

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento de Matemáticas y Física

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa de apoyo a la investigación y desarrollo en nanociencias y
nanotecnología



ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

PAP4I03B Programa de apoyo a la investigación y desarrollo en
nanociencias y nanotecnología
Compósitos mecano-magneto-eléctricos para aplicación en cosechadores
de energía

PRESENTAN

Ingeniería en nanotecnología. Héctor Hugo Zepeda Ramírez.

Ingeniería en nanotecnología. Andrés Rodríguez Márquez

Profesor PAP: Dra. Yenni Velázquez Galván
Tlaquepaque, Jalisco, marzo de 2023

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	2
1. Introducción	3
1.1. Objetivos	4
1.2. Justificación.....	5
1.3 Antecedentes	6
1.4. Contexto.....	8
2. Desarrollo	9
2.1. Sustento teórico y metodológico	9
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	11
3. Resultados del trabajo profesional.....	14
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto.....	24
5. Conclusiones	29
6. Bibliografía.....	30
Anexos (en caso de ser necesarios).....	31

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

[Este texto deberá aparecer en todos los reportes]

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

Este estudio presenta la síntesis de un compósito magnetoeléctrico a partir de sales de Rochelle y nanopartículas de magnetita en un elastómero EcoFlex. Se realizaron diversas técnicas de caracterización para analizar la composición química y la estructura cristalográfica del compósito. Además, se prepararon cinco compósitos distintos y se realizaron mediciones eléctricas para evaluar la respuesta eléctrica ante un estrés mecánico y determinar si la magnetita potenciaba estas propiedades. Los resultados mostraron que los compósitos con una concentración de 0.8M y nanopartículas de al menos 20 nm presentan una mayor estabilidad y una variación de voltaje más pequeña a lo largo del tiempo. En general, se concluye que este compósito magnetoeléctrico tiene un potencial prometedor para su aplicación en sensores y actuadores.

1. Introducción

La magnetita es un mineral de hierro que se ha utilizado durante siglos por sus propiedades magnéticas. Es un material ferromagnético natural que presenta una alta susceptibilidad magnética y una elevada coercitividad, lo que lo hace ideal para su uso en diversas aplicaciones tecnológicas.

En el campo de la nanotecnología, las nanopartículas de magnetita se han convertido en un material de gran interés debido a su tamaño reducido y sus propiedades magnéticas únicas. Las nanopartículas de magnetita presentan una alta magnetización y una elevada estabilidad frente a la oxidación, lo que las hace adecuadas para su uso en aplicaciones como la separación magnética de biomoléculas, la terapia y la hipertermia magnéticas.

En el contexto de la generación de energía, la magnetita puede ser utilizada para la fabricación de cosechadores magnetoeléctricos, que convierten la energía mecánica en energía eléctrica a través del movimiento de las nanopartículas de magnetita en un campo magnético externo. Este tipo de cosechadores presentan diversas ventajas, como la capacidad de generar energía de forma autónoma y sostenible, y la posibilidad de utilizarse en dispositivos de baja energía.

La sal de Rochelle es un compuesto cristalino que presenta propiedades piezoeléctricas únicas. Es un material dieléctrico que se polariza eléctricamente cuando se somete a una deformación mecánica, lo que lo hace ideal para su uso en sensores y dispositivos piezoeléctricos.

En este proyecto, se busca integrar la sal de Rochelle con las nanopartículas de magnetita para crear un material compuesto que presente tanto propiedades magnéticas como piezoeléctricas. Esto permitiría crear un cosechador mecano-magneto-eléctrico capaz de generar energía eléctrica a partir de la energía mecánica y magnética.

El acoplamiento electromagnético entre la sal de Rochelle y las nanopartículas de magnetita se basa en la interacción entre el campo eléctrico de la sal de Rochelle y el campo magnético de las nanopartículas de magnetita. Cuando la sal de Rochelle se deforma mecánicamente, se genera una polarización eléctrica que induce un campo eléctrico en el material compuesto. Este campo eléctrico interactúa con el campo magnético de las nanopartículas de magnetita, lo que provoca el movimiento de las partículas y la generación de una corriente eléctrica.

Para comprender mejor las propiedades magnéticas y estructurales de las nanopartículas de magnetita sintetizadas en este proyecto, se pueden utilizar técnicas de caracterización como la microscopía de fuerza atómica (AFM), la microscopía electrónica de barrido (SEM), la difracción de rayos X (XRD) y la espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS).

La microscopía de fuerza atómica (AFM) y la microscopía electrónica de barrido (SEM) son técnicas de imagen que permiten visualizar la forma, tamaño y morfología de las nanopartículas de magnetita. El AFM es particularmente útil para medir la rugosidad superficial y la altura de las partículas, mientras que el SEM puede proporcionar una imagen de mayor resolución con información sobre la estructura interna de las partículas.

La difracción de rayos X (XRD) es una técnica que permite analizar la estructura cristalina de las nanopartículas de magnetita, lo que proporciona información sobre su composición y orientación cristalográfica. Por último, la espectroscopía de fotoelectrones de rayos X (XPS) se utiliza para analizar la composición química de la superficie de las nanopartículas de magnetita, lo que puede ser importante para comprender la estabilidad y la reactividad de las partículas.

1.1. Objetivos

[Es la declaración concisa y breve de aquello que busca resolver el proyecto y qué estrategia o pasos se llevaron a cabo para ese fin práctico.]

Objetivo General

Desarrollar un compósito MME mediante un elastómero (Ecoflex) y sales de Rochelle integrado con nanopartículas magnéticas de magnetita para la obtención de señales eléctricas mayores como respuesta a la deformación de manera mecánica (piezoelectricidad).

Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica sobre los procesos químicos y las condiciones óptimas (temperatura, agitación, pH, concentraciones, etc.) para la obtención de magnetita. (Fe_3O_4).
- Llevar a cabo una investigación bibliográfica sobre los procesos de dispersión de nanopartículas (NP) de magnetita para su adición a compuestos poliméricos con sales de Rochelle.
- Diseñar montajes experimentales para la síntesis de MNP's.
- Sintetizar NP's menores a los 100 nm por medio de la variación de parámetros fisicoquímicos.
- Estudiar y analizar la morfología, tamaño y composición por medio de técnicas como microscopía SEM, AFM, estereoscopia XPS y XRD, respectivamente.
- Fabricar compósito piezoeléctrico (elastómero y Sal de Rochelle) con MNP's integradas, estudiando el efecto de los diferentes parámetros de síntesis.
- Caracterizar la estructura cristalina del compósito integrado con MNP's mediante difracción de Rayos-X y, su distribución por medio de microscopía óptica (MO).
- Estudiar la respuesta eléctrica del compósito MME en función de un estímulo mecánico a diferentes frecuencias.

1.2. Justificación

Los sistemas microelectromecánicos piezoeléctricos (PiezoMEMS) son atractivos para desarrollar microsistemas autoalimentados de próxima generación. Los PiezoMEMS prometen eliminar el costoso montaje de microsensores/microsistemas y proporcionar varios mecanismos para recargar las baterías, acercándonos así a los sistemas y redes de sensores inalámbricos sin batería [1], con aplicaciones en la alimentación de dispositivos médicos autosustentables o bien en los wearables.

El funcionamiento de los sistemas microelectromecánicos (MEMS) se encuentra relacionado con los materiales empleados en el mismo, dependiendo de las propiedades que se deseen tener serán los materiales que se emplearan, es por ello que en este proyecto se decidió emplear las MNP's específicamente de magnetita ya que al tener propiedades superparamagnéticas le permite al sistema potenciar las propiedades eléctricas, generando una señal eléctrica mayor, de igual manera el compósito se encuentra formado por sal de Rochelle (Tartrato sódico potásico $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) dicho compuesto le provee al sistema polimérico las propiedades piezoeléctricas, dicha sal se encuentra dispersa y funcionalizada con un elastómero ECOFLEX, el cual al ser una goma de silicona le brinda las propiedades mecánicas (muy resistente y de gran elongación).

Se han logrado mejoras significativas en el rendimiento de los recolectores Mechano-Magneto-Electric (MME) mediante la explotación de sus parámetros intrínsecos, como la adopción de materiales piezoeléctricos y magnetostrictivos de alto rendimiento, la modulación de las estructuras geométricas, la distribución del par magnético de la masa magnética y el uso de concentradores de flujo magnético. Las salidas de energía en el rango de microvatios a milivatios se obtuvieron utilizando estos generadores MME para operar con éxito los sensores autónomos de Internet de las cosas (IoT)[3].

1.3 Antecedentes

Desde el comienzo de la revolución industrial, la población mundial se ha multiplicado y se espera que este crecimiento continúe al mismo ritmo en el futuro cercano. En el mundo moderno, la energía es el recurso más importante para el crecimiento y la sostenibilidad de la vida humana y de la sociedad. En este contexto, energía significa la capacidad requerida para ejecutar sistemas nano/microelectrónicos a macro eléctricos. Los suministros limitados de combustibles fósiles y la contaminación ambiental, causada por su uso han obligado a los investigadores de todo el mundo a buscar recursos alternativos de energía renovable. Algunos de los esfuerzos recientes en esta dirección incluyen el desarrollo de baterías, celdas de combustible y celdas solares [2].

Existe la necesidad de alimentar de manera efectiva los dispositivos personales móviles cada vez más ubicuos que ya son una parte integral de la vida cotidiana. Cambiar las baterías

de un billón de sensores no es factible; incluso recargar las baterías de los dispositivos móviles cotidianos es todo un desafío actualmente[3].

