



**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

VALPARAÍSO - CHILE

## **“Factibilidad del uso de MOF’s como base para preparar nanofluidos dieléctricos”**

**JOAQUIN ALEXANDER STEILEN SANDOVAL**

Memoria de titulación para optar al título de  
**Ingeniero Electricista**

Profesores Guías: Sr. Leonardo Vivas

Comision: Sr. Jorge Ardila

Valparaíso-Chile

Junio -2025



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título;  Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: "Factibilidad del uso de MOF's como base para preparar nanofluidos dieléctricos."

Nombre del candidato(a): Joaquin Alexander Steilen Sandoval

Carrera / Grado: ingeniería eléctrica

Campus: Casa Central Valparaíso; Departamento: Electricidad

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Leonardo Vivas, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses;  12 meses;  2 años;  3 años;  5 años;  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

#### 4.- FIRMAS

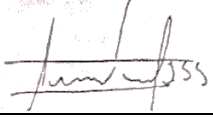
Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 01-08-2025;

Firma:  \_\_\_\_\_

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 01-08-2025

; Firma:  \_\_\_\_\_

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

**MATERIAL DE REFERENCIA, SU USO NO INVOLUCRA RESPONSABILIDAD DEL AUTOR O LA INSTITUCIÓN.**

# RESUMEN

---

Los transformadores eléctricos son una pieza esencial en la transmisión y distribución de energía, y dependen del uso de aceites dieléctricos para asegurar tanto el aislamiento interno como la disipación del calor generado durante su funcionamiento. Dado que los costos asociados al uso de estos aceites son elevados, ha surgido un interés creciente por encontrar alternativas que permitan reducir gastos y prolongar su vida útil sin comprometer el rendimiento. En este contexto, el uso de nanofluidos ha cobrado importancia en los últimos años como una solución viable para mejorar la eficiencia térmica en transformadores.

Los nanofluidos consisten en suspensiones de un fluido base, como aceite o agua, que contienen nanopartículas metálicas o de óxidos, las cuales buscan incrementar notablemente la capacidad del fluido para transferir calor. Entre estos aditivos, las estructuras metalorgánicas (MOF) han captado gran atención debido a sus propiedades singulares, como su alta porosidad, amplia superficie específica y la posibilidad de ser diseñadas a nivel molecular. Estas características convierten a los MOF en candidatos muy prometedores para la formulación de nanofluidos más eficientes y estables en aplicaciones eléctricas.

El presente trabajo explora la viabilidad de emplear MOF como base para la elaboración de nanofluidos dieléctricos. Para ello, se prepararon tres tipos distintos utilizando MOF de níquel, cobalto e hierro-molibdeno, los cuales fueron dispersados en aceite sintético estabilizado con ácido oleico. Se realizaron pruebas de rigidez dieléctrica y análisis de estabilidad mediante espectroscopía UV-VIS, con el fin de evaluar el comportamiento de las nanopartículas en suspensión y su efecto sobre las propiedades del fluido. Los resultados obtenidos permiten comparar el rendimiento de estos nanofluidos con el de los aceites tradicionales, aportando evidencia sobre su posible aplicación práctica en el sector energético.

# Índice

<b>RESUMEN</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPITULO 1 : INTRODUCCION</b> .....	<b>6</b>
Sección 1.1 : Justificación del tema .....	6
Sección 1.2 :Objetivo de la memoria.....	8
<b>CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
Sección 2.1 : Introducción .....	9
Sección 2.2 : Nanofluidos .....	10
Sección 2.3 :Nanopartículas utilizadas para nanofluidos .....	10
Sección 2.4 : Fluidos Base.....	14
Sección 2.5 : Estabilizadores.....	15
Sección 2.6 : Estudio de Rigidez Dieléctrica .....	16
Sección 2.7 : Estudio de U.V visible .....	24
<b>CAPITULO 3 : ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>28</b>
Sección 3.1 : Primeras Referencias.....	28
Sección 3.2 : Conceptos fundamentales .....	29
Sección 3.3 : Producción de nanopartículas.....	30
Sección 3.4 : Método de síntesis de MOF.....	31
<b>CAPITULO 4: SINTESIS Y CARACTERIZACION</b> .....	<b>33</b>
<b>CAPITULO 5: RESULTADOS</b> .....	<b>35</b>
Sección 5.1 : Introducción .....	35
Sección 5.2 : Aceite base.....	36
Sección 5.3 : Nanofluido al 0,01% del peso .....	38
Sección 5.4 : Nanofluido al 0,001% del peso .....	41
Sección 5.5 : Nanofluido con mayor desgasificación .....	43
Sección 5.6 : Estabilidad de nanofluidos.....	46
<b>CAPITULO 6 : CONCLUSIONES</b> .....	<b>52</b>
<b>CAPITULO 7: TRABAJOS FUTUROS</b> .....	<b>53</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>54</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>58</b>

# CAPITULO 1 : INTRODUCCION

## Sección 1.1 : Justificación del tema

Las funciones del aceite dieléctrico en un transformador, son mantener sus componentes refrigerados y aislados eléctricamente. Los costos asociados al uso de aceite dieléctrico puede ser muy variado, ya que este puede depender del tipo de transformador, su tamaño, aplicación específica y las normativas propias de cada país. Sin embargo, se puede estimar, de forma general, que del costo total del transformador entre 10 al 20% es debido al aceite que se usó en él, que podemos apreciar en detalle en la Figura 1 [1]. Es por esto que al bajar el costo asociado al aceite o alargar su vida útil sin bajar su calidad es de gran interés científico.

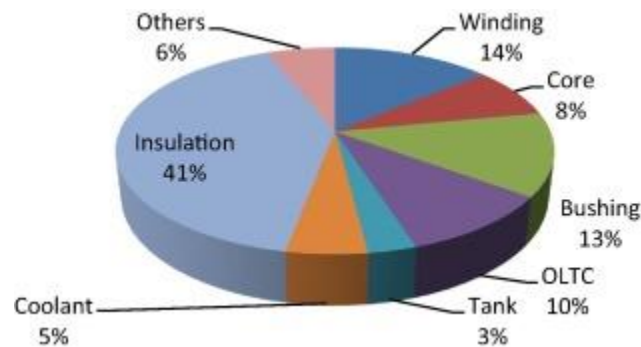


Figura 1: Distribución de costos de los componentes del transformador eléctrico [1]

En la última década se ha planteado la utilización de nanofluidos en transformadores para mejorar las prestaciones del transformador al compararlas con los aceites convencionales. Los nanofluidos son líquidos que contienen nanopartículas suspendidas que pueden ser metálicas, óxidos de metales o materiales compuestos [2]. El uso de nanopartículas en fluidos ha demostrado ser de gran utilidad para aumentar la conductividad térmica del fluido, también mejoran su capacidad para absorber y disipar calor de manera más eficiente. En transformadores se ha demostrado que la inclusión de estas nanopartículas puede resultar en un aumento significativo en la capacidad de refrigeración del transformador, lo que se traduce en una mayor vida útil y un rendimiento optimizado [3]. La implementación de nanofluidos no solo busca mejorar la eficiencia energética, sino también reducir los costos operativos asociados a largo plazo, lo que los convierte en una alternativa prometedora en la producción de transformadores.

De entre las nanopartículas, las estructuras metalorgánicas o Metal-Organic Frameworks (MOFs) han llamado la atención de la comunidad científica por las características que han mostrado. Los MOF´s son estructuras cristalinas covalentes híbridas formadas por una red moléculas orgánicas entrelazada con los iones de un metal. No solo son más duraderas que los cristales orgánicos, sino que, debido a sus vacíos interconectados a nanoescala, tienen un potencial incomparable para atrapar, almacenar y catalizar iones y moléculas.

Los MOF´s han mostrado tener una alta porosidad y gran área de superficie que les permiten una interacción eficaz con otros compuestos, haciéndolos ideales para diversas aplicaciones industriales, desde el almacenamiento de gases hasta la separación de moléculas. Además, los MOFs pueden ser generados para mejorar aún más su rendimiento en aplicaciones específicas [4]. Estas propiedades únicas, combinadas con su capacidad para ser diseñados a medida, abren un abanico de posibilidades para su uso en la mejora de nanofluidos, especialmente en entornos exigentes como el de los transformadores eléctricos.

Nuestra propuesta consiste en incorporar MOFs como base en el diseño de nanofluidos utilizados en transformadores. Creemos que la incorporación de este material en aceite sintético ofrecerá mejoras significativas en términos de eficiencia térmica y reducción de costos operativos. Los MOF´s, con su capacidad para mejorar la conductividad térmica y estabilidad del fluido, podrían prolongar la vida útil de los transformadores y, a su vez, disminuir los costos de mantenimiento. Además, los MOFs permitiría personalizar las propiedades del nanofluido según las necesidades específicas de cada transformador, lo que representa un avance considerable en la tecnología de refrigeración y aislamiento eléctrico.

Para estudiar la factibilidad del uso de MOF´s como base para la síntesis de nanofluidos para transformadores eléctricos, se prepararán tres nanofluidos constituidos por un MOF de níquel, un MOF de Cobalto y un MOF de hierro-molibdeno mezclado con aceite sintético y ácido oleico como surfactante para evitar la aglomeración de nanopartículas [5], para hacer pruebas comparativas de rigidez dieléctrica entre los nanofluidos, el aceite sintético y el aceite con el surfactante

## Sección 1.2 :Objetivo de la memoria

### Objetivo principal

- Preparar y evaluar eléctricamente nanofluidos dieléctricos basados en “Metal-Organic Frameworks” (MOF’s) para su posible uso en transformadores.

### Objetivos secundarios:

- Preparar tres nanofluidos compuestos de Aceite/MOF (Aceite/MOF-Ni, Aceite/MOF-Co y Aceite/MOF-MoFe) usando el método de un paso con el fin de mejorar las propiedades dieléctricas del Aceite base.
- Evaluar la estabilidad física de los nanofluidos mediante espectroscopia UV-Visible, con el fin de confirmar la adecuada dispersión de los MOF ´s en el aceite.
- Realizar pruebas de rigidez dieléctrica de los nanofluidos para probar la factibilidad de su uso en transformadores de potencia al compararlos con las características del aceite dieléctrico.

# CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

## Sección 2.1 : Introducción

La preocupación mundial por el uso de energías sostenibles y amigables con el ambiente, así como por su uso eficiente que implique no solo el ahorro, sino la optimización de equipos y sistemas, ha generado el desarrollo de los nanofluidos. [6], los que permiten mejorar de alguna manera la eficiencia energética por las características que presentan, como: mejor conductividad térmica y mejor transferencia de calor [7] respecto a los fluidos convencionales.

Los nanofluidos son definidos como fluidos denominados base que contienen dispersas nanopartículas [8] metálicas, óxidos, nanotubos de carbono, grafeno, Redes Metal-Orgánicas, etc.

Dentro de los nanofluidos se incluyen: nanolubricantes que corresponden a lubricantes producidos por la dispersión de nanopartículas en aceites lubricantes convencionales [9], nanorefrigerantes, que son también mezclas estables de nanopartículas y refrigerantes enfocados en mejorar las características de transferencia de calor [10].

Los nanofluidos se usan por sus beneficios en la transferencia de calor en refrigeración de motores, colectores solares, sistemas térmicos fotovoltaicos, refrigeración de componentes electrónicos, en el área de alimentos en unidades de procesamiento térmico, etc.

El objetivo de esta sección será realizada una revisión sintética de los nanofluidos, determinar el tipo de nanopartículas utilizadas en su síntesis, así como, los fluidos base y los surfactantes utilizados para lograr una mejor estabilidad de las nanopartículas dispersas. Así dejando de forma mas clara los materiales que se utilizaran a lo largo de los próximos capítulos.

## Sección 2.2 : Nanofluidos

Los nanofluidos son suspensiones estables y uniformes constituidos por fluidos denominados base, como: agua, etilenglicol, aceites, etc., que contienen dispersas nanopartículas [8]. Las nanopartículas utilizadas son óxidos de: aluminio [9], cobre, titanio, zirconio, wolframio, zinc, silicio [11], nanopartículas metálicas de cobre, plata, oro, hierro [12], nanotubos de carbono [13], grafeno funcionalizado [14] óxido de grafeno reducido [15] óxido de galio [16], óxido de zinc [17], entre otras.

Los nanofluidos muestran propiedades térmicas significativamente mejores que las de los fluidos base. Las nanopartículas ayudan a mejorar la conductividad térmica, debido a que cambian notablemente las propiedades de transporte y las características de transferencia de calor de la suspensión [18], el coeficiente de transferencia de calor [15], así como, la eficiencia térmica [19] sin embargo, una de las desventajas de los nanofluidos es que exhiben altas viscosidades debido a la presencia de las nanopartículas, lo que requiere mayor potencia de bombeo en los equipos.

Los nanofluidos han encontrado aplicaciones relevantes en procesos de transferencia de calor de varios sistemas, han sido empleados en colectores solares [13, 15], intercambiadores de calor, sistemas fotovoltaicos térmicos [15, 16], sistemas de aire acondicionado [20], conductividad térmica [21], enfriamiento de chips electrónicos, motores de automóviles (como lubricantes y refrigerantes), refrigeradores y plantas de energía nuclear (como refrigerantes para barras de combustible nuclear) [22].

## Sección 2.3 :Nanopartículas utilizadas para nanofluidos

### 2.3.1 Óxidos

Son resistentes a la oxidación, son químicamente estables, la densidad de algunos es baja lo que permite su fácil dispersión en los fluidos base, como: agua, etilenglicol, aceites, etc., sin embargo, tienen una baja conductividad térmica si se los compara con los metales [23]. Se han utilizado óxido de aluminio o alúmina [24, 25] debido su alta conductividad térmica y baja densidad, óxido de calcio [26], óxido de galio [16], óxido de titanio, óxido de hierro [27, 28] óxido de cobre [29], óxido de zirconio, wolframio, zinc, silicio [11].

El óxido de silicio por ejemplo mejora significativamente el coeficiente de transferencia de calor del refrigerante R134a hasta 163.2% con una concentración de partículas de 0.4% [30]. Con óxido de hierro se obtienen nanofluidos magnéticos ya que las nanopartículas que los constituyen corresponden a nanopartículas magnéticas y por tanto responden a un campo magnético.

### 2.3.2 Nanopartículas metálicas

Los metales generalmente tienen una conductividad térmica más alta que los fluidos. Por lo tanto el uso de nanopartículas metálicas en un fluido produce un buen nanofluido termoconductor [14].

Se han empleado nanopartículas metálicas de cobre [31], plata [11, 12, 32] y oro [13]. En el caso de las partículas metálicas de plata que tienen una alta conductividad térmica, su conductividad eléctrica puede hacerlas no tan útiles para aplicaciones de enfriamiento electrónico [33].

### 2.3.3 Materiales de carbono

Se ha evaluado la utilización de nanotubos de carbono [14, 34], grafeno [35], óxido de grafeno reducido [15] incluso nanopartículas de diamante debido a su alta conductividad térmica (la más alta de cualquier material) y su insignificante conductividad eléctrica (0.01 nS/m) [36].

Nanotubos de carbono de paredes múltiples dispersos en agua destilada utilizados en un termosifón y un colector solar de placa plana de circulación forzada muestran una mejora de la eficiencia exergética y la eficiencia energética del sistema [13].

Un nano-refrigerante preparado con nanopartículas de grafeno tiene un coeficiente de fricción más bajo y una conductividad térmica más alta. La adición de 30 mg/L de grafeno a un refrigerante de un refrigerador doméstico incrementa la velocidad de enfriamiento del compartimento de alimentos frescos en un 5.6% y la velocidad de enfriamiento del congelador en un 4.7% [37].

Nanofluidos híbridos a base de carbón activado-óxido de grafeno/etilenglicol mostraron un aumento de la conductividad térmica en comparación con el fluido base, además la conductividad eléctrica también muestra un aumento significativo [36].

