

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Aplicación Profesional

Sustentabilidad y Tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)



4I03B APOYO A LA INVESTIGACION Y DESARROLLO EN NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGIA I

COMPÓSITO PIEZOELÉCTRICO ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS

PRESENTAN

Ing. en Nanotecnología. Martha Sofia Curiel Medina

Ing. en Nanotecnología. Alejandro Ballesteros Quiñones

Profesor PAP: Yenni Guadalupe Velázquez Galván

Tlaquepaque, Jalisco, 08 de mayo 2023

Contenido

REPORTE PAP	3
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	3
Resumen.....	3
1. Introducción	4
1.1. Objetivos	4
1.2. Justificación	5
1.3 Antecedentes	7
1.4. Contexto.....	10
2. Desarrollo.....	14
2.1. Sustento teórico y metodológico.....	14
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto.....	20
3. Resultados del trabajo profesional	28
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto	49
5. Conclusiones	53
6. Bibliografía	54
Anexos (en caso de ser necesarios).....	58

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

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

Se fabricó un compósito piezoeléctrico a base del elastómero ECOFLEX, y una sal con propiedades piezoeléctricas, sal de Rochelle (tartrato sódico potásico $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), según la metodología óptima encontrada el semestre pasado. Además, se probó la adición de nanopartículas de plata (AgNPs) sintetizadas por el método de reducción química, con el objetivo de aumentar y mejorar la estabilidad de la señal eléctrica producida.

La morfología y dimensiones de las AgNPs fueron estudiadas por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM), con análisis de composición química por espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDS). Mientras tanto, los compósitos fueron caracterizados mediante espectroscopía de difracción de rayos X (XRD), para encontrar la dirección cristalina presente de la sal y el efecto de los parámetros de síntesis sobre ella. Finalmente, también se midió la respuesta eléctrica del piezoeléctrico al aplicar un estímulo mecánico, detectando el voltaje de salida con osciloscopio.

Las nanopartículas que se obtuvieron fueron de forma esférica, con un tamaño de entre 20 y 60 nm, variando según la metodología de síntesis utilizada. Además, el voltaje y la estabilidad

de la señal obtenida con los compósitos adicionados con nanopartículas aumentó, con valores máximos entre 250 y 300 mV.

1. Introducción

1.1. Objetivos

General

Desarrollar un compósito piezoeléctrico con propiedades físicas de flexibilidad y resistencia mecánica, además de propiedades eléctricas que permitan generar una señal eléctrica más estable y potente. Se pretende encontrar la dirección cristalina preferencial de crecimiento de la sal de Rochelle (tartrato sódico potásico $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y las mejores condiciones para su distribución en el elastómero. Además, se busca mejorar la conductividad del compósito mediante la adición de nanopartículas, con el fin de aumentar la señal producida y estabilizarla, creando un compósito que pueda producir suficiente energía para alimentar a un dispositivo de baja potencia.

Específicos

- Investigar en la bibliografía procesos químicos y condiciones óptimas (temperatura, agitación, diluyentes, etc.) para la obtención de la disolución y cristalización de la sal de Rochelle.
- Investigar las propiedades que puede adquirir un elastómero al añadirle nanopartículas metálicas con propiedades específicas como morfología, estructura y composición química.
- Investigar la síntesis de nanopartículas de plata y los parámetros necesarios (temperatura, agitación, catalizador, goteo controlado, cantidad de compuestos químicos, proceso de secado, etc.) para obtenerlas en forma de polvo con altos grados de pureza.
- Estudiar el efecto de la cristalización de la sal de Rochelle en función de la geometría y condiciones de síntesis (parámetros fisicoquímicos).

- Estudiar las propiedades piezoeléctricas de los compósitos mediante la implementación de montajes experimentales.
- Estudiar la morfología y composición química de las nanopartículas sintetizadas mediante SEM.
- Observar la cristalización y distribución de la sal por medio de caracterización óptica con microscopio.
- Estudiar la dirección y estructura cristalina de la sal mediante estudios de XRD.
- Sintetizar compósitos con diferentes cantidades de nanopartículas de plata.
- Probar diferentes solventes para la dispersión de las nanopartículas de plata dentro del compósito.
- Ver las afectaciones que provoca la adicción de un solvente al compósito.
- Caracterizar los compósitos adicionados con nanopartículas de plata de forma óptica y eléctrica.

1.2. Justificación

El desarrollo de este proyecto es de gran importancia ya que se busca una mejor opción para la administración de energía a dispositivos de baja potencia mediante compuestos que sean biodegradables y biocompatibles, con el objetivo de crear un sistema que permita que dichos dispositivos sean autosustentables y de fácil producción. Actualmente, dichos sistemas son alimentados por pilas, baterías o un sistema de cosechadores de energía.

Las baterías son dispositivos que convierten la energía química generada por la reacción de sus componentes en energía eléctrica. Sus partes internas esenciales son un electrodo positivo y un electrodo negativo, llamados ánodo y cátodo. Dependiendo del tipo de pila, sus componentes están constituidos por sustancias tóxicas como el Hg, Pb, Ni, y Cd, y otras veces por elementos no tóxicos como el Zn, que en cantidades balanceadas forma parte de nuestro organismo (oligoelemento). El tercer componente es un conductor iónico denominado electrolito. Por su electrolito, las baterías se pueden clasificar en secas y húmedas. Generalmente, las baterías de uso doméstico tienen un electrolito seco que puede ser alcalino o salino (Méndez-Sánchez, 2006).

Con esta problemática surge la necesidad de buscar la creación de dispositivos cosechadores o proveedores de energía que estén basados en materiales o compuestos amigables con el medio ambiente y no dañinos para la salud. Existen muchos proyectos en desarrollo que buscan cumplir estos objetivos, entre los que destacan los polímeros conductores, los compósitos de nanopartículas metálicas, entre otros. Lo que se busca hacer en este proyecto es un sistema multifuncional cosechador de energía, por lo que se pretende desarrollar un compósito piezoeléctrico basado en la obtención de energía de fuentes externas, en este caso, la energía mecánica o de movimiento. Dicha energía podrá ser capturada y almacenada para pequeños dispositivos autónomos inalámbricos, buscando cumplir su función como un sensor biológico.

Por lo tanto, la investigación y desarrollo de materiales multifuncionales como el compósito piezoeléctrico mencionado anteriormente es una labor con gran impacto, ya que pueden ser utilizados en cosechadores de energía optimizados y/o nano dispositivos de nueva generación con diversas áreas de aplicación.

Este proyecto busca implementarse a diferentes áreas de aplicación, por ejemplo, la recolección de energía por medio de la energía mecánica o vibracional, la cual, enfocada en el cuerpo humano, consiste en el aprovechamiento de los movimientos que se generan en él, haciendo que el sistema puede detectar este tipo de estímulos mecánicos, captarlos, transformarlos y almacenarlos para generar energía aprovechable. Por eso, los materiales utilizados deben permitir tener un sistema ligero, flexible y resistente, donde destaca la importancia del elastómero, puesto que este sería apto para ser utilizado como un cosechador de energía portable y ligero, alimentando dispositivos electrónicos que requieran de características como eficiencia de conversión de energía y acoplamiento a distintos medios.

Bajo una perspectiva más específica, podría ser aplicado en ámbitos médicos, siendo ya un dispositivo multifuncional para el monitoreo de signos vitales mediante el sensado de los campos magnéticos generados por el cuerpo humano, pues son un indicador muy importante para el diagnóstico temprano de problemas cardiovasculares, o como medidor de regulación de niveles de azúcar, entre otros.

Con tal propósito, se fabricó el cosechador a partir de la sal de Rochelle, un compuesto con grandes propiedades piezoeléctricas y con gran potencial de ser utilizado como cosechador de energía limpia (Lemaire *et al.*, 2015), en combinación con un elastómero como el ECOFLEX, que presenta buenas propiedades de resistencia mecánica, flexibilidad, biodegradable y baja viscosidad, con el objetivo de aumentar el movimiento para maximizar la generación de voltaje.

1.3 Antecedentes

El desarrollo de los dispositivos electrónicos de nueva generación requiere de una innovación en cuanto a miniaturización y portabilidad. Debido a la reducción de los tamaños de estos dispositivos, la energía necesaria para abastecerlos es igualmente muy baja, haciendo posible su funcionamiento únicamente con la utilización de la energía limpia recolectada del entorno, tales como como la energía solar, térmica, mecánica, magnética, entre otras. (Wang, 2013).

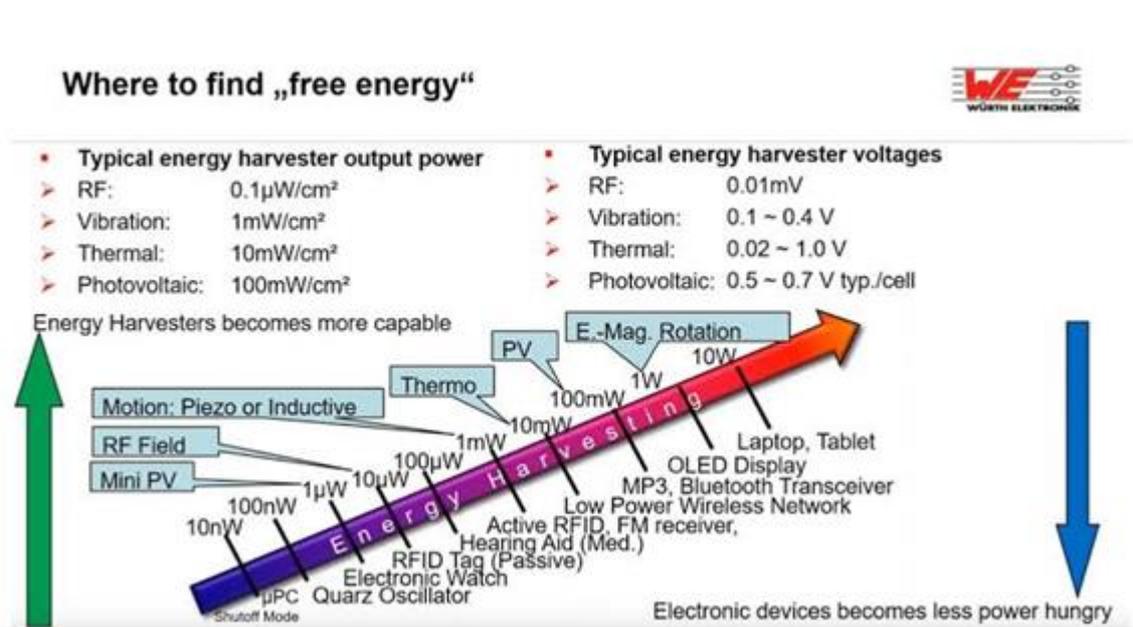


Figura 1.- Comparativa de fuentes de energía obtenida por cosechadores y aplicaciones (Zahnstecher, 2017).

Algunos de los dispositivos que pueden alimentarse con este tipo de energías obtenidas son sensores químicos y biomoleculares ultrasensibles, microelectrónicos, nanorobots, sensores ambientales móviles y remotos, electrónicos portátiles personales, etc., esto debido a que no necesitan de un gran consumo de energía para su funcionamiento, pues funcionan a base de micro/nanosistemas (MNSs), que, a su vez, requieren de una cantidad mínima de potencia para su funcionamiento (Figura 1). Wang & Wu (2012) presentan algunas de las tecnologías

aplicadas en MNSs, entre una de ellas se encuentran los desarrollados a partir de materiales piezoeléctricos los cuales son capaces de convertir la energía proveniente de estímulos mecánicos o vibraciones a energía eléctrica, desde cientos de micro watts hasta algunos mili watts por centímetro cúbico.

En los últimos años se han desarrollado diferentes proyectos para intentar crear sistemas de alimentación de energía para los nuevos dispositivos electrónicos, ayudar en el campo de la transformación de energía o para el desarrollo de nuevas tecnologías innovadoras multifuncionales, esto se busca aprovechando las propiedades de los materiales como por ejemplo su conductividad, resistencia, flexibilidad, piezoelectricidad, entre otras, la nanotecnología está en busca de desarrollar materiales los cuales tengan las propiedades y características óptimas para desarrollar más de una función a la vez conociendo y modificando las propiedades de los diferentes elementos.

Existen diferentes ejemplos de compósitos y polímeros que buscan producir o transformar energía a través de diferentes medios, como los polímeros piezoeléctricos los cuales pueden convertir un voltaje en energía mecánica y viceversa. Son ampliamente considerados en aplicaciones que involucran actuación electromecánica y detección mecano-eléctrica. Los polímeros piezoeléctricos consisten en materiales que experimentan un cambio de forma o dimensión cuando se exponen a un campo eléctrico. El régimen aplicado de voltaje, corriente, forma de onda, duración e intervalo entre pulsos del estímulo externo aplicado permite un control preciso de la transformación de energía eléctrica en mecánica (Rosler, 2012).