Los generadores MME utilizan el acoplamiento magnetoeléctrico (ME) en compuestos de materiales piezoeléctricos y magnetostrictivos y la interacción entre la masa del imán de prueba y el campo magnético. Dado que la fase piezoeléctrica en el compuesto también responde directamente a la vibración mecánica, un recolector de energía basado en ME puede aprovechar la energía de las vibraciones mecánicas y los campos magnéticos simultáneamente (Figura 1). Se espera que esta combinación mejore la potencia total de salida y la eficiencia de conversión. El generador MME puede ser una fuente de energía omnipresente para sensores de redes inalámbricas, dispositivos electrónicos de bajo consumo y sistemas de carga inalámbricos mediante la recolección de energía de los diminutos campos magnéticos presentes como ruido magnético parásito en un entorno ambiental [2]. (Hacer distinción entre vibración y deformación)

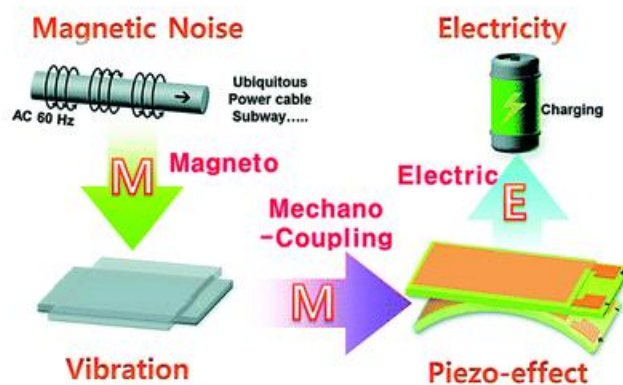


Figura 1 Principio de funcionamiento de un cosechador de energía MME y diagrama esquemático de los procesos de transferencia de energía con compósitos magnetoeléctricos multiferroicos (Annapureddy et al., 2017)

Uno de los pilares de los avances significativos en las aplicaciones de MNP se basa en sus procesos de fabricación. Como se puede observar (Figura 2) >90% de los nanomateriales magnéticos se preparan masivamente mediante métodos químicos, seguidos de procesos más complejos como los métodos físicos (8%). Los procesos biológicos son los menos representativos (2%). Se han divulgado varios métodos de síntesis para mejorar las

características específicas de los nanomateriales magnéticos, como la forma, el tamaño y la estabilidad coloidal, las propiedades magnéticas y estructurales de las NPs.

Los procesos más estudiados para la fabricación de MNP de ferrita son químicos, como lo son coprecipitación, descomposición térmica, sol-gel, hidrotermal y microemulsión [4].

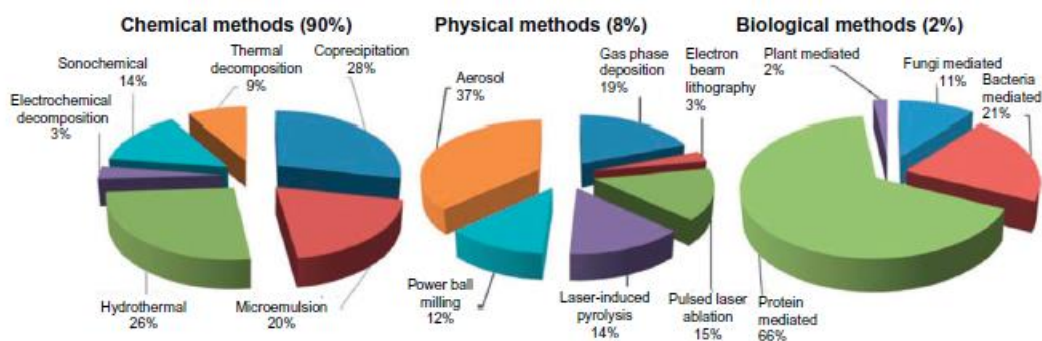


Figura 2 Métodos utilizados para sintetizar NPs de óxido de hierro superparamagnéticas, divididos en las tres categorías principales (Ali et al., 2016).

Métodos de preparación química: estos métodos son simples, manejables y eficientes, en los que se puede manejar el tamaño, la composición e incluso la forma de las NP. Los óxidos de hierro se pueden sintetizar a través de la coprecipitación de Fe^{2+} y Fe^{3+} mediante la adición de un base. El tamaño, la forma y la composición de las NP de hierro sintetizadas mediante métodos químicos dependen del tipo de sal utilizada, la proporción de Fe^{2+} y Fe^{3+} , el pH y la fuerza iónica [5].

1.4. Contexto

Recientemente, las MNP's de Fe_3O_4 se han investigado intensamente debido a su superparamagnetismo, alta coercitividad y baja temperatura de Curie; además de ser biocompatibles y no ser tóxicas. Por lo tanto, este tipo de sistemas han sacado a la luz nuevos tipos de aplicaciones biomédicas [6].

El método de síntesis química por coprecipitación es el método más utilizado gracias a su bajo costo y su fácil desempeño, como se muestra en el anexo 1, se puede ver el diagrama de lo sencillo que puede ser una síntesis de magnetita con esta metodología que además se

encuentra bien estudiada y se conoce la relación que se debe emplear de cloruro ferroso y cloruro férrico la cual es 2:1 para cada ion Fe^{2+} y Fe^{3+} , así como el rango de pH de 9 a 14 para la obtención de partículas magnéticas [9].

Los nanocompuestos magnéticos (MNC) son materiales de múltiples componentes, que normalmente contienen materiales magnéticos de tamaño nanométrico para desencadenar la respuesta a un estímulo externo (es decir, un campo magnético externo estático o alterno). Además, estos MNC's son altamente aplicadas debido a sus propiedades. Por ejemplo, gracias a su área superficial relativamente grande y, por lo tanto, a sus sitios de superficie altamente activos, las NP superparamagnéticas pueden absorber iones metálicos (biorremediación) para eliminarlos rápidamente de una matriz utilizando un campo magnético reutilizado sin perder los sitios activos. Además, como los MNCs exhiben un comportamiento superparamagnético, pueden usarse para la administración controlada y dirigida de fármacos utilizando un campo magnético externo y, por lo tanto, tratar enfermedades complejas [7].

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

La recolección de energía, que consiste en la transformación de la energía ambiental en energía eléctrica, se está convirtiendo en una alternativa para asegurar el abastecimiento energético de los nodos y sensores de un sistema de monitorización. El concepto de recolección de energía o microgeneración de energía hace referencia a la transformación de una forma de energía (viento, vibraciones, sonido, etc.) en otra, normalmente energía eléctrica. En el ámbito de la alimentación de sensores, estas fuentes externas de energía se pueden aprovechar para alimentar los nodos de un sistema e incrementar tanto su vida útil como la capacidad de la red de sensores. Una técnica extendida y popular de recolección de energía es la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos presentan un elevado grado de incertidumbre originado por las condiciones climáticas. Otras técnicas de recolección de energía consisten en la transformación de energía mecánica en energía eléctrica. Algunas investigaciones han

propuesto dispositivos mecánicos que aprovechan su respuesta debida a una sollicitación externa para producir energía. En estos casos, los medios de obtención de la energía pueden ser de origen inductivo o piezoeléctrico [8].

Para el desarrollo del proyecto se pretende implementar un compósito con un elastómero, sales de Rochelle y nanopartículas de magnetita, esto debido a que la sal de Rochelle (RS) es ferroeléctrica entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $24,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sus dos temperaturas de Curie). RS exhibe altas constantes piezoeléctricas y dieléctricas, además, tiene una estructura monoclinica en la fase ferroeléctrica y una estructura ortorrómbica en la fase paraeléctrica, por otro lado, también es soluble en agua. Su bajo costo y facilidad de síntesis son algunos de sus beneficios adicionales, además presenta un coeficiente piezoeléctrico que puede ser superior a $100\text{ pm}\cdot\text{V}^{-1}$ [8], por otro lado, las propiedades fisicoquímicas únicas de las MNPs, especialmente sus grandes áreas de superficie, la facilidad de síntesis y modificación y las propiedades superparamagnéticas inherentes, podrían potenciar las señales eléctricas. Además, estas MNP presentan una excelente capacidad para lograr una unión sinérgica con otros compuestos, como los polímeros. La unión sinérgica entre nanomateriales magnéticos y polímeros puede formar nuevos materiales conocidos como compósitos. Además, los compuestos poliméricos muestran características interesantes, que podrían estudiarse a través de varias técnicas de caracterización. [7].

Muchos polímeros de silicona tienen propiedades prometedoras, como biocompatibilidad, buena transparencia, no toxicidad, buenas propiedades dieléctricas, alta hidrofobicidad, estabilidad térmica, buena procesabilidad, resistencia climática, oxidativa y UV. Otro aspecto de las siliconas es que no reaccionan con la mayoría de los productos químicos. La buena biocompatibilidad y las acciones relativamente inertes con los productos químicos los convierten en uno de los materiales de ingeniería cruciales, especialmente en aplicaciones biomédicas. Muy recientemente, un caucho de silicona comercialmente disponible, Ecoflex (Smooth-On, EE. UU.), se convirtió en un elastómero típico para una amplia gama de aplicaciones prácticas. La silicona curable a temperatura ambiente de dos componentes viene con varias durezas Shore que van desde Shore 00-10 hasta Shore 00-65. Los sensores de deformación como sistemas electrónicos epidérmicos se han utilizado

ampliamente en la actualidad donde se requiere una flexibilidad mecánica como la de la piel humana y una alta capacidad de estiramiento. Debido a las bajas viscosidades, el alto grado médico y la alta reproducibilidad, los elastómeros de silicona y sus compuestos son candidatos ideales en el área de sensores flexibles basados en estiramiento [10].

Para la obtención de este compuesto polimérico funcionalizado se realizaron diferentes experimentos de manera separada, iniciando por la síntesis aislada de las NPs de magnetita, para llegar a los parámetros de síntesis ideales con ayuda de caracterizaciones como: microscopía electrónica de barrido para conocer la morfología y el tamaño de las NP's, microscopía de fuerza atómica para la obtención de la topografía y corroborar tamaño de partículas y espectrometría de fotoelectrones inducidos por rayos X con el fin de conocer la naturaleza de la NP's (SEM, AFM y XPS respectivamente) para su integración al compuesto. Posteriormente, se realizaron diferentes síntesis de polímeros con un elastómero (Ecoflex) y con sales de Rochelle, para finalmente realizar un compuesto con todas las partes conjuntas, es decir con las MNPs, sales de Rochelle y elastómero para realizar diversas pruebas al compuesto como lo fueron pruebas mecánicas para confirmar la parte piezoeléctrica, así como la atracción por un imán permanente para confirmar se mantuvieran las propiedades magnéticas de las NPs, caracterización en microscopio óptico (MO) para observar los cristales formados en los compósitos, así como la homogeneidad de la dispersión de las NP's con las sales de Rochelle, finalmente se realizó una caracterización de dispersión de rayos X (XRD) para determinar la estructura cristalográfica del compuesto.

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

La propuesta de solución del proyecto es el desarrollo de un cosechador de energía MME integrado en un compuesto con propiedades eléctricas, magnéticas, así como elásticas, dicho compuesto estará compuesto por un elastómero (ECOFLEX) que le proporcionara las propiedades mecánicas como lo son la elasticidad, flexibilidad, resistencia mecánica y elongación. Dicho polímero se funcionalizará con sales de Rochelle que le otorgaran las propiedades piezoeléctricas, aunado a esto se le incorporarán NPs de magnetita con la finalidad de darle propiedades magnéticas que le conceden dichas partículas, a su vez las NPs se encontraran recubiertas de

oro para potenciar la conductividad eléctrica y de esta manera alcanzar señales eléctricas mayores que un dispositivo piezoeléctrico.