### 2.3.4 Materiales MOF

Las estructuras metal-orgánicas (MOF) son materiales porosos con arreglos espaciales ordenados de aspecto cristalino y están formados por ligantes orgánicos y iones o cúmulos metálicos. Este tipo de compuestos han sido estudiados durante algunas décadas, debido a los diversos campos de aplicación en donde se han involucrado [38].

La variedad topológica de los MOFs se debe a las múltiples combinaciones posibles entre los nodos metálicos y los distintos tipos de ligandos. Existen distintas formas de definir la dimensionalidad de estos materiales. Por ejemplo, Férey los definió en función exclusivamente de la dimensionalidad de las subunidades inorgánicas. [39] Sin embargo, la clasificación más utilizada actualmente se basa en la dimensionalidad de la red híbrida resultante de la coordinación entre el catión y el ligando, creando así estructuras monodimensionales (1D, cadenas), bidimensionales (2D, láminas) y tridimensionales (3D, redes), como puede observarse en la Figura 2. Estas estructuras, a su vez, pueden establecer interacciones débiles entre las cadenas 1D o planos 2D, generando motivos 3D.

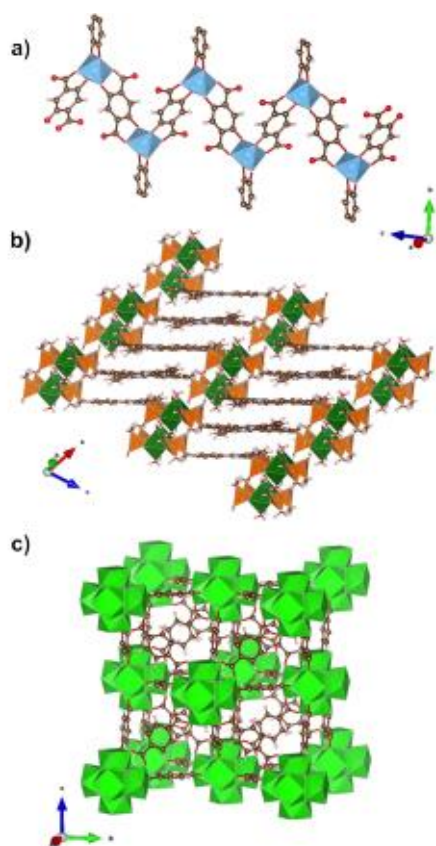


Figura 2: Estructura 1D del MIL-168 (a), 2D del IEF-13 (b) y 3D del UiO-66 (c)

### 2.3.4.1 Aplicaciones

A lo largo de los años el estudio de nuevas estructuras metal-orgánicas MOF ha ido en aumento, por tal motivo es importante conocer los avances y aplicaciones que se han tenido tanto en el área de la electricidad como en el desarrollo tecnológico.

Los MOF tienen varios campos de aplicación como por ejemplo en almacenamiento y separación de gases, como materiales con propiedades ópticas, conductoras y magnéticas, como sensores químicos, y como catalizadores en catálisis heterogénea y fotocatalisis, y en biomedicina para la administración de fármacos, en la Figura 3 se representan algunas de estas aplicaciones [40].

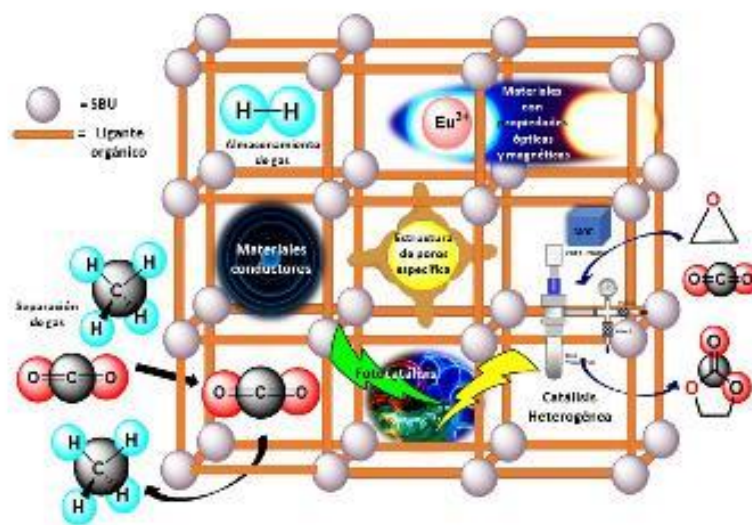


Figura 3: Representación esquemática de diferentes aplicaciones de los MOF

#### 2.3.4.1.1 Materiales Conductores.

En el ámbito de los conductores eléctricos se busca el transporte eficiente de electrones, por lo que una forma efectiva de promover la deslocalización de electrones en los MOF es a través de la deslocalización electrónica a lo largo de sus enlaces, mediante la resonancia de electrones de tipo p como ocurre en los enlaces de compuestos aromáticos [41]. El MOF Cu, contiene dos tipos de centros metálicos de cobre con geometría cuadrada plana y es capaz de conducir hasta  $6 \times 10^{-4}$  S/cm (unidades de conducción electrolítica) comportándose como un semiconductor.

En 2012, Gándara y colaboradores [42] demostraron los beneficios de introducir iones de  $\text{Fe}^{2+}$  en la síntesis de materiales conductores, observando que un MOF de Fe es capaz de conducir hasta  $7.7 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$  a temperatura ambiente. Posteriormente también se introdujeron elementos como  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  utilizando como ligante orgánico el 1,2,3-triazol para la formación de MOF.

A lo largo de este trabajo se buscara con iones similares demostrar que debido a la flexibilidad de composición de los MOF pueden ser usados como aislantes para el uso en transformadores eléctricos

#### *2.3.4.1.2 Materiales Magnéticos.*

Los materiales magnéticos moleculares han demostrado tener cierto interés debido a su potencial aplicación en almacenamiento de información de gran densidad y en dispositivos electrónicos a nanoescala, los MOF debido a la incorporación de metales paramagnéticos o ligantes orgánicos paramagnéticos, que cuentan con electrones desapareados, dan la posibilidad de crear materiales magnéticos [40].

## Sección 2.4 : Fluidos Base

Agua, aceite, alcohol, querosene son algunos de los líquidos base utilizados para la elaboración de nanofluidos.

El agua y los glicoles son los líquidos base más estudiados, los glicoles como el etilenglicol y el propilenglicol tienen puntos de congelación más bajos que el agua y se utilizan solos o en mezcla con el agua. Por lo general se han utilizado tanto etilenglicol como propilenglicol [21] debido a que están disponibles de manera muy accesible y tienen costos razonables. A más del agua y los glicoles se utilizan también aceite de motor, querosene, aceite vegetal, parafina, entre otros.

Los fluidos convencionales de transferencia de calor, como el agua y el aceite, tienen baja conductividad térmica, lo que es un impedimento para mejorar la eficiencia de todos los intercambiadores de calor [20].

Como una alternativa a los lubricantes convencionales han surgido los bio lubricantes, que son menos tóxicos que los aceites minerales, sin embargo, las propiedades lubricantes de los bio-lubricantes son ligeramente menores que las de los aceites minerales y tienen una pobre estabilidad oxidativa que restringe su uso a temperaturas elevadas, el aceite de salvado de arroz [28] es uno de los fluidos base usado para obtener lubricantes biodegradables.

## Sección 2.5 : Estabilizadores

Si bien los nanomateriales son considerados materiales con dimensiones en la escala de 1 a 100 nm, dentro de este rango por los diferentes procesos de síntesis se pueden obtener diferentes tamaños de nanopartículas. La forma, el tipo y el tamaño de las nanopartículas son factores clave en la estabilidad de los nanofluidos y tienen un impacto directo en el período de estabilidad, así como, en el tipo y la naturaleza del líquido base utilizado [20].

El desafío en la preparación de nanofluidos es obtener una suspensión estable evitando la aglomeración de las nanopartículas, ya que la conductividad térmica depende de la estabilidad de la dispersión las nanopartículas adicionadas, la deposición de las nanopartículas reduce la conductividad térmica de los nanofluidos y por tanto la transferencia de calor [20].

Es necesario que las nanopartículas permanezcan en suspensión por un considerable lapso de tiempo, sin embargo, debido a su gran área superficial e inestabilidad por efecto de la no saturación de los átomos más externos estas tienen una alta tendencia a aglomerarse por acción de las fuerzas de Van der Waals [13], especialmente cuando estas dominan sobre las fuerzas de repulsión. La agregación de las nanopartículas puede provocar la posterior sedimentación y generar problemas durante la operación de los equipos en los cuales se utilicen estos nanofluidos.

La variable clave para lograr un nanofluido estable es evitar la aglomeración, la cual se puede lograr mediante tratamiento físico o químico. En el tratamiento físico la dispersión se puede lograr de manera mecánica a través del uso de ultrasonidos [35], sin embargo, se ha demostrado que el uso de vibración ultrasónica para formar una suspensión estable de nanopartículas puede producir una suspensión que no es completamente estable [20], otra manera de lograr la dispersión es variar o generar carga superficial en las nanopartículas de tal manera que se produzca la repulsión por carga evitando la aglomeración.

La dispersión química se realiza mediante la adición de surfactantes o polímeros [24, 35] o mediante la variación del pH del medio. La adición de surfactantes (Figura 4) permite mejorar la estabilidad de las nanopartículas y por tanto la conductividad térmica y la transferencia de calor [24].

Los tensioactivos son generalmente compuestos orgánicos que reducen la tensión superficial entre dos líquidos o un líquido y un sólido, la estabilidad del nanofluido depende del tensioactivo utilizado [20].

Si bien la tendencia es que la adición de surfactantes en los nanofluidos conduce a una mejora en su estabilidad, la presencia de estos puede también disminuir la conductividad térmica [20, 24], en especial cuando se aumenta su concentración debido a que se forma una capa delgada sobre las nanopartículas que dificulta el rendimiento de la transferencia de calor del nanofluido [24].

<b>SURFACTANTES MAS COMUNES</b>
Goma Arabica
Oleato de Potasio
Acido Oleico
Dodecil Betaina
Salicilato de Sodio
Desoxicolato de sodio
Triton X-100
Polisorbato 20
Polisorbato 80

*Figura 4: Surfactantes más comunes.*

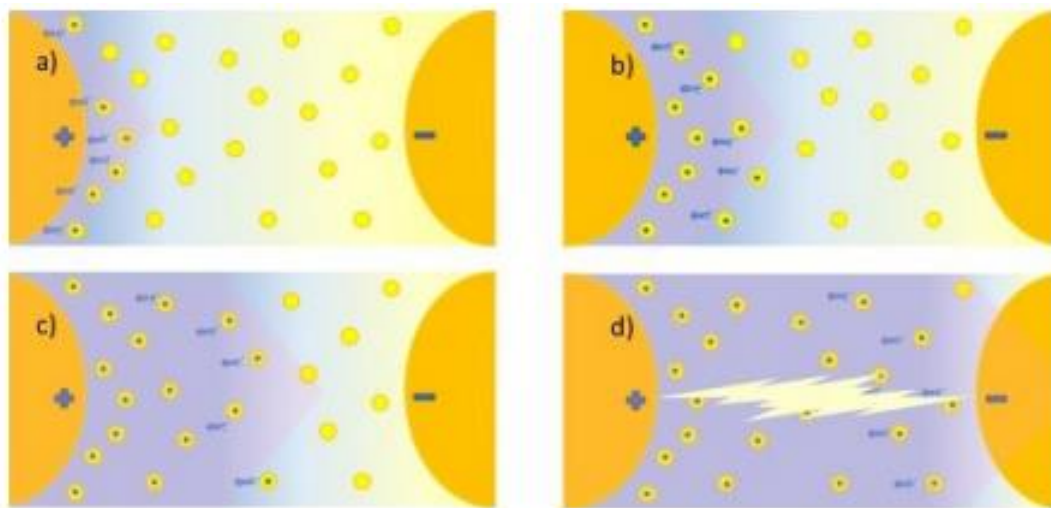
## Sección 2.6 : Estudio de Rigidez Dieléctrica

Ante la aplicación de nanofluidos en la refrigeración de transformadores de potencia, surgió naturalmente la necesidad de caracterizar sus propiedades dieléctricas. Los fluidos refrigerantes dieléctricos deben poder soportar tensiones superiores a los valores nominales del equipo para garantizar el funcionamiento y la seguridad de los componentes en caso de fallo eléctrico.

Se espera que esta capacidad disminuya en los nanofluidos dieléctricos en comparación con los fluidos base, debido a la presencia de nanopartículas, como ocurre cuando los aceites de transformadores no se prefiltran de acuerdo con los estándares recomendados o con micropartículas. Las nanopartículas suelen ser más conductoras de electricidad que los aceites de transformadores, por lo que, en teoría, esto puede dañar la capacidad del fluido para obstaculizar o retrasar descargas y corrientes

Sin embargo, los resultados en la práctica fueron inesperadamente buenos, lo que despertó el interés en este campo de la nanotecnología. Esta mejora en las propiedades dieléctricas se observó utilizando muchas de las diversas pruebas disponibles.

La rigidez dieléctrica representa la capacidad del fluido dieléctrico de soportar voltaje sin la formación de un canal conductor a través del cual se pueda establecer una corriente eléctrica. Esta capacidad no es constante; Depende de la magnitud del campo eléctrico, ya que podría ser suficiente para promover la ionización de las moléculas del fluido y el posterior calentamiento y formación de gas, lo que finalmente se traduce en la mejora de la conductividad eléctrica, representada en la Figura 5. Durante la ionización, se crean cationes lentos y electrones rápidos (a); los electrones tienden a migrar hacia el ánodo o polo positivo, mientras que los cationes crean una zona cargada positivamente. Si se cumplen las condiciones, esto podría mejorar el campo eléctrico local, promoviendo una mayor ionización en el entorno y proporcionando retroalimentación a este proceso (b); esto da como resultado que la zona conductora se extienda en el fluido, un efecto conocido como flujo de electrones (c). Cuando se completa, queda disponible un canal conductor de iones y gas y se produce la descarga (d). La descarga se produce a partir de un voltaje determinado, dependiendo de la medios dieléctricos, conocidos como voltaje de ruptura (BDV).



*Figura 5: Proceso de ensayo de rigidez dieléctrica.*

Los estudios del BDV se han desarrollado mediante una gama limitada de pruebas, para ser representativos de todos los tipos posibles de falla dieléctrica. Esto incluye pruebas de voltaje de ruptura de corriente directa (DC) o alterna (AC), donde la muestras de dielectrico se someten a voltajes crecientes dentro de una celda hasta que aparece un arco eléctrico entre dos electrodos, de acuerdo con las normas IEC 60156 por un lapso de tiempo.

## 2.6.1 Norma IEC60156

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) define un único método para la prueba de voltaje de ruptura dieléctrica de aceites. Esta es la IEC 60156 Líquidos aislantes – Determinación del voltaje de ruptura a frecuencias de alimentación – Método de prueba.

IEC 60156 especifica el uso de electrodos esféricos o con forma de hongo que son los mismos usados en la norma ASTM D1816. La norma IEC difiere en varios puntos de la D1816, pero la diferencia principal es que la norma IEC permite el uso opcional de un impulsor para agitación, el uso de un agitador magnético de bolas o sin agitación. La norma especifica que no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre pruebas con o sin agitación. El uso de un agitador magnético se permite solamente cuando no hay riesgo de remover partículas magnéticas de la muestra de aceite bajo prueba. Cuando el aceite se usa como refrigerante y por lo tanto al circularlo, se agitará durante la prueba. Por ejemplo el aceite de un transformador normalmente circula si se usa como refrigerante, de modo que una muestra de aceite tomada en este caso normalmente se agitará para asegurar la mejor probabilidad de detectar contaminación por partículas.