Existen más tipo de polímeros, como los polímeros conductores (CP) que son conductores orgánicos. El término "polímeros conductores" es amplio, ya que abarca CP extrínsecos e intrínsecos. Los CP extrínsecamente son compuestos de matrices poliméricas aislantes cargadas con rellenos electro conductores (por ejemplo, grafeno, nanotubos de carbono, nanopartículas metálicas, MXenes) (Rahaman, 2017).

Existen otro tipo de compósitos que se han desarrollado en los últimos años como son los compósitos iónico - polimérico - metálico (IPMC), los cuales son una combinación de un polímero iónico y un medio conductor como un metal de transición (M.Shahinpoor, 2001). Los IPMC pueden mostrar una gran deformación dinámica cuando se someten a un campo

eléctrico aplicado (respuesta electromecánica), debido a la movilidad de iones a través de los IPMC, lo que provoca una distribución de volumen no uniforme. Cuando se calibran, estas deformaciones se pueden utilizar como sensores biomiméticos, microbombas, músculos artificiales y actuadores robóticos blandos (W.H. Mohdlsa, 2019).

También tenemos que hablar no solo de polímeros piezoeléctricos sino también de materiales que tengan esta propiedad y puedan ser aprovechados en este campo, por ejemplo, el titanato circonato de plomo (PZT) es un material cerámico de perovskita que muestra un marcado efecto piezoeléctrico. Dentro de sus propiedades eléctricas esta la permitividad relativa del titanato de circonato de plomo donde puede oscilar entre 300 y 20000 F/m, dependiendo de la orientación y el dopado. Al ser un material piroeléctrico, este material desarrolla una diferencia de voltaje en dos de sus caras bajo condiciones cambiantes de temperatura; en consecuencia, el PZT se puede utilizar como sensor de calor. También, es ferroeléctrico lo que significa que tiene una polarización eléctrica espontánea (dipolo eléctrico) que se puede invertir en presencia de un campo eléctrico. Además, exhibe una ruptura dieléctrica dependiente del tiempo: la ruptura puede ocurrir bajo tensión de voltaje constante después de minutos u horas, dependiendo del voltaje y la temperatura, por lo que su rigidez dieléctrica depende de la escala de tiempo en la que se mide (hmong.wiki, s. f.).

Por lo tanto, debido las características mencionadas anteriormente es uno de los materiales piezoeléctricos más utilizados para la recolección de energía mecánica (Cerdeiras Montero, 2016). Sin embargo, debido a algunos problemas sobre la durabilidad y sustentabilidad a largo plazo, actualmente se están desarrollando materiales alternativos que solucionen estas deficiencias.

La investigación y desarrollo de MNs piezoeléctricos existe un material de gran interés debido a su bajo costo, buenas propiedades mecánicas y piezoeléctricas, biocompatibilidad y su gran versatilidad de uso, este es la sal de Rochelle o tartrato de sodio y potasio ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), pues al momento de cristalizarse presenta una excelente respuesta piezoeléctrica, siendo un gran candidato para su funcionalización con algún otro material micro/nanoestructurado. A pesar de las grandes oportunidades de aplicación que otorgan las propiedades de la sal de Rochelle, actualmente es un material poco estudiado en cuanto a su funcionalización.

Una de las grandes ventajas y bondades de los polímeros son sus propiedades mecánicas y físicas como lo son la maleabilidad, no corrosivos, biodegradables, ligeros, aislantes de temperatura, etc., por lo que son una gran herramienta para integrar a otros sistemas más complejos que requieren de dichas propiedades. Existe una gran variedad de polímeros, pero los más utilizados para aplicaciones eléctricas y mecánicas son el Policarbonato (PC), Poliuretano (PU), Polisterineo (PS), Polidimetilsiloxano (PDMS) y ECOFLEX. Por lo tanto, el tener estas propiedades en nuestro material nos proporciona la ventaja de poder aplicarlo directamente en el cuerpo humano sin tener algún problema respecto a corrosión, rigidez y/o transmisor de calor, donde además al agruparlo con la sal de Rochelle permite que pueda obtener en conjunto propiedades piezoeléctricas. El elastómero ECOFLEX por sí solo no tiene propiedades piezoeléctricas que puedan ayudar al desarrollo eléctrico, pero en conjunto con la sal permite el desarrollo de un compósito con las propiedades mecánicas del elastómero y las propiedades piezoeléctricas de la sal.

Por lo que podemos ver existen muchos materiales, elementos o proyectos los cuales buscan aprovechar la propiedad de la piezoelectricidad para poder desarrollar una nueva tecnología de generación de energía para dispositivos de nueva generación, este proyecto busca seguir esa línea, desarrollar un proyecto autosustentable y biodegradable el cual pueda ayudar a la producción de energía por medio del aprovechamiento de un estímulo mecánico, en este caso para dispositivos de baja energía, además de que este no solo produzca la energía necesaria, sino que también pueda realizar diferentes funciones dependiendo el campo en el que se quiera emplear.

1.4. Contexto

Los últimos años han estado marcados por un fenómeno indiscutible, es el creciente ritmo al que evoluciona la tecnología. Esta velocidad imparables a la que los dispositivos que utilizamos mejora hacen que al poco tiempo de disponer de ellos tengamos que cambiarlos. A veces por simple capricho, otras por necesidad, ya que el avance imparables de tecnología hace que nuestros aparatos se queden obsoletos muy rápidamente, desechamos a diario toneladas de productos electrónicos. Según un estudio del Instituto de Ecología elaborado en 2010, México

genera trescientas mil toneladas de basura electrónica al año con una tasa de crecimiento del 6% anual (Rangel, s.f.).

En la actualidad, los dispositivos electrónicos inalámbricos son cada vez más utilizados, lo que implica un aumento en el uso de baterías o almacenadores de energía. Sin embargo, estas pueden llegar a ser contaminantes debido a las sustancias que utilizan para generar electricidad. De hecho, el PNUMA (Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas), calcula que se generan en todo el mundo cerca de 50 millones de toneladas de aparatos electrónicos que son desechados anualmente, lo cual nos hace ver que los nuevos desarrollos tecnológicos que se lleven a cabo deben tener como objetivo ser autosustentable para poder ser usado de forma más prologada y aprovechar más su tiempo de vida de este.

Sabemos que los avances tecnológicos están siendo muy acelerados, sin embargo, estas avanzan o se desarrollan sin tanto enfoque de cuidado con el medio ambiente, al mismo tiempo las tecnologías emergentes se están abriendo un espacio en estos avances al permitir la evolución de la tecnología antigua, pero que son estas tecnologías emergentes, bueno estas se caracterizan en general por ser tecnologías innovadoras que aportan mejoras frente a otras más tradicionales ya consolidadas pero que aún no han alcanzado su nivel máximo de madurez, por lo que se encuentran aún en vías de desarrollo (Concari, 2014). Esto nos lleva a entender que los proyectos enfocados a la producción de energía para dispositivos de baja energía son tecnologías emergentes, ya que los nuevos dispositivos son pequeños y no requieren de grandes cantidades de energía y lo que se busca es suministrarlos por cosechadores de energía autosustentables y biodegradables.

Existen dispositivos médicos portátiles que monitorean signos vitales, niveles de hormonas, entre otros, lo cual permite la prevención, el tratamiento oportuno y seguimiento de la evolución de enfermedades. El hacer estos dispositivos autosustentables en términos energéticos permitiría que estos tengan una vida útil más larga permitiendo tener una mayor cantidad de dispositivos óptimos para su implementación.

El presente proyecto tiene como propósito desarrollar un compuesto piezoeléctrico para la obtención de energía a partir del movimiento del cuerpo humano, por lo cual se comenzó por conocer las concentraciones adecuadas a utilizar del elastómero ECOFLEX y la sal de Rochelle, además de encontrar el mejor método de preparación que permitiera la polimerización

adecuada para la eliminación de aire y la cristalización de la sal piezoeléctrica evitando la sedimentación de esta.

También sabemos que el compósito por sí solo tiene una inestabilidad eléctrica notable ya que las variaciones que presenta al generar la señal eléctrica son muy notorias se busca una forma de darle estabilidad y al mismo tiempo buscar aumentar la señal, ahí es donde entra la nanotecnología, mediante la adición de nanopartículas se busca ayudar a la estabilidad y producción de energía eléctrica generada.

Son diversos los desarrollos actuales de la nanotecnología, sin embargo, las nanopartículas (NPs) son las más conocidas y estudiadas. Las NPs son estructuras con tamaños inferiores a 100 nanómetros (es decir 1×10^{-7} metros), que pueden ser sintetizadas a partir de diferentes materiales, incluyendo metales. La generación de NPs es de relevancia básicamente por tres razones: Por los beneficios que aportan en distintas áreas, por ser una tecnología emergente en pleno desarrollo y por los riesgos asociados a ellas.

Existen muchas aplicaciones y áreas de interés en las cuales se han utilizado las nanopartículas, en la siguiente tabla (Medina, 2015) podemos ver la aplicación para la que se usan y qué tipo de nanopartícula son.

TABLA I. Aplicaciones de diferentes tipos de Nanopartículas (NPs)

APLICACIÓN	TIPO DE NANOPARTÍCULA
POTENCIA/ENERGÍA	
<i>Células Solares sensibilizadas por Colorante</i>	TiO ₂ es el más empleado. ZnO y Au
<i>Almacenamiento de Hidrógeno</i>	Nanopartículas Híbridas Metálicas
<i>Mejora de los materiales para Ánodo y Cátodo para Pilas de Combustible</i>	Nanoarcillas, CNTs y NPs en CNTs
<i>Catalizadores Ambientales</i>	TiO ₂ , Cerio
<i>Catalizadores para Vehículos</i>	NPs Cerámicas Óxidos Metálicos (Cerio, Zirconio) y Metales (Pt, Rh, Pd y Ru)
SALUD/MEDICINA	
<i>Promotores de crecimiento óseo</i>	Hidroxiapatita (HAp) Cerámica
<i>Los Protectores Solares</i>	ZnO y TiO ₂
<i>Apósitos para heridas antibacterianos</i>	Ag
<i>Fungicidas</i>	Nanopartículas Cu ₂ O
<i>Biomaraje y detección</i>	Nanopartículas de Plata y Coloides de Oro
<i>Agentes de contraste de MRI</i>	Óxidos de Hierro ultrapequeños: Fe ₃ O ₄ y Fe ₂ O ₃
INGENIERÍA	
<i>Herramientas para cortar</i>	ZrO ₂ y Al ₂ O ₃ , Cerámicos No-Óxidos (WC, TaC, TiC) y Co
<i>Sensores Químicos</i>	Diversas NPs válidas, depende de la aplicación
<i>Resistentes al Desgaste / Recubrimientos resistentes a la abrasión</i>	Nanopartículas de Alúmina y Y-Zr ₂ O ₃
<i>Nanoarcilla Polímero reforzado con Materiales Compuestos</i>	Organoarcillas (<i>Sepiolite, Laponite y Smectite</i>). Silicagels y POSS
<i>Pigmentos</i>	Pb, Zn, Mg y Ag. Otras NPs Metálicas incluyendo ViO, AlO, CdO y otras
<i>Tintas: Conductores, Magnéticos, etc (utilizando polvos de metal)</i>	Buenos conductores como la Plata
<i>Mejora estructural y física de Polímeros y Materiales Compuestos</i>	Nanoarcillas, NanoÓxidos y NanoHidróxidos de Metales. Montmorillonita modificada orgánicamente, TiO ₂ , Y ₂ O ₃ o SiO ₂
UTENSILIOS DE CONSUMO	
<i>Barrera de embalaje utilizando Silicatos</i>	Nanoarcillas, en particular Bentonita y Kaolinita
<i>Vidrio autolimpiable</i>	TiO ₂
MEDIO AMBIENTE	
<i>Tratamientos de agua (Foto-Catálisis)</i>	Cerámicas Óxidos Metálicos, TiO ₂
ELECTRÓNICA	
<i>Nanoescala partículas magnéticas para la alta densidad de almacenamiento de datos</i>	Fe solo o en combinación con otros Metales (o no metales), CoPt o FePt
<i>Circuitos electrónicos</i>	Plata, Cobre y Nanopartículas de Al
<i>Ferro-líquido (utilizando materiales magnéticos)</i>	Fe (posiblemente recubiertas con una capa de Carbono), Co, FeCo y Fe ₃ O ₄
<i>Optoelectrónica dispositivos tales como interruptores</i>	Gd ₂ O ₃ o Y ₂ O ₃ dopados con Eu, Tb, Er, Ce
<i>Química Mecánica</i>	Alúmina, Sílica y Cerio

Figura 2. - Tabla de tipos y usos de nanopartículas (Medina,2015)

Como podemos ver (figura 2) existen muchos tipos diferentes de nanopartículas, las cuales dependiendo de la aplicación que se quiera hacer es el tipo de nanopartículas que podemos

emplear, para este proyecto se busca utilizar nanopartículas metálicas con el propósito de estabilizar y aumentar la señal eléctrica producida por el compuesto.

