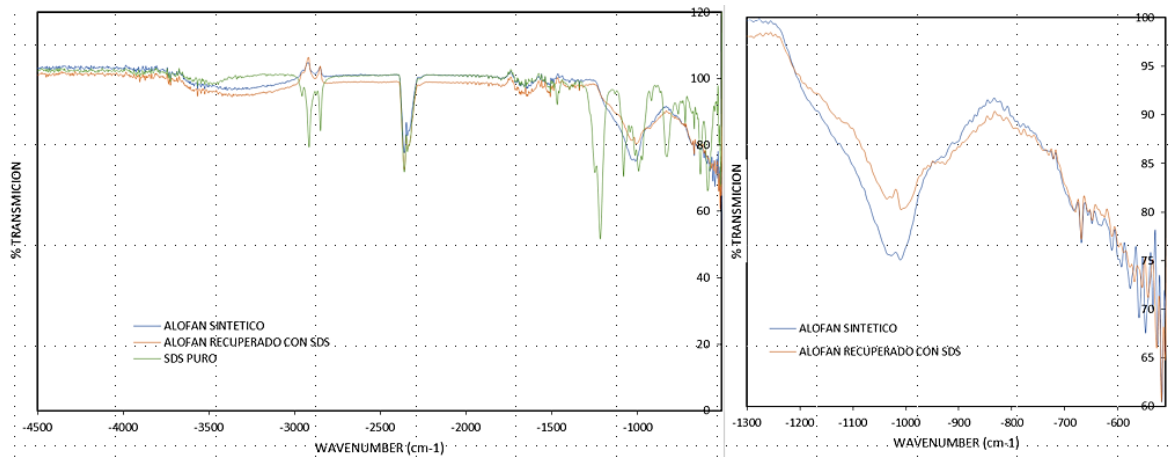
**Gráfico 18-3:** Comparación espectro IR NPs sintéticas y recuperadas sin SDS (0,5% alofán).

**Realizado por:** Autores

Al comparar los espectros del alofán recuperado sin SDS con el del alofán sintético los picos no presentan desplazamientos horizontales es decir son los mismos, lo que significa que las nanopartículas no tienen agentes contaminantes que puedan modificar su composición, la banda de (-3000 a -3500)  $cm^{-1}$  es debido a la vibración de estiramiento del grupo OH, la banda de 1000  $cm^{-1}$  corresponde a las vibraciones de estiramiento de enlaces Al-O, Si-O así como también de los Al-OH y Si-OH.

En la Gráfica 19-3 se comparan los espectros del surfactante, de las NPs recuperadas en donde se estabilizó con SDS y del alofán sintético, no existen cambios significativos en

los espectros de estos 2 últimos en la ampliación de la banda se puede ver que los picos no se desfasan horizontalmente lo que indica que no existe presencia de SDS retenida en las superficies de las nanopartículas.



**Gráfico 19-3:** Espectro IR de SDS, NPs de Alofan sintéticas y recuperadas con posible presencia de SDS

Realizado por: Autores.

### 3.4. Resultados Recuperación de NPs. mediante Destilación al vacío (Rotavapor).

Las muestras a utilizar en la destilación al vacío se muestran en la Tabla 32-3. El volumen utilizado fue de 50 ml para cada una de las muestras.

**Tabla 32-3:** Nanorefrigerantes para experimentar mediante destilación al vacío.

Muestra	Propilenglicol % Vol.	NPs. Alofan % Masa	SDS % masa
(a)	15	0,5	1
(b)	15	0,5	-
(c)	21	0,2	0,4
(d)	21	0,2	-

Realizado por: Autores

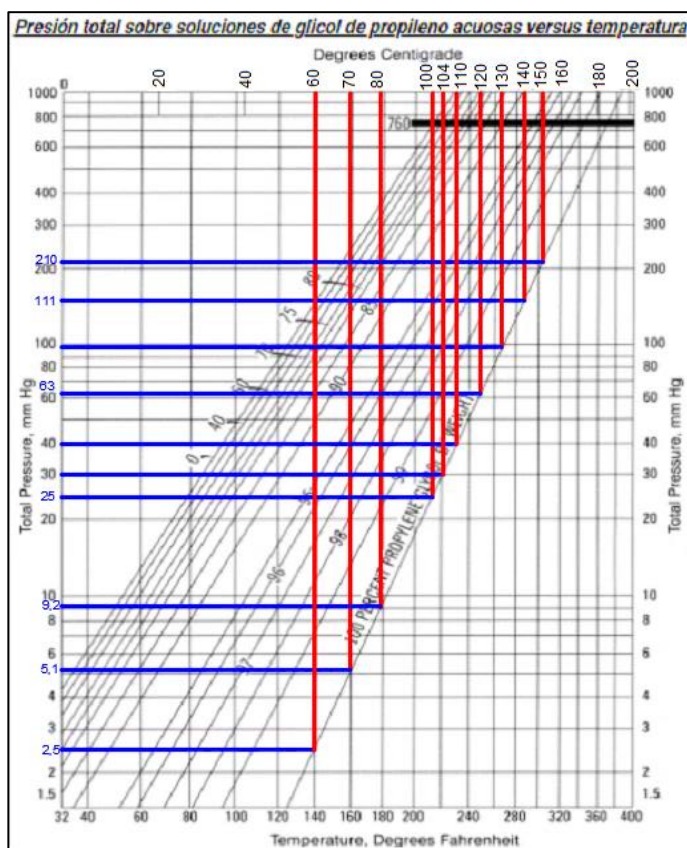
Los valores de temperatura y presión de vacío para destilar agua se indican en la Tabla 33-3, los valores a utilizar dependen del equipo, sistema de refrigeración, también influye el consumo de energía y el tipo de condensador.

**Tabla 33-3:** Valores de Presión y Temperatura para destilar agua.

Temperatura °C	Presión mm Hg	Presión mbar
25	24	32
30	32,25	43
35	42	56
40	60	80
45	72	96
50	93	124
55	118,51	158
60	149,26	199
65	187,51	250
70	243,019	312

Realizado por: Autores

Se destilo el agua a 40°C y 80 mbar, para destilar el propilenglicol los valores de temperatura y presión de vacío se establecieron con ayuda de la Gráfica 20-3, estos valores son indicados en la Tabla 34-3.