El aceite de un interruptor de circuitos se usa normalmente en forma estática de modo que las partículas caerán naturalmente al fondo, donde es improbable que causen problemas. De modo que en aplicaciones estáticas una muestra de aceite no será agitada. Los valores de ruptura dieléctrica del método IEC 60156 son usualmente más altos que los de los métodos ASTM. Posiblemente esto se debe en parte a las diferencias de velocidad de subida de rampa y separación de electrodos cuando se compara con D1816, y de forma de electrodos cuando se compara con D877. (La forma del electrodo IEC provee un campo eléctrico más uniforme). El resultado es que para transformadores bien mantenidos los voltajes de ruptura pueden ser mayores que los 60 kV que puede alcanzar el instrumento de prueba

Esto puede no ser un problema cuando se evalúa aceite nuevo de un proveedor, o aún aceite en uso, pero con frecuencia se requiere un valor real de voltaje de ruptura. Cuando se prueba con IEC 60156, por lo tanto, es recomendable el uso de un instrumento capaz de aplicar un voltaje mayor. Tal como con D1816, el gas disuelto en la muestra de aceite puede reducir los valores de ruptura, pero el efecto es mucho menos pronunciado que con la norma IEC 60156.





Normas		ASTM D1816	ASTM D 877		IEC 60156
			Procedimiento A	Procedimiento B	
ORIGEN		EE.UU	EE.UU	EE.UU	EUROPA
Electrodos	Forma				
	Tamaño de separacion	2 mm o 1 mm	2,45mm	2,45mm	2,5mm
Agitacion aceite	Impulso	Si	Sin agitacion	Sin agitacion	Opcional
	Bola magnetica	Sin opcion			Opcional
Voltaje de Prueba	Velocidad de subida	0,5 Kv/s	3 Kv/s	3 Kv/s	2 Kv/s
	Frecuencia	45-65	45-65	45-65	45-62
Rupturas	Definicion	< 100 V	< 100 V	< 100 V	4 mA durante 5 ms
	Cantidad de secuencias	5	5	1-5 muestras dierentes	6
	Tiempo entre Rupturas	1 a 1,5 min	1 min	n/a	2 min

Figura 6: Especificaciones de norma para ensayo de rigidez dieléctrica

## 2.6.2 Tensión de Ruptura Norma IEC60156

IEC 60156 usa valores de aceptación que están contenidos en dos normas adicionales, IEC 60296 y IEC 60422.

**IEC 60296** – Fluidos para aplicaciones electrotécnicas — Aceites minerales aislantes sin uso para transformadores y elementos de conmutación. Como su título lo indica, esta norma se aplica solo a aceite nuevo sin uso tal como se lo recibe del fabricante, que debe tener un voltaje de ruptura dieléctrica de 30 kV o más, determinado usando el método de prueba de IEC 60156. El aceite que ha sido filtrado al vacío en un laboratorio debe tener un voltaje de ruptura dieléctrica mínimo de 70 kV

**IEC 60422** – Aceites minerales aislantes en equipos eléctricos – Guía para supervisión y mantenimiento. Esta norma prescribe los valores de ruptura dieléctrica aceptables para aceite nuevo (después del llenado pero antes de energizar) y para aceite en servicio. Los valores son:

Aceites nuevos	
Voltaje del equipo	Voltaje de ruptura dielectrica
>72,5 kV	>55 kV
>72,5 kV >170 kV	>60 kV
> 270 kV	>60 kV

Figura 7: Valores de tensión normados EDP aceites nuevos

<b>Aceites en servicio</b>	<b>Voltaje de ruptura dielectrica</b>		
<b>Voltaje del equipo</b>	<b>Bueno</b>	<b>Aceptable</b>	<b>Pobre</b>
>72,5 kV	>40 kV	30-40 kV	>30 kV
>72,5 kV >170 kV	>50 kV	40-50 kV	>30 kV
> 270 kV	>60 kV	50-60 kV	>50 kV

Figura 8: : Valores de tensión normados EDP aceites usados.

La IEC recomienda que si los valores están en el rango “aceptable”, las pruebas se deben realizar con mayor frecuencia, y que los resultados de las pruebas se deben comparar con otros métodos de prueba. Si los resultados de prueba están en el rango “pobre”, el aceite se debe llevar nuevamente a un estado aceptable por medio de un reacondicionamiento. Esto puede requerir, por ejemplo, el filtrado y secado del aceite.

### 2.6.3 Situaciones especiales.

Siguiendo esta línea e intentando comprobar el comportamiento de los nanopartículas, nos remitimos a la literatura y se puede apreciar que tampoco en todos los casos los resultados fueron positivos [26]; Estos casos muestran que, a partir de un voltaje determinado, los nanofluidos cambiaron su comportamiento y sus descargas parciales. Pasó de ser más pequeño a ser más grande que los fluidos base en las mismas condiciones.

#### 2.6.3.1 Modificación dieléctrica.

El proceso de modificación dieléctrica debido a nanopartículas conductoras, semiconductoras y aislantes se explica a continuación. La razón principal de la mejora de la resistencia a la descomposición es la captura de electrones por parte de las nanopartículas. Básicamente, las nanopartículas actúan como buscadores de electrones dentro del aceite base. Cuando se aplica un campo eléctrico, las nanopartículas se polarizan rápidamente como se muestra en la Figura 9



Figura 9: Cambio de polarización de nanopartícula sometida a campo eléctrico.

En la Figura 10 se representa que la carga general en la zona de ionización se neutraliza debido a este efecto, ya que las moléculas del fluido base cargadas positivamente (puntos amarillos) son compensadas por las nanopartículas cargadas negativamente (puntos grises).

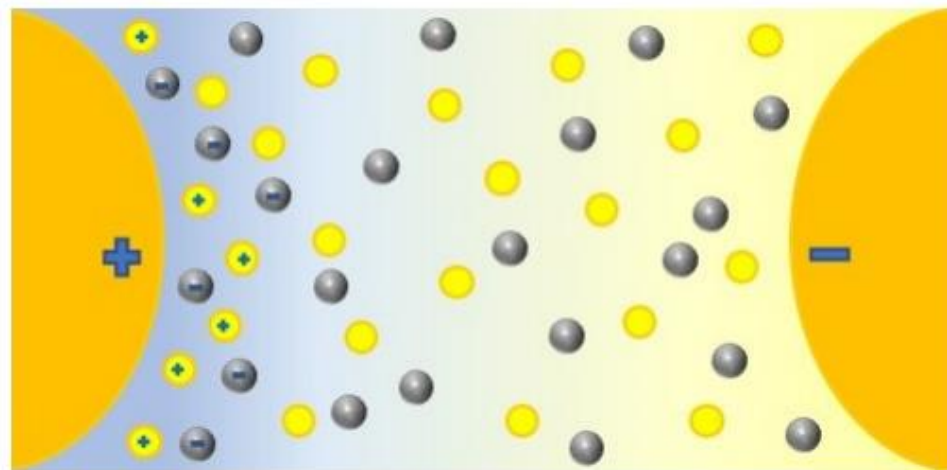


Figura 10: Captación de electrones en nanopartículas en ensayo rigidez

En consecuencia, los electrones de movimiento rápido generados en campos altos son capturados por las nanopartículas y luego liberados rápidamente, transformándose en partículas cargadas negativamente que se mueven más lentamente. Esto aumenta la tasa de caída de la carga y reduce efectivamente la movilidad de los electrones cargados. Como resultado, se dificulta la propagación del flujo, mejorando así la resistencia a la rotura. Se propone un modelo que desempeña un papel fundamental en la modificación dieléctrica. En este modelo, la constante de tiempo de relajación ( $\Gamma_r$ ) del sistema (nanopartícula/aceite) se determina utilizando la fórmula proporcionada en la ecuación. (1).

$$\Gamma r = \frac{2\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2\sigma_1 + \sigma_2} \quad (1)$$

Según la ecuación 1, las partículas con mayor conductividad ( $\sigma_2$ ) y permitividad reducida ( $\varepsilon_2$ ) serían más adecuadas para su aplicación en fluidos con base dieléctrica, cuyas propiedades ( $\sigma_1$  y  $\varepsilon_1$ ) también afectan a la constante. En segundo lugar, cuanto más profundos sean los pozos, más difícil será escapar de los electrones y mayor será su capacidad, estando así relacionado con el tamaño de las nanopartículas, aunque las partículas más grandes presentan pozos más profundos .

Como se explicó anteriormente, el campo eléctrico aplicado produce electrones rápidos, que polarizan rápidamente las nanopartículas. Las nanopartículas magnéticas como el Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> [28], al tener una constante de tiempo baja, capturan estos electrones rápidos en el aceite del transformador y reducen su movilidad. Esto da como resultado una mayor caída de potencial a lo largo de la longitud de la cinta, mejorando así la resistencia a la rotura. En consecuencia, la adición de nanopartículas magnéticas mejora el rendimiento dieléctrico.

### *2.6.3.2 Puentes de nanopartículas eléctricamente conductoras.*

En uno de los casos analizados, la concentración óptima desde el punto de vista de la rigidez dieléctrica se alineó con la de la corriente máxima estimulada térmicamente [28]. Esto puede incluso llevarse al extremo cuando la agregación conduce a la formación de “Puentes de nanopartículas eléctricamente conductoras”. (Figura 11) hasta el punto en que la tensión de ruptura del nanofluido es más bajo que el del fluido base . Otra razón podría ser el hecho de que estos agregados cargados mejoran el campo eléctrico local, promoviendo la aparición de caminos de circulación de corriente.

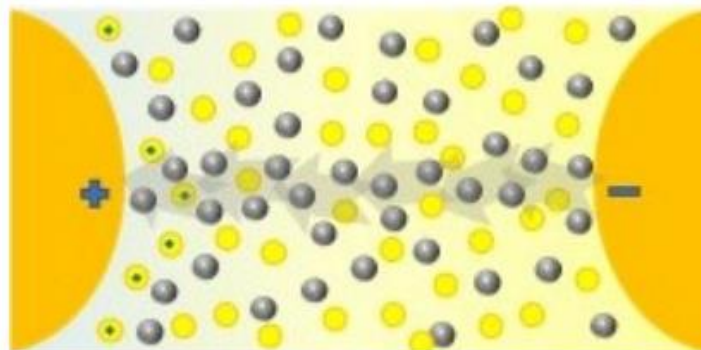


Figura 11: Conductividad por alta concentración de nanopartícula

El concepto de relajación dieléctrica se compone de diferentes parámetros interdependientes que juntos construyen una alternativa no destructiva para las pruebas de rigidez dieléctrica utilizando mediciones de tensión de ruptura, como la espectrometría de relajación dieléctrica. Esto se basa en la polarización de muestras con campos eléctricos dependientes del tiempo, lo que causa anisotropía y finalmente afecta la permitividad relativa o constante dieléctrica, la resistividad volumétrica y el factor de disipación dieléctrica, los cuales están controlados. En realidad, se utiliza más como complemento que como alternativa, ya que la mayoría de investigadores aplican ambas técnicas, aunque no siempre de forma completa.

La resistividad (y su opuesta, la conductividad) se había estudiado en función de la frecuencia [25], [26]; la resistividad disminuye a medida que aumenta la frecuencia. Los resultados obtenidos de las pruebas con nanofluidos dieléctricos térmicos no fueron concluyentes, ya que presentan tanto aumentos como disminuciones [25] en conductividad, y mientras que la resistividad se mantuvo aproximadamente constante en las frecuencias nominales [26], en frecuencias cortas registraron resistividades más altas. que los fluidos base [25], [26]. Esto podría explicarse por la cantidad de electrones lanzados en ciclos cortos o altas frecuencias, ya que las partículas podrían no ser capaces de capturarlos por completo [25],[26].

La constante dieléctrica, que representa la capacidad de un material de polarizarse, aumenta con la presencia de nanopartícula y a medida que aumenta la frecuencia [25] , [26]. Las ecuaciones para su cálculo basadas en las propiedades y proporción de los componentes de los nano fluidos confirman esta tendencia, e indican que es mayor con partículas conductoras. Esto también parece depender del tamaño, ya que algunas teorías se relacionan con partículas más pequeñas con permitividades más altas [26].

## Sección 2.7 : Estudio de U.V visible

### 2.7.1 introducción

Aunque los nanomateriales son difíciles de ver, su interacción con la luz permite obtener información clave sobre ellos. Por eso, la espectroscopía UV-Vis se ha convertido en una técnica fundamental para su caracterización.

Esta técnica consiste en hacer pasar un haz de luz a través de una muestra y medir cuánta luz se transmite. La diferencia entre la luz original y la que llega al detector indica cuánta luz ha sido absorbida. Al hacerlo en distintas longitudes de onda —desde el ultravioleta (UV), pasando por el visible — se obtiene un espectro de absorción que revela qué longitudes de onda absorbe con mayor eficacia el nanomaterial.

### 2.7.2 Espectroscopía UV-Vis

La espectroscopía UV-Vis, al igual que otras formas de espectroscopía, estudia cómo interactúan los materiales con la radiación electromagnética. Su particularidad es que se enfoca en longitudes de onda que rodean al espectro de luz visible, es decir, desde el ultravioleta (200–400 nm), pasando por el visible (400–800 nm).

Todos los materiales que no son completamente transparentes tienden a absorber, reflejar o dispersar ciertas longitudes de onda de la luz visible, lo cual determina su color. También interactúan con longitudes de onda en el UV . Por eso, esta técnica permite estudiar las propiedades ópticas de los materiales, identificando qué longitudes de onda son absorbidas, reflejadas o dispersadas. Además, ofrece información sobre otras propiedades relacionadas, como la estructura, la composición y las características electrónicas del material.

El funcionamiento de esta técnica consiste en iluminar una muestra con luz de longitudes de onda específicas y medir la intensidad de luz que atraviesa la muestra, conocida como transmitancia. La diferencia entre la luz emitida originalmente y la que llega al detector se interpreta como pérdida de intensidad, lo cual se atribuye a fenómenos de absorción, reflexión o dispersión, que en conjunto se denominan extinción.

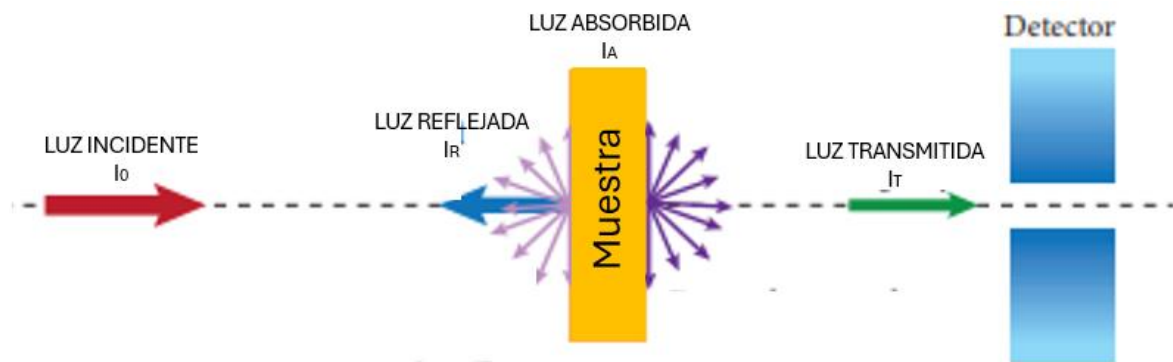


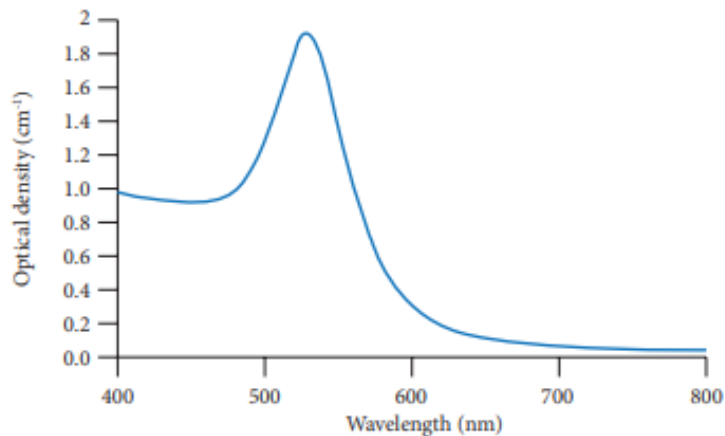
Figura 12: INCIDENCIA DE LA LUZ SOBRE LA MUESTRA

En muestras que no reflejan ni dispersan significativamente la luz (por ejemplo, sólidos oscuros o soluciones claras), se puede suponer que toda la luz que no llega al detector ha sido absorbida. En estos casos, la transmitancia se relaciona directamente con la absorbancia. Al realizar esta medición para un rango amplio de longitudes de onda, se obtiene un espectro de absorción, el cual muestra qué partes del espectro son absorbidas más eficazmente por la muestra.