Para llevar a cabo el proyecto propuesto es importante realizar una investigación sobre los parámetros de síntesis de NPs de magnetita para realizar pruebas experimentales de síntesis y encontrar los parámetros que nos otorguen las propiedades de MNPs necesarios para el compósito, de igual manera será importante realizar diversas caracterizaciones en distintas microscopías así como espectroscopías para confirmar la presencia de magnetita en las partículas, conocer la morfología, topografía, composición química, así como las propiedades magnéticas y eléctricas de las NPs por separado e integradas al compósito.

- Plan de trabajo

Las actividades profesionales, técnicas, operativas y experimentales que tomaron lugar en este proyecto fueron inicialmente la búsqueda de información en diferentes referencias bibliográficas, para conocer las diferentes metodologías de síntesis de nanopartículas de magnetita, así como tener en cuenta los reactivos, materiales y equipos necesarios para llevar a cabo cada una de ellas, una vez decidida la metodología a utilizar, se realizaron las primera pruebas experimentales para familiarizarnos con los procedimientos, de igual manera se realizaron diferentes caracterizaciones para obtener tamaños, morfologías, composición química de las primeras nanopartículas. Por otro lado, se llevaron variaciones de parámetros tales como el pH, temperatura, agitación y concentraciones de precursores. Una vez encontrados los mejores parámetros de para la obtención de tamaños inferiores a los 50 nm, se familiarizó con la técnica de polimerización de un elastómero, un elastómero con sales de Rochelle y finalmente se realizaron compósitos con sales de Rochelle y MNPs para realizar pruebas eléctricas y mecánicas. Posteriormente se realizó una mejora en las MNPs realizando un recubrimiento de tipo core-shell con oro para potenciar las señales eléctricas, de igual manera se caracterizaron dichas NP score-shell y se integraron en un compósito para su caracterización. Finalmente se realizó el análisis de resultados de cada una de las etapas, se hizo una

evaluación tomando en cuenta el objetivo general planteado y la propuesta de proyecto para la validación de este.

Los recursos empleados fueron diversos, tales como la ayuda de encargados de laboratorios del área de nanotecnología para manejo de diferentes equipos, los encargados del proyecto como consultores y apoyo al desarrollo del trabajo, los materiales utilizados fueron diferentes reactivos, así como material de cristalería y equipos de laboratorio de procesos químicos, los cuales fueron brindados por el ITESO. Por otro lado, recibimos apoyo por parte del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT) al recibirnos para hacer uso de sus instalaciones y realizar caracterizaciones en el microscopio electrónico de barrido de alta resolución, así como en el difractómetro de rayos-X.

Finalmente, los tiempos se organizaron conforme a un calendario y cronograma tomando en cuenta las diferentes actividades y etapas del proyecto, de igual manera se realizaron juntas semanales para la revisión de los avances, corrección del desarrollo del proyecto, así como sugerencias y observaciones de cambio o mejor.

- Desarrollo de propuesta de mejora

El proyecto se dividió en tres grandes etapas: síntesis, caracterización e integración con el compósito. En la primera semana de trabajo se planeó iniciar con la síntesis de nanopartículas magnéticas, para irnos familiarizando con la técnica. Se realizaron dos síntesis con diferentes concentraciones utilizando hidróxido de amonio.

Para la siguiente semana se planeó repetir la síntesis cambiando el hidróxido, a hidróxido de sodio. Se hicieron tres síntesis con diferentes concentraciones: 4:1, 3:1 y 2:1. La semana 5 se agendó microscopía SEM para caracterizar las muestras. En esta semana también se cumplió con el objetivo general. Para la siguiente semana el objetivo era la síntesis de nanopartículas con una solución reducida de hidróxido de amonio. Esta síntesis se realizó con un montaje experimental construido por nosotros. Para la semana 7 se planeó continuar con la caracterización en SEM y AFM, obteniendo distintas micrografías que brindaron información adicional acerca de los

parámetros utilizados para la síntesis. En la semana 8 se esperaba realizar una síntesis 2:1 utilizando una solución reducida de hidróxido de amonio. Adicional a esto, fuera del esquema de trabajo original, se prepararon muestras para su caracterización en el IPICYT. La ruta original establecía que en la semana 9 se haría una síntesis de nanopartículas magnéticas con una concentración 2:1 utilizando una solución reducida de hidróxido de amonio a 0.6M. En esta semana se realizó la síntesis, a la par del análisis en XPS. Posterior a esta semana se iniciaron las pruebas de integración al compuesto piezoeléctrico. Una semana después se realizaron las pruebas eléctricas para confirmar que el compuesto mostraba una mayor respuesta eléctrica, además de caracterizar las nanopartículas preparadas con una solución reducida a 0.6M. Estas últimas no mostraron resultados significativos sobre su tamaño o morfología.

La siguiente semana se realizó la caracterización en el IPICYT, donde se pudo comprobar la morfología y tamaño de las nanopartículas magnéticas, mismas que después se utilizaron para fabricar el compuesto con sales de Rochelle y MNP's, a diferentes cantidades y diferentes concentraciones.

3. Resultados del trabajo profesional

Síntesis

Se empezó la síntesis con una relación 4:1 entre el cloruro ferroso y el cloruro férrico, además de otra síntesis con una relación 2:1, en ambas se utilizó hidróxido de amonio para aumentar el pH y generar la reacción correspondiente.



Figura 3. Nanopartículas magnéticas sintetizadas con hidróxido de amonio a 0.8M

En la síntesis con la relación 4:1 se observaba una coloración ligeramente anaranjada. Al acercar el imán permanente el sedimento no parecía verse afectado por el campo magnético, concluyendo entonces que las nanopartículas a esta concentración no mostraban propiedades paramagnéticas, las cuales eran de interés para la integración con el compósito de sales de Rochelle.

Las síntesis que mejores resultados mostraron a primera vista fueron en las que se utilizó una relación 3:1 o 2:1, además, realizando pruebas con hidróxido de amonio e hidróxido de sodio, se comprobó que el hidróxido de amonio presentaba mayor estabilidad en la síntesis, pudiendo controlar mejor el tiempo de reacción y por ende el tamaño de las nanopartículas.

En la siguiente gráfica se puede observar la curva de pH variando la concentración de hidróxido de amonio, cuando esta concentración es menor la reacción se da de manera más lenta y permite a la nucleación de las nanopartículas hacerse de forma uniforme y controlada.

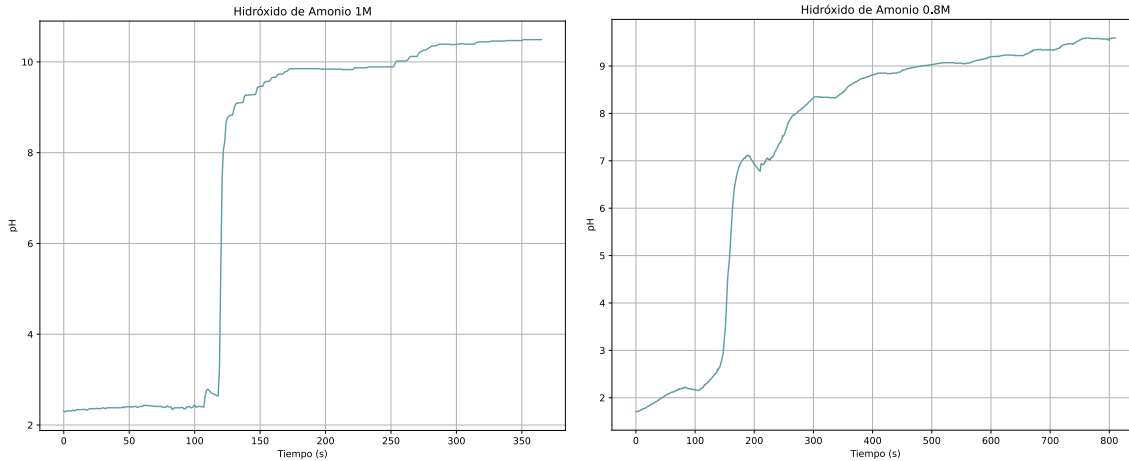


Figura 4. Gráfica de pH para la síntesis de MNP's a 1M (derecha) y a 0.8M (izquierda)

Para síntesis posteriores se utilizó hidróxido de amonio a 0.8M, al mostrar mejores resultados después del análisis del tamaño de las nanoestructuras y un mejor control en la dispersión de tamaños. En la siguiente tabla se puede observar una comparativa entre las especies químicas utilizadas para la precipitación.

Especie química	Concentración	pH	Tamaño	Morfología
Hidróxido de Sodio	1M	10.5	172.71 ± 35.53 nm	Esférica
Hidróxido de Amonio	1M	10.5	101.3 ± 31.158 nm	Esférica
Hidróxido de Amonio	0.8M	9.7	20.74 ± 1.71 nm	Esférica
Hidróxido de Amonio	0.6M	9.8	15.58 ± 22.58 nm	Esférica

Tabla 1. Comparativa de la síntesis de MNP's con diferentes parámetros

Se preparó un compósito con exclusivamente nanopartículas magnéticas utilizando 0.74 g de estas. Al analizarlo bajo el microscopio óptico, se observaron burbujas de aire, las cuales fueron causadas por el método de agitación utilizado durante la síntesis del compósito. La dispersión de las nanopartículas no fue completamente uniforme, ya que se encontraron conglomerados en la muestra. Sin embargo, a nivel volumétrico, se pudo observar que las

nanopartículas estaban distribuidas en todo el ancho del compuesto, lo que sugiere que el elastómero se polimerizó antes de que las nanopartículas sedimentaran completamente.

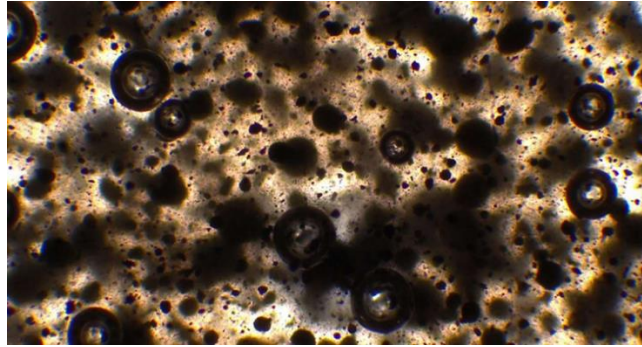


Figura 5. Micrografía óptica del compuesto con Sales de Rochelle y nanopartículas magnéticas.

Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)

Se realizó la caracterización de las muestras a través de microscopía SEM en el ITESO y de SEM de alta resolución con el apoyo del IPICYT. Se buscaba conocer la morfología de las nanopartículas magnéticas, así como los tamaños dependiendo los parámetros utilizados en la síntesis. En la figura 5 se puede observar la micrografía obtenida en el SEM del ITESO, esta corresponder a una muestra de nanopartículas magnéticas en una relación másica de 3:1, utilizando una solución de hidróxido de amonio a 1M para cambiar el pH y generar la reacción correspondiente.

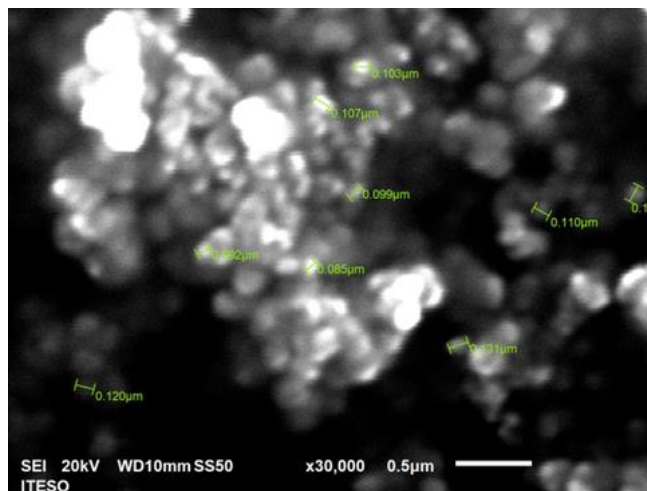


Figura 6. Microscopía de nanopartículas magnéticas 3:1 con hidróxido de amonio 1M.

A través del SEM de alta resolución del IPICYT, con una mayor magnificación y posterior a un proceso de sonicación con el fin de dispersar las nanopartículas, se pudieron obtener micrografías que muestran con mayor claridad la morfología esférica y los tamaños de las estructuras individuales. Esta morfología sugiere una nucleación uniforme, aunque existen otros factores que pueden influir en la forma final de las partículas, como la cinética de crecimiento, una tasa de crecimiento más lenta puede conducir a la formación uniforme de las nanoestructuras. En la siguiente figura se puede observar la micrografía en SEM de alta resolución de nanopartículas magnéticas sintetizadas con una solución de hidróxido de amonio a 0.6M en una relación másica 2:1.

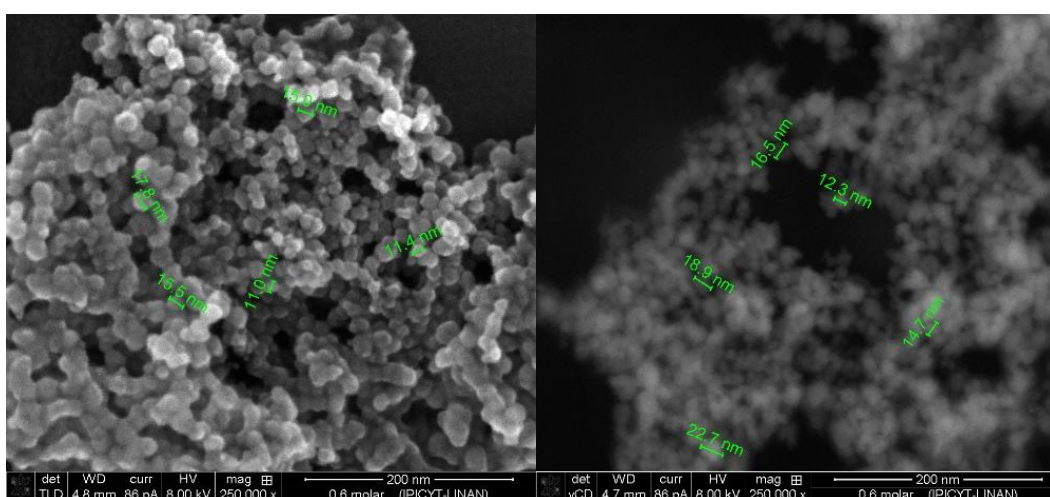


Figura 7. Microscopia en SEM de alta resolución de nanopartículas magnéticas a 0.6M (derecha) y con electrones retrodispersados (izquierda).

Posteriormente se realizó la caracterización de las nanopartículas magnéticas sintetizadas con hidróxido de amonio en una concentración de 0.8M, mostrando un diámetro mayor y una dispersión de tamaño menor. En promedio, el tamaño fue de 21 nm \pm 2nm, estando dentro de las dimensiones buscadas para la aplicación deseada.

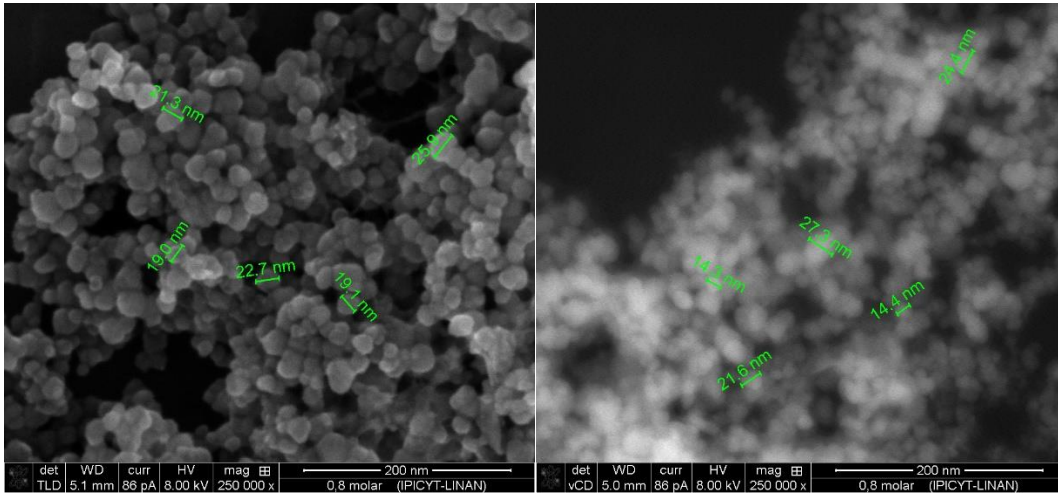


Figura 8. Microscopía en SEM de alta resolución de nanopartículas magnéticas a 0.8M (derecha) y con electrones retrodispersados (izquierda).

Microscopio de Fuerza Atómica (AFM)

Se realizó una síntesis 2:1 con una solución a 0.8M de hidróxido de amonio, que posteriormente fue llevada a caracterización en el AFM con el fin de conocer los tamaños de nanopartícula y la morfología de estas.

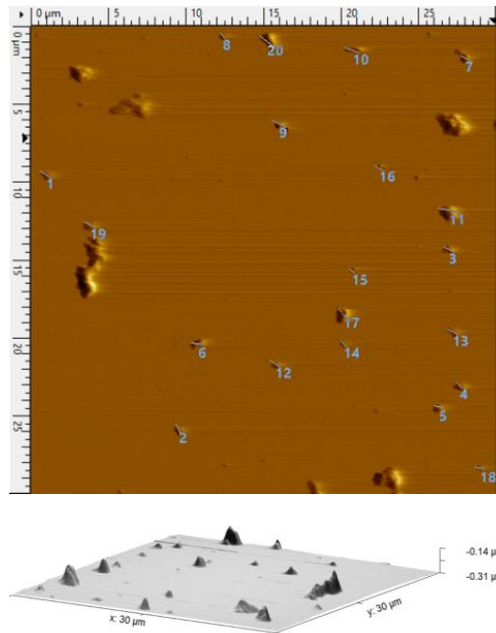


Figura 9. Topografía en 2D (superior) y topografía 3D (inferior) obtenida mediante el software Gwyddion.

En la siguiente figura se puede observar un análisis realizado en el software Gwyddion, para procesamiento de las micrográficas obtenidas en AFM. Se tomó una medición en un perfil

horizontal y vertical de forma simultánea; se pueden observar los picos de ambos perfiles en la misma altura y posición, confirmando así la uniformidad de la morfología de las nanopartículas.

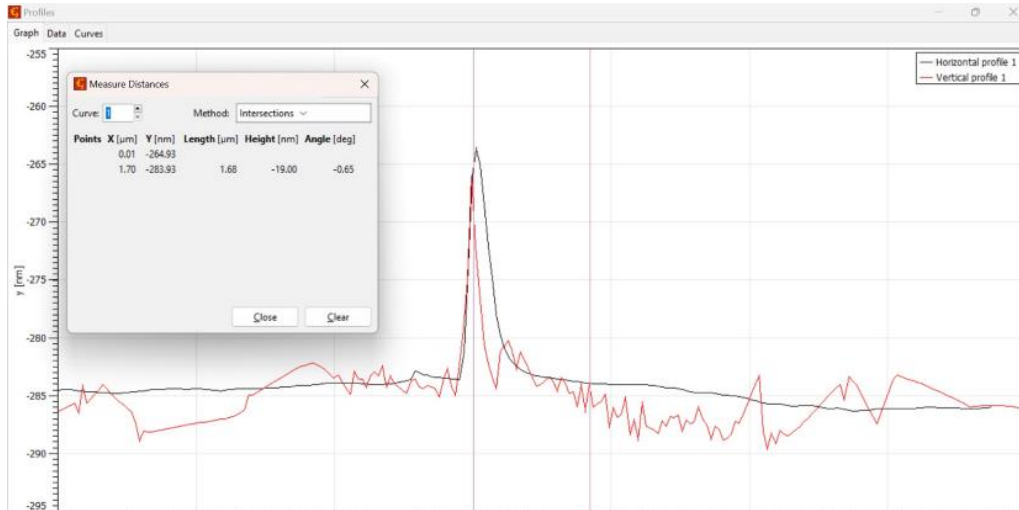


Figura 10. Perfil horizontal y vertical de una nanopartícula obtenida por Gwyddion.