**Gráfico 20-3:** Valores de Presión de vacío y Temperatura para destilar propilenglicol.

Fuente: (DOW, 2017)

Realizado por: Autores

**Tabla 34-3:** Valores de Presión y Temperatura para destilar propilenglicol.

Temperatura °C	Presión mm Hg	Presión mbar	Presión seteada mbar
60	2,5	3,33	3-4
70	5,1	6,80	6-7
80	9,2	12,27	12-13
100	25	33,33	33-34
104	30	40,00	40
110	40	53,33	53-54
120	63	83,99	83-84
130	95	126,65	126 – 127
140	111	147,99	148
150	210	279,97	280

Realizado por: Autores

Pese a que se deseó experimentar con todos los valores de presión con su respectiva temperatura indicados anteriormente no fue posible trabajar con presiones por debajo de los 40 mbar debido a que la bomba de vacío no llegaba a este parámetro, además que para valores por encima de esta presión le corresponde temperaturas por encima de los 100°C para alcanzarlas se empleó como fluido calefactor aceite de girasol, aunque se logró alcanzar los parámetros no se logró destilar el propilenglicol debido a que el sistema de refrigeración del Rotavapor no trabaja con temperaturas por debajo de los 10°C.

Tomando en cuenta esta limitación las pruebas fueron realizadas solo para extraer el agua presente en el nanorefrigerante, por ello las NPs se recuperaron suspendidas en propilenglicol teniendo como posible reutilización en el área de refrigeración, específicamente en el Chiller del laboratorio de transferencia de calor de la Facultad de Mecánica.

Se experimentó con la muestra (a), estableciendo los parámetros de destilación de agua 40 °C y 80 mbar de vacío, cuando el agua comenzó a evaporarse se generó burbujas debido a la presencia del surfactante SDS, las NPs se adherían a las paredes de las burbujas y estas pasaban directamente al condensador y al matraz de recolección, por esta razón no fue posible continuar con el proceso de destilación, en la Figura 25-3 se observa el fenómeno producido.



**Figura 25-3:** Generación de burbujas (15% Propilg, 0,5% NPs A y 1% SDS).

**Realizado por:** Autores

Para resguardar el equipo solo se experimentó con nanorefrigerante sin presencia de SDS, con los siguientes resultados.

**Tabla 35-3:** Volúmenes recuperados en el rotavapor muestras sin SDS.

Muestra	Vol. agua Inicial (ml)	Vol. agua Recuperado (ml)	Vol. Propilenglicol Inicial (ml)	Vol. propilenglicol extraído del matraz de destilación con NPs (ml)
(b)	39,5	37	10,5	7
(d)	35,3	31	14,7	10

**Realizado por:** Autores

En la Tabla 35-3 se muestran los valores de agua recuperada, las pérdidas son considerables ya que el agua al condensarse queda atrapada en las paredes del condensador, las NPs quedan en su totalidad suspendidas en el Propilenglicol dentro del matraz de destilación, si se pudiese destilar el propilenglicol cierta cantidad quedaría en él condensador y las NPs quedaría totalmente aisladas en el balón de destilación logrando una recuperación del 100% debido a que estas son sólidas y por ello no se evaporan, extraer en su totalidad no es posible debido a que las NPs están adheridas a las paredes del balón razón por la cual solo se cuantifico las presentes en lo que se pudo extraer. En la Figura 26-3 se observa como las NPs quedan adheridas al balón de destilación.



**Figura 26-3:** NPs de A. suspendidas en Propylg después de la evaporación del agua.

Fuente: Autores

**Tabla 36-3:** Cantidades de NPs recuperadas suspendidas en propilenglicol.

Muestra	Masa inicial Np. A (g)	Cantidad de Np suspendidas en propilenglicol, extraídas del matraz (g)	% de Np. Recuperadas de lo que se extrajo del matraz
(b)	0,2548	0,159	62
(d)	0,1039	0,071	68

Realizado por: Autores

### 3.5. Caracterización de NPs recuperadas en diferentes métodos, mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).

Se caracterizó 4 muestras, es importante que las NPs estén totalmente secas (sólidas), el equipo genera una presión de vacío y carga un haz de electrones para la medición y si existe humedad el equipo no mide. Las muestras se detallan en la Tabla 37-3, se caracterizó solo las NPs recuperadas del Nanorefrigerante 15% Propylg, 0,5 % de Alofan con y sin SDS, ya que se siguió el mismo procedimiento para el Nanorefrigerante 21% Propylg, 0,2 % de Alofan. Las NPs fueron secadas en la estufa

**Tabla 37-3:** Muestras de NPs a ser analizadas en el SEM.

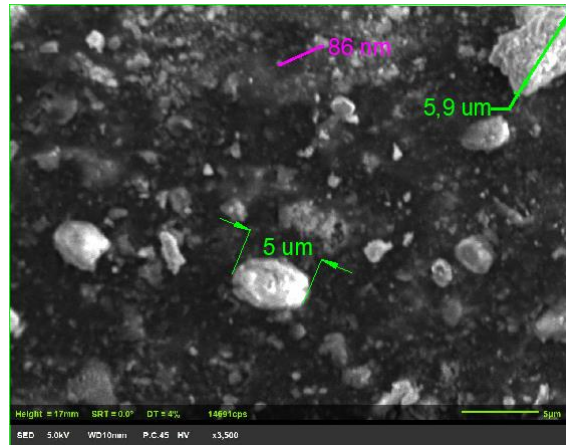
Muestra	Tipo	Características	T de secado °C	t de secado h
1	Alofán sintético	Estado sólido	-	-
2	Recuperada centrifugación	Dispersas en agua destilada	60	2
3	Recuperado rotavapor	Dispersas en propilenglicol.	140	2
4	Recuperada centrifugación	Dispersas en agua destilada con posible presencia de SDS.	60	2