### 2.7.3 Uso en nanopartículas metálicas.

Las nanopartículas metálicas presentan una propiedad óptica conocida como resonancia de plasmones de superficie localizada (LSPR), que ocurre cuando la luz UV o visible interactúa con los electrones libres en la superficie de las partículas. Esta interacción provoca una resonancia a ciertas frecuencias, lo que les permite absorber y dispersar luz de manera específica. Gracias a esta capacidad, estas nanopartículas se están aplicando en campos como la fotocatalisis, donde la luz impulsa reacciones químicas, y en la fabricación de electrodos transparentes para tecnologías como pantallas táctiles y ventanas inteligentes.

La frecuencia del LSPR depende de factores como el material, tamaño y forma de la nanopartícula. Estos parámetros determinan las longitudes de onda que la partícula puede absorber y, por lo tanto, permiten inferir sus propiedades ópticas mediante técnicas como la espectroscopía UV-Vis. Un pico de absorción estrecho indica una distribución uniforme de tamaños, mientras que un pico más amplio sugiere una mayor variedad. Además, la posición del pico puede indicar el tamaño relativo de las nanopartículas (las más pequeñas absorben a longitudes de onda más cortas), y la intensidad del pico está relacionada con su concentración.

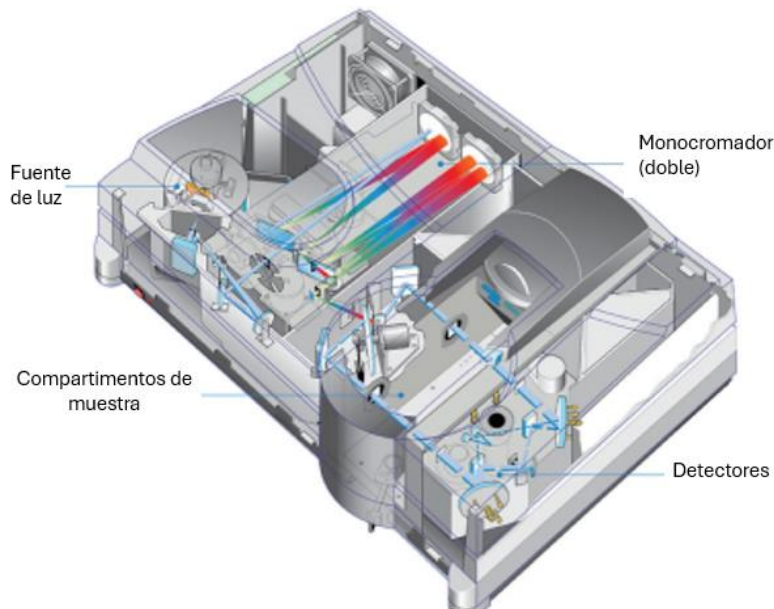


*Figura 13: ESPECTRO DE ABSORCION DE NANOPARTICULAS DE ORO 50 nm*

La espectroscopía también puede revelar si las nanopartículas están agregadas o si tienen moléculas unidas a su superficie, ya que ambos factores alteran el LSPR. Esta sensibilidad a cambios en el entorno hace que las nanopartículas metálicas sean útiles como sensores moleculares. Se han fabricado a partir de diversos metales, desde oro y plata hasta compuestos más complejos con hierro o titanio. A pesar de su diversidad, todas comparten la capacidad de interactuar con la luz gracias a sus propiedades metálicas y a la resonancia de sus electrones de superficie.

### 2.7.4 Espectrofotómetro UV-Vis

El espectrofotómetro UV-Vis es un instrumento analítico que mide la absorción de luz en un amplio rango del espectro electromagnético, desde el ultravioleta (UV) Su configuración estándar incluye una fuente de luz, un monocromador o rejilla de difracción para seleccionar longitudes de onda específicas, un sistema óptico para dirigir la luz hacia la muestra, y un detector que registra la intensidad de la luz transmitida. Para cubrir diferentes rangos espectrales, se emplean múltiples fuentes de luz: lámparas de deuterio para el UV, tungsteno o halógenas para el visible, y cada vez más, lámparas de xenón, que ofrecen mayor durabilidad y un rango más amplio de emisión.



*Figura 14: Espectrofotómetro componentes internos*

Los espectrofotómetros varían según el rango de longitudes de onda que pueden analizar. Algunos modelos se limitan a los rangos UV y visible (200–900 nm), mientras que otros se extienden profundamente en el NIR (hasta 3300 nm).

# CAPITULO 3 : ESTADO DEL ARTE

## Sección 3.1 : Primeras Referencias

Las referencias iniciales a la nanotecnología fueron presentadas en 1959 por el físico norteamericano Richard Feynmann en una conferencia titulada: *There's Plenty of Room at the Bottom*, en la cual vislumbró la posibilidad de manipular materiales a escala atómica y molecular:

*[...] Las leyes de la física, hasta donde yo puedo comprender, no nos prohíben la posibilidad de manipular la naturaleza átomo por átomo... no es un intento de violar ninguna ley [...] pero en la práctica, no se ha hecho porque somos muy grandes [...] los problemas de la química y la biología pueden ser en gran parte resueltos si nuestra habilidad para ver lo que estamos haciendo y para hacer cosas a nivel atómico finalmente es desarrollada [...] un desarrollo el cual creo que finalmente no puede ser evitado [...]*

El término "nanotecnología" fue usado por primera vez en 1974 por Norio Taniguchi, un investigador de la Universidad de Tokio, quien señalaba así la capacidad de manejar materiales a nivel nanométrico.

El rango de tamaño de mayor interés para la nanociencia y las nanotecnologías es de 100 nm o menos (aunque no se trata de una división estricta) debido a que en esa escala los materiales pueden realzar sus propiedades o adquirir otras totalmente diferentes.

El ser humano, en algunos casos, ha usado las "nanotecnologías" durante siglos, por ejemplo, nanopartículas de oro y plata se han utilizado como pigmentos colorantes para cristales desde el siglo X d.C. Dependiendo de su tamaño, dichas nanopartículas pueden parecer rojas, azules o doradas. El reto de los antiguos químicos era lograr todas las nanopartículas del mismo tamaño, lo cual, aún hoy, constituye un desafío para los modernos científicos.

## Sección 3.2 : Conceptos fundamentales

Las leyes que rigen la materia a escala nanométrica son distintas a las de la escala macroscópica. Las reglas que permiten entender el comportamiento de este "nanouniverso" están dadas por las leyes de la mecánica cuántica, la cual determina las propiedades de la materia cuando se ubican en el rango de interés de las nanotecnologías. Algunos principios fundamentales de la mecánica cuántica son:

- Que el intercambio de energía entre átomos y partículas solo puede ocurrir en paquetes discretos llamados *cuantos de energía*.
- Que las ondas de luz, bajo determinadas condiciones, se pueden comportar como partículas (fotones).
- Que en algunas circunstancias, las partículas se pueden comportar como ondas.
- Que es imposible conocer al mismo tiempo la velocidad y la posición exacta de una partícula, cuestión que se conoce como el *Principio de Incertidumbre* de Heisenberg.

El carácter discreto de los estados electrónicos en un sistema que consta de pocas decenas a unos cuantos cientos de miles de átomos es un elemento clave para controlar las propiedades de los materiales. Los cambios de geometría y de tamaño en un sistema o la alteración de las posiciones de los componentes provocan cambios significativos en la distribución o en el número de dichos niveles y da lugar a que las propiedades que caracterizan un objeto se transformen. Este hecho es de suma importancia ya que determina cómo la materia modifica las propiedades que posee a nivel macroscópico cuando su volumen se va reduciendo.

### Sección 3.3 : Producción de nanopartículas

En el presente hay una cantidad enorme de investigaciones en el mundo para perfeccionar, afinar y descubrir técnicas experimentales que produzcan nanoestructuras. Para generar materiales nanoestructurados se distinguen dos alternativas:

1) **Top-down** o de arriba-abajo: técnica que desarrolla las nanoestructuras "grabando" un bloque de material.

2) **Bottom-up** o de abajo-arriba: técnica en la que los materiales nanoestructurados se producen a partir de "nanobloques" de átomos o moléculas.

En el *top-down* se inicia con una pieza grande de material y a través de grabado o molienda se obtiene de ella una nanoestructura mediante la remoción del material; esto puede hacerse mediante técnicas de alta precisión como las litográficas que se han desarrollado durante los últimos treinta años para producir circuitos en microprocesadores y que se intenta mejorar para conseguir cada vez mayor precisión. Las técnicas *top-down* ofrecen confiabilidad y con ellas se obtienen dispositivos bastante complejos, sin embargo tienen la desventaja de requerir mucha energía y generar desperdicios, aun así con ellas se pueden fabricar *chips* para computadora, láseres, espejos de alta calidad óptica, etc.

Las técnicas *bottom-up* se refieren a la construcción de estructuras átomo por átomo o molécula por molécula, mismas que, para una mejor revisión podemos separar en tres partes:

a) **Síntesis química.** Método para producir materias primas como moléculas o partículas, que se puedan utilizar directamente como productos o bien, para fabricar materiales más avanzados o complejos.

b) **Autoensamble.** Técnica en la que, los átomos o moléculas se ordenan a sí mismas dentro de nanoestructuras mediante interacciones físicas y/o químicas entre las unidades básicas.

El autoensamble ha ocurrido en la naturaleza durante todo el tiempo, pues es la base de la formación de todo organismo vivo, de los cristales de sal y de los copos de nieve. Su uso en la industria es relativamente nuevo, produce pocos desperdicios y utiliza poca energía. Pero, hasta hoy, a través de esta técnica solo se pueden crear sistemas muy simples y rudimentarios, y para mejorarlos es necesario perfeccionar los conocimientos en procesos termodinámicos y cinéticos a nivel nanométrico.

c) **Ensamble posicional.** Los átomos, moléculas o sus agregados son manipulados deliberadamente y posicionados uno por uno. Este método es extremadamente laborioso y no es conveniente como proceso industrial.

Las técnicas *bottom-up*, habría que señalar también, se utilizan para obtener productos que sirven como aditivos para cosméticos y combustibles.

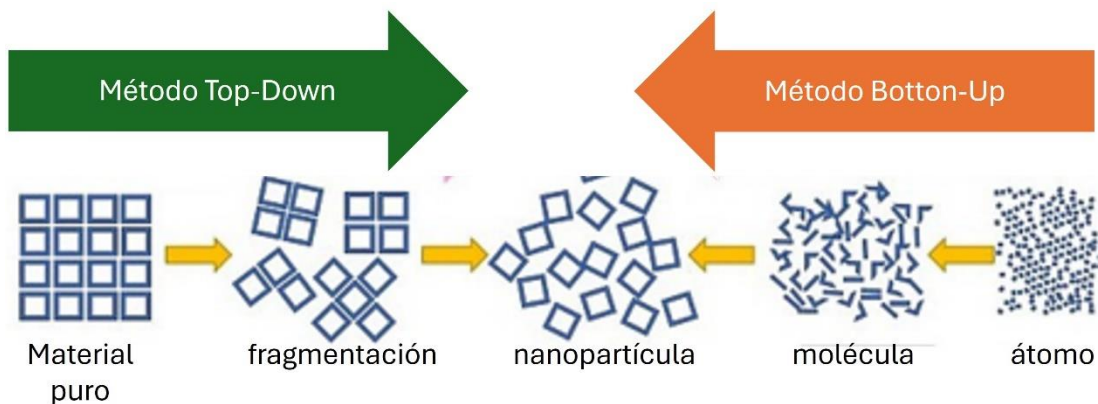


Figura 15: Métodos de síntesis de nanopartículas

### Sección 3.4 : Método de síntesis de MOF

Los MOF se pueden sintetizar utilizando varios métodos de química suave. En este sentido, la formación de dihidroxitereftalato de Cu (MOF-74) o imidazolato de Zn (ZIF-8) se puede observar a temperatura ambiente. Sin embargo, en general, la formación de MOF es un proceso endotérmico que requiere energía (en forma de calor, microondas, mecánica o ultrasonidos, etc.).

Uno de los métodos sintéticos más comunes es la síntesis en fase líquida a temperatura (por debajo o por encima del punto de ebullición del disolvente) con o sin agitación. La síntesis estática sin agitación a menudo da como resultado una mayor heterogeneidad tanto en la cristalinidad como en el tamaño de las partículas, lo que facilita la formación de cristales más grandes. Este método se utiliza a menudo cuando es necesario preparar grandes cantidades de material porque suele ser más fácil, económico y seguro ampliarlo.

Otro método ampliamente utilizado es el método hidrotermal/disolvente, que opera a alta presión, en un sistema de reacción cerrado y a temperaturas superiores al punto de ebullición. Aunque existen reactores que permiten la mezcla durante la reacción, suelen funcionar en modo estático. Además de producir a menudo partículas más grandes y/o dominios cristalinos más grandes, esto también permite lograr condiciones de temperatura y presión más altas. Estas condiciones más agresivas son necesarias en algunos casos para alcanzar ciertos hitos. Este es el caso de los MOF a base de cromo, que requieren temperaturas más altas en comparación con las fases isomórficas basadas en otros metales. Familias MIL-53,

MIL100 o MIL-101 en las que la temperatura de fabricación de estructuras de Cr<sup>3</sup> (200-220°C) es mayor que la temperatura de fabricación de estructuras de Fe (180, 150 y 100, respectivamente).

Para aprovechar las propiedades de más de un método, se suele usar la síntesis combinatoria, cuyo objetivo es acelerar el descubrimiento de nuevas fases MOF y optimizar las condiciones de síntesis (minimizando tiempo y recursos: ligandos, metales, disolvente, etc.) y las capacidades de caracterización. Diagrama de fase preciso entre fases topológicas. Además, el calor por convección (generalmente en un horno) se puede reemplazar por un microondas o una fuente ultrasónica, que es mucho más uniforme y tiene tiempos de respuesta extremadamente cortos (generalmente días/horas o minutos).

Por un lado, las altas velocidades de calentamiento en presencia de puntos de alta energía distribuidos de manera muy uniforme permiten el acceso a nuevas fases y un control preciso del tamaño y la distribución de las partículas.[11]

Otra forma de proporcionar la energía necesaria para que se produzca una reacción es transfiriendo energía mecánica. Ejemplos de mecanismos de síntesis de MOF incluyen los carboxilatos de Zr(IV) UiO-66 y NU901, varios imidazolatos de Zn(II) o Co(II) y el trimesato de Cu(II) HKUST-1.

La síntesis de MOF se puede lograr incluso cuando se aplica voltaje en condiciones adecuadas. Este método no solo es útil para cultivar materiales depositados en electrodos, sino que también es útil para la síntesis a gran escala de MOF (BASF utiliza este método para preparar algunos MOF comerciales).

Finalmente, otro método para sintetizar MOF es la difusión en fase gaseosa, que, a diferencia de los métodos descritos anteriormente, no requiere disolvente. Los precursores normalmente se calientan en un tubo de vacío para entrar en la fase gaseosa, donde reaccionan entre sí y precipitan en el mismo tubo.