Por ende, en el presente periodo se busca mejorar las propiedades eléctricas del compuesto mediante la adición de nanopartículas metálicas conductoras, así como mejorar su resistencia al desgaste con un recubrimiento flexible y encontrar la dirección preferencial de crecimiento de la sal que genere la mayor cantidad de voltaje.

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

La principal función de un cosechador de energía es capturarla del medio que rodea al dispositivo en lugar de obtenerla de un recurso externo, para después transformarla en electricidad que pueda ser utilizada en diversos dispositivos o aparatos electrónicos de baja energía. Este objetivo se logra a partir de la utilización de materiales con propiedades de transformación de energía, entre ellos, están los piezoeléctricos que capturan la energía vibracional o mecánica del entorno y la transforman en energía eléctrica (Aldape & Delgado, 2012).

La sal de Rochelle como cristal, al ser sometida a una deformación, genera un campo eléctrico directamente proporcional (figura 3, A) o viceversa (figura 3, B) (Ortega, 2016), siendo un material de gran interés para los cosechadores de energía piezoeléctricos.

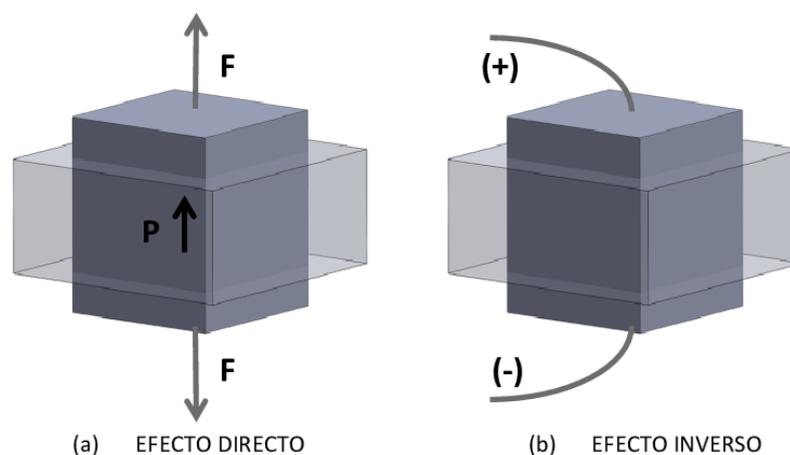


Figura 3. A) Efecto piezoeléctrico en un cristal, B) efecto piezoeléctrico inverso.

Sin embargo, para poder ser funcional como piezoeléctrico debe de ser sintetizada en forma de cristal bajo ciertas condiciones y parámetros, ya que el cristal presenta un rango de temperaturas donde puede comportarse como ferroeléctrico, lo que le permite cumplir dicho objetivo. Este rango es delimitado por dos temperaturas de Curie de -18°C (249K) y 24°C (291K) (Figura 4), fuera de este rango de temperaturas el cristal tiende a ser paraeléctrico. El cambio en la propiedad eléctrica del material proporcionado por la temperatura se debe a la estructura cristalina que presenta bajo dichos parámetros, en estado ferroeléctrico ($-18^{\circ}\text{C} < T < 24^{\circ}\text{C}$) la estructura es polar monoclinica y para el estado paraeléctrico ($-18^{\circ}\text{C} > T > 24^{\circ}\text{C}$) es no polar ortorrómbica (Kao, 2004).

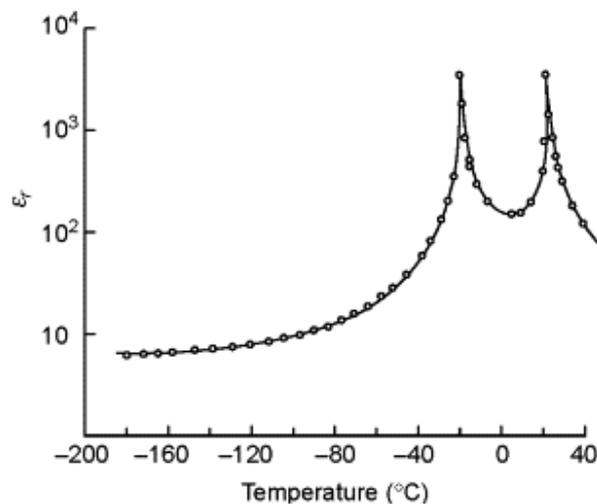


Figura 4.- Gráfico de la constante dieléctrica (k) de la sal de Rochelle en función de la temperatura (Kao, 2004).

Para la síntesis de los cristales de Sal de Rochelle se deben estudiar primero ciertos parámetros como la temperatura de fusión de la sal que ronda entre los 70°C - 80°C y su solubilidad en agua que es de $73\text{g}/100\text{g}$ de H_2O a temperatura ambiente (24°) (Mallinckrodt Baker, 2008), esto debido a que el proceso en general consta de disolver la sal en agua para después dejar en reposo con el objetivo de lograr la cristalización. Variando parámetros como agitación y temperatura, la solubilidad de la sal puede cambiar, permitiendo que se logren concentraciones más altas en una solución hasta el punto de una sobresaturación. La temperatura y la concentración ideal para sintetizar cristales de la sal de Rochelle, es de 50°C a una concentración de $1060\text{g}/\text{L}$ (Osorio Vázquez, s. f.).

Por otro lado, las temperaturas y tiempos del sustrato base donde se formaron influye en el comportamiento piezoeléctrico, donde se pueden observar diferencias en cuanto a la energía eléctrica obtenida a partir de un estímulo mecánico o vibracional, propiedad cuantificada con multímetros u osciloscopios, dispositivos capaces de medir magnitudes de señales eléctricas, de manera numérica y/o en forma de ondas u oscilaciones mediante gráficos (TECSA, 2020; Del real, 2020). Podemos definir como señal eléctrica a la diferencia de potencial o tensión entre 2 puntos cargados eléctricamente en el transcurrir del tiempo. Recientemente se han realizado investigaciones acerca de recolectores de energía mecánica y magnética, basados en los efectos piezoeléctricos y MME, donde se han visto los grandes alcances que se tienen con ellos y las posibilidades de su gran amplio uso en varias áreas de estudio (Annapureddy *et al.*, 2017).

Para la obtención de propiedades mecánicas más versátiles, los polímeros son una gran opción, ya que sus estructuras complejas que están formados por la unión de moléculas más pequeñas conocidas como monómeros; que forman grandes cadenas lineales, ayudan a la obtención de propiedades como fácil maleabilidad, buena resistencia a la corrosión y resistentes a condiciones de esfuerzo. Los polímeros sintéticos provienen en su mayoría del petróleo y a diferencia de los naturales son elaborados por el hombre. Existe una gran diversidad de polímeros sintéticos como el nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc., y son usados ampliamente en toda la industria manufacturera como embalajes para alimenticios, fármacos, electrodomésticos, juguetes, utensilios, vehículos que hacen parte del amplio campo de aplicación que tienen.

No obstante, hay un subconjunto de polímeros que tienen cierta particularidad o propiedad mecánica; su alta elasticidad, los cuales son nombrados elastómeros. Los elastómeros están hechos de polímeros unidos por enlaces químicos con una estructura ligeramente reticulada; ahora bien, sin los enlaces cruzados, la tensión aplicada a un elastómero daría lugar a una deformación permanente, debido a ello el material se caracteriza por un alto alargamiento, flexibilidad y elasticidad, que ayuda a evitar que el material se agriete, se rompa o se rompa cuando se deforma (DVA, s.f).

En este proyecto se utiliza el elastómero ECOFLEX por sus propiedades, ya que es un material de baja viscosidad, cuando endurece es ahulado, muy suave, resistente y elástico; puede

estirarse hasta 10 veces más allá de sus dimensiones originales sin desgarrarse, y regresará a su forma original sin distorsión, además de que el ECOFLEX es un elastómero biodegradable ya que este se descompone en menos de 60 días, en contraste con los 100 años que como media tarda en descomponerse el plástico habitualmente utilizado en la actualidad.

Por ende, con el objetivo de desarrollar a futuro un recolector de energía con estas características mencionadas anteriormente, en este proyecto se plantea desarrollar un polímero piezoeléctrico optimizado a partir de la síntesis de la sal de Rochelle y la utilización de un polímero como matriz base en este caso ECOFLEX, simplemente con la mezcla de ambos y la variación de parámetros como temperatura, agitación, concentraciones, temperaturas de curado etc.

Al haber realizado caracterización eléctrica con el compósito en diferentes concentraciones en el semestre pasado, se ha notado que la producción de la señal eléctrica por parte del compósito ha sido muy irregular y con bastantes variaciones dependiendo del desgaste, tiempo de golpeo, frecuencia, concentración de sal y llenado del volumen de este, por lo que teniendo conocimiento de estas variaciones se busca agregar algún componente extra para poder ayudar a solucionar estas variaciones. Ahí es donde implementamos la adición de NPs para ayudar a solucionar la estabilidad y producción de la señal eléctrica, además de potenciar las propiedades mecánicas ya mencionadas, utilizando NPs metálicas las cuales tienen propiedades eléctricas y mecánicas muy interesantes en diversas áreas de la tecnología.

METODOLOGÍA

La adición de NPs de plata se hará con el objetivo de mejorar la conductividad eléctrica del compósito, ya que tienen dicha propiedad. Al tener un tamaño tan pequeño, éstas pueden distribuirse de manera uniforme en el volumen del elastómero, dispersándose con el mismo baño ultrasónico.

Uno de los métodos más utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata es el de reducción química, ya que permite obtener grandes cantidades de forma sencilla y sin altas temperaturas. Para realizar este método de síntesis química se requiere una sal precursora que contenga al ion metálico, un agente reductor y un agente estabilizante (Wang *et al.*, 2005). La glucosa es un agente reductor fuerte y de bajo costo, por lo que es de los más utilizados. Por otro lado, entre los agentes estabilizantes más comunes se encuentra la

polivinilpirrolidona (PVP) (Wang *et al.*, 2005) y el alcohol polivinílico (PVA) (Eka Putri *et al.*, 2019). Mediante estas técnicas se pueden obtener partículas con tamaños entre 10 y 100 nm.

Caracterización o estudio de las propiedades

Para la caracterización óptica del compósito se utilizó un microscopio óptico, un microscopio óptico es un instrumento que permite observar en un tamaño aumentado elementos que son imperceptibles a simple vista, su funcionamiento está basado en un conjunto de lentes y el uso de luz visible para aumentar la imagen de una muestra. Dentro del sistema óptico se incluye un foco (también denominado fuente de luz) que emite rayos de luz dirigidos hacia la muestra. Antes de llegar a la muestra los rayos atraviesan un condensador, la función del cual es concentrar los rayos de luz sobre la preparación a observar. Habitualmente el condensador está acoplado con un diafragma para regular la cantidad de luz incidente. El siguiente elemento óptico es el objetivo. Esta parte del microscopio consiste básicamente en un conjunto de lentes que reciben la luz proveniente de la muestra y permiten aumentar la imagen observada. Por último, el ocular amplía la imagen proveniente del objetivo y es a través de él que se puede observar finalmente la muestra (figura 5) (Admin, 2021).

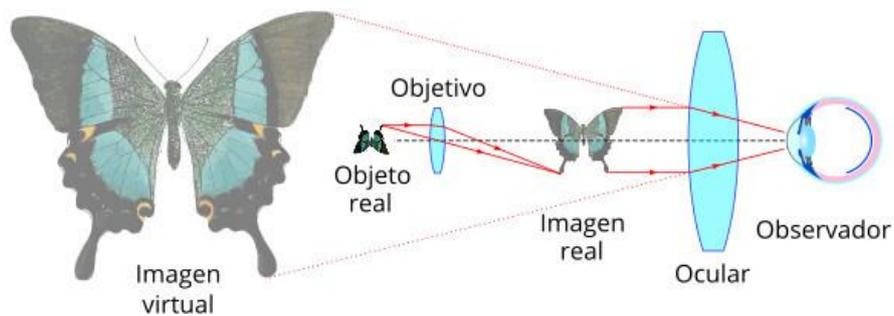


Figura 5.- Funcionamiento de un microscopio óptico. (Admin, 2021)

Para la caracterización de nanopartículas, una de las técnicas más utilizadas es la microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés). En estos equipos se utiliza un haz de electrones y se detectan las interacciones que tiene con la materia, de manera analógica a la luz en el microscopio óptico (figura 6). El SEM permite observar la morfología de una muestra a escalas muy pequeñas, debido a que su resolución es mayor que la óptica (Mohammed & Abdullah, 2018). Haciendo uso de este mismo equipo, es posible determinar la composición química de un compuesto, detectando los rayos X que se producen de la interacción con el haz de electrones, con una técnica denominada espectroscopía de energía dispersiva (EDS).