Realizado por: Autores



### 3.5.1. Muestra: Alofán sintético.

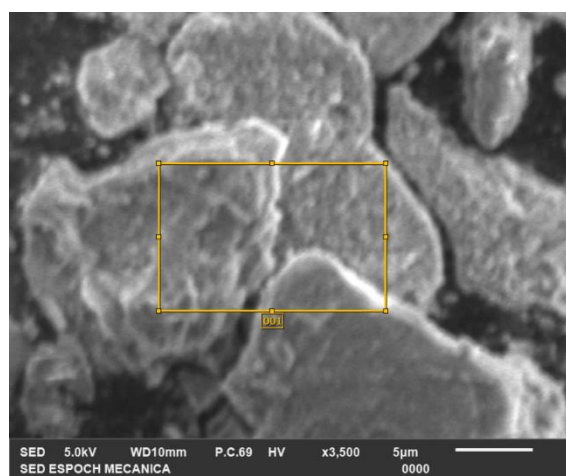
Para realizar la caracterización en el SEM la NPs fueron secadas en la estufa hasta conseguir la evaporación total del agua destilada. En la Figura 27-3. Se observa los resultados de la medición.



**Figura 27-3:** Alofán sintético con x3500 de aumento.

Fuente: Autores

La fotografía fue tomada a x3500, se observa una escala de 5um, se puede observar que existen aglomeraciones de escala nanométrica como micrométrica. Estas aglomeraciones se pueden reducir con un baño ultrasónico de la muestra, pero estamos dentro del rango manométrico. Para el análisis de los elementos presentes se toma una fotografía de la muestra y el equipo analiza su composición.



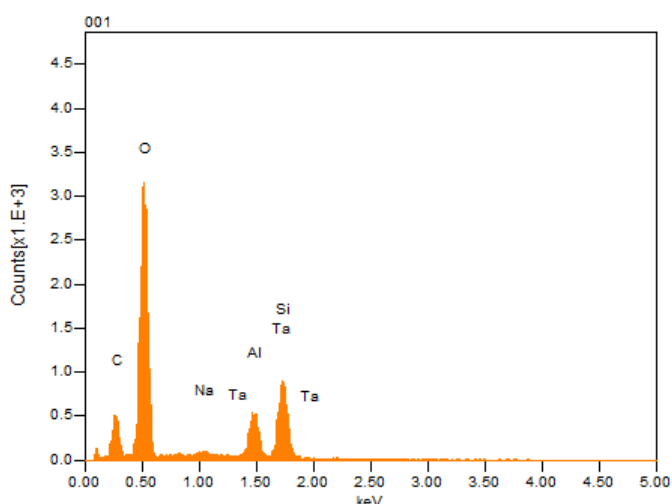
**Figura 28-3:** Análisis de elementos presentes en la muestra Alofán Sintético.

Fuente: Autores

**Tabla 38-3:** Porcentajes de elementos presentes en la muestra Alofán Sintético.

Fórmula	% masa	% Atom	Sigma	K ratio	Line
C	7,88	18,78	0,12	0,0232826	K
O	30,88	55,26	0,16	0,15044940	K
Na	0,48	0,60	0,05	0,0016051	K
Al	7,62	8,08	0,13	0,02003987	K
Si	11,88	12,11	0,29	0,0300181	K
Ta	32,69	5,17	1,15	0,0447976	M
Total	91,44	100,00	-		

Realizado por: Autores

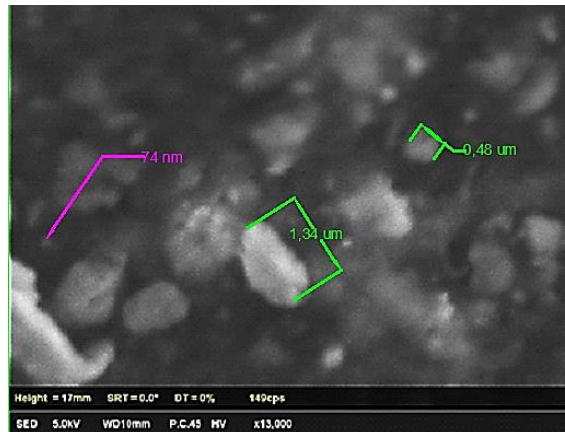


**Gráfico 21-3:** Elementos presentes en la muestra Alofán Sintético.

Fuente: Autores

En el Gráfico 21-3 se observa el espectro de los elementos encontrados en la muestra, se aprecia cantidades elevadas de oxígeno, esto se debe a los óxidos que conforman el Alofán. El resto de elementos y sus porcentajes se detallan en la Tabla 38-3, donde se ve que existe aluminio (Al), silicio (Si) y oxígeno (O) propios de la composición del Alofan. La presencia de Carbono es por la cinta empleada, sin embargo, también hay presencia elevada de talio (Ta) pero según el error de 1,15 se determina que esta medición es error del equipo en general.

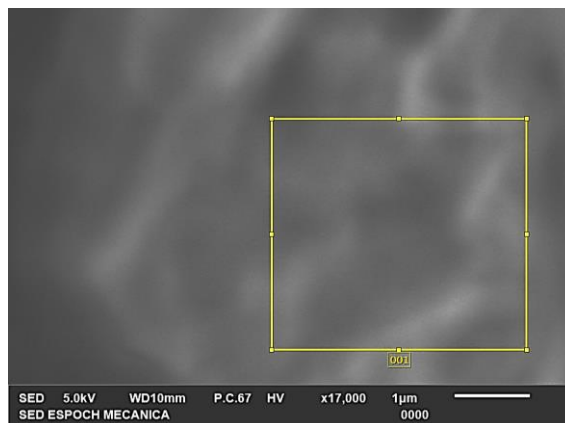
3.5.2. *Muestra: NPs recuperadas por centrifugación.*



**Figura 29-3:** NPs recuperadas por centrifugación a x13000 de aumento.

**Fuente:** Autores

En la Figura 29-3 se aprecian aglomerados nanométricos como micrométricos, pero estos no superan los 2  $\mu\text{m}$ , a comparación del alofán sintético que tenía aglomerados de hasta 5  $\mu\text{m}$ .