---

# CAPITULO 4: SINTESIS Y CARACTERIZACION

---

La configuración final de un nanofluido, cualquiera que sea su finalidad, depende no sólo de una adecuada elección de sus componentes (fluido base, nanopartículas, tensioactivos) sino también de las condiciones durante la mezcla de los mismos.

Las características del fluido base o de la fracción sólida son tan cruciales como la forma en que se mezclan, ya que de ello depende si dichas características resultan de la manera deseada.

Los métodos de síntesis de nanofluidos a base de aceite de transformador se pueden clasificar en procesos de uno o dos pasos. En el método de un solo paso, las nanopartículas se preparan y dispersan en el aceite huésped simultáneamente. Este enfoque evita la necesidad de secar, almacenar y transportar por separado las nanopartículas, reduciendo así la aglomeración y mejorando la estabilidad de la dispersión de las nanopartículas en el aceite.

En esta configuración experimental, se crearon nanofluidos mediante un proceso de dos pasos descrito en la Figura 16. Los materiales empleados en la preparación de nanofluidos incluían nanopartículas 0,005 [gr] junto con ácido oleico que actuaba como tensioactivo y un líquido dieléctrico aceite mineral. Inicialmente, un 10% de oleico, La solución de ácido se preparó añadiendo 50 ml de ácido oleico a 450 ml de aceite aislante (el líquido portador) en un vaso de precipitados. Para garantizar una mezcla completa, se empleó un agitador magnético.

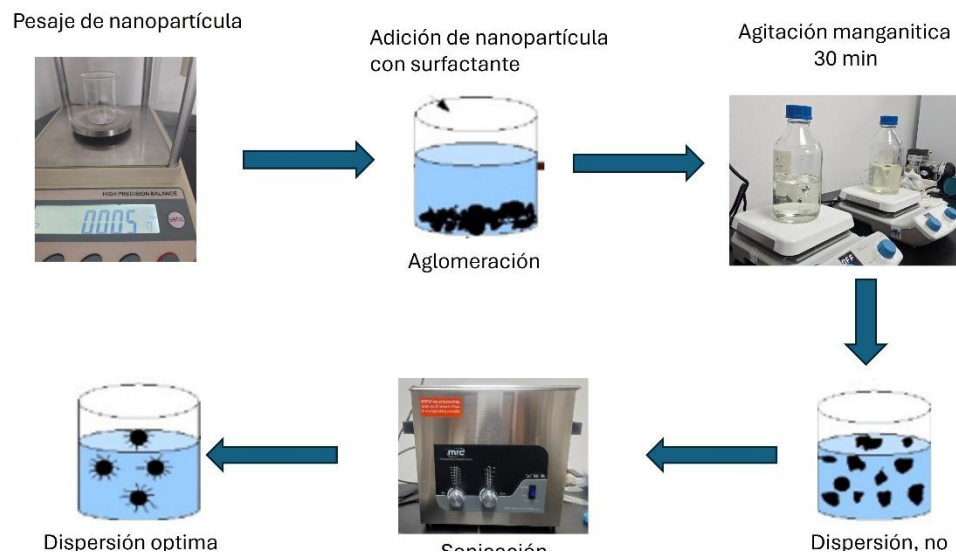


Figura 16: Metodo de 2 pasos.

Un agitador magnético, también conocido como mezclador magnético, es un equipo de laboratorio que utiliza un campo magnético giratorio para inducir el giro rápido de una barra agitadora sumergida en un líquido, agitando así de manera efectiva. Este campo giratorio puede generarse mediante un imán giratorio o mediante un conjunto de electroimanes estacionarios colocados debajo del recipiente que contiene el líquido. Se coloca una barra magnética dentro del vaso, que gira para garantizar una mezcla adecuada de la solución. Normalmente, el proceso de agitación dura aproximadamente 30 min. Una vez que la solución esté bien mezclada.

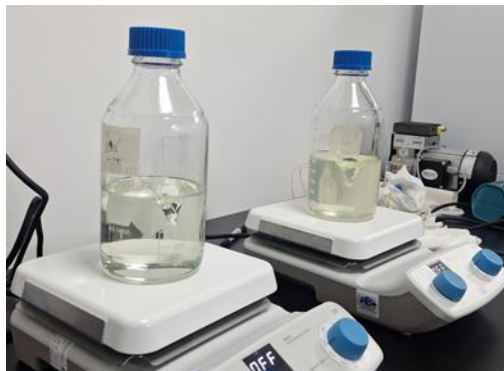


Figura 17: Agitador magnético

Durante la fase experimental, creé tres concentraciones distintas de nanofluidos para cada una de las tres nanopartículas. Las cantidades de nanopartículas utilizadas para lograr estas diferentes nanofluidos fueron 0,01 g/L.

Una vez que las nanopartículas se introducen en la solución, es esencial garantizar una mezcla completa, ya que tienden a sedimentarse en el fondo del vaso. Simplemente agitar la muestra no es suficiente para lograr una mezcla completa. Para dispersar las nanopartículas uniformemente por toda la solución, se emplea un tratamiento con baño ultrasónico. La sonicación, una técnica comúnmente utilizada en nanotecnología, es eficaz para lograr una dispersión uniforme de nanopartículas en líquidos. Además, sirve para romper agregados de partículas coloidales del tamaño de una micra.



Figura 18: Sonicador

En la literatura, se recomienda sonicación dura aproximadamente tres horas. Después de la sonicación, la solución se cubre de forma segura y se deja sin tocar durante un día. Es fundamental aislar completamente los nanofuidos para evitar la infiltración de humedad. La presencia de humedad en el aceite aislante puede comprometer gravemente la resistencia a la rotura.

---

## CAPITULO 5: RESULTADOS

---

### Sección 5.1 : Introducción

En el corazón de este proyecto nosotros buscamos establecer la posibilidad de contar con un nanofluido en base a MOFs, y que estos a su vez presenten una mejora respecto en cuanto la rigidez dieléctrica, al aceite ya utilizado.

Para esto lo primero que se hizo, fue aprender a trabajar con aceite mineral, ya que es fundamental el poder manipular este y así obtener los resultados esperados, esto queda mas claro adelante cuando veamos la importancia al momento del trasvasije entre elementos y el papel fundamental que cumple la oxigenación del líquido.

Para poder manipular aceites dieléctricos seguimos las siguientes recomendaciones:

Para que una muestra sea realmente útil, debe ser representativa del aceite que está en el equipo. Esto significa que la limpieza es extremadamente importante.

Si se enjuaga el vaso de prueba que se será utilizado en la muestra verificar que este seco y que no muestre ningún rastro de agua, es muy importante llenar de inmediato el vaso con la muestra de aceite que se va a probar. Cualquier demora significativa se traducirá en la absorción de agua desde el aire por la película de aceite de las paredes del vaso, y dado que las paredes tienen una superficie importante, esto contaminará la muestra de aceite y reducirá el voltaje de ruptura una vez que se mezcle con la muestra.

Vierta el aceite en el vaso en forma rápida y con mínima turbulencia a fin de no atrapar aire. Esto por el lado de la pared del vaso a fin de generar un flujo laminar del aceite.

Permita que la muestra repose unos minutos antes de la prueba para que se eliminen las burbujas de aire.

No deje que la muestra permanezca demasiado tiempo en el vaso antes de la prueba, ya que absorberá agua desde el aire en el espacio sobre la muestra. Esto reduciría el voltaje de ruptura

Al momento de utilizar el agitador magnético al aceite procurar que este no caiga de golpe y al momento de retirarlo hacerlo con delicadeza para que este salga en un solo movimiento y así no contaminar la muestra.

## Sección 5.2 : Aceite base

Este es quizás uno de los puntos más importantes en el estudio, y es el poder establecer el aceite base con el que trabajaremos, para ello ensayaremos 3 distintos aceites minerales por medio del ensayo de tensión de ruptura . Cada uno contara con 500 cc de aceite y entre ellos la diferencia será el nivel de tiempo de desgasificación que estos presentan y una leve descripción de cada uno:

**ACEITE LIMPIO TAMBOR :** En este caso se extrae directamente desde el tambor de aceite (Figura 19)

**ACEITE TAMBOR DESGASIFICADO:** Al igual que en el anterior lo extraemos del tambor pero se pasa por un pequeño periodo de desgasificación, lo que permite extraer parte de humedad presente en el aceite, por medio de una bomba y agitación( Figura 20).

**ACEITE DESGASIFICADO DESGASIFICADO:** En este caso no se extrae directamente desde el tambor, sino que desde el desgasificador que se utiliza en el laboratorio, donde por un periodo de más de 9 horas el aceite se somete tanto a temperatura como a agitación con extracción con bomba ( Figura 21) y luego se somete a desgasificación ( Figura 20) esto debido a que al momento de verter el aceite en el recipiente este podría re-gasificarse.



*Figura 19: Tambor de aceite dieléctrico*



Figura 20: Sistema de desgasificación



Figura 21: Desgasificador de laboratorio

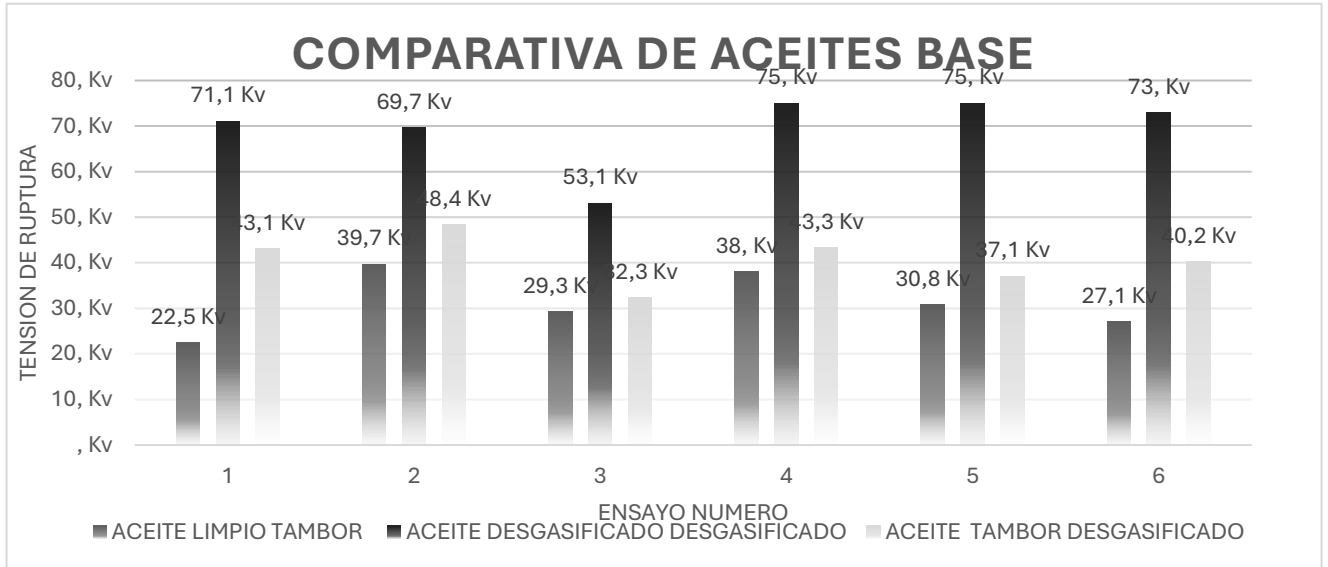
Obteniéndose los siguientes resultados:

ELECTRODOS DISTANCIA	2.5 mm
FRECUENCIA	60hz
TEMPERATURA	20°C
DESGASIFICACION	45 min

Figura 22: Condiciones iniciales de estudio de aceite

TIPO ACEITE\ N° MEDICIONES	ENSAYO DE ACEITE BAJO NORMA IEC 60156						valor medio
	1	2	3	4	5	6	
ACEITE LIMPIO TAMBOR	22,5 Kv	39,7 Kv	29,3 Kv	38, Kv	30,8 Kv	27,1 Kv	31,2 Kv
ACEITE TAMBOR DESGASIFICADO	43,1 Kv	48,4 Kv	32,3 Kv	43,3 Kv	37,1 Kv	40,2 Kv	40,7 Kv
ACEITE DESGASIFICADO DESGASIFICADO	71,1 Kv	69,7 Kv	53,1 Kv	75, Kv	75, Kv	73, Kv	69,5 Kv

Figura 23: Ensayo de dieléctrico de aceites base



*Figura 24: Comparativa grafica entre distintos aceites base*

Como es apreciable en la figura 24, a medida que se aumenta la desgasificación se obtiene un aceite dieléctrico mucho mejor esto establecido por la figura 7 donde se establece el valor consideración de un buen dieléctrico, pero esto también aumenta el tiempo de estudio y las limitaciones de utilización de este aceite en el taller. Consideremos que esta es la preparación solo del aceite base, sin preparar en nanofluido.

Otra consideración importante es el hecho de que el equipo para la medición de rigidez dieléctrica, tiene como valor máximo 75 Kv.

### Sección 5.3 : Nanofluido al 0,01% del peso

Luego de tener establecida cual serán los parámetros en los que se mueve el fluido base que buscaremos mejorar, debemos de definir cuál será la combinación que permita tener un nano fluido estable, este debe mantenerse mezclado de manera más homogénea.

En la literatura hay una serie de valores ya probados ejemplo de ello es el óxido de zinc, donde normalmente la concentración corresponde a un 0,01% de nanopartícula respecto al peso del aceite así como el ácido oleico corresponde al 2%. Generaremos estas mismas concentraciones para probar nuestras nanopartículas

Nano\Peso	Botella	Aceite	Nano partícula	Ácido Oleico	PESO TOTAL
Cero	586,0 [g]	414,0 [g]	,0 [g]	,0 [g]	1000,0 [g]
Nano Fe MO	586,0 [g]	414,0 [g]	,041 [g]	8,280 [g]	1008,321 [g]
Nano Cr	586,0 [g]	360,0 [g]	,039 [g]	7,308 [g]	946,039 [g]
Nano Ni	586,0 [g]	360,0 [g]	,038 [g]	7,368 [g]	946,038 [g]

*Figura 25: Pesos asociados a las distintas nanofluidos*

También algo en tener en considerar serán los tiempos del ciclo de generación de la nano partícula, en este caso solo se podían generar 2 nanofluidos de 500 cc en total por día. Donde por medio de ciclos alternados se agitara magnéticamente durante una hora y después sonicar durante 30 min, repetimos este proceso durante 3 veces en el día, ya que de manera experimental se pudo apreciar que la nano partícula si se integraba al fluido base. Luego esta se dejaba reposar durante la noche así apreciando si es que este decantaba o se integraba, y al día siguiente se sometía a un ciclo más antes del ensayo de rigidez dieléctrica.

Ciclo de Trabajo	PROCESO 1	PROCESO 2	PROCESO 3	Tiempo Total
Agitacion 1h	1500 [rpm]	1500 [rpm]	1500 [rpm]	3,0 [Hr]
sonicador 30 min	max	Max	Max	1,50 [Hr]

*Figura 26: Ciclo de trabajo día inicial*

CICLO -Dia siguiente	PROCESO 4	Tiempo Total
Agitación	1500 [rpm]	1,0 [Hr]
Sonicador	max	,50 [Hr]

*Figura 27: Ciclo de trabajo día siguiente*



Figura 28: Nanofluido estable generado en base a Ni y en base Cr

En este caso para poder optimizar los tiempos de trabajo, se usó dieléctrico directo del tambor ya que este presentaba la peor condición, y se uso bajo la norma IEC 60156.