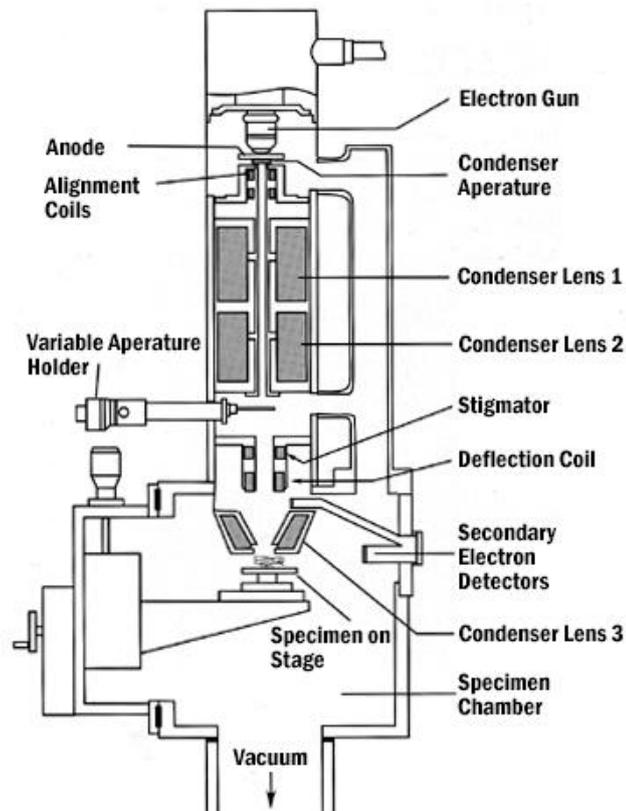


Figura 6.- Funcionamiento de un SEM. (Duque,2017)

Para identificar la estructura cristalina de los materiales se puede emplear la espectroscopía por difracción de rayos X (XRD). Detectando los rayos dispersados, mediante la ley de Bragg, se obtienen patrones de difracción con los que se pueden conocer las direcciones cristalinas presentes en la muestra (figura 7) (Khan *et al.*, 2020). Esto será útil para identificar la dirección cristalina de la sal de Rochelle y poder relacionarlo con sus propiedades piezoeléctricas.

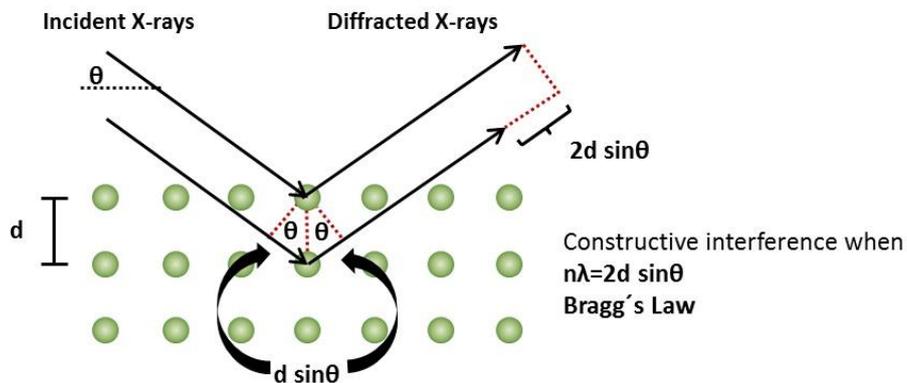


Figura 7.- Funcionamiento de un XRD. (X-ray diffraction (XRD) :: Anton Paar Wiki, s. f.)

En la literatura se reportan estudios de XRD para el ECOFLEX, donde se observan picos anchos alrededor de 10 y 20° (Figura 8). También se tienen identificados los picos correspondientes a cada dirección cristalina de la sal de Rochelle, como se muestra en la Figura 9.

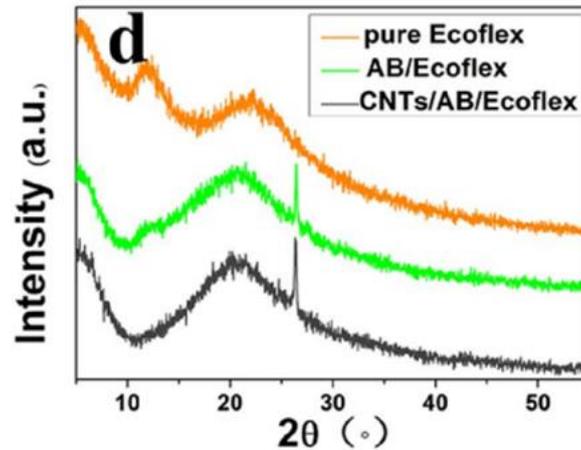


Figura 8. Espectro XRD para el ECOFLEX (curva naranja superior). (Zhang et al., 2020).

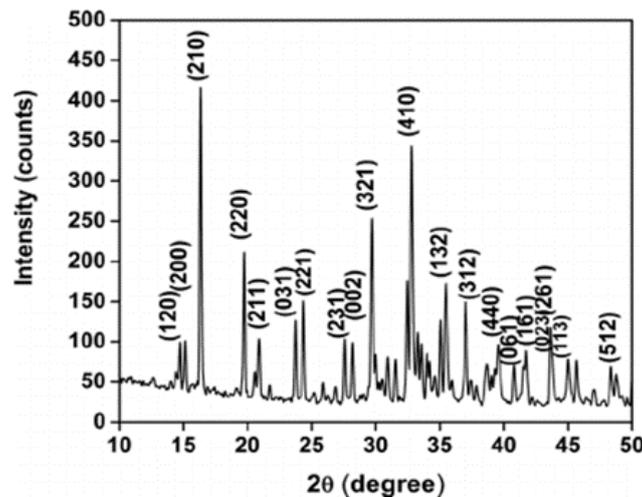


Figura 9. Picos correspondientes a las direcciones cristalinas de la sal de Rochelle. (Shyju et al., 2012).

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

La propuesta de solución del proyecto consiste en el desarrollo de un compuesto piezoeléctrico al mezclar la sal de Rochelle con el elastómero ECOFLEX, para poder sintetizar un cosechador de energía. Buscamos mejorar tanto la producción como la estabilidad de la señal producida, así como mejorar las propiedades del compuesto para poder aumentar su vida útil.

Para poder mejorar la estabilidad y producción de la señal eléctrica se añadirán NPs metálicas, se pretende sintetizar NPs de plata basándonos en investigaciones bibliográficas para poder observar las diferentes propiedades que el compuesto adquiere, buscando proporcionar estabilidad eléctrica, un aumento en la señal producida y mayor resistencia mecánica del compuesto.

Además, se realizará la modificación en los factores de síntesis del compuesto para buscar la dirección cristalina preferencial de la cristalización de la sal para aumentar la producción eléctrica, y a través de esto poder medir y cuantificar mediante procesos de caracterización cómo se modifican las propiedades al añadir las nanopartículas al compuesto y medir sus propiedades eléctricas.

- [Plan de trabajo](#)

Las actividades que se consideraron en este proyecto tanto a nivel profesional, técnico y operativo fueron en primer lugar realizar una investigación bibliográfica inicial de las propiedades de que adquiere un polímero o elastómero al añadirle nanopartículas metálicas y ver las diferencias que puede adquirir el sistema dependiendo del precursor de las nanopartículas. En segundo lugar, realizar la síntesis de nanopartículas de plata mediante reducción química y caracterizarlas mediante SEM para observar su forma, tamaño y composición. A partir de aquí se decidirá si probar otro método de síntesis que permita la obtención de las nanopartículas en polvo para su posterior adición al compuesto. En tercer lugar, realizar una investigación bibliográfica para saber cuál es la dirección cristalina preferencial de la sal de Rochelle para potenciar al máximo la piezoelectricidad de esta. En cuarto lugar, el variar las condiciones de síntesis del compuesto para modificar la cristalización de la sal del Rochelle dentro del compuesto. En quinto lugar, se va a medir y caracterizar al compuesto piezoeléctrico de forma tanto mecánica como eléctrica para observar sus propiedades y ver cómo se altera su comportamiento y la señal eléctrica generada con la adición de las nanopartículas. En sexto lugar, elegir cuales son los parámetros más eficientes para la obtención de un compuesto con una buena producción eléctrica. Finalmente, buscar crear un método de síntesis del compuesto con la adición de nanopartículas el cual nos permita la reproducibilidad de la señal incluso en el compuesto simple.

Los recursos que se requirieron para el proyecto fueron múltiples, como recurso humano está la consultoría a encargados y directivos del área de nanotecnología, los cuales brindaron su apoyo para poder efectuar de manera más eficaz el desarrollo del proyecto, en los recursos materiales y equipo de laboratorio, estos fueron proporcionados por la institución educativa, apoyo externo por parte del IPICYT para poder realizar análisis de SEM de alta resolución (HR) y XRD, para poder analizar la cristalografía, composición y morfología de las nanopartículas de plata y los compósitos fabricados.

En cuanto a los tiempos o reuniones previstas, se realizaron distintas juntas semanalmente cada viernes para poder presentar los avances, resultados y trabajos próximos de la semana, los cuales se puedan retroalimentar para poder llevar a cabo un mejor desempeño del desarrollo del proyecto, así como observaciones y aprendizajes que se dieron en el transcurso.

- Desarrollo de propuesta de mejora

Compósito

Como se está siguiendo la dinámica del avance del proyecto del semestre pasado ya se tiene una base como es la síntesis del compósito y los parámetros que se aplicaron para el desarrollo de este, al igual que el método de síntesis de adición de la sal al compósito y el tipo de elastómero a utilizar.

El método que se utilizó fue el de añadir la sal en bruto al elastómero seleccionado que fue el ECOFLEX (figura 10), después se mezcló hasta tener una solución homogénea y distribuida, luego se metió la mezcla en el baño ultrasónico a parámetros definidos como son una temperatura ascendente de 25 a 45 °C, una frecuencia de 80 Hz, con una potencia de 80 y un tiempo de 20 minutos.



Figura 10. - ECOFLEX 00-33AF (Morph Industries, s. f.).

Buscando la dirección cristalina preferencial de la sal se modificarán los parámetros de síntesis del compósito, como son la temperatura, frecuencia y potencia, se trabajó con temperaturas sostenidas de 34 C, frecuencia de 37 y 80 Hz, con diferentes % de potencia como fueron 100 y 80 para ambas frecuencias.

Síntesis de nanopartículas de plata

Para la primera prueba de nanopartículas se escogieron las de plata, para poder sintetizarlas se utilizó el método de reducción química con 3 metodologías diferentes. La primer metodología de síntesis que se utilizó consistió en la elaboración de dos soluciones con diferentes concentraciones, como son en la solución A 10ml de agua destilada en la que se disolvieron 1.7 g de nitrato de plata y la solución B la cual tenía 0.2 g de nitrato de sodio diluidos con 30 ml de agua destilada y en la cual se agregaron 3.6 g de PVP y 1.5 g de glucosa, goteando de forma controlada (figura 11)(equipo de goteo) la solución A en B, como se muestra en la siguiente figura, esta síntesis se llevó a cabo a diferentes temperaturas como fueron a 60, 70 y 80 °C.

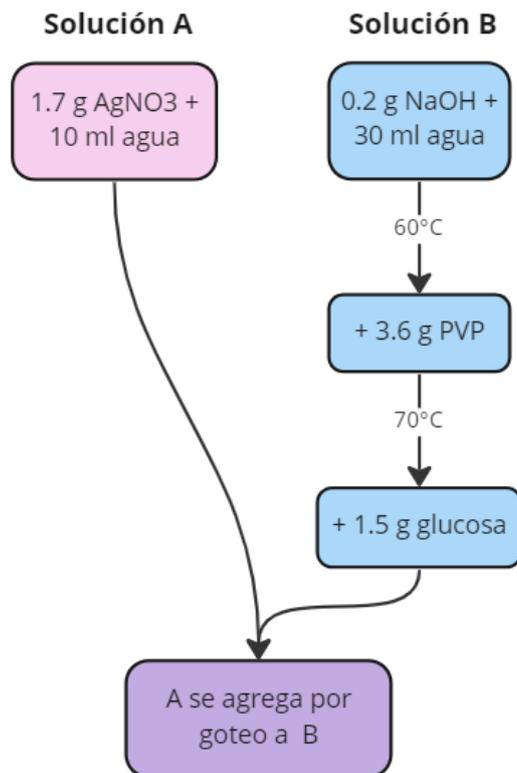


Figura 11. - primer metodología de síntesis utilizada.

Para la segunda metodología de síntesis se puso en una solución que tenía 0.017 g de nitrato de plata en 30 ml de agua destilada, 30 ml de PVA (0.1%) y otra solución con 0.0023 g de glucosa en 10 ml de agua destilada y 2 ml de hidróxido de amonio, a una temperatura de 60 °C.

Y la tercera metodología de síntesis que se empleó fue como el primer método, pero en este caso se cambió el PVP por PVA, quedando en la solución A, 10ml de agua destilada en la que se disolvieron 1.7 g de nitrato de plata y la solución B la cual tenía 2ml de nitrato de amonio, 30 ml de PVA (0.1%) y 1.5 g de glucosa, goteando de forma controlada (figura 12) (equipo de goteo) la solución A en B y a una temperatura de 60 °C.



Figura 12. - Equipo de goteo controlado.