Posterior a esto se tomaron distintas mediciones en la micrografía para determinar el tamaño promedio y la dispersión de tamaños. En el siguiente histograma se puede observar la tendencia, estando la mayor parte de las nanopartículas en un rango entre 20 y 40 nm. Mediante esta técnica de caracterización es complicado determinar si las nanopartículas se encuentran en bulto si están bien dispersas, siendo esta la razón por la que el promedio de tamaño obtenido en SEM dista del obtenido en AFM.

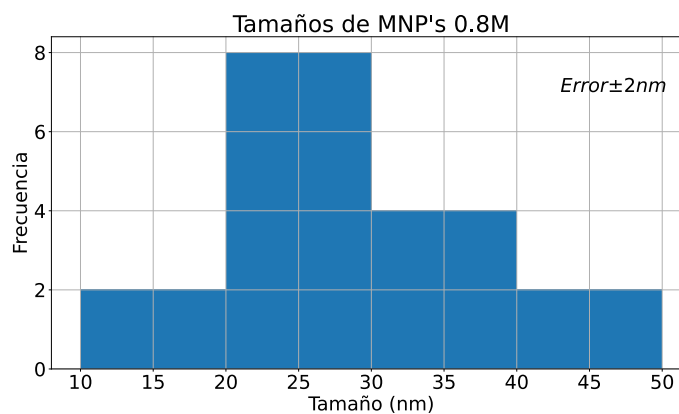


Figura 11. Histograma de frecuencias de nanopartículas magnéticas medidas en AFM.

A pesar de esto, SEM y AFM son técnicas de caracterización complementarias, brindando información diferente, pero en este caso corroborando que las dimensiones de las nanopartículas magnéticas se encuentran dentro del mismo rango.

Difracción de Rayos X (XRD)

Para conocer la composición química del compuesto se recurrió a otra técnica de caracterización, la difracción de Rayos X. Esta técnica proporciona información cristalográfica de la muestra, mostrando las especies presentes en el elastómero. Para realizar esta caracterización se fabricó un compuesto con 1g de Sales de Rochelle y 1g de nanopartículas magnéticas. En la siguiente figura se puede observar el difractograma de la muestra.

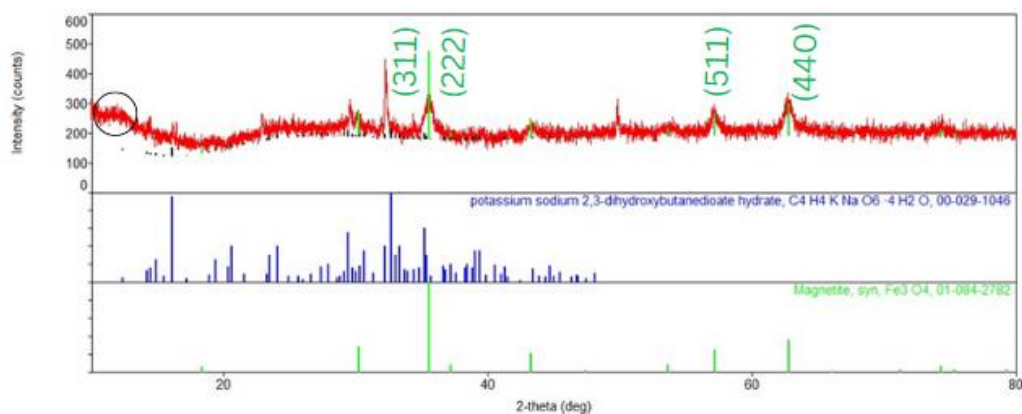


Figura 12. Difractograma obtenido por XRD de compuesto con nanopartículas magnéticas y sales de Rochelle.

En la gráfica se puede observar el difractograma de la muestra, así como los espectros pertenecientes a las sales de Rochelle y a la magnetita. Se muestran los picos pertenecientes a estas especies químicas y estos coinciden con los picos en el difractograma, confirmando la presencia de sales de Rochelle y magnetita. El ruido en el resto del espectro es debido al elastómero, al no ser un material cristalino su estructura cristalográfica es amorfa, por lo tanto, resulta complicado determinar las especies del EcoFlex con exactitud en XRD.

Espectroscopía de Fotoelectrones Emitidos por Rayos X (XPS)

Como análisis complementario para estudiar la composición química de las nanopartículas, se recurrió a la espectroscopía de fotoelectrones emitidos por rayos X, con el fin de analizar de qué manera estaba enlazado el hierro con el oxígeno en la muestra y confirmar que se tenía magnetita en el proceso de síntesis. En la siguiente figura se puede observar el espectro obtenido experimentalmente de la magnetita.

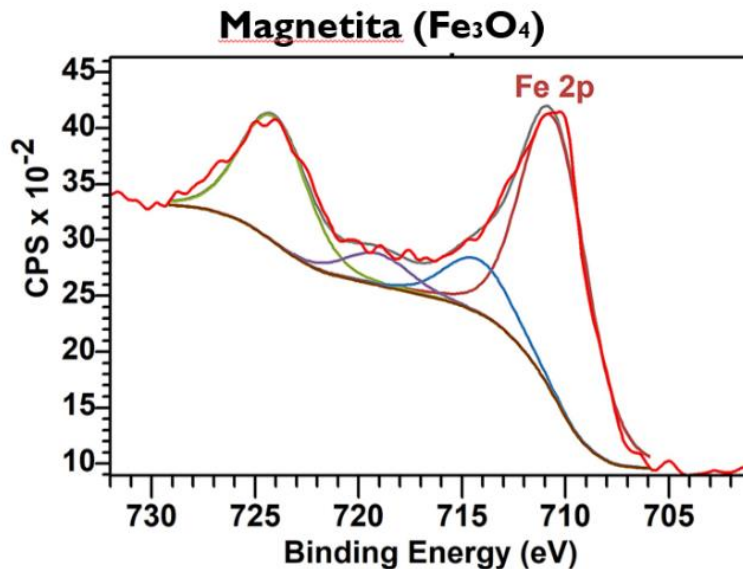


Figura 13. Espectro obtenido en XPS de nanopartículas magnéticas a 0.8M (magnetita).

Se buscaban las energías vinculantes pertenecientes a la magnetita, las cuales están en 724.2 eV y en 710.6 eV, con una ligera curvatura entre estos, indicando el enlace con el oxígeno. Comparando la curva obtenida con la literatura, se pudo concluir que las nanopartículas estaban hechas de magnetita, por lo tanto, mantenían las propiedades superparamagnéticas.

Se llevó a cabo un estudio de la composición porcentual de la muestra con el objetivo de evitar la presencia de contaminantes o elementos adicionales que pudieran afectar las propiedades de las nanoestructuras de magnetita. El análisis reveló únicamente la presencia de oxígeno, hierro y carbono en las especies químicas obtenidas, lo que indica

una alta pureza de la muestra. Es importante mencionar que el carbono es un contaminante natural presente en el entorno, por lo que su presencia en la muestra era esperable. En general, estos resultados confirman que la muestra analizada está compuesta principalmente de magnetita y que es de alta calidad, lo que la hace adecuada para su integración al compósito.

Mediciones eléctricas

Se prepararon cinco compósitos distintos: uno de referencia que contenía solo sales de Rochelle y cuatro compósitos adicionales. De los cuatro compósitos adicionales, dos se prepararon con una concentración de 0.8 M y los otros dos con una concentración de 0.6 M. Para los compósitos con una concentración de 0.8 M, se utilizó una proporción de nanopartículas magnéticas del 100% y del 25%, mientras que para los compósitos con una concentración de 0.6 M se utilizó una proporción de nanopartículas magnéticas del 25% y del 72.5%.

Se realizaron mediciones eléctricas en los compósitos preparados para evaluar la respuesta eléctrica ante un estrés mecánico y determinar si la magnetita potenciaba estas propiedades. Se observó una diferencia en la estabilidad de las mediciones entre las concentraciones de las nanopartículas. Los compósitos con una concentración de 0.8M mostraban una variación de voltaje más pequeña y mayor estabilidad a lo largo del tiempo, manteniéndose siempre por encima de los 100 mV. Por otro lado, en los compósitos con nanopartículas a 0.6 M se observó una variación en el voltaje mayor, con valores pico a pico más altos en algunas frecuencias, y una variación general muy alta.

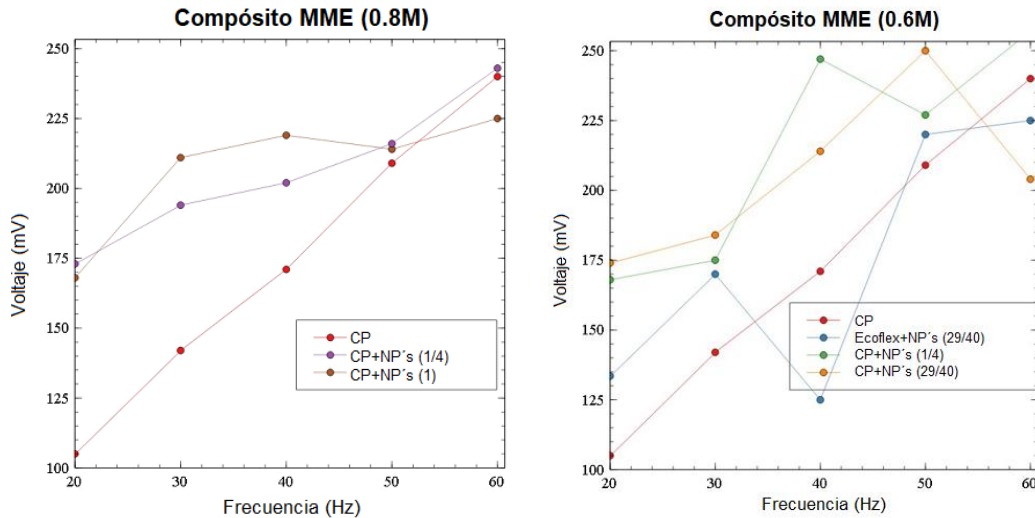


Figura 14. Mediciones eléctricas del compuesto con nanopartículas magnéticas a 0.8M (derecha) y a 0.6M (izquierda).

Estos resultados se atribuyen al tamaño de las nanopartículas y al acoplamiento electromagnético con la respuesta eléctrica de las sales de Rochelle. Las nanopartículas con una concentración de 0.8M presentan un tamaño mayor y, por lo tanto, una mayor área superficial, lo que facilita el acoplamiento y su replicación a lo largo del compuesto. En cambio, cuando las nanopartículas son más pequeñas, este fenómeno ocurre en regiones específicas y no se mantiene estable con el tiempo. Por lo tanto, el tamaño ideal de las nanopartículas a agregar al compuesto no debe ser inferior a 20 nm.