RESULTADO RIGIDEZ DIELECTRICA								
NANO PARTICULA	1	2	3	4	5	6	Promedio	OBSERVACION
Cero	24,8 [kV]	31,6 [kV]	24,2 [kV]	28,1 [kV]	16,1 [kV]	23,1 [kV]	24,65 [kV]	
Nano FeMO	13,2 [kV]	11,6 [kV]	12,1 [kV]	13,5 [kV]	12,8 [kV]	12,5 [kV]	12,62 [kV]	Genera una unión
Nano Cr	14,1 [kV]	13,8 [kV]	13,8 [kV]	12,2 [kV]	12,9 [kV]	13,8 [kV]	13,43 [kV]	Genera una unión
Nano Ni	13,2 [kV]	13,5 [kV]	16, [kV]	13,7 [kV]	13,8 [kV]	14,5 [kV]	14,12 [kV]	

Figura 29: Primeros ensayos rigidez dieléctrica

Si observamos los valores de Figura 29 podremos ver que la inclusión de las nano partículas genero una disminución, en el valor que presenta la rigidez del dieléctrico sin la nanopartícula

Haciendo así que lo que ya era un mal aceite dieléctrico, terminé siendo uno muy malo, otro fenómeno que se observo es el que en secciones se describió como la posibilidad de generarse un puente con las nanoparticulas.



Figura 30: Puente post ensayo de rigidez dieléctrica.

## Sección 5.4 : Nanofluido al 0,001% del peso

Debido a los malos resultados presentes en los ensayos anteriores se decidió tomar como guía otras concentraciones en búsqueda de mejores resultados, todo esto basado en experimento con nanopartículas similares a las que se utilizan. También por una limitante que se presenta de la cantidad de nanopartícula que disponía.

Siendo estas las siguientes se reduce la concentración de 0,01% a 0,001% de parte de la nano partícula, y se aumenta el ácido oleico a ser 50 [ml] anteriormente usado casi 10 [ml].

Nano\ Cantidad	Aceite	Nano partícula	Ácido Oleico	TOTAL
Niquel	450 [ml]	,005 [g]	50 [ml]	500 [ml]
Cromo	450 [ml]	,005 [g]	50 [ml]	500 [ml]
FeMo	450 [ml]	,005 [g]	50 [ml]	500 [ml]

Figura 31: Segunda concentraciones a ensayar

También debido a que es menor la cantidad de nanopartícula a disolver, se disminuye el tiempo de preparación, basado en el misma investigación. La idea es aumentar el tiempo de sonicación ya que se ve que es una medida mas efectiva a la hora de integrar la nanopartícula al fluido.

Ciclo de trabajo	PROCESO 1	PROCESO 2	PROCESO 3	PROCESO 4	TIEMPO TOTAL
Agitacion 30min	1500 [rpm]				,50 [Hr]
Sonicador 30 min	Max	Max	Max	Max	2,0 [Hr]

Figura 32: Ciclo de trabajo segunda concentración

Al igual que el caso anterior se deja reposando durante la noche y antes de hacer las pruebas de rigidez dieléctrica, se somete a un ciclo de trabajo más.

CICLO -Dia siguiente	PROCESO 4	Tiempo Total
Agitacion 30min	1500 [rpm]	,50 [Hr]
sonicador 1 hr	Max	1,0 [Hr]

Figura 33: Segundo Ciclo de trabajo segunda concentración

Con este nuevo sistema se aprecia que la estabilidad del nanofluido al igual que el anterior, ya que no decanta.

En este ensayo también se utilizó la peor condición del aceite, el tiempo de preparación total fue 4 horas. Recordar que solo se pudo generar 2 nanofluidos por día. Lo que permite hacer un ensayo de rigidez dieléctrica.

RIGIDEZ DIELECTRICA NORMA D60156							
Nano Ni	17,9 [kV]	15,7 [kV]	17,5 [kV]	14, [kV]	20,5 [kV]	23,9 [kV]	18,25 [kV]
Nano Cr	14, [kV]	12,2 [kV]	12, [kV]	12,2 [kV]	13,3 [kV]	34,7 [kV]	16,4 [kV]
Nano FeMo	12,9 [kV]	16,2 [kV]	14, [kV]	12,1 [kV]	14,8 [kV]	12,8 [kV]	13,8 [kV]

Figura 34: Segundo estudio de rigidez dieléctrica.

Esta vez no se generaron los puentes en los nanofluidos durante el ensayo, aunque mejoro la rigidez de manera relativa aun así fue más baja que el aceite sin nanopartículas. Por lo cual en este caso de manera específica podemos decir que una menor concentración de nanopartícula y un aumento en el ácido oleico.

Ahora esto nos dice una vez más que la nanopartícula no ayudo a mejorar la rigidez, también saber cuál es la influencia que presenta el oleico para este estudio. Ya que la mejora podría llegar a deberse solo por la adición de ácido oleico.

## Sección 5.5 : Nanofluido con mayor desgasificación

Durante el desarrollo del estudio se realizaron distintas combinaciones de parámetros con la intención de mejorar la rigidez dieléctrica de los nanofluidos. En las pruebas previas no se lograron obtener resultados favorables, a pesar de que se habían considerado configuraciones que, en teoría, deberían haber ofrecido un mejor rendimiento. Además, se presentaron ciertas limitaciones prácticas, como el extenso tiempo requerido para preparar cada muestra (llegando a tomar hasta dos días por solo 500 ml) y el ruido constante generado por el sonicador, que dificultaba las labores en el laboratorio.

Nano/ Cantidad	Aceite	Nano partícula	Ácido Oleico	TOTAL
Nano Ni	450 [ml]	,005 [g]	50 [ml]	500 [ml]
Nano Cr	450 [ml]	,005 [g]	50 [ml]	500 [ml]
Nano FeMo	450 [ml]	,005 [g]	50 [ml]	500 [ml]

Figura 35: Concentraciones finales.

Frente a estas dificultades, y considerando que otros intentos no habían generado mejoras claras, se optó por ensayar una última combinación de parámetros. En esta ocasión, se decidió aumentar el tiempo de sonicación, pero incorporando un paso previo de seudodesgasificación, con el fin de reducir la presencia de humedad antes del proceso principal. Esta elección se basó en experiencias anteriores con aceites, donde este tipo de pretratamiento había demostrado ser útil.

Es importante señalar que, por cuestiones logísticas, el aceite utilizado continuó extrayéndose directamente del tambor de almacenamiento, ya que realizar una desgasificación completa (que implica un tratamiento de aproximadamente nueve horas) no era viable en este caso, tanto por limitaciones de tiempo como por la disponibilidad del recurso, el cual también es utilizado por otros investigadores.

Ciclo de trabajo	PROCESO 1	PROCESO 2	PROCESO 3	PROCESO 4	TIEMPO TOTAL
Agitación 30min	1500 [rpm]				,50 [Hr]
Sonicador 30 min	Max	Max	Max	Max	2,0 [Hr]

Figura 36: Ciclo de trabajo de concentraciones finales

Recordar también que estas son las mismas concentraciones que en el caso anterior, ya que presento mejoras y además dejo un valor estable en cuanto a las nanofluidos que se generaron. Donde se ve la gran diferencia en el proceso por el que se somete la muestra al día siguiente.

CICLO -Dia siguiente	PROCESO 4	Tiempo Total
Agitación/ Desgacificacion	850 [rpm]	2,50 [Hr]
Sonicador	Max	0,5 [Hr]

Figura 37: Ciclo de trabajo día siguiente concentración final.

En este proceso si podemos apreciar un gran cambio, ya que extienden el proceso de agitación que pasa de 30 min a 2 horas y media. Adicionado que este proceso la pseudodesgasificación cosa que en casos anteriores no se apreciaba.

Gracias a estas modificaciones se registraron los siguientes valores:

RIGIDEZ DIELECTRICA NORMA D60156						
	Dia 1					
Aceite Des	49,4 [kV]	46,6 [kV]	49,4 [kV]	52,7 [kV]	44,3 [kV]	40,5 [kV]
Nano Ac/Ao	54,4 [kV]	47,5 [kV]	62,1 [kV]	66,1 [kV]	65,2 [kV]	71, [kV]
Nano Ni	65,1 [kV]	52,3 [kV]	47,9 [kV]	61,2 [kV]	50,3 [kV]	55,3 [kV]
Nano Cr	66,6 [kV]	73,9 [kV]	68,8 [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]
Nano FeMo	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]

Figura 38: Valores de rigidez dieléctricas concentraciones finales Dia 1

Como se aprecia en la figura 38 los valores mejoraron mucho a aceite dieléctrico, respecto a valor base. Pasando según norma de un mal dieléctrico a uno muy bueno, ante estos resultados y la búsqueda de corroborar los valores se exige que se vuelva a repetir el proceso y que se corroboren los valores.

RIGIDEZ DIELECTRICA NORMA D60156						
	Dia 2					
Aceite Des	55, [kV]	51,2 [kV]	50,6 [kV]	49,7 [kV]	48,9 [kV]	53,2 [kV]
Nano Ac/Ao	49,6 [kV]	45,3 [kV]	52,2 [kV]	54,7 [kV]	70,2 [kV]	64,1 [kV]
Nano Ni	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]
Nano Cr	70,7 [kV]	66,9 [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	74,5 [kV]
Nano FeMo	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]	75, [kV]

Figura 39: Valores de rigidez dieléctricas concentraciones finales Dia 2

De estas dos tablas podemos obtener el siguiente resultado

Nanopartícula	Promedio	Mejora porcentual	Desviación	Desviación porcentual
Aceite Des	49,29 [kV]		3,98 [kV]	8%
Nano Ac/Ao	58,53 [kV]	19%	8,97 [kV]	15%
Nano Ni	65,18 [kV]	32%	11,19 [kV]	17%
Nano Cr	72,62 [kV]	47%	3,39 [kV]	5%
Nano FeMo	75, [kV]	52%	0, [kV]	0%

*Figura 40: Comparativa de rigidez dieléctrica de las distintas nanopartículas.*

A partir de la figura 40, es posible derivar una serie de conclusiones relevantes que pueden ser aplicadas en investigaciones futuras.

En primer lugar, resulta fundamental destacar la influencia del proceso de desgasificación en el comportamiento de los nanofluidos. Aunque dicho proceso no es completamente eficiente, se ha demostrado que un mayor grado de desgasificación mejora significativamente las propiedades del fluido. Esta tendencia ya había sido evidenciada en la etapa inicial del estudio, cuando se analizaron únicamente aceites base. No obstante, al incorporar nanopartículas, la importancia de la desgasificación se hizo aún más notoria, confirmando que es un factor crucial para obtener un nanofluido que cumpla con los estándares de calidad aceptables o incluso sobresalientes, conforme a la normativa vigente.

Otro aspecto relevante es la mejora observada al emplear el MOF FeMo en comparación con otras nanopartículas. El valor de rigidez dieléctrica alcanzado fue de 75 kV, que corresponde al límite máximo permitido por el equipo utilizado. Cabe destacar que en ninguna de las pruebas realizadas con esta configuración se registraron valores inferiores, lo cual contrasta con los resultados obtenidos previamente, donde el MOF FeMo presentaba uno de los valores más bajos. Esta diferencia puede explicarse por el cambio metodológico implementado, que permitió evitar la formación del denominado "puente dieléctrico", el cual anteriormente favorecía la polarización excesiva entre partículas, provocando una disminución en la rigidez dieléctrica del fluido. La ausencia de este fenómeno en el nuevo método contribuyó de forma significativa a la mejora observada.

Finalmente, es importante considerar el efecto del ácido oleico como agente estabilizador. Este aspecto es clave, ya que podría pensarse que la variación observada en la rigidez dieléctrica se debe exclusivamente a su presencia. Si bien el ácido oleico contribuye efectivamente a la mejora de esta propiedad, su impacto más significativo radica en su capacidad para prevenir la aglomeración de nanopartículas, promoviendo así la formación de un nanofluido más estable. Esta estabilización se ve potenciada por la interacción con las nanopartículas, dado que, aunque el ácido oleico por sí solo mejora la estabilidad, su efecto combinado con las nanopartículas genera un resultado superior.

## Sección 5.6 : Estabilidad de nanofluidos

En este estudio se analiza el comportamiento óptico de tres tipos de nanopartículas: un material tipo *metal-organic framework* (MOF), óxidos de hierro modificados (FeMO), y nanopartículas metálicas de níquel (Ni) y cromo (Cr), utilizando espectroscopía UV-Visible. Esta técnica permite observar cómo las nanopartículas absorben la luz en diferentes longitudes de onda, lo que proporciona información sobre sus propiedades físicas y químicas.

El análisis se divide en dos partes principales. Primero, se presentarán las gráficas de absorción UV-Visible de cada nanopartícula en conjunto, con el fin de identificar sus características principales. Luego, se compararán entre ellas para observar similitudes o diferencias en su comportamiento óptico.

En la segunda parte del estudio, se analizará la estabilidad de cada nanopartícula a lo largo del tiempo. Para esto, se registrarán y compararán sus espectros durante varias semanas, observando posibles cambios en sus gráficas que indiquen procesos como aglomeración, degradación o pérdida de funcionalidad. Este análisis permitirá evaluar qué tan estables son las nanopartículas en condiciones normales de almacenamiento.

### 5.6.1 Estudio de espectro de absorción

En esta instancia mostraremos las gráficas que se generaron por parte del Espectrómetro, con base a la formula final la cual cumple con los valores de ruptura dieléctrica.

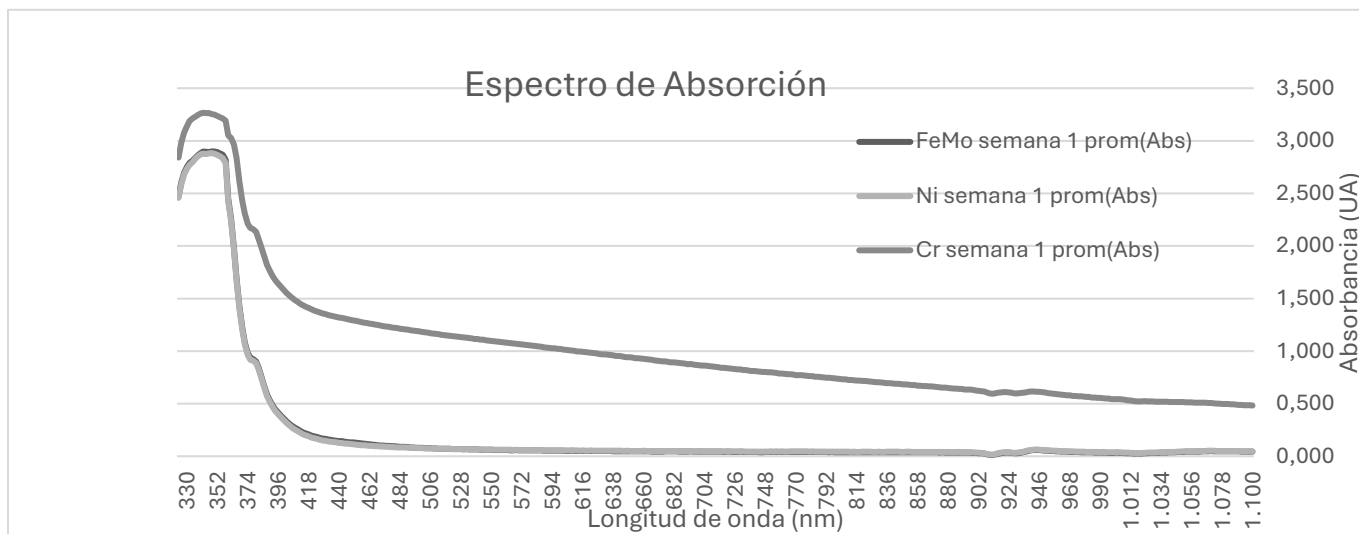


Figura 41: Espectro de absorción de los 3 nanofluidos en rango UV-VIS

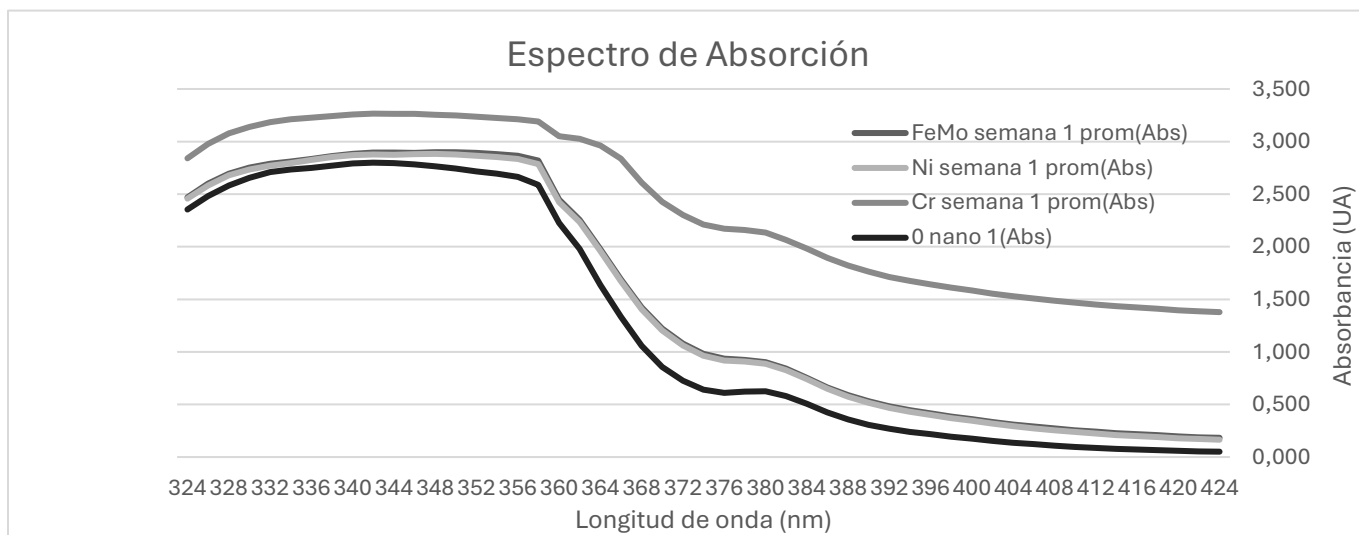


Figura 42: Espectro de absorción de los 3 nanofluidos en rango 324nm-424nm

En las Figuras 41 se muestra el espectro de absorción UV-Visible de los materiales tipo MOF sintetizados con iones metálicos de FeMo, Ni y Cr, junto con una muestra control sin metal ("0 nano"), todos medidos durante la primera semana.