Después de las síntesis se realizó un proceso de limpieza el cual nos permitió obtener las nanopartículas en polvo para hacer la adición en bruto, la misma forma que la sal de Rochelle. Dependiendo del método de síntesis utilizado para la fabricación de las nanopartículas era el proceso de limpieza para la obtención del polvo. Para el primer método de síntesis, la limpieza consistió en poner en la centrífuga a 4000 rpm durante 25 minutos, quitar el sobrenadante y agregar acetona/isopropanol para volver a repetir el proceso una vez más. Posteriormente, se buscó meter una menor carga a una centrífuga eppendorf más potente, en la cual se puso a limpiar a 6000 rpm durante 25 minutos y se retiró el exceso para después agregarle isopropanol/acetona y volver a repetir el proceso.

En el caso del segundo método de síntesis no se hizo una limpieza ya que esta síntesis no precipito ningún tipo de nanopartícula visible. Por otro lado, para el tercer método empleado, la limpieza que se realizó fue retirar el exceso de la solución y poner en un porta muestras la solución sedimentada a secar a temperatura ambiente.

Compósito con nanopartículas de plata

Una vez se obtuvo el polvo de nanopartículas se pasó a realizar el proceso de síntesis del compósito, pero con la adición de las nanopartículas de plata en diferentes concentraciones. Luego se caracterizó ópticamente para poder observar la distribución y la cristalización de la

sal, para después pasar a caracterizar eléctricamente (figura 14) para poder medir la producción de la señal eléctrica.

Caracterización morfológica (SEM y MO)

MO

La caracterización óptica se realizará mediante un microscopio LEICA DM 500 (figura 13) para poder observar la cristalización y distribución de la sal dentro del compósito, el tamaño de cristal y la observación de irregularidades como la contención de oxígeno, cristales muy grandes y pequeños huecos en el compósito.



Figura 13. - Microscopio LEICA DM 500.

SEM

Esta caracterización mediante SEM busca mostrar la morfología y composición de las nanopartículas de plata, a través de EDS se analiza la composición química, arrojando en porcentaje la cantidad de cada elemento presente en la muestra.

Caracterización XRD

El análisis de XRD permite identificar materiales de acuerdo a su cristalinidad, puesto que muestra los picos de las direcciones cristalinas presentes en la muestra. Dado que el compuesto piezoeléctrico a utilizar es un cristal y cumple con estas características, dicha técnica nos será muy útil, además de que puede ayudarnos a definir si existe una dirección preferencial que aumente el efecto piezoeléctrico.

Caracterización eléctrica

Sabiendo el método empleado se terminaron de hacer las pruebas con las diferentes cantidades de sal, las variaciones en los parámetros de síntesis del compuesto y la adición de nanopartículas de plata para poder caracterizar eléctricamente mediante un osciloscopio y un montaje experimental (figura 14) con una programación específica del osciloscopio (tabla 1), y saber cuál concentración, parámetros de síntesis y cantidad de nanopartículas es la que mejor para la respuesta eléctrica que se produce.

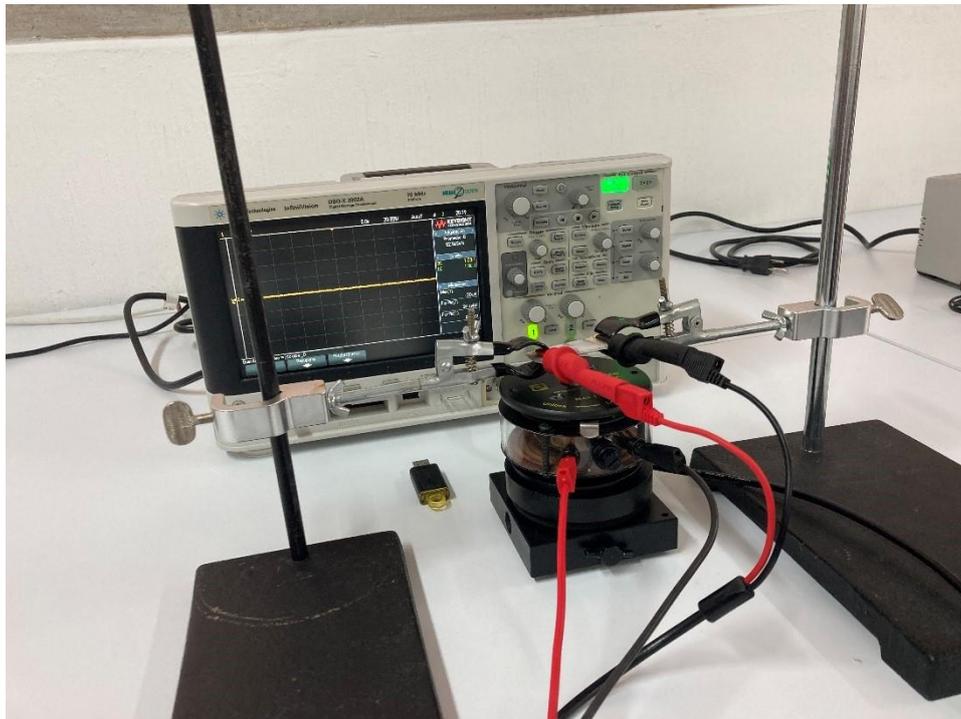


Figura 14. - Montaje de golpeo directo.

Con una configuración específica del osciloscopio que se presenta en la siguiente tabla:

RANGO DE MEDICIÓN	$\gamma = \pm 20\text{mV}$
-------------------	----------------------------

RETRASO	50mV/s
ADQUISICIÓN DE SEÑAL	Promedio
TIPO DE MEDICIÓN	Máxima
TRIGGER	28mV
TIPO DE DISPARO	Flanco con inclinación ascendente

Tabla 1. - Configuración del osciloscopio.

3. Resultados del trabajo profesional

3.1 Porcentaje de concentración de sal.

Para poder saber cuál era la concentración idónea de sal para la mayor producción de señal eléctrica mediante la estimulación física del compósito, se hicieron compósitos con diferentes concentraciones de sal ya que el semestre pasado faltaron de hacer algunas concentraciones.

En la siguiente tabla se mencionan las concentraciones que se hicieron y la cantidad de sal que se agregó a cada compósito.

Concentración	Cantidad de sal (gramos)
80 %	1.6
85 %	1.7
90 %	1.8
95 %	1.9
100 %	2

Tabla 2. - Concentración de sal en el compósito..

3.2 Caracterización óptica

Se realizó caracterización óptica con el microscopio (LEICA DM 500) para poder observar la cristalización y distribución de la sal dentro del compósito.

Cantidad de sal (gramos)	Imagen frontal	Imagen transversal
--------------------------	----------------	--------------------

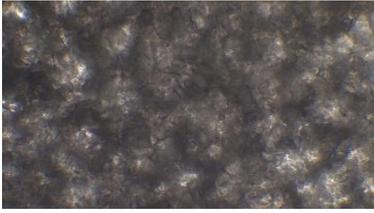
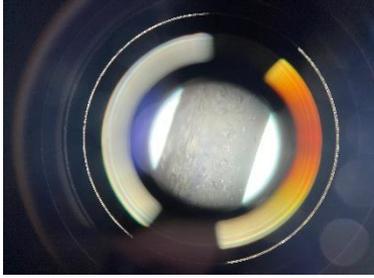
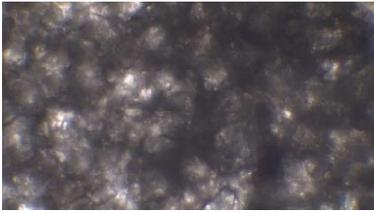
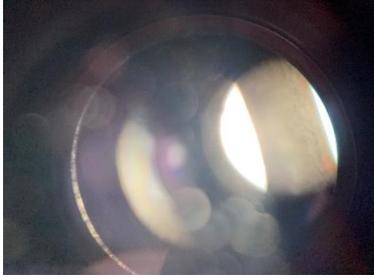
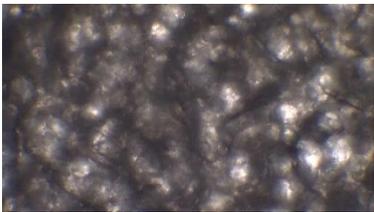
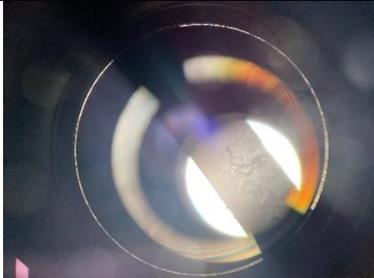
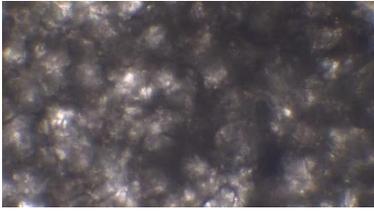
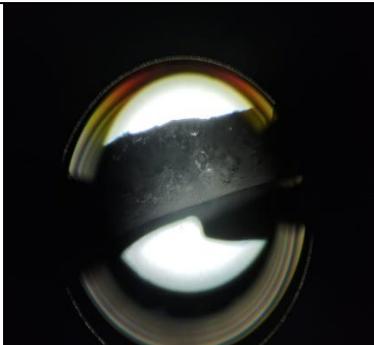
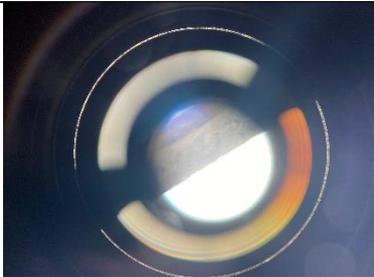
1.6		
1.7		
1.8		
1.9		
2		

Tabla 3. - Caracterización óptica de los compósitos.

Como podemos observar conforme se aumenta la cantidad de sal la imagen se vuelve un poco más oscura haciéndonos notar que existen un mayor número de cristales en el compósito, además de que podemos apreciar que al tener una mayor cantidad de sal en el compósito se tiene una cristalización más homogénea. Conforme a las imágenes de corte transversal

podemos notar que al aumentar la cantidad de sal tenemos más lleno el volumen del compósito.

3.3 Caracterización eléctrica

Se les hizo caracterización eléctrica con diferentes frecuencias mediante el montaje experimental (figura 14) y se graficó los resultados obtenidos.

20 Hz

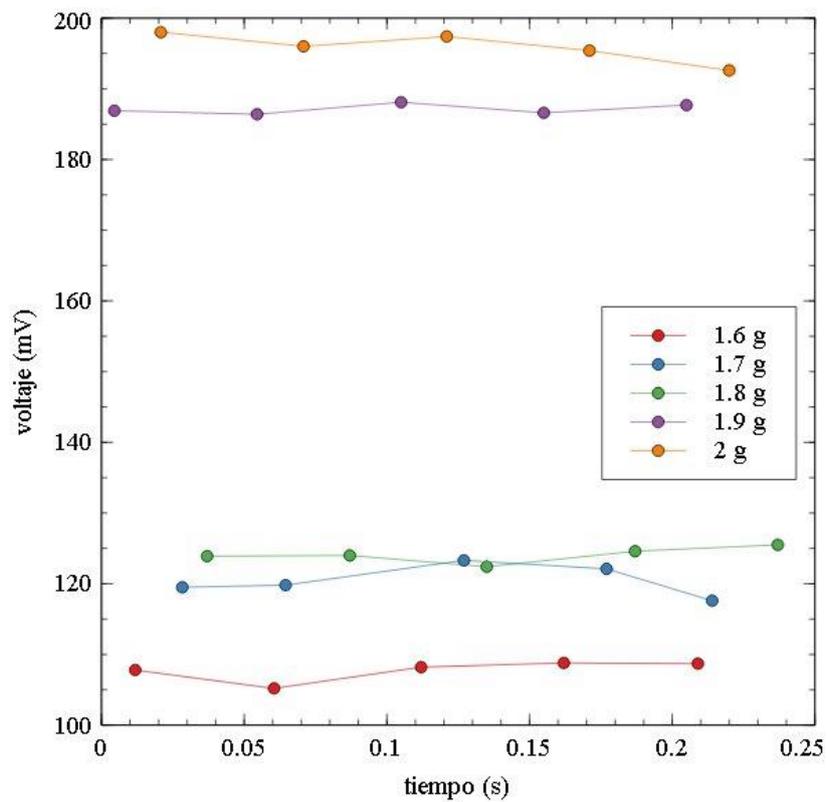


Figura 15. - Caracterización eléctrica a 20 Hz, gráfica de voltaje contra tiempo.