4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

- Aprendizajes profesionales

[Reflexión personal sobre las competencias profesionales (y multi o interdisciplinarias, si fue el caso) que se desarrollaron durante el proyecto.

Para la elaboración de este apartado, se pueden emplear las siguientes preguntas a manera de guía:

- ¿Cuáles fueron las competencias desarrolladas, tanto las genéricas como las propias de la profesión?
- ¿Cuáles fueron las competencias desarrolladas desde distintas disciplinas?

- ¿Cuáles fueron mis aprendizajes más importantes sobre el contexto sociopolítico y económico y la problemática del campo profesional?
- ¿Cuáles fueron mis saberes puestos a prueba?
- ¿Qué aprendí para mi proyecto de vida profesional?]

Héctor Hugo Zepeda Ramírez

El proyecto permitió la adquisición de importantes aprendizajes en el ámbito profesional, destacando la importancia de la planificación estratégica, la gestión efectiva de proyectos y la resolución de problemas complejos. Asimismo, se logró el desarrollo de habilidades técnicas y de investigación, lo cual resultó fundamental para la realización de los experimentos y el análisis de los resultados obtenidos. La participación en el proyecto también proporcionó la oportunidad de trabajar en equipo y mejorar habilidades de comunicación, tanto con compañeros de equipo como con expertos en la materia. Estos aprendizajes son valiosos para el crecimiento profesional y personal, lo que contribuirá a lograr futuros éxitos en proyectos similares o relacionados con esta área de conocimiento.

Andrés Rodríguez Márquez

A lo largo del desarrollo del proyecto pude notar como fui adquiriendo conocimiento social, científico, profesional y personal, así como diversas habilidades como lo es el trabajo en equipo, la comunicación, el desarrollo de ideas, diseño de experimentos, manejo de diferentes equipos, así como la investigación tanto experimental como bibliográfica, de igual manera pude notar que mis habilidades en el laboratorio aumentaron de manera significativa, volviéndome más hábil con los equipos, así como en la planeación de actividades en el mismo, por otro lado he aprendido mucho sobre los resultados obtenidos a lo largo del trabajo, lo cual me ha permitido recordar diferentes temas de materias previas al PAP.

Aunado a esto a lo largo de las reuniones semanales pude complementar mis conocimientos, con las partes de los trabajos de mis compañeros, así como comprender un poco sobre electrónica, así mismo se han reforzado los conocimientos de química, electromagnetismo, síntesis y caracterización, dispositivos de captación y conversión de energía, entre otras. Lo cual me ha permitido tener un mejor desempeño en las prácticas

de laboratorio de la materia de síntesis y caracterización de nanomateriales IV, permitiéndome ayudar a mis compañeros y agilizar el trabajo en el laboratorio tanto de procesos químicos como de microscopías. Por otro lado, me quedo con ganas de aprender aún más y de terminar la parte del proyecto de las nanopartículas magnéticas para ver los resultados finales de todo lo que comenzamos, ya que me gustó demasiado y siempre me ha gustado ir más allá.

- Aprendizajes sociales

Héctor Hugo Zepeda Ramírez

Además de los aprendizajes técnicos y profesionales, el proyecto también permitió importantes aprendizajes sociales. Se fomentó la importancia de la comunicación efectiva y la colaboración en equipo, lo que contribuyó al fortalecimiento de habilidades sociales como la empatía, el liderazgo y la resolución de conflictos. También se promovió la conciencia ambiental y el impacto social de los proyectos científicos, lo que permitió la identificación de oportunidades para contribuir a la sostenibilidad y el bienestar de la comunidad. Estos aprendizajes son valiosos no solo para el ámbito profesional, sino también para la vida cotidiana, permitiendo una mayor capacidad para relacionarse con los demás y para trabajar en conjunto hacia objetivos compartidos.

Andrés Rodríguez Márquez

A lo largo del proyecto nos pudimos dar cuenta de lo importante que puede llegar a ser el desarrollo de dispositivos MME como cosechadores de energía, ya que estos nos ayudan a ir hacia las energías renovables o bien la disminución del uso de hidrocarburos, no obstante aun queda mucho trabajo e investigación para poder llegar a hacer esa transformación, pues estos dispositivos no logran alimentar sistemas muy grandes aun, sin embargo empezar por pequeños cambios e iniciativas pueden hacer la gran diferencia.

Por otro lado con el paso de las semanas, los conocimientos y las ideas eran otras que un inicio lo que nos permitía poner de nuestra cosecha para hacer cambios en el proyecto o proponer mejoras del mismo, dicho sea de paso las nanopartículas core-shell son el ejemplo perfecto de eso, ya que esas no se encontraban contempladas al inicio del proyecto, sin embargo, tras la investigación realizada pudimos proponer agregar esa parte al proyecto y

mejorar las propiedades del material haciendo de esto un proyecto novedoso en el tema de compósitos con las características obtenidas, las cuales permiten innovar en el área de energías renovables, así como de dispositivos autosustentables.

- Aprendizajes éticos

[Reflexión ética de la experiencia profesional; tanto valoración personal como colectiva

Para la elaboración de este apartado, se pueden emplear las siguientes preguntas a manera de guía:

- ¿Cuáles fueron las principales decisiones que tomé, por qué razón las tomé, y qué consecuencias tuvieron?
- ¿Adónde me lleva, a qué me lanza o invita la experiencia vivida?
- ¿Cómo y para quien habré de ejercer mi profesión después de la experiencia del PAP?]

Héctor Hugo Zepeda Ramírez

Además de los aprendizajes técnicos y sociales, el proyecto también permitió importantes aprendizajes éticos. Se fomentó la importancia de la integridad científica, la transparencia y la responsabilidad en la investigación y en el uso de los resultados obtenidos. También se abordaron temas como el respeto a los derechos de los participantes, la confidencialidad de la información y el cumplimiento de normativas y regulaciones éticas. Estos aprendizajes son esenciales para el desarrollo de una práctica científica responsable y ética, y son fundamentales para garantizar la confianza y la credibilidad de la comunidad científica y del público en general.

Andrés Rodríguez Márquez

En este proyecto se tuvieron que tomar diferentes decisiones para lograr desarrollarlo, algunas de las decisiones más importantes que tomé fue formar parte de esta sección de un proyecto tan ambicioso, así mismo comprometerme a ir más allá y dar un poco más para poder avanzar lo más posible, sin embargo, eso no hubiera sido posible sin una disciplina y sin el amor a la ciencia que tengo, es por ello que me gustaría que el proyecto pase de la experimentación a un producto o servicio que pueda ser de ayuda para la sociedad y que

no solo quedé en la parte experimental, por otro lado esta experiencia de vida me hizo darme cuenta que estar en un laboratorio es lo que me apasiona y es algo que podría hacer todos los días y que mejor que aprovecharlo para ayudar a los demás y solucionar problemas actuales en este caso para la sustentabilidad ambiental y energética.

- Aprendizajes en lo personal

[Reflexión de lo que la experiencia ha aportado en y para tu vida.

- ¿El PAP qué me dio para conocerme a mí?
- ¿El PAP qué me dio para conocer y reconocer a la sociedad y a los otros?
- ¿Cómo me ayudó el PAP para aprender a convivir en la pluralidad y para la diversidad?
- ¿Qué aprendí para mi proyecto de vida?]

Héctor Hugo Zepeda Ramírez

Gracias a este PAP pude conocer mis habilidades de investigación, dentro del laboratorio, de comunicación científica, de deducción, entre otras. Gracias a este proyecto pude cumplir un sueño de toda mi vida, que era participar activamente en la ciencia, buscando respuestas y generando información nueva. También, por este PAP, pude hacer amistades y crear compañerismo con mis colegas del proyecto, dialogando acerca de nuestros resultados y empatizando con las dificultades que a ellos se les presentaban. Este PAP me da un golpe de confianza que necesitaba, sintiéndome capaz de realizar las cosas que me gustan y que me interesan, haciéndome consciente de mis conocimientos y que puedo aplicarlos en mi vida profesional. Este PAP me quita un poco el miedo de salir al mundo real y enfrentar la dura vida laboral.

Andrés Rodríguez Márquez

Este PAP me enseñó muchas cosas, entre ellas que es muy importante tener comunicación con las personas que nos rodean y que forman parte del proyecto, creo que sin la comunicación que se tuvo el proyecto no hubiera sido igual, otra cosa importante es el compromiso que se tuvo con todas las sesiones y con todas las entregas, el desarrollo del PAP me dio a conocer la importancia de tener una mente abierta a la diferentes

posibilidades de desarrollar cada experimento, de cambiar metodologías e incluso combinar varias, sin embargo, como lo menciono se desarrollaron habilidades sociales y también de concientización por el medio ambiente, así como la resolución de problemas. Finalmente para mi proyecto de vida me sirvió para saber el área a la que me gustaría desenvolverme profesionalmente, así como las actividades que más disfruto hacer en la vida profesional, de igual manera, me enseñó es importante aprender un poco de todo para comprender un proyecto tan complejo y ambicioso.

5. Conclusiones

La síntesis de nanopartículas magnéticas y la fabricación del compósito con sales de Rochelle y MNP's se realizó con éxito, cumpliendo con el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto. Se enfrentaron a situaciones adversas en las que los parámetros que afectaban la síntesis de las nanopartículas no eran claros y no existía mucha información al respecto, sin embargo, con la variación de las especies químicas, se pudo determinar que el hidróxido de amonio provocaba una nucleación más lenta y por ende, un menor tamaño de nanopartículas. Mediante las caracterizaciones se pudo observar que la concentración que formaba los tamaños buscados era a 0.8M, con agitación magnética. El tamaño de las nanopartículas fue en promedio de $21 \pm 2\text{nm}$, con una morfología esférica uniforme, siendo así idóneos para su integración al compósito.