Todos los materiales analizados muestran un pico amplio de absorción de luz en el rango de 340 a 360 nanómetros (nm), dentro de la zona ultravioleta del espectro. Este tipo de pico indica que las moléculas están absorbiendo energía en esa región específica.

En términos más técnicos, esta absorción se debe a transiciones electrónicas del tipo  $\pi \rightarrow \pi^*$ . Esto ocurre cuando un electrón de un enlace doble ( $\pi$ ) —común en moléculas orgánicas como los ligandos que forman parte del MOF— absorbe energía y salta a un nivel de mayor energía llamado orbital  $\pi^*$ . Cuanto más conjugada (es decir, con más enlaces dobles alternados) es la molécula, más pronunciada puede ser esta absorción.

Al comparar los diferentes materiales, se observa que el MOF con cromo (Cr) absorbe mucho más que los demás, alcanzando un valor de absorbancia superior a 3 unidades. Esto significa que este material bloquea más luz en esa región, lo cual puede estar relacionado con dos factores:

- Mayor cantidad de átomos metálicos (centros activos) presentes en el material, que favorecen estas interacciones.
- Interacciones electrónicas adicionales que no ocurren en los otros materiales. Por ejemplo, puede haber una transferencia de carga desde los ligandos orgánicos hacia el átomo metálico (llamada *Ligand-to-Metal Charge Transfer* o LMCT), que también absorbe luz y contribuye a aumentar la señal.

Por otro lado, los MOF basados en hierro-molibdeno (FeMo) y en níquel (Ni) tienen curvas muy similares entre sí, con un valor máximo de absorbancia cercano a 1,5 unidades. Esto sugiere que estos materiales absorben menos luz, posiblemente porque tienen menos centros metálicos activos o porque sus interacciones electrónicas son más simples.

Finalmente, se incluye una muestra denominada "0 nano", que corresponde a un material sin metal (control). Esta muestra muestra los valores más bajos de absorbancia, lo cual confirma que la presencia del metal en los MOF aumenta significativamente su capacidad de absorber luz ultravioleta.

## 5.6.2 Estudio de Estabilidad

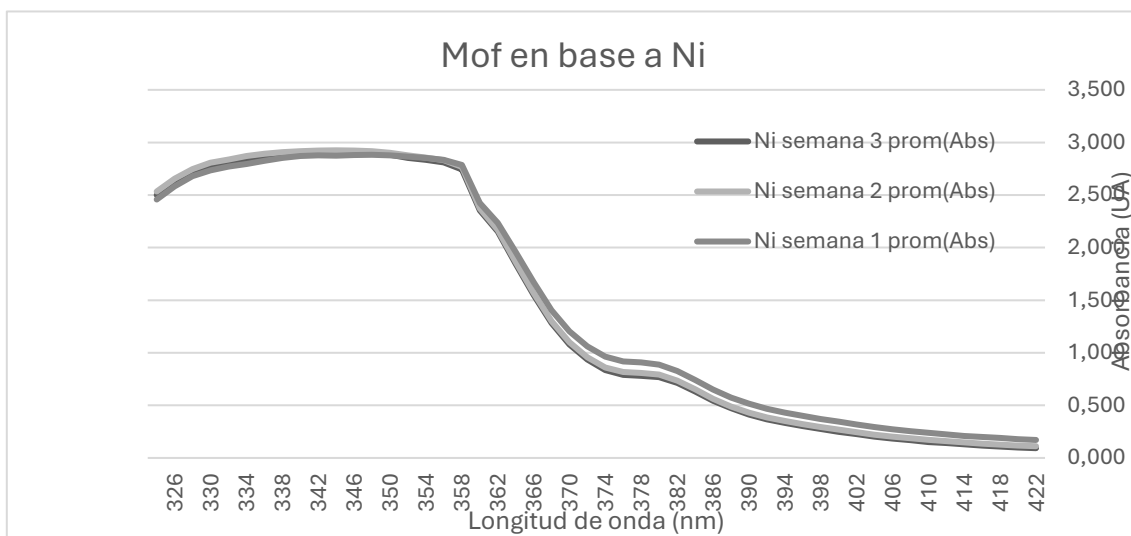


Figura 45: Estabilidad temporal de MOF base Ni

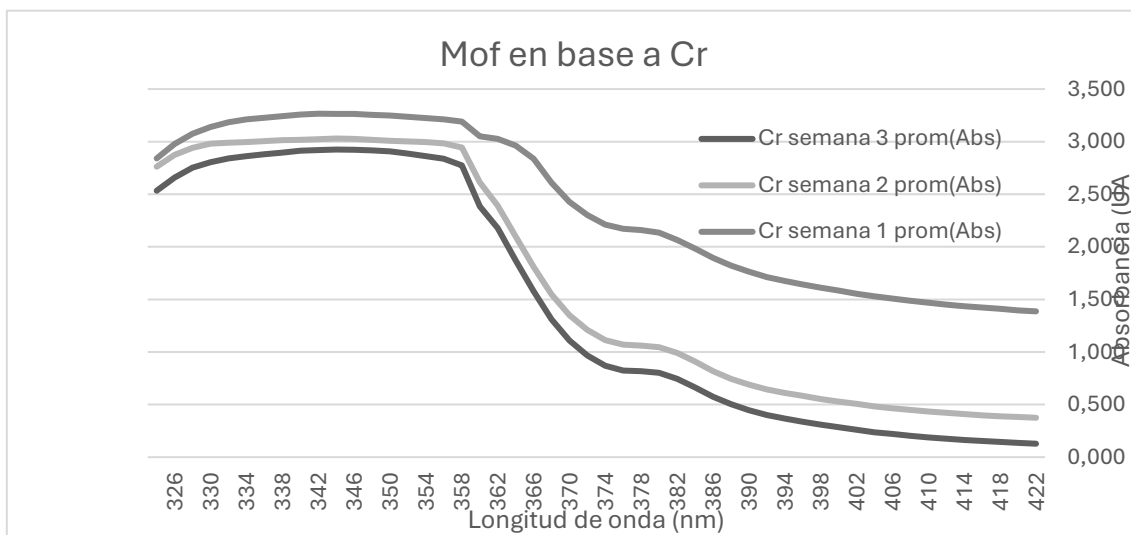
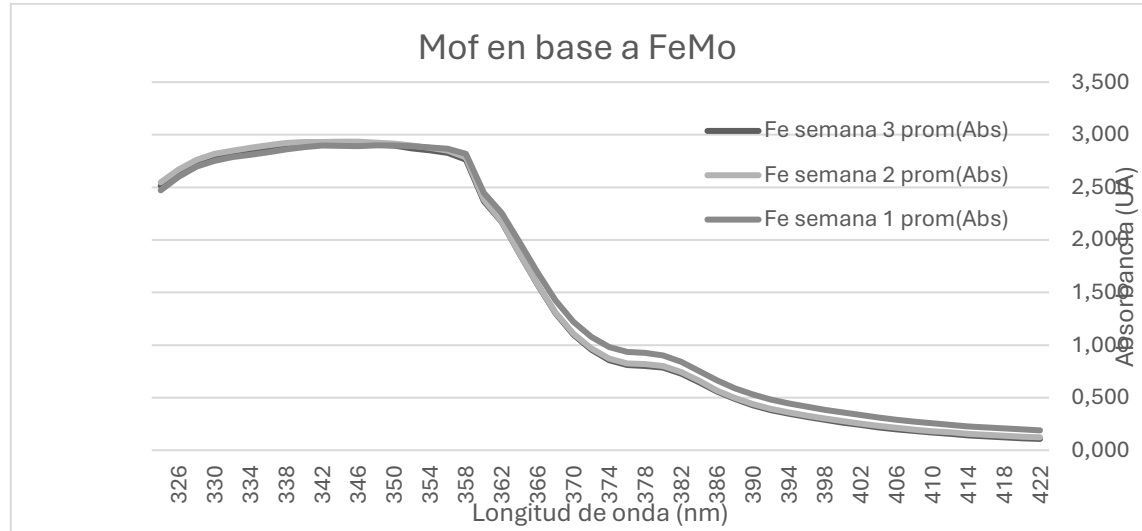


Figura 43: Estabilidad temporal de MOF base Cr



*Figura 46: Estabilidad temporal de MOF base FeMo*

En esta sección se evaluó la estabilidad temporal de tres materiales tipo MOF (Metal-Organic Framework) basados en metales de transición (Ni, Cr y FeMo), mediante espectros de absorción UV-Visible. Este tipo de análisis es fundamental para determinar si las propiedades ópticas del material se mantienen constantes o si hay procesos de degradación, decantación o aglomeración a lo largo del tiempo.

Se registraron los espectros de absorción en el rango de 326 a 422 nm, que corresponde a la región donde suelen observarse *transiciones electrónicas* relacionadas con la estructura química del material. Se consideró la absorbancia como unidad de medida, la cual indica cuánta luz es absorbida por la muestra: a mayor absorbancia, mayor presencia de especies activas en el medio.

#### 1. MOF en base a Níquel (Ni)

Las curvas de absorción para las semanas 1, 2 y 3 se superponen casi por completo. Esta estabilidad en la señal espectral indica que el MOF en base a níquel no sufre alteraciones químicas ni físicas relevantes en el período analizado.

Esto sugiere que las nanopartículas del nanofluido se mantienen suspendidas en forma homogénea, sin tendencia a decantar ni aglomerarse. Este comportamiento se asocia a un bajo índice de decantación, es decir, la velocidad a la que las partículas se sedimentan hacia el fondo del recipiente es muy baja, lo cual favorece su dispersión estable

## 2. MOF en base a Cromo (Cr)

En este caso, se observa una disminución progresiva de la absorbancia desde la semana 1 hasta la semana 3. Esta tendencia indica que la muestra va perdiendo capacidad de absorción óptica con el tiempo, lo que puede deberse a varios factores:

Sedimentación de las nanopartículas, es decir, las partículas comienzan a decantar, disminuyendo la concentración en suspensión.

Cambios estructurales o degradación química del MOF, lo que reduce su capacidad de interacción con la luz.

Aglomeración de partículas, que reduce el área superficial efectiva y altera la respuesta espectral.

Este MOF presenta, por tanto, un mayor índice de decantación y/o una menor estabilidad química en el tiempo, lo que lo convierte en una opción menos adecuada si se requiere estabilidad óptica prolongada.

## 3. MOF en base a FeMo (Hierro y Molibdeno)

La evolución de las curvas de absorción para este material es muy similar a la del MOF de níquel: se mantiene prácticamente constante a lo largo de las tres semanas, con variaciones mínimas en la tercera semana.

Esto indica que las propiedades ópticas del material se conservan estables, probablemente por una buena dispersión y una baja tendencia a la decantación. La presencia conjunta de hierro y molibdeno podría contribuir a mejorar la estabilidad del sistema coloidal, favoreciendo una distribución más homogénea de las partículas en el tiempo.

El análisis de los espectros de absorción UV-Vis en tres semanas consecutivas permite identificar la estabilidad coloidal y óptica de los diferentes MOFs evaluados:

MOF de Ni y MOF de FeMo: Muestran excelente estabilidad temporal, asociada a una baja decantación y buena dispersión. Son candidatos ideales para aplicaciones donde se requiere mantener propiedades ópticas en el tiempo.

MOF de Cr: Presenta una pérdida progresiva de absorbancia, atribuible a sedimentación o degradación. Su uso sería menos recomendable en aplicaciones donde la estabilidad del nanofluido sea crítica.

Este tipo de comportamiento está directamente relacionado con el índice de decantación de los nanofluidos, siendo este un indicador clave de su desempeño a largo plazo.

---

## CAPITULO 6 : CONCLUSIONES

---

Esta investigación tuvo como propósito determinar la factibilidad de usar estructuras metalorgánicas (MOF) como precursores en la síntesis de nanofluidos dieléctricos. Para ello, se prepararon tres tipos de nanofluidos a partir de MOF de níquel, cobalto y hierro-molibdeno, los cuales fueron mezclados en un aceite sintético utilizando ácido oleico como surfactante.

**Preparación de nanofluidos:** Se logró preparar con éxito nanofluidos con MOF como aditivos, mediante agitación magnética controlada y sonicación. Sin embargo, la estabilidad de las suspensiones dependió del tipo y la concentración del MOF, cumpliéndose así el primer objetivo específico relacionado con la síntesis.

**Estabilidad física:** El uso de ácido oleico permitió una dispersión más homogénea de las nanopartículas. No obstante, a altas concentraciones se observaron problemas de sedimentación. La espectroscopía UV-Vis evidenció distintos niveles de estabilidad entre formulaciones, en concordancia con el segundo objetivo específico.

**Rigidez dieléctrica:** Los ensayos realizados según la norma IEC 60156 demostraron que, en las dos primeras configuraciones, la rigidez dieléctrica de los nanofluidos fue inferior a la del aceite base. Aunque este comportamiento representa una desventaja desde el punto de vista eléctrico, su análisis teórico permitió comprender las causas de dicha disminución y validar los fundamentos experimentales del estudio. No obstante, al aplicar un proceso deseudodesgasificación, se evidenció una mejora significativa en el desempeño dieléctrico de los nanofluidos. Este resultado subraya la importancia de un manejo adecuado del aceite dieléctrico durante su preparación, ya que factores como la presencia de gases influyen directamente en sus propiedades. En conjunto, los resultados obtenidos destacan la necesidad de replicar condiciones operacionales reales para evaluar con mayor precisión el comportamiento de los nanofluidos en aplicaciones como transformadores eléctricos.

**Limitaciones:** Durante el estudio se identificaron limitaciones como el tiempo requerido para preparar las muestras, la accesibilidad de materiales, condiciones de laboratorio y el límite superior de medición del equipo, lo que pudo afectar la precisión de los resultados.