30 Hz

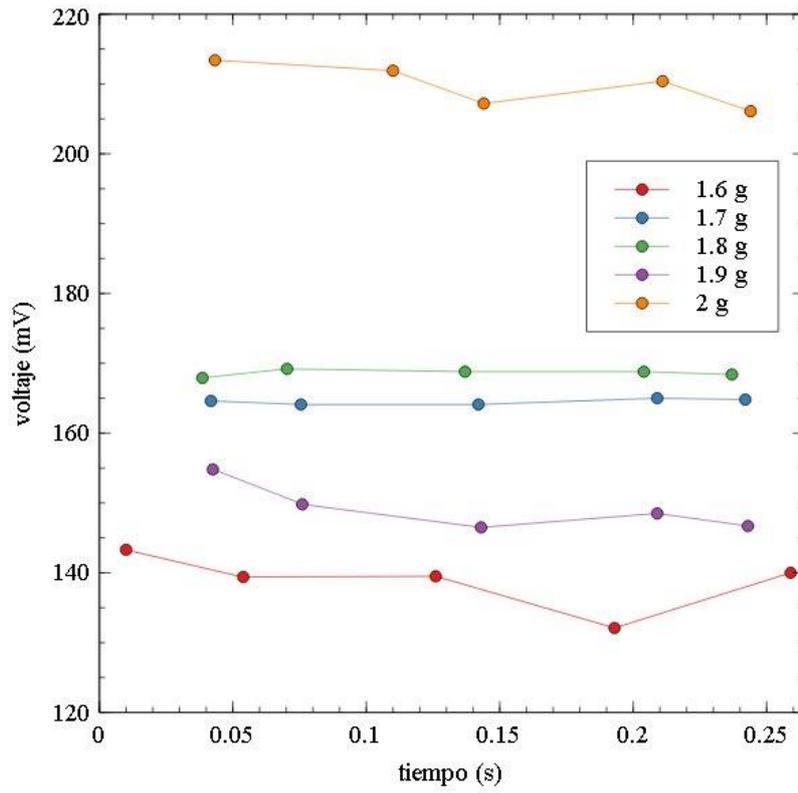


Figura 16. - Caracterización eléctrica a 30 Hz, gráfica de voltaje contra tiempo.

40 Hz

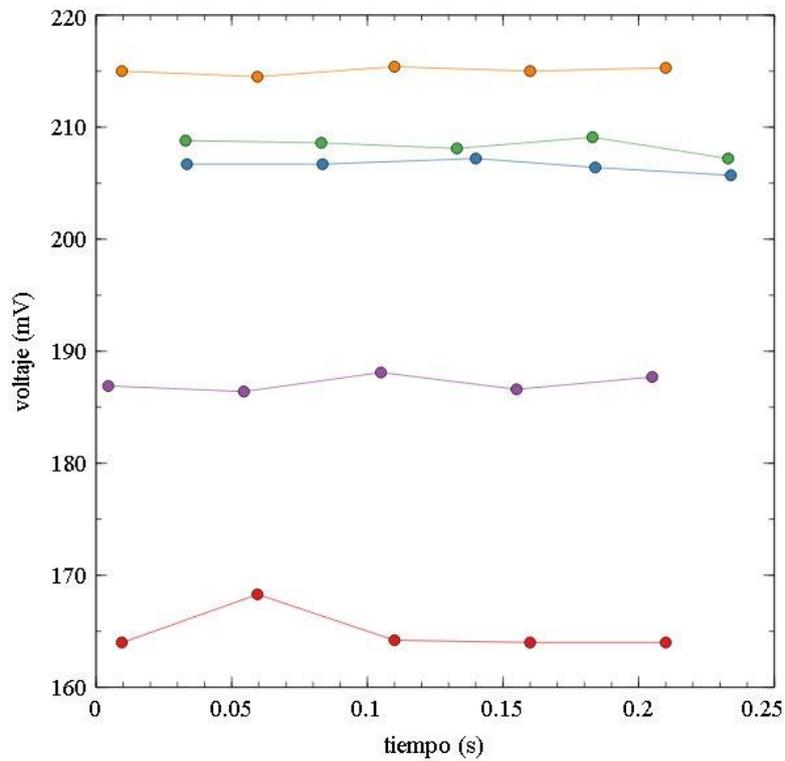


Figura 17. - caracterización eléctrica a 40 Hz, gráfica de voltaje contra tiempo.

Como podemos apreciar en las figuras 15,16 y 17 la producción de la señal eléctrica aumenta conforme se aumenta la cantidad de sal en el compuesto, por lo cual podemos denotar que la mejor concentración de sal la producción de señal eléctrica es la concentración de 100 % alcanzando una señal máxima de 215 mV en frecuencias de 30 y 40 Hz.

Gracias a los datos graficados se realizó un resumen de las mediciones que se tomaron, se muestran a continuación.

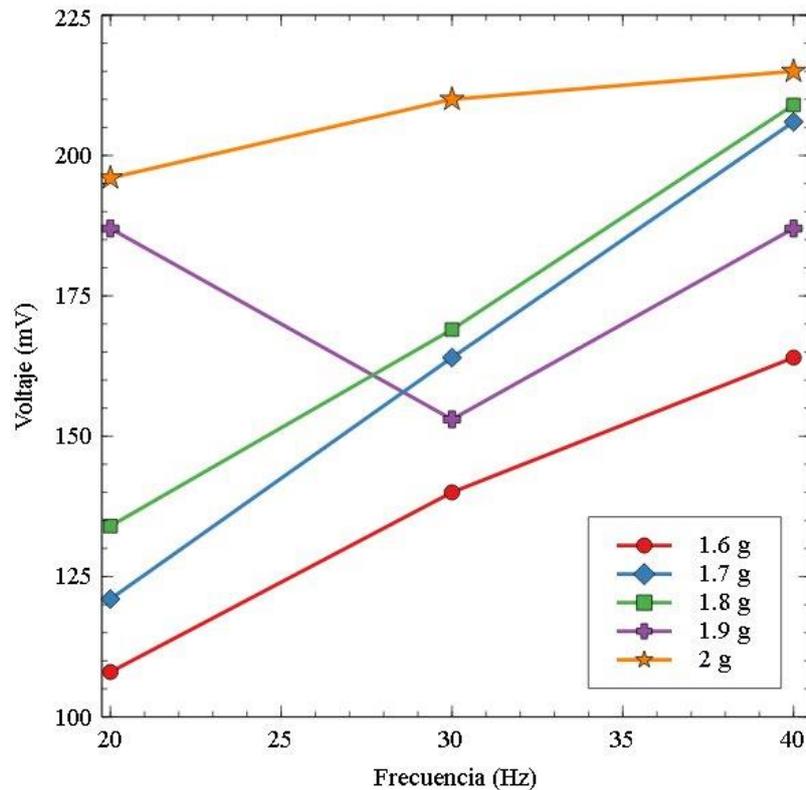


Figura 18. - Resumen de caracterización eléctrica de compósitos con diferentes concentraciones de sal.

Como podemos observar en la gráfica (figura 15) conforme aumentamos la cantidad de sal y la frecuencia de golpeo, la señal eléctrica aumenta de forma lineal en casi todas las concentraciones, alcanzando los picos máximos en la muestra con una concentración del 100% de sal.

3.4 Cambios en los parámetros de la síntesis del compósito

Se modificaron y variaron los parámetros base de síntesis del compósito los cuales son una temperatura ascendente de 25 a 45 °C, 80 Hz de frecuencia, 80 de potencia y 20 minutos de sonicación, en busca de modificar la cristalización de la sal dentro del compósito, para poder

encontrar la dirección cristalina preferencial que potencie las propiedades eléctricas del compósito.

Los parámetros que se variaron fueron la temperatura y la frecuencia de sonicación del baño ultrasónico, en la siguiente tabla se muestran cuáles fueron los parámetros que se cambiaron y cuales se mantuvieron para poder ver la diferencia en el compósito.

Compósito	temperatura	Frecuencia (Hz)	Potencia (%)
1	34 °C	80	80
2	25 - 45 °C	37	80
3	25 - 45 °C	37	100

Tabla 4. - Variación de parámetros de síntesis del compuesto .

Caracterización eléctrica

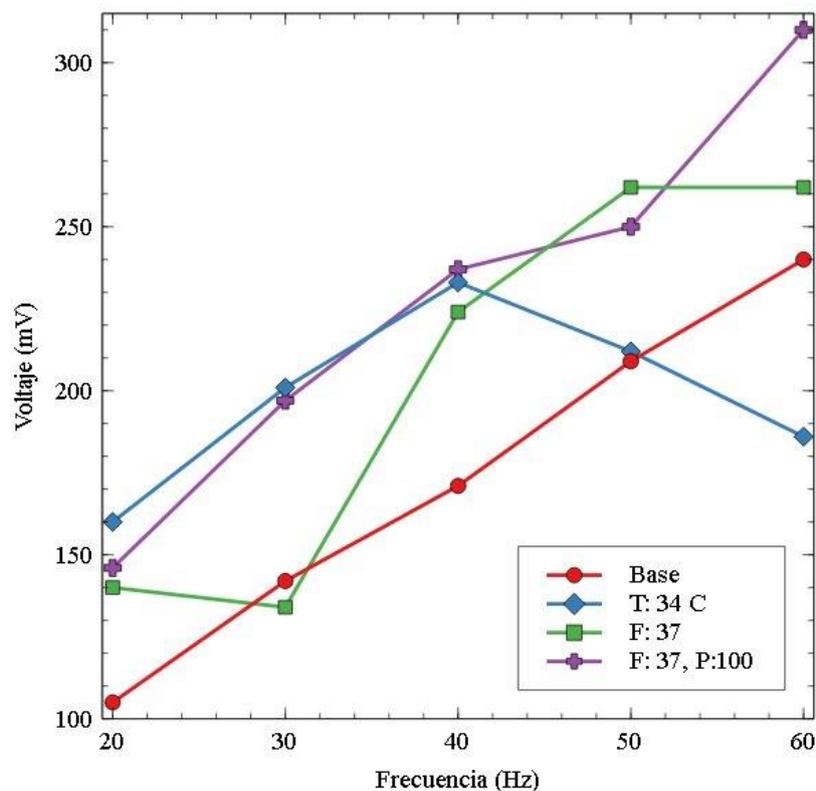


Figura 19. - Caracterización eléctrica de compósitos con diferentes parámetros a diferentes frecuencias de golpeo

Como podemos observar (figura 19) existe una diferencia notable entre las muestras ya que los compósitos con la variación de la frecuencia y la potencia tuvieron una respuesta más alta en la mayoría de las frecuencias aplicadas, lo cual nos indica que la alteración en la frecuencia de sonicación afecta la dirección cristalina en la que crece la sal, además podemos notar que el compósito de temperatura sostenida baja la respuesta eléctrica conforme se aumenta la

señal después de 40 Hz, haciéndonos notar que la dirección cristalina en la que creció trabaja mejor a frecuencias bajas.

3.5 Metodología para la síntesis de nanopartículas de plata.

Para este punto se realizaron una serie de diferentes metodologías de síntesis, empleando el mismo método de síntesis que fue deposición química, para poder obtener las nanopartículas más puras y limpias posibles, con el objetivo de poder obtener un polvo de nanopartículas, ya que se busca poder adicionar las nanopartículas en bruto o dispersas en un solvente, al mismo tiempo buscar que método de síntesis era el más eficaz en cuanto a cantidad, composición, homogeneidad, tamaño y forma.

A continuación, se muestran las diferentes metodologías de síntesis, las cantidades empleadas, los parámetros que se utilizaron y la cantidad obtenida de solución coloidal con nanopartículas de plata (tabla).

metodología	cantidades	parámetros	Cantidad	Imagen
1	<ul style="list-style-type: none"> - 1.7 g de AgNO_3 - 0.2 g de NaOH - 3.6 g PVP - 1.5 g de glucosa 	Temperatura: se emplearon temperatura constante de 60, 70 y 80 °C. Agitación: constante	Una solución coloidal de 40 ml con un color negro. No se notaba claro la sedimentación	
2	<ul style="list-style-type: none"> - 0.017 g de AgNO_3 - 2 ml de NH_4OH - 30 ml PVA - 0.0023 g de glucosa 	Temperatura: se emplearon temperatura constante de 60°C. Agitación: constante	No presento precipitación de nanopartículas.	
3	<ul style="list-style-type: none"> - 1.7 g de AgNO_3 - 0.2 g de NaOH - 30 ml PVA - 1.5 g de glucosa 	Temperatura: se emplearon temperatura constante de 25 y 60°C. Agitación: constante	Una solución coloidal de 40 ml con un color negro. Se notaba claro la sedimentación	

4	<ul style="list-style-type: none"> - 1.7 g de AgNO₃ - 2 ml de NH₄OH - 30 ml PVA - 1.5 g de glucosa 	<p>Temperatura: se emplearon temperatura constante de 60°C.</p> <p>Agitación: constante</p>	<p>Una solución coloidal de 42 ml con un color negro.</p> <p>Se notaba claro la sedimentación y tenía un recubrimiento en el vaso de precipitado</p>	
---	--	---	--	---

Tabla 5. - metodologías de síntesis de nanopartículas de plata.

Como se puede observar en la tabla anterior las metodologías que presentaron la presencia de nanopartículas de plata fueron las metodologías 1, 3 y 4, además la única metodología que presento una solución homogénea fue la numero 2, pero las que presentaron una sedimentación notable fueron las metodologías 3 y 4, haciendo notar que las mejores metodologías para la síntesis de nanopartículas de plata son las 3 y 4.

3.6 Métodos de obtención en bruto de las nanopartículas de plata.

Para la obtención de las nanopartículas en polvo se emplearon diferentes métodos para poder limpiarlas, retirar el exceso y lograr sedimentarlas por completo.

Los métodos que se utilizaron fueron:

Primer método

Centrifugación a 4000 rpm durante 30 minutos para después retirar el exceso y agregar isopropanol, repetir el proceso de centrifugado y volver a retirar el exceso para volver a limpiar con isopropanol, para después repetir el proceso de centrifugación a 6000 rpm durante 25 minutos, retirar el exceso y colocar la solución coloidal restante en un crisol y poner en la mufla a 60 °C.

Segundo método

Centrifugación a 4000 rpm durante 30 minutos para después retirar el exceso y agregar acetona, repetir el proceso de centrifugado y volver a retirar el exceso para limpiar con isopropanol, para después repetir el proceso de centrifugación a 6000 rpm durante 25

minutos, retirar el exceso y colocar la solución coloidal restante en un crisol y poner en la mufla a 60 °C.

Tercer método

Centrifugación a 4000 rpm durante 30 minutos para después retirar el exceso y colocar en portaobjetos y dejar secar a temperatura ambiente.

El método de limpieza que mejor resultados dio fue el tercer método, ya que la síntesis de nanopartículas con PVA e hidróxido de amonio precipita las nanopartículas y permitió que se separaran más fácilmente haciendo que el tercer método funciona de forma óptima y eficaz.

3.7 Caracterización SEM y HR SEM de las nanopartículas de plata

SEM

La morfología, tamaño y composición química de las nanopartículas resultantes fueron analizados mediante SEM y EDS.

Las muestras sintetizadas con PVP a 70 y 80°C, muestran una distribución de tamaños de entre 20 y 60 nm (figura 20 y 21), y porcentajes de contaminantes entre el 20 y el 40%.

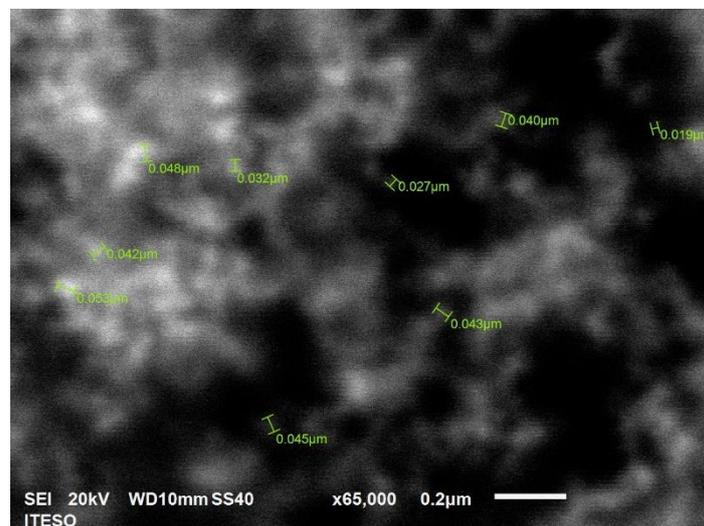


Figura 20. Micrografía SEM de nanopartículas de plata sintetizadas a 80°C.

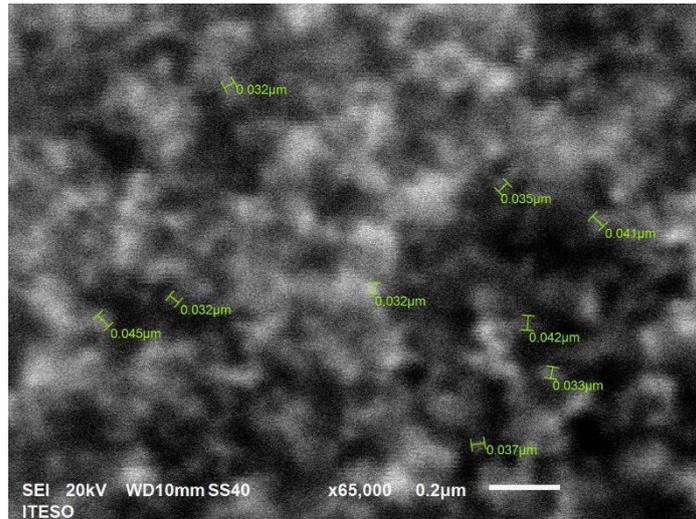


Figura 21. Micrografía SEM de nanopartículas de plata sintetizadas a 70°C.

En las muestras correspondientes a la tercera síntesis (figura 22), las cuales se montaron directamente en forma de polvo, se observa las nanopartículas se aglomeraron en cúmulos más grandes, pero presentaron porcentajes de pureza entre el 90 y el 100%.

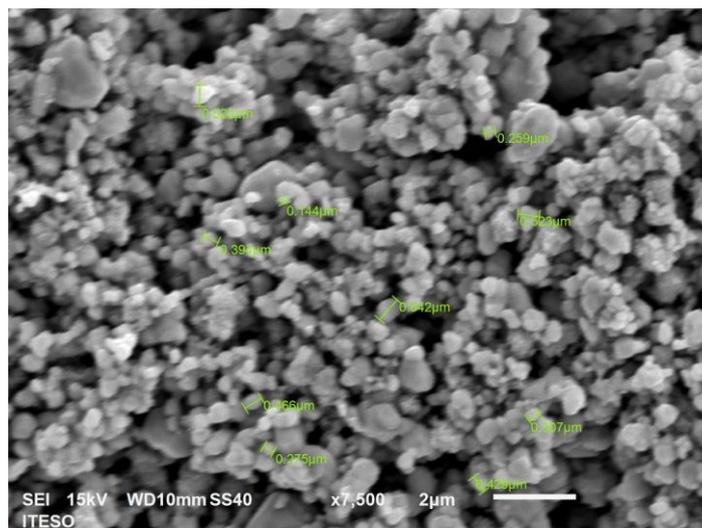


Figura 22. Micrografía SEM de nanopartículas de plata sintetizadas con PVA.

HR SEM

Se analizó la morfología, tamaño y composición química de las nanopartículas de plata sintetizadas con la metodología 4 mediante High Resolution SEM.

Al analizar la muestra desde una vista más general se pudo observar la acumulación de plata en grandes cantidades a lo largo de la muestra (figura 23 y 24).

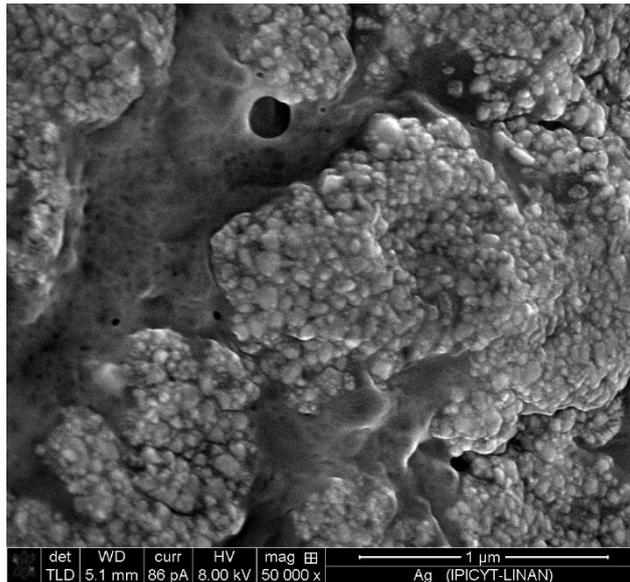


Figura 23. Micrografía HR SEM de cúmulos de nanopartículas de plata sintetizadas.

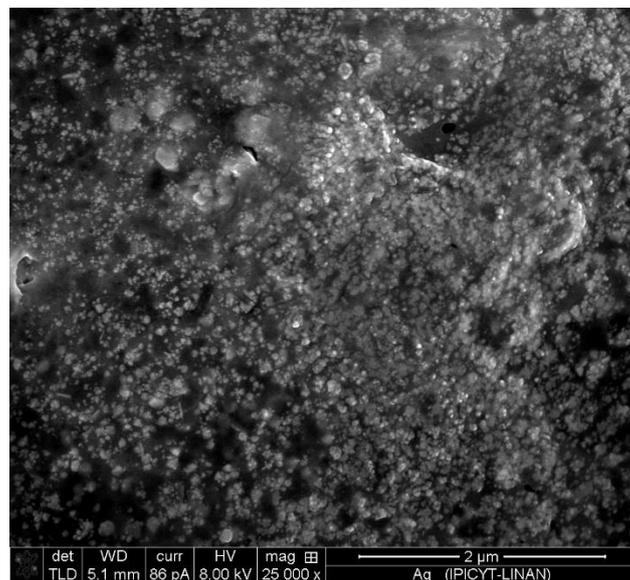


Figura 24. Micrografía HR SEM de dispersión de cúmulos de nanopartículas de plata sintetizadas.

Por lo tanto, se presentó una gran cantidad de nanopartículas de plata, sin embargo, los tamaños y formas fueron muy variados (figura 25 y 26), lo cual nos indica la acumulación de nanopartículas en diferentes concentraciones, además de que se observó una gran cantidad de residuo contaminante a lo largo de la muestra, lo que nos indica que faltó hacer un mayor número de limpiezas para poder quitar todos los restos de contaminantes que tenían.

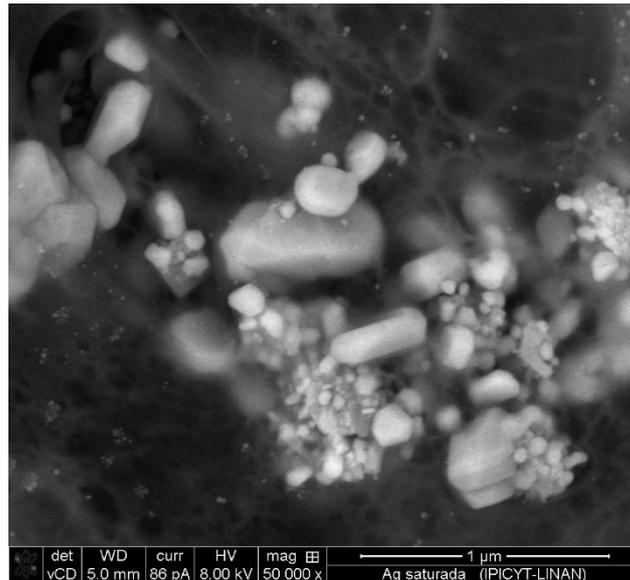


Figura 25. Micrografía HR SEM de nanopartículas de plata sintetizadas en diferentes tamaños y formas.

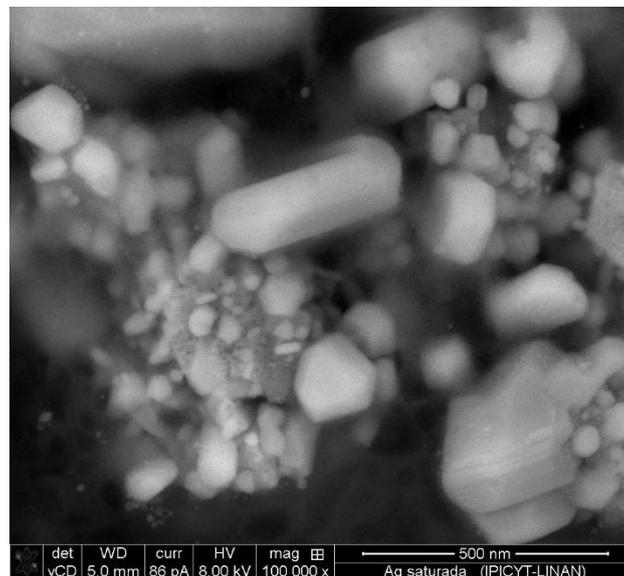


Figura 26. Micrografía HR SEM de nanopartículas de plata sintetizadas en diferentes tamaños y formas.

Gracias a las magnificaciones que alcanza el HR SEM este nos permitió observar de formas detallada y clara tanto la forma como los tamaños de las nanopartículas de plata que se sintetizaron, haciendo ver que las nanopartículas obtenidas no tenían las características buscadas ya que se esperaba nanopartículas esféricas de entre 20 y 70 nm.

3.8 Compósitos con nanopartículas de plata.

La adición de nanopartículas de plata se hizo de forma bruta (en polvo), se agregaron diferentes cantidades de nanopartículas para poder observar la diferencia en la respuesta eléctrica conforme a la concentración.

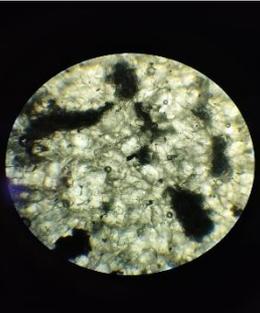
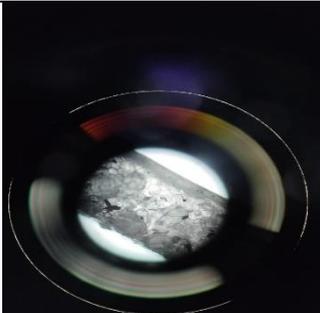
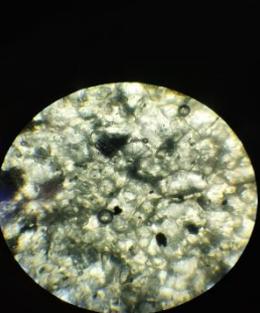
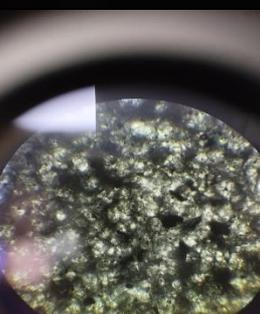
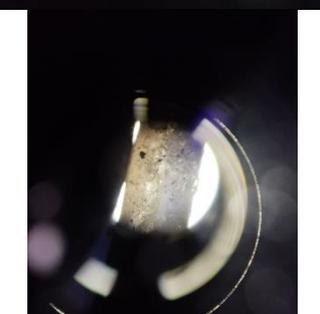
En la siguiente tabla se presentan los diferentes compósitos desarrollados, la cantidad de nanopartículas agregadas y la metodología de síntesis de nanopartículas utilizadas.

Compósito	Cantidad de nanopartículas (g)	Método de adición	Metodología de síntesis utilizada
1	0.24	En bruto	3 a 25 C
2	0.24	En bruto	3 a 60 C
3	0.24	En bruto	4
4	0.24	Diluidas en tolueno	4
5	0.5	En bruto	4
6	0.725	Diluidas en tolueno	4

Tabla 6. - Compósitos con nanopartículas de plata.

Se caracterizaron los compósitos tanto óptica como eléctricamente.

3.9 Caracterización óptica

Compósito	Frontal	Transversal
1		
2		
3		

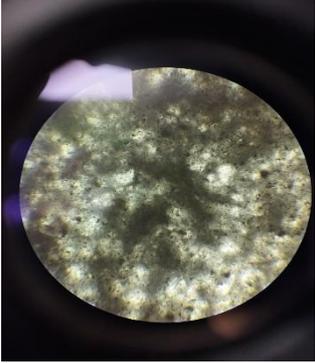
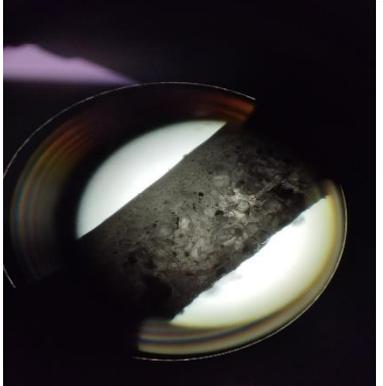
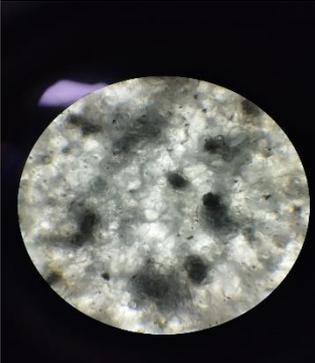
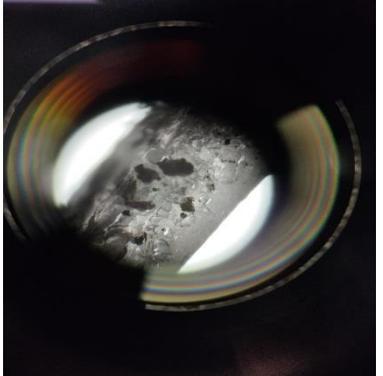
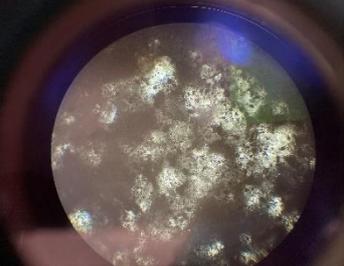
4		
5		
6		

Tabla 7. - Caracterización óptica de compósitos compósitos con nanopartículas de plata.

3.10 Caracterización eléctrica

Como podemos observar (figura 27) se sintetizaron compósitos con diferentes nanopartículas de plata de diferentes metodologías, diferentes concentraciones de nanopartículas y diferentes medios de adición al compósito. El compósito base es el que compone la mezcla de la sal y el elastómero.

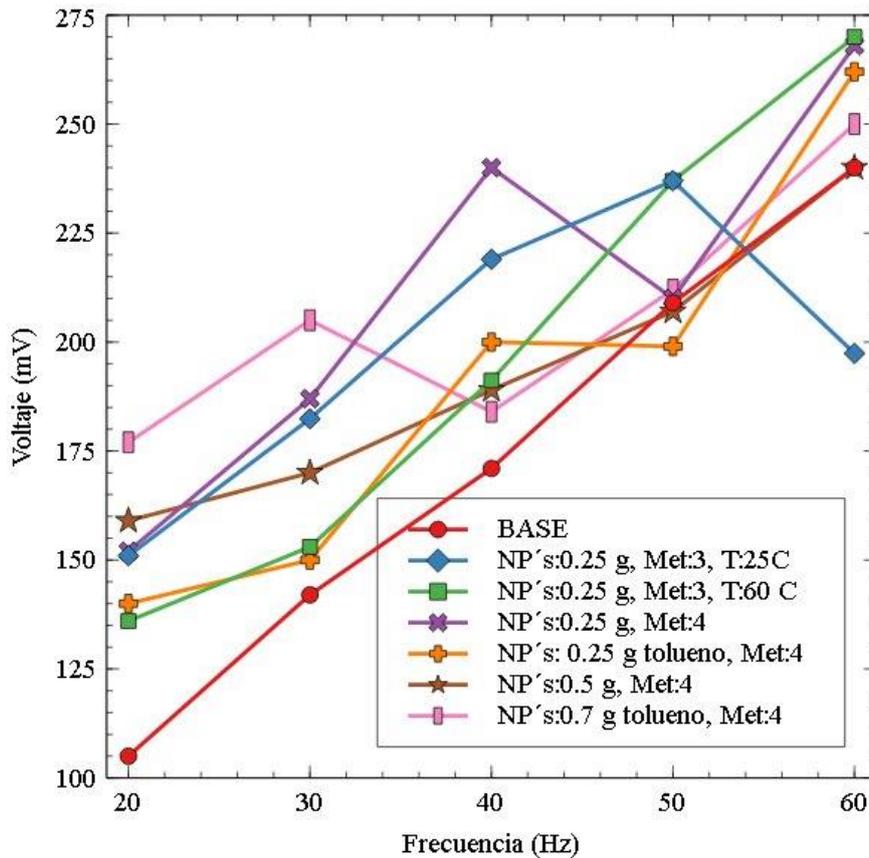


Figura 27. Caracterización eléctrica de todos los compósitos con nanopartículas de plata.

Empecemos por las diferentes nanopartículas de diferentes metodologías, como podemos apreciar (figura 28) todos los compósitos superan la producción de señal del compósito base, destacando los compósitos de metodología 3 a 60 C y el de metodología 4. Ambos alcanzo un máximo de 275 mV en una frecuencia de 60 Hz, pero una teniendo un comportamiento más lineal que el otro. Como podemos ver el compósito con la metodología 4 cae un poco su señal en la frecuencia de 50 Hz comparado con el compósito de metodología 3 a 60 C que mantiene un crecimiento lineal conforme aumenta la frecuencia. En cambio, el compósito con metodología 3 a 25 C crece linealmente hasta que decae su señal en la frecuencia de 60 Hz.

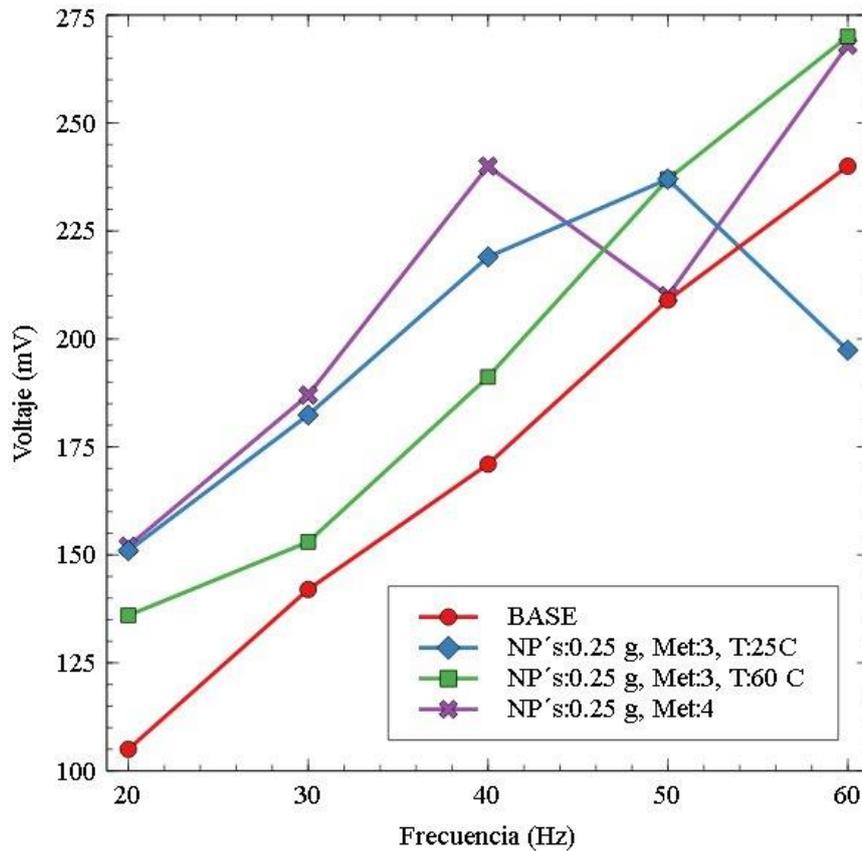


Figura 28. Caracterización eléctrica de compósitos con diferentes nanopartículas de plata de diferentes metodologías.

Se emplearon dos modos diferentes de adición de las nanopartículas de plata al compósito, como fueron en bruto y dispersas en un solvente para tener una mejor dispersión, como podemos observar en la figura 29, el compósito con la adición de nanopartículas de plata en bruto es el que tiene una mayor producción de señal en todas las frecuencias, sin embargo, el compósito con la adición de nanopartículas de plata dispersas en tolueno tiene un comportamiento más lineal y estable, ya que con la dispersión en tolueno se alcanza una mejor distribución de las nanopartículas a lo largo y ancho del volumen del compósito.

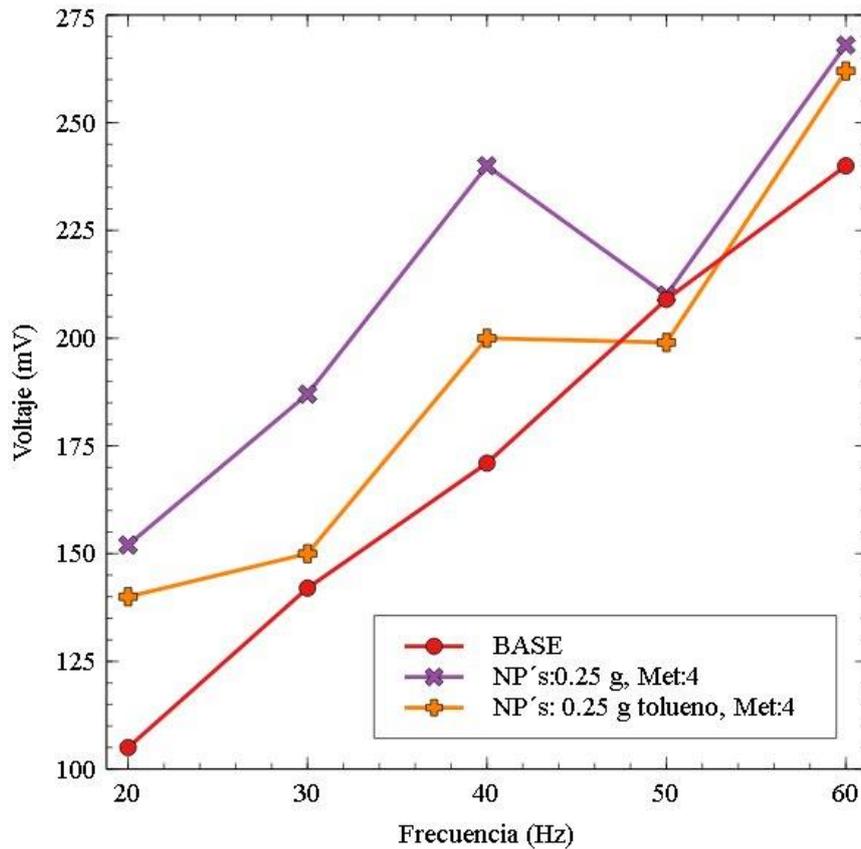


Figura 