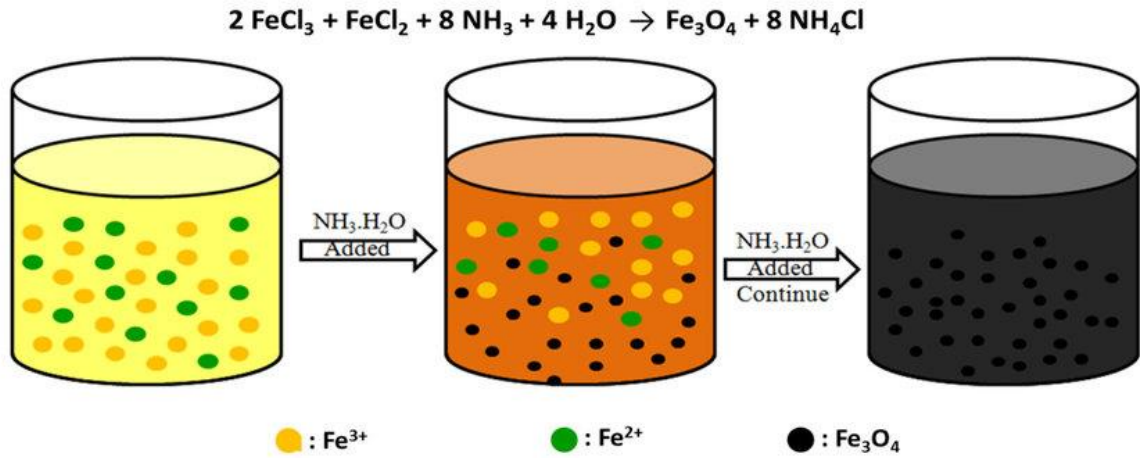
Como perspectivas de este proyecto, se podrían mejorar las mediciones eléctricas y hacer pruebas de replicabilidad, así como buscar una mejor dispersión de las nanopartículas con el uso de diferentes solventes que permitan la polimerización del elastómero. También se podrían sintetizar nanoestructuras más complejas, como las nanopartículas core-shell, que darían apoyo a la conductividad eléctrica dentro del elastómero, así como aumentar el área de este para buscar una respuesta más uniforme.

6. Bibliografía

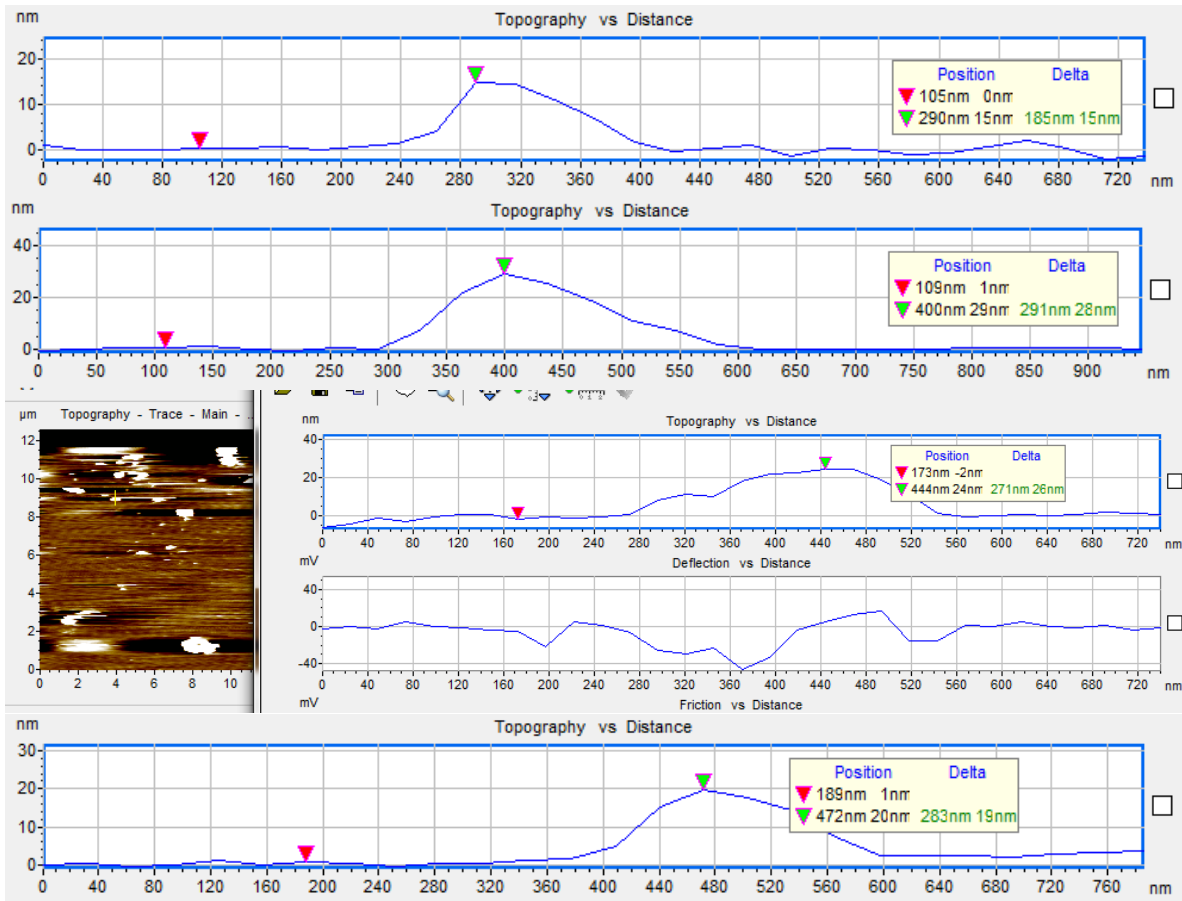
1. Priya, S., Song, H., Zhou, Y., Varghese, R., Chopra, A., Kim, S., Kanno, I., Wu, L., Ha, D., Ryu, J. & Polcawich, R. (2017). A Review on Piezoelectric Energy Harvesting: Materials, Methods, and Circuits. *Energy Harvesting and Systems*, 4(1), 3-39. <https://doi.org/10.1515/ehs-2016-0028>
2. Annapureddy, V., Palneedi, H., Hwang, G. T., Peddigari, M., Jeong, D. Y., Yoon, W. H., ... & Ryu, J. (2017). Magnetic energy harvesting with magnetoelectrics: an emerging technology for self-powered autonomous systems. *Sustainable Energy & Fuels*, 1(10), 2039-2052.
3. Mori, T., & Priya, S. (2018). Materials for energy harvesting: At the forefront of a new wave. *MRS Bulletin*, 43(3), 176-180. doi:10.1557/mrs.2018.32
4. Patil, D. R., Kumar, A., & Ryu, J. (2021). Recent Progress in Devices Based on Magnetoelectric Composite Thin Films. *Sensors*, 21(23), 8012.
5. Ali, A., Zafar, H., Zia, M., ul Haq, I., Phull, A. R., Ali, J. S., & Hussain, A. (2016). Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnology, science and applications*, 49-67.
6. Wei, Y., Han, B., Hu, X., Lin, Y., Wang, X., & Deng, X. (2012). Synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles and their magnetic properties. *Procedia Engineering*, 27, 632-637.
7. Lemaire, E., Thuau, D., De Vault, J. B., Vaissiere, N., & Atilla, A. (2021). Rochelle Salt-Based Ferroelectric and Piezoelectric Composite Produced with Simple Additive Manufacturing Techniques. *Materials*, 14(20), 6132.
8. Medina Blázquez, M. Á. (2020). Definición de un procedimiento de ensayo dinámico en cosechadores de energía.
9. Bustamante-Torres, M., Romero-Fierro, D., Estrella-Nuñez, J., Arcentales-Vera, B., Chichande-Proañó, E., & Bucio, E. (2022). Polymeric composite of magnetite iron oxide nanoparticles and their application in biomedicine: a review. *Polymers*, 14(4), 752.
10. Liao, Z., Hossain, M., Yao, X., Navaratne, R., & Chagnon, G. (2020). A comprehensive thermo-viscoelastic experimental investigation of Ecoflex polymer. *Polymer Testing*, 86, 106478.
11. Rani, S., & Varma, G. D. (2015). Superparamagnetism and metamagnetic transition in Fe₃O₄ nanoparticles synthesized via co-precipitation method at different pH. *Physica B: Condensed Matter*, 472, 66-77.

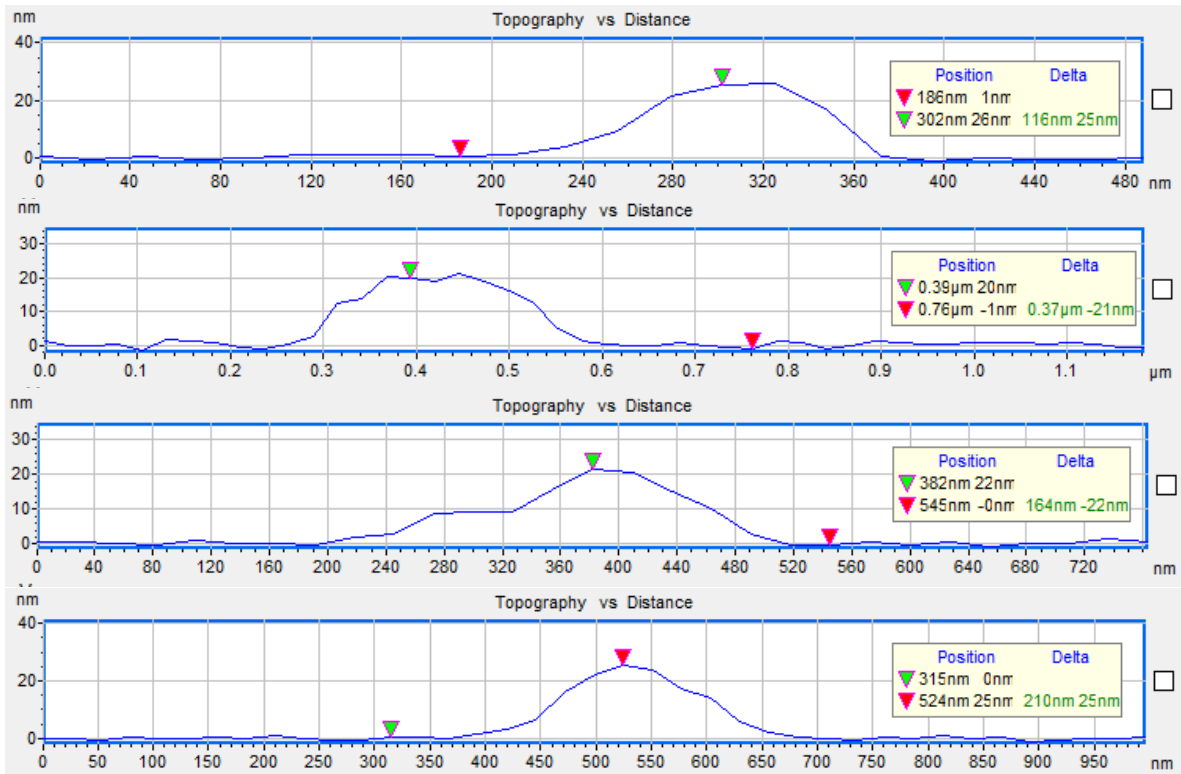
Anexos (en caso de ser necesarios)

[Es todo lo que soporte el documento; que no es necesario añadirlo en el cuerpo del reporte, pero que sirve para su mejor comprensión: materiales elaborados, bitácoras, fichas, fotografías, mapas, etc.]