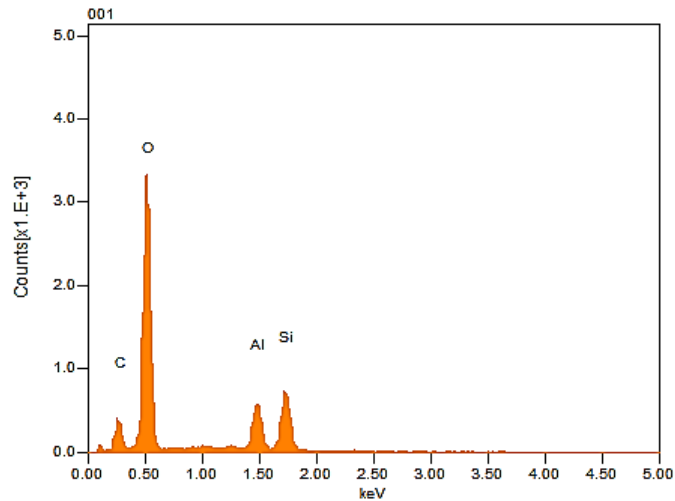
**Figura 30-3:** Análisis elementos presentes en NPs recuperadas por centrifugación.

**Fuente:** Autores

**Tabla 39-3:** Porcentajes de elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación.

Fórmula	% masa	% Atom	Sigma	K ratio	Line
C	7,59	16,10	0,13	0,0170384	K
O	36,61	58,32	0,19	0,1563048	K
Al	10,62	10,03	0,15	0,0239582	K
Si	17,13	15,55	0,22	0,0364592	K
Total	91,44	100,00	-		

**Realizado por:** Autores

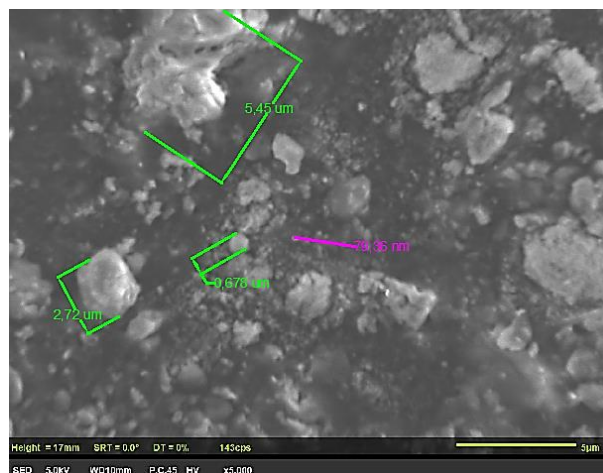


**Gráfico 22-3:** Elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación.

**Fuente:** Autores

Se observa en el Gráfico 22-3 que el elemento con mayor porcentaje es el O, pero se observa presencia solo de Al y Si lo que demuestra que los componentes son ideales aun después del proceso de recuperación. La cantidad de carbono encontrada se debe principalmente a la cinta portadora de la muestra.

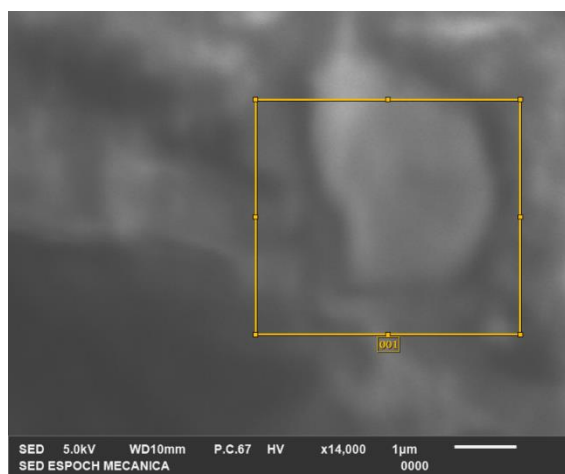
### 3.5.3. Muestra: NPs recuperadas en el rotavapor.



**Figura 31-3:** NPs recuperadas en el Rotavapor a x5000 de aumento.

**Fuente:** Autores

De la misma manera que las muestras anteriores se aprecian que existen aglomeraciones de tamaño nanométrico como micrométrico de hasta 5,45 *um*.



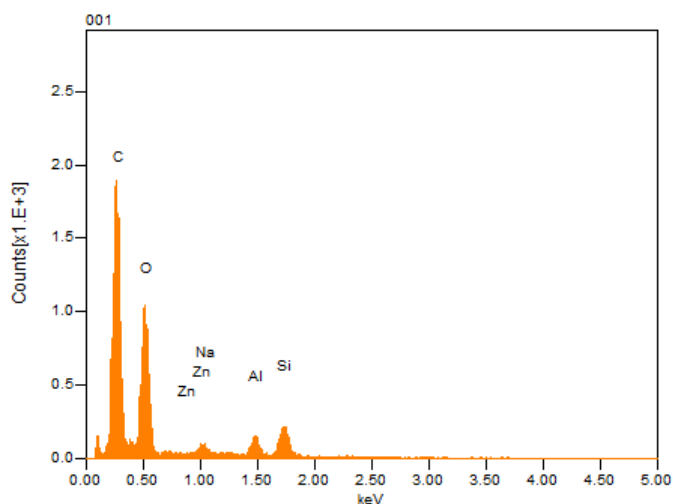
**Figura 32-3:** Análisis de elementos presentes NPs recuperadas en el rotavapor.