**Potencial de mejora:** Se identifican oportunidades para optimizar tanto la concentración de MOF como el tipo de surfactante, así como para explorar otros fluidos base. También podría evaluarse el comportamiento térmico de los nanofluidos para lograr una caracterización más completa.

En resumen, aunque los MOF no mejoran directamente la rigidez dieléctrica del aceite, el estudio demuestra que su aplicación es exitosa en otras propiedades relevantes y en condiciones de trabajo específicas. La investigación de nanofluidos con MOF continúa siendo un campo valioso, especialmente si se consideran otros parámetros de desempeño como la conductividad térmica, la estabilidad a largo plazo o la compatibilidad con equipos eléctricos.

---

## **CAPITULO 7: TRABAJOS FUTUROS**

---

Esta investigación ha establecido una base sólida para el desarrollo de nanofluidos dieléctricos avanzados basados en MOFs. Los resultados obtenidos demuestran que estos materiales tienen el potencial de mejorar las propiedades de los aceites aislantes utilizados en transformadores, lo que podría conducir a una serie de beneficios, incluyendo una mayor eficiencia energética, una mayor confiabilidad del equipo, una vida útil prolongada de los transformadores y una reducción de los costos operativos asociados con el mantenimiento y el reemplazo de los aceites.

Para avanzar aún más en este campo, se recomiendan varias líneas de investigación futura. Es esencial explorar en mayor profundidad la optimización de la síntesis de nanofluidos de MOF, incluyendo la investigación de diferentes tipos de surfactantes, la variación de las concentraciones de nanopartículas y la exploración de métodos de dispersión alternativos. Además, se sugiere investigar el comportamiento a largo plazo de estos nanofluidos en condiciones operativas reales de transformadores, incluyendo la evaluación de su estabilidad bajo estrés térmico y eléctrico prolongado. Finalmente, se recomienda

# Bibliografía

- [1] R. Murugan and R. Ramasamy, "Failure analysis of power transformer for effective maintenance planning in electric utilities," *Eng Fail Anal*, vol. 55, pp. 182–192, Sep. 2015, doi:10.1016/J.ENGFAILANAL.2015.06.002.
- [2] M. Karatas and Y. Bicen, "Nanoparticles for next-generation transformer insulating fluids: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 167, p. 112645, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2022.112645.
- [3] S. M. S. Murshed, K. C. Leong, and C. Yang, "Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 47, no. 5, pp. 560–568, May 2008, doi: 10.1016/J.IJTHERMALSCI.2007.05.004.
- [4] H. Furukawa, K. E. Cordova, M. O’Keeffe, and O. M. Yaghi, "The chemistry and applications of metal-organic frameworks," *Science*, vol. 341, no. 6149, 2013, doi: 10.1126/SCIENCE.1230444.
- [5] C. Olmo Salas, "Evolución de las propiedades térmicas y dieléctricas de un aceite vegetal de transformador mejorado con nanopartículas," Jun. 2020, Accessed: Oct. 14, 2024. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10902/19222>
- [6] Azmi WH, Sharif MZ, Yusof TM, Mamat R, Redhwan AAM. Potential of nanorefrigerant and nanolubricant on energy saving in refrigeration system – A review. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2017;69(October 2016):415–28. dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.207
- [7] Chakraborty S, Panigrahi PK. Stability of nanofluid: A review. *Appl Therm Eng*. 2020;174(March).
- [8] Abbas F, Raza T, Babar H, Mansoor M, Sajjad U, Amer M. Nano fluid: Potential evaluation in automotive radiator. *J of Molecular Liq*. 2020;297.
- [9] Sanukrishna SS, Jose PM. Thermal and rheological characteristics of refrigerant compressor oil with alumina nanoparticles—An experimental investigation. *Powder Technol* [Internet]. 2018;339:119–29. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.08.003>
- [10] Sanukrishna S, Murukan M, Jose PM. An overview of experimental studies on nanorefrigerants: Recent research, development and applications. *Int J Refrig*. 2018;88:552–77.
- [11] Che SNA, Mahmud JM, Aziz Japar WMA, Muhammad AI. A review on preparation methods, stability and applications of hybrid nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* [Internet]. 2017;80(August):1112–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.221>

- [12] Li D, Fang W, Feng Y, Geng Q, Song M. Stability properties of water-based gold and silver nanofluids stabilized by cationic gemini surfactants. *J Taiwan Inst Chem Eng.* 2019;97:458–65.
- [13] Eltaweel M, Abdel-Rehim AA. Energy and exergy analysis of a thermosiphon and forced- circulation flatplate solar collector using MWCNT/Water nano fluid. *Case Stud Therm Eng.* 2019;14(February):100416.
- [14] Paul G, Shit S, Hirani H, Kuila T, Murmu NC. Tribological behavior of dodecylamine functionalized graphene nanosheets dispersed engine oil nanolubricants. *Tribol Int [Internet].* 2019;131:605–19. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.11.012>
- [15] Xu X, Xu C, Liu J, Fang X, Zhang Z. A direct absorption solar collector based on a water-ethylene glycol based nanofluid with anti-freeze property and excellent dispersion stability. *Renew Energy.* 2019;133:760–9.
- [16] El-salamony RA, Morsi RE. Stable gallium oxide@ silica/polyvinyl pyrrolidone hybrid nanofluids: Preparation, characterization, and photo-activity toward removal of malachite green dye. *J Mol Liq.* 2018;271(1):589–98.
- [17] Kumar M, Sawhney N, Sharma AK, Sharma M. Thermo-physical profile of zinc oxide nanoparticles dispersed in aqueous solution of propylene glycol. *J Mol Liq [Internet].* 2018;249:650–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2017.11.095>
- [18] Said Z, Saidur R. Thermophysical properties of metal oxides nanofluids. *Nanofluids Thermophys Prop Met Oxides Nanofluids.* 2017;
- [19] Liu Z, Yan Y, Fu R, Alsaady M. Enhancement of solar energy collection with magnetic nano fluids. *Therm Sci Eng Prog.* 2018;8(March):130–5.
- [20] Al-Waeli AHA, Chaichan MT, Kazem HA, Sopian K. Evaluation and analysis of nanofluid and surfactant impact on photovoltaic-thermal systems. *Case Stud Therm Eng.* 2019;13(November 2018):100392.
- [21] Al-Waeli AHA, Chaichan MT, Sopian K, Kazem HA. Influence of the base fluid on the thermo-physical properties of PV/T nanofluids with surfactant. *Case Stud Therm Eng [Internet].* 2019;13. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.10.001>
- [22] Ganvir RB, Walke P V, Kriplani VM. Heat transfer characteristics in nanofluid – A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;75(November 2016):451–60.
- [23] Taw MM. Experimental studies of nanofluid thermal conductivity enhancement and applications: A review. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;75(November 2016):1239–53.

- [24] Chakraborty S, Sengupta I, Sarkar I, Pal SK, Chakraborty S. Effect of surfactant on thermo-physical properties and spray cooling heat transfer performance of Cu-Zn-Al LDH nanofluid. *Appl Clay Sci.* 2019;168( June 2018):43–55.
- [25] Suganthi K, Rajan K. Metal oxide nano fluids: Review of formulation, thermo-physical properties, mechanisms, and heat transfer performance. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;76(February):226–55.
- [26] Saghir MZ, Ahadi A, Mohamad A, Srinivasan S. Water aluminum oxide nanofluid benchmark model. *Int J Therm Sci.* 2016;109:148–58.
- [27] Ho CJ, Liao J, Li C, Yan W, Amani M. Experimental study of cooling characteristics of water-based alumina nano fluid in a minichannel heat sink. *Case Stud Therm Eng.* 2019;14(February):1–9.
- [28] Sunil J, Vignesh J, Vettumperumal R, Maheswaran R, Raja RAA. The thermal properties of CaONanofluids. *Vacuum.* 2019;161(December 2018):383–8.
- [29] Goharkhah M, Ashjaee M, Shahabadi M. Experimental investigation on convective heat transfer and hydrodynamic characteristics of magnetite nano fluid under the influence of an alternating magnetic field. 2016;99:113–24.
- [30] Agnihotri P, Lad VN. Magnetic nanofluid: synthesis and characterization. *Chem Pap [Internet].* 2020;74(9):3089–100.  
<https://doi.org/10.1007/s11696-020-01138-w>
- [31] Khan MS, Abid M, Ali HM, Amber KP, Bashir MA, Javed S. Comparative performance assessment of solar dish assisted s-CO<sub>2</sub> Brayton cycle using nanofluids. *Appl Therm Eng [Internet].* 2019;148:295–306.  
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.021>
- [32] Sanukrishna SS, Shafi M, Murukan M, Jose PM. Effect of SiO<sub>2</sub> nanoparticles on the heat transfer characteristics of refrigerant and tribological behaviour of lubricant. *Powder Technol.* 2019;356:39–49.
- [33] Che SNA, Witri MNA, Mamat R. Recent advancement of nanofluids in engine cooling system. *Renew Sustain Energy Rev.* 2017;75(April 2015):137–44.
- [34] Parametthanuwat T, Bhuwaketumjohn N, Rittidech S, Ding Y. Experimental investigation on thermal properties of silver nanofluids. 2015;56:80–90.
- [35] Mashali F, Languri EM, Davidson J et al. Thermo-physical properties of diamond nanofluids: A review. *Int J Heat Mass Transf [Internet].* 2019;129:1123–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer>.
- [36] Yarmand H, Gharekhani S, Shirazi SFS et al. Nanofluid based on activated hybrid of biomass carbon/graphene oxide: Synthesis, thermo-physical and electrical properties. *Int Commun Heat Mass Transf [Internet].* 2016;72:10–5.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.01.004>

- [37] Yang S, Cui X, Zhou Y, Chen C. Study on the effect of graphene nanosheets refrigerant oil on domestic refrigerator performance. *Int J Refrig* [Internet]. 2020;110:187–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.11.008>
- [38] B. F. Hoskins y R. Robson, *J. Am. Chem. Soc.*, 1989, 111, 5962- 5964.
- [39] G. Férey, *Chem. Soc. Rev.*, 2008, 37, 191-214
- [40] Li, B., Wen, H., Cui, Y., Zhou, W., Qian, G., Chen, B. (2016). Emerging Multifunctional Metal-Organic Framework Materials. *Advanced Materials* 28(40), 1–42. <https://doi.org/10.1002/adma.201601133>
- [41] Nagapradeep, N., Krishnendu, M., Sourav, S. (2018). Electrically Conductive Metal-Organic Frameworks. In: Shengqian, M., Perman, J. A. (Ed.), *Elaboration and Applications of Metal-Organic Frameworks*. Vol. I. Word Scientific Publishing. USA, Ch.15, pp. 655–684. [https://doi.org/10.1142/9789813226739\\_0015](https://doi.org/10.1142/9789813226739_0015)
- [42] Gándara, F., Uribe-Romo, F. J., Britt, D. K., Furukawa, H., Lei, L., Cheng, R., Duan, X., O’Keeffe, M., Yaghi, O. M. (2012). Porous, Conductive Metal-Triazolates and Their Structural Elucidation by the Charge-Flipping Method. *Chemistry European Journal* 18, 10595–10601. <https://doi.org/10.1002/chem.201103433>

# Índice de Figuras

FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DE LOS COMPONENTES DEL TRANSFORMADOR ELÉCTRICO [1] .....	6
FIGURA 2: ESTRUCTURA 1D DEL MIL-168 (A), 2D DEL IEF-13 (B) Y 3D DEL UIO-66 (C).....	12
FIGURA 3: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE DIFERENTE APLICACIONES DE LOS MOF .....	13
FIGURA 4: SURFACTANTES MÁS COMUNES. ....	16
FIGURA 5: PROCESO DE ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA .....	17
FIGURA 6: ESPECIFICACIONES DE NORMA PARA ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA .....	19
FIGURA 7: VALORES DE TENSIÓN NORMADOS EDP ACEITES NUEVOS .....	19
FIGURA 8: : VALORES DE TENSIÓN NORMADOS EDP ACEITES USADOS. ....	20
FIGURA 9: CAMBIO DE POLARIZACIÓN DE NANOPARTÍCULA SOMETIDA A CAMPO ELÉCTRICO. ....	21
FIGURA 10: CAPTACIÓN DE ELECTRONES EN NANOPARTÍCULAS EN ENSAYO RIGIDEZ .....	21
FIGURA 11: CONDUCTIVIDAD POR ALTA CONCENTRACIÓN DE NANOPARTÍCULA .....	22
FIGURA 12: INCIDENCIA DE LA LUZ SOBRE LA MUESTRA .....	25
FIGURA 13: ESPECTRO DE ABSORCION DE NANOPARTICULAS DE ORO 50 NM .....	26
FIGURA 14: ESPECTROFOTÓMETRO COMPONENTES INTERNOS .....	27
FIGURA 15: MÉTODOS DE SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS .....	31
FIGURA 16: METODO DE 2 PASOS.....	33
FIGURA 17: AGITADOR MAGNÉTICO .....	34
FIGURA 18: SONICADOR.....	34
FIGURA 19: TAMBOR DE ACEITE DIELECTRICO .....	36
FIGURA 20: SISTEMA DE DESGASIFICACIÓN .....	37
FIGURA 21: DESGASIFICADOR DE LABORATORIO .....	37
FIGURA 22: CONDICIONES INICIALES DE ESTUDIO DE ACEITE .....	37
FIGURA 23: ENSAYO DE DIELECTRICO DE ACEITES BASE .....	37
FIGURA 24: COMPARATIVA GRAFICA ENTRE DISTINTOS ACEITES BASE .....	38
FIGURA 25: PESOS ASOCIADOS A LAS DISTINTAS NANOFLUIDOS .....	39
FIGURA 26: CICLO DE TRABAJO DÍA INICIAL.....	39
FIGURA 27: CICLO DE TRABAJO DÍA SIGUIENTE .....	39
FIGURA 28: NANOFLUIDO ESTABLE GENERADO EN BASE A NI Y EN BASE CR .....	40
FIGURA 29: PRIMEROS ENSAYOS RIGIDEZ DIELECTRICA .....	40
FIGURA 30: PUENTE POST ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA. ....	41
FIGURA 31: SEGUNDA CONCENTRACIONES A ENSAYAR.....	41
FIGURA 32: CICLO DE TRABAJO SEGUNDA CONCENTRACIÓN .....	42
FIGURA 33: SEGUNDO CICLO DE TRABAJO SEGUNDA CONCENTRACIÓN.....	42
FIGURA 34: SEGUNDO ESTUDIO DE RIGIDEZ DIELECTRICA. ....	42
FIGURA 35: CONCENTRACIONES FINALES. ....	43
FIGURA 36: CICLO DE TRABAJO DE CONCENTRACIONES FINALES.....	43
FIGURA 37: CICLO DE TRABAJO DÍA SIGUIENTE CONCENTRACIÓN FINAL. ....	44
FIGURA 38: VALORES DE RIGIDEZ DIELECTRICAS CONCENTRACIONES FINALES DIA 1 .....	44
FIGURA 39: VALORES DE RIGIDEZ DIELECTRICAS CONCENTRACIONES FINALES DIA 2 .....	44
FIGURA 40: COMPARATIVA DE RIGIDEZ DIELECTRICA DE LAS DISTINTAS NANOPARTÍCULAS. ....	45
FIGURA 41: ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE LOS 3 NANOFLUIDOS EN RANGO UV-VIS.....	47
FIGURA 42: ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE LOS 3 NANOFLUIDOS EN RANGO 324NM-424NM.....	47
FIGURA 43: ESTABILIDAD TEMPORAL DE MOF BASE CR.....	49
FIGURA 44: .....	49
FIGURA 45: ESTABILIDAD TEMPORAL DE MOF BASE NI .....	49
FIGURA 46: ESTABILIDAD TEMPORAL DE MOF BASE FEMO .....	50