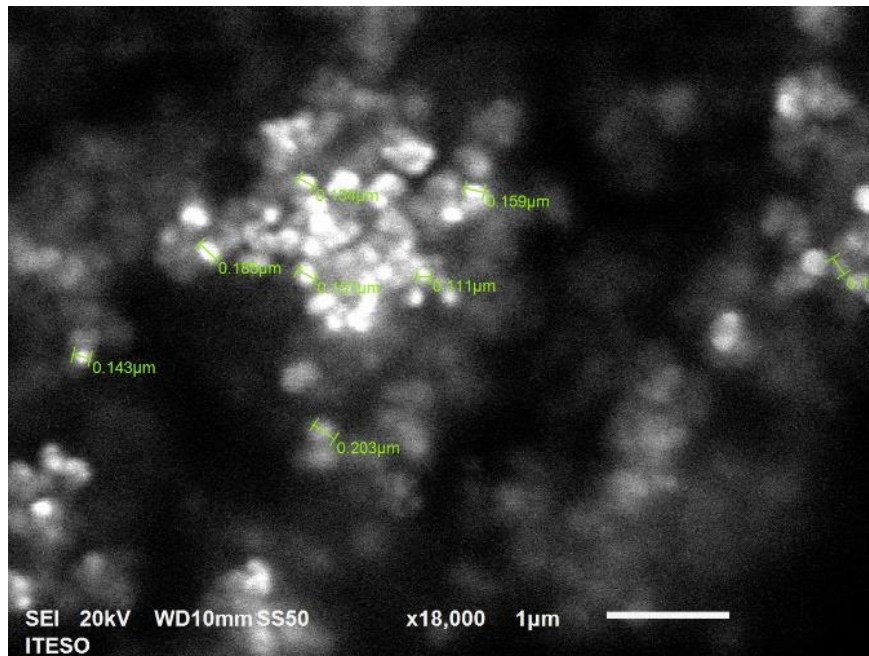


Anexo 1 Reacción de síntesis de MNPs de magnetita con hidróxido de amonio

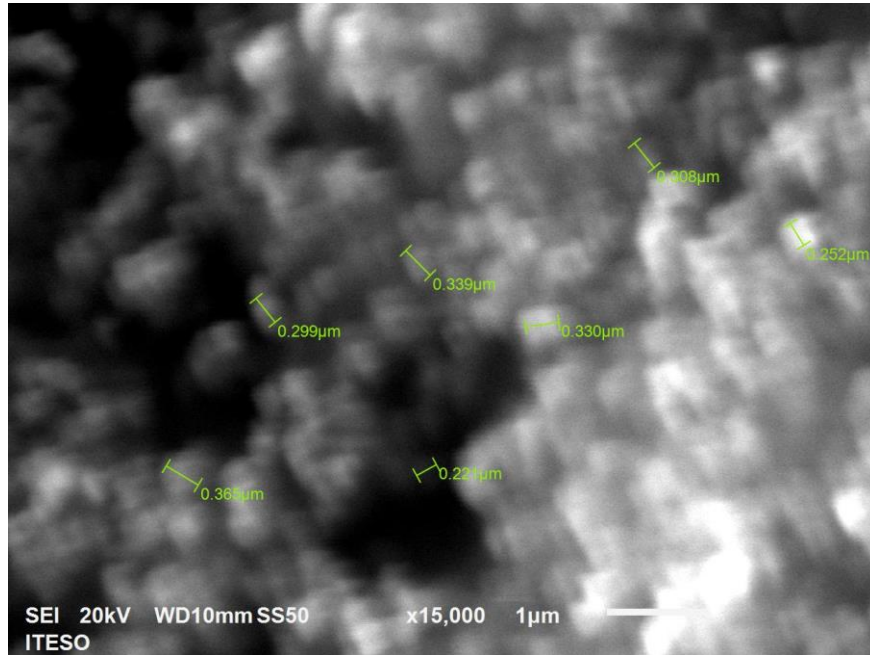




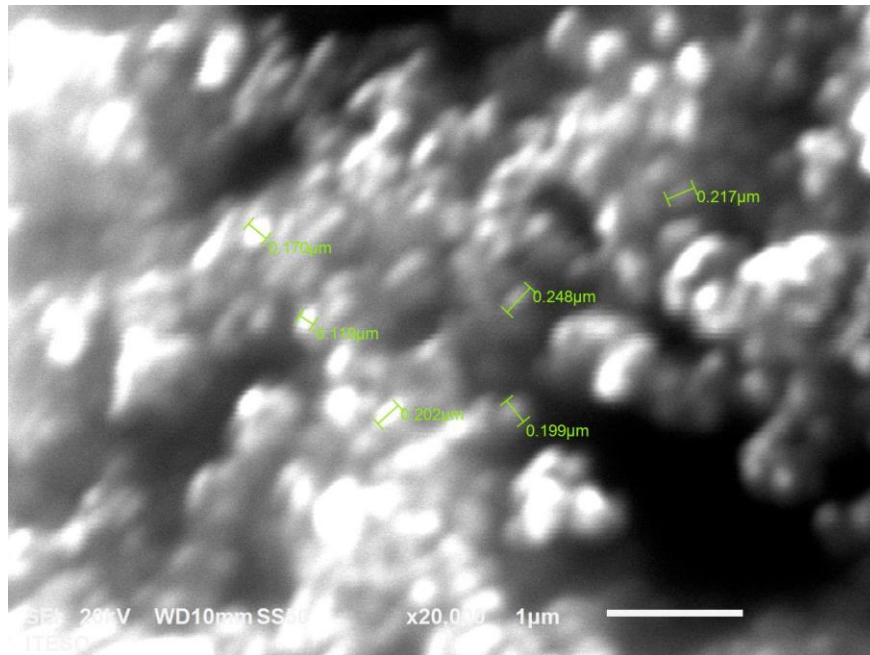
Anexo 2. Mediciones de AFM de MNP's



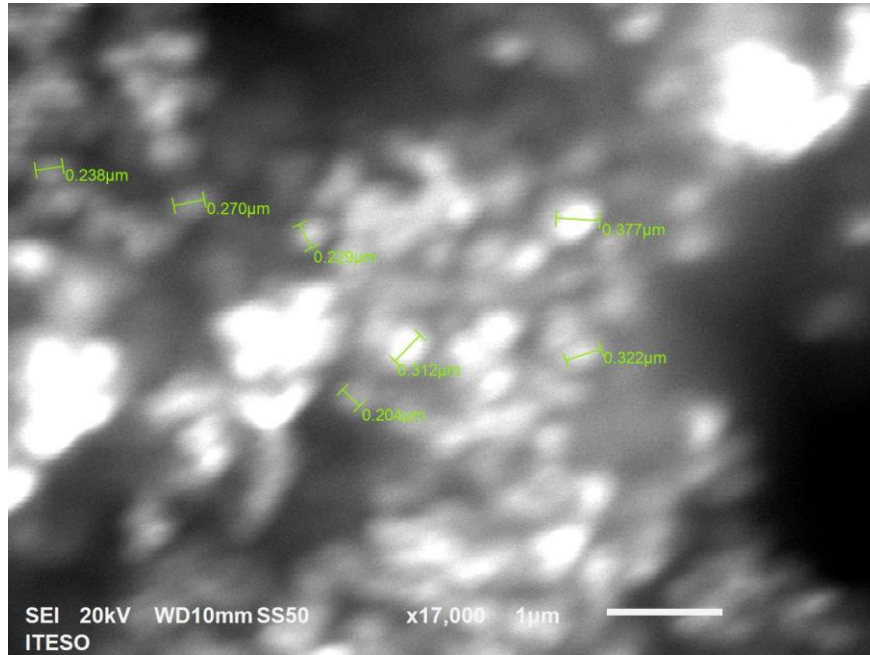
Anexo 3. Micrografía SEM de MNP's a 0.6M.



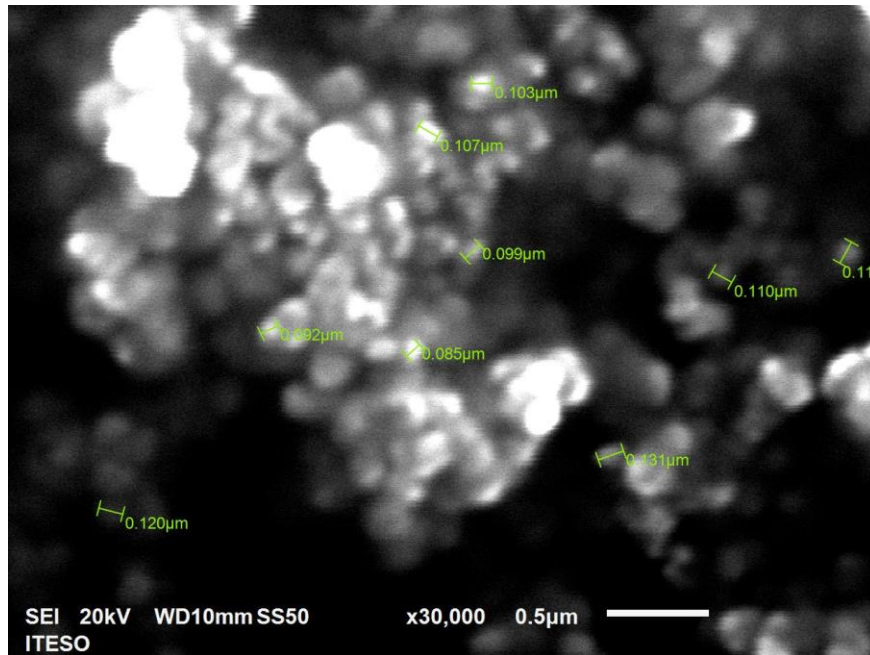
Anexo 4. Micrografía SEM de MNP's a 0.6M.



Anexo 5. Micrografía SEM de MNP's a 0.8M.



Anexo 6. Micrografía SEM de MNP's a 0.8M.



Anexo 7. Micrografía SEM de MNP's a 0.8M.