Fuente: Autores

**Tabla 40-3:** Elementos presentes NPs recuperadas en el rotavapor.

Fórmula	% masa	% Atom	Sigma	K ratio	Line
C	26,96	65,17	0,19	0,0862130	K
O	14,53	26,38	0,14	0,0491318	K
Na	0,49	0,61	0,06	0,0013808	K
Al	2,20	2,36	0,08	0,0050273	K
Si	4,87	5,04	0,12	0,0105250	K
Zn	0,98	0,44	0,12	0,0019685	L
Total	50,02	100,00	-	-	

Realizado por: Autores



**Gráfico 23-3:** Elementos presentes en NPs recuperadas en el rotavapor.

Fuente: Autores

Las NPs poseen C en mayor porcentaje debido a que la fotografía enfoca la cinta donde se coloca la muestra, también se obtuvo O, Al y Si, lo que indica que las nanopartículas

aún conservan los óxidos de los elementos antes mencionados, sin embargo, también se encuentra presencia de sodio (Na) en pequeñas cantidades, podría deberse a que antes del secado las nanopartículas estaban suspendidas en propilenglicol.

#### 3.5.4. Muestra: NPs recuperadas por centrifugación con posible presencia de SDS.

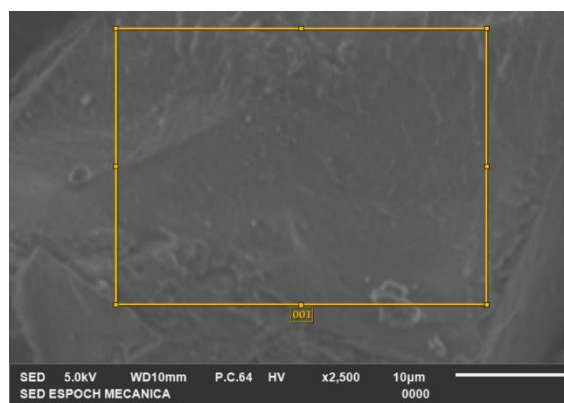
Con el fin de verificar si las NPs recuperadas que presentaban un excedente de masa tienen SDS, se realizó el análisis en el SEM de la muestra.



**Figura 33-3:** NPs recuperadas por centrifugación con posible presencia de SDS a x8000 de aumento.

**Fuente:** Autores

Se observa en la Figura 33-3 que la muestra tiene en gran parte aglomerados de tamaño nanométrico y micrométrico hasta 5,21  $\mu\text{m}$ .



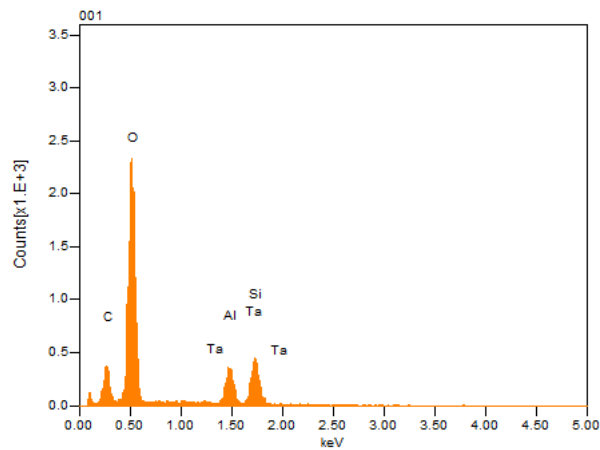
**Figura 34-3:** Análisis de elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación con posible presencia de SDS.

**Fuente:** Autores

**Tabla 41-3:** Elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación con posible presencia de SDS.

Fórmula	% masa	% Atom	Sigma	K ratio	Line
C	5,52	19,16	0,10	0,0159801	K
O	22,99	59,90	0,14	0,1087364	K
Al	5,28	8,15	0,11	0,0134816	K
Si	6,22	9,23	0,22	0,0140942	K
Ta	15,46	3,56	0,87	0,0202280	M
Total	55,47	100,00	-	-	

Realizado por: Autores



**Gráfico 24-3:** Elementos presentes NPs recuperadas por centrifugación con posible presencia de SDS.

Fuente: Autores

Igual que las muestras anteriores los elementos que más predominan son el C y O, seguido de Al y Si, estos últimos son los que forman los óxidos del cual está conformado el alofán, lo que demuestra que su composición no sufrió cambio durante el proceso de recuperación. El último elemento es el Ta aunque este no se tomó en cuenta porque el error de medición es alto 0,87 lo que indica que no podemos asegurar que este elemento esté presente en la muestra.

## CONCLUSIONES

Las NPs constituyen un gran avance tecnológico que beneficia a muchas industrias con innumerables aplicaciones, también representa daños y perjuicios a la salud del ser humano, por su toxicidad, debido a su tamaño nanométrico es difícil por no decir casi imposible controlar su esparcimiento y contaminación del medio ambiente, las vías de exposición en el ser humano son: respiratoria, digestiva y dérmica, por sus dimensiones pueden viajar por ductos sanguíneos, linfáticos y respiratorios, llegar a depositarse en el cerebro, pulmones, corazón, hígado provocando trastornos en los ganglios linfáticos, problemas respiratorios, enfermedades pulmonares obstructivas crónica (EPOC), afecciones cardiovasculares y daños hepáticos.

Al realizar el nanorefrigerante en concentraciones de propilenglicol y NPs de Alofán estas se precipitaban en menos de 20 min, con el fin de mejorar su estabilidad se experimentó: con la variación de pH y la adición del Surfactante SDS, obteniendo mejores resultados con este último en razón de 1, 2 y 3 % en peso respecto al nanorefrigerante, obteniendo un 46% de dispersión luego de 24 horas tras su elaboración (21% Propilenglicol y 0,5 % NPs de Alofán).

Al revisar con que posibles métodos se puede extraer las NPs se fueron descartando algunos debido a la falta de equipos o a que estos no alcanzaban los parámetros necesarios como el de Liofilización, el equipo existente trabaja solo a una cierta presión y temperatura, se emplearon los siguientes métodos: centrifugación, destilación al vacío y nanofiltración ya que si se disponen los equipos tanto como los materiales a emplear.

Ultrafiltración: se pensó filtrar por una serie de membranas de diferentes tamaño de poro pero al filtrar en una de 0,45  $\mu\text{m}$  no se obtuvo buenos resultados ya que con la fuerza de succión las NPs se aglomeraron y taponaron al filtro por ello no se continuó, centrifugación: se logró extraer el fluido refrigerante, las NPs quedaron sedimentadas en cierta cantidad de disolución de propilenglicol, Rotavapor: se pretendía extraer el agua y propilenglicol por separado dejando aisladas las NPs en el matraz de destilación, se logró establecer parámetros de presión y temperatura para cada uno de ellos logrando recuperar solamente el agua debido a que el equipo no cuenta con un sistema de refrigeración



adecuado que permita recircular el agua con temperaturas por debajo de los 10°C debido a esta limitación no logro condensar al propilenglicol.

El más eficiente para recuperar las NPs es el de DESTILACIÓN AL VACÍO, con un 100% pese a que quedaron suspendidas en propilenglicol, las cuales pueden ser empleadas en otras aplicaciones de refrigeración, si el equipo contase con un sistema de refrigeración adecuado este sería ideal ya que las NPs quedarían aisladas en su totalidad en el matraz de destilación y se recuperaría por separado agua y propilenglicol, esto no es posible en la centrifuga. También se experimentó con nanorefrigerante con SDS en la centrifuga, al cuantificar las cantidad de NPs recuperadas se halló un excedente de masa que al analizar los espectros IR no existía presencia del surfactante indicando que existió fallas en el equipo o un error humano al emplear este método, al trabajar en el rotavapor por acción del SDS se generaba espuma donde las NPs quedaba adheridas a las paredes de las burbujas provocando que estas salgan del matraz y lleguen a depositarse en el balón colector.

## RECOMENDACIONES

Existe diversidad de investigaciones sobre posibles aplicaciones de NPs pero muy escasas relacionadas sobre el daño por la toxicidad, composición o rangos de exposición por ello no se cuenta con información sobre la peligrosidad que representa algunas, se recomienda que para próximos trabajos relacionados con nanopartículas se las maneje con los debidos equipos de protección para precautelar la salud y un manejo responsable para evitar y prevenir su dispersión de forma involuntaria o accidental, cabe indicar que en el trabajo expuesto las NPs estaban suspendidas por lo cual no existía riesgo de que estas puedan ser llevadas por alguna corriente de aire además que se empleó mascarillas y guantes para elaborar el nanorefrigerante, tampoco se halló investigaciones sobre recuperación de NPs por ello se recomienda en trabajar en investigaciones relacionadas con este tema.

Se puede decir que luego de 24 horas el nanorefrigerante permanece estable en un 46% al adicionar el SDS pero este al ser un surfactante produce demasiada espuma cuando es agitado razón por la cual no se recomienda su uso ya que actuaría como un aislante afectando a la conductividad térmica y experimentar con otros compuestos para estabilizar, también se debería implementar un sistema de agitación en el depósito del refrigerante del chiller de la Facultad de Mecánica, que permita que las nanopartículas estén en suspensión.

El equipo más apropiado para recuperar de forma individual los componentes del nanorefrigerante es el rotavapor, pero debido a que no cuenta con un sistema de refrigeración apropiado para que el propilenglicol se condense se recomienda implementar un sistema de refrigeración adecuado que permita recircular y trabajar con temperaturas por debajo de los 10°C, además de la creación de una cámara de vacío que permita alcanzar aproximadamente los 0 mbar, al trabajar en el rotavapor se recomienda tener cuidado con la bomba con presiones por debajo de los 40mbar debido a que la fuerza de succión es muy alta y el vapor podría entrar y dañarla

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁLVAREZ ZAMBRANO, Carlos Azael & DÁVILA SÁNCHEZ, José Luis.** Diseño y construcción de un molino de atricción para moler materiales cerámicos. [En línea] (Trabajo de Titulación) Escuela Politécnica Nacional, Quito. 2011. [Consulta: 21 octubre 2018]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3920/1/CD-3627.pdf>.

**Arakawa, Shuichi.. et al.** “Allophane-Pt nanocomposite: Synthesis and MO simulation”. [En línea], 2014. [Citado el: 11 Marzo 2019.]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.04.012>.

**Poo Barrera, Susan Mercedes.** Concentración de Antocianinas en Jugo de Cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) mediante Nanofiltración. En línea] (Trabajo de Titulación) Universidad Austral de Chile, Chile. 2005. [Consulta: 2019-03-14]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fap821c/doc/fap821c.pdf>

**Biomodel.** *Centrifugación.* [en línea], 2013. [Consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en: <http://biomodel.uah.es/tecnicas/centrif/inicio.htm>

**Casas; et al.** *La evaporación al vacío, una tecnología para reducción de residuos y reutilización del agua.* [en línea]. [30 de Octubre de 2008]. Disponible en: [http://www.cgdepur.it/documenti\\_spa/admin/mdb/documenti/179\\_ART%C3%8DCULO\\_REVISTA\\_TECNOLOG%C3%8DA\\_AGUA.pdf](http://www.cgdepur.it/documenti_spa/admin/mdb/documenti/179_ART%C3%8DCULO_REVISTA_TECNOLOG%C3%8DA_AGUA.pdf)

**Castañeda Contreras, J.** *Fabricación de materiales amorfos y poli cristalinos con la ruta sol-gel.* [En línea] [2018]. Disponible en: <http://www.smf.mx/boletin/2006/Bol-20-1/Articulos/sol-gel.htm>.

**Cengel, Yunus A; & Ghajar, Afshin J.** *Transferencia de calor y masa.* 4ta ed. s.l. : Madrid-España: McGraw-Hill, 2011. pp. 629.

**Chieh Chiang, Po; et al.** “Engineering Water-Dispersible FePt Nanoparticles for Biomedical Applications”. *IEEE Transactions on Magnetics* [En línea], 2007, 43(6). [Consulta: 14 de Marzo de 2019.]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4202673>.

**CHQUÍMICA.** “PROPILENGLICOL USP”. [En línea] 2018. [Consulta: 14 de Marzo de 2019.]. Disponible en: [https://chquimica.com/documentacion/fichas tecnicas/PROPILENGLICOL\\_USP\\_FT.pdf](https://chquimica.com/documentacion/fichas tecnicas/PROPILENGLICOL_USP_FT.pdf)

**CORONADO, Cyntia; et al.** *Método de centrifugación.* [En línea] 16 de octubre de 2018. Disponible en: <https://claicarubio-quil.jimdo.com/app/download/10331243683/M%C3%A9>

[todo+de+centrifugaci%C3%B3n+quimica+octavo+a.pdf?t=1502213976&mobile=1.](#)

**CUEVA TOALOMBO, Jaime Renato, & NOLE NOLE, Danny Ramiro.** Evaluación del uso de nanopartículas de titanio y silicio para el mejoramiento del sistema de refrigeración de un vehículo. *Bachelor's thesis*. [En línea] (Trabajo de Titulación). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. Septiembre de 2016. pp. 11-19 [Citado el: 05 de Noviembre de 2018.]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16701>.

**Delgado Linares, J; et al.** *Nanopartículas: fundamentos y aplicaciones*. [ed.] Cristóbal Lárez Velázquez, Floralba López González y Sonia Koteich Kathib. Merida : Encuadernación Don Tulio, 2015. pp. 159-160. Vol. 1.

*Departamento de Medicina del Trabajo, Beijing Chaoyang Hospital, Capital University of Medical Sciences*, [En línea] China. 2009. PubMed.gov. 20 de Agosto de 2009. [Citado el: 11 de Marzo de 2019.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19696157>.

**DOW. 2017.** *Cuáles son los puntos de ebullición y las presiones de vapor de los glicoles*. [En línea] 27 de Julio de 2017. Disponible en: [https://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a\\_id/7412](https://dowac.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/7412).

**Eficiencia Energética.** *Tablas del Etilenglicol y Propilenglicol*. [En línea] 28 de Junio de 2015. Disponible en: <https://certificacionenergetica.info/ist/pdf/Tablas-del-Etilenglicol-y-Propilenglicol.pdf>.

**Fumitoshi I.; et al.** "Síntesis y de adsorción características de alofano esféricas nano-partículas huecas". *Aplicada arcilla Ciencia*. (2012).

**GARCÍA OLMOS, Carlos Francisco.** Aplicación de la ósmosis inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de aguas para calderas. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Doctoral) Universidad de Oviedo, Oviedo. noviembre de 2002. pp. 16. [Consulta: 2019-03-14]. Disponible en:

<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11146/UOV0013TCFGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**GONZALEZ, MÓNICA.** Química. *Transmitancia y Absorbancia*. 2010. [Consulta: 06 de Marzo de 2019.]. Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/transmitancia-y-absorbancia>.

**Goribar Hernández, Eduardo.** *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. Primera. México : Limusa, 2009. pp. 356.

**GTM. 2017.** *Ficha de datos de seguridad Propilenglicol*. [En línea] mayo de 2017. [Citado el: 4 de octubre de 2018.] Disponible en: <http://www.gtm.net/images/industrial/p/PROPILENGL>

**ICOL.pdf**

**GUAMÁN CABA, Paúl Alejandro & MUÑOS VALLE, Christian Mauricio.** Análisis de datos de un chiller para determinar el comportamiento de las curvas de enfriamiento del propilenglicol y su comparación con el cloruro de calcio. (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2017. pp. 42.

**GUERRA GARCÉS, Daniel.** Evaluación del efecto de un Nanofluido en el desempeño térmico de un colector solar y un intercambiador de calor. [En línea] (Trabajo de titulación). (Mestría) Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, México. 2012. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/488>

**Hussein; at al.** “The effect of nanofluid volumen concentration on heat transfer and friction factor inside a horizontal tube”. *Hindawi* [En línea], 2013, (Malasya) [Consulta: 11 de Marzo de 2019.] Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jnm/2013/859563/>

**Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).** *La Prevención de riesgos en los lugares de Trabajo.* [En línea] 2013. [Consulta: 17 de Noviembre de 2018.] Disponible en: <http://www.fsc.ccoo.es/ef21749a91f70f47588dd4e16b538c7b000050.pdf>.

**KISHORE NADKARNI, R A.** *Guide to ASTM Methods for the Analysis of Petroleum Products and Lubricants.* [En línea] West Conshohocken : ASTM International, 2007. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Abdelkader\\_Bouaziz/post/Technical\\_standard\\_for\\_the\\_determination\\_of\\_resin\\_viscosity/attachment/5c1806543843b006754be33f/AS%3A704923872284677%401545078356187/download/Guide+to+ASTM+Test+Methods+for+the+Analysis+of+Petroleum+Products+and+Lubricants.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Abdelkader_Bouaziz/post/Technical_standard_for_the_determination_of_resin_viscosity/attachment/5c1806543843b006754be33f/AS%3A704923872284677%401545078356187/download/Guide+to+ASTM+Test+Methods+for+the+Analysis+of+Petroleum+Products+and+Lubricants.pdf)

**López de la Peña; at al.** “Nanopartículas: aplicaciones actuales y futuras en la industria alimentaria”. *Ciencia*, n° 48 (2016). (Coahuila) Disponible en: <http://www.cienciacerita.uadec.mx/articulos/cc48/Nanoparticulas.pdf>

**Mahbulul, I. M.** “Preparation, Characterization, Properties, and Application of Nanofluid”. *Cerámica y Vidrio*, (2014). Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/preparation-characterization-properties-and-application-of-nanofluid/mahbulul/978-0-12-813245-6>

**Málaga, SCAI. Universidad.** “Área de Microscopía”. [En línea] 2010. [Citado el: 26 de Febrero de 2019.] Disponible: <https://www.uma.es/sme/nueva/FAQ.php>.

**Martínez, Jared.** MUNDO HVAC&R. [En línea] [Citado el: 2018 de Marzo de 2018.] Disponible en: <https://www.mundohvacr.com.mx/2015/11/refrigerantes-que-no-son-gases/>.

**Martinez, Milton.** SCRIBD Refrigerantes Secundarios. [En línea] 05 de Julio de 2014. [Citado el: 20 de marzo de 2018.] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/232720697/Refrigerantes-secundarios>.

**Mott, Robert L.** *Mecánica de Fluidos*. Pablo Miguel Guerrero Rosas. Sexta. México : Pearson Educación, 2006. pp. 14.

**Nanotecnología Chile.** *Aplicaciones de la Nanotecnología*. [En línea] 2018. [Citado el: 17 de Noviembre de 2018.] Disponible en: <https://www.nanotecnologia.cl/aplicaciones-de-la-nanotecnologia/>.

**Nor Azwadi Che Sidik; et al.** “A review on the application of nanofluids in vehicle engine cooling system”. *Science Direct* [En línea], 2015. (Malaysia) Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735193315001773>

**Orbital Ingeniería.** “Micro-Filtración. Nueva Tecnología nuevas aplicaciones”. [En línea] 2014. [Consulta: 13 de Marzo de 2019.] Disponible en: <http://orbitalingenieria.com.ar/productos/micro-filtracion-tangencial-orbital-ingenieria/>.

**OSPINA, Jimena.** Diseño, Síntesis y Caracterización Físicoquímica de Surfactantes Derivados de Aminoácidos preparados a partir de Verbenona [En línea] (Trabajo de titulación). (Mestría) Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona : s.n., 2012. pp. 12. Disponible en: [https://ddd.uab.cat/pub/treecpro/2012/hdl\\_2072\\_218020/TFM\\_JimenaAndreaOspinaChavez.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/treecpro/2012/hdl_2072_218020/TFM_JimenaAndreaOspinaChavez.pdf)

**Pardell, Xavier.** “Apuntes de Electromedicina”. [En línea], 2019. [Consulta: 26 de Febrero de 2019.] Disponible en: [https://www.seaic.org/images/site/tecnicos/monitores\\_xavier\\_pardell.pdf](https://www.seaic.org/images/site/tecnicos/monitores_xavier_pardell.pdf)

**PEDRAZA LUQUE, Patricia.** Análisis de los Nanofluidos y su aplicación como Fluido HTF [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Sevilla. Sevilla : s.n., 2016. pp. 32-71. Disponible en: [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20497/fichero/PFC\\_Patricia+Pedraza+Luque.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20497/fichero/PFC_Patricia+Pedraza+Luque.pdf)

**Quiminet.** Los procesos de centrifugado. [En línea] 16 de junio de 2008. [Citado el: 16 de Octubre de 2018.] Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/los-procesos-de-centrifugado-30638.htm>.

**Renero, Carlos J.** Refrigerantes. [En línea] [Citado el: 20 de Marzo de 2018.] Disponible en: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1473/course/section/1913/006%20Refrig%20y%20Salin.pdf>

**Reyes; et al.** “La Nanotecnología y sus Riesgos: El Nacimiento de la Nanotoxicología”. *Razon y Palabra*. [En línea] 11 de Noviembre de 2018. [Consulta: 6 de Noviembre de 2018.] Disponible en: <http://www.razonypalabra.org.mx/N/n68/10hreyes.html>

**RODRÍGUEZ BOU, Sandra.** Estudio de Dispercion de nanopartículas de Grafeno en Agua [En línea] (Trabajo de titulación).(Maestría) Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales . 2016. Disponible en: [http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/167067/TFM\\_2015\\_rodriguezS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/167067/TFM_2015_rodriguezS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**SILVA, Jorge Efrén; et al.** Alofán, una nanopartícula natural, presente en andosoles del Ecuador, propiedades, aplicaciones y perspectivas futuras. 2017.

**SINC La Ciencia es noticia.** “Un nuevo nanofluido mejora un 30% la conductividad termica del calor” *SINC*. [En línea] 21 de Octubre de 2014. [Consulta: 6 de Noviembre de 2018.]. Disponible en: <https://www.uji.es/upo/rest/revista/38329074?revistaId=38329072>

**Smita; at al.** “Nanoparticles in the environment: assessment using the causal diagram approach” *NCBI*. [En línea] 28 de Junio de 2012. [Consulta: 06 de Marzo de 2019.] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3388445/>

**Song, Y; at al.** “La exposición a las nanopartículas está relacionada con el derrame pleural, la fibrosis pulmonar y el granuloma”. *PubLMed*. [En línea] 20 de Agosto de 2009. [Consulta: 11 de Marzo de 2019.]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19696157>.

**Stoecker, Wilbert F. 1998.** *Industrial Refrigeration Handbook*. New York : McGraw-Hill, 1998. pp. 659.

**Stoecker, Wilbert F. 1998.** *Manual de Refrigeracion industrial*. s.l. : MsGraw Hill, 1998. pp. 662.

**Tomé Fernandez, Miguel Ángel. 2009.** Fluidos Frigorígenos. 7 de Septiembre de 2009.

**UNAD.** Estudio de caso; métodos de síntesis de hidroxapatita nanométrica con diversas estructuras. [En línea] 2015. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccqf/v41n1/v41n1a04.pdf>

**Universidad Nacional del Sur.** Consideraciones Sobre Surfactantes. [En línea] 30 de Junio de 2015. [Citado el: 17 de Enero de 2018.]. Disponible en: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/1992/5/CAPITULO%201.pdf>

**Urrutia, Javier Erro.** *La seguridad y salud en la exposición a nanopartículas*. [En línea] 2011. [Consulta: 11 de Marzo de 2019.] Disponible en: [http://ias1.larioja.org/apps/catapu/documentos/2011\\_nanoparticulas.pdf](http://ias1.larioja.org/apps/catapu/documentos/2011_nanoparticulas.pdf)

**Wexler, Philip.** *Encyclopedia of Toxicology*. London : Elsevier, 2014. pp. 287-554. Vol. 2.

**Wong; at al.** Applications of nanofluids:current and future. *Advances in Mechanical Engeneerring*. [En línea] 29 de Mayo de 2010. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2010/519659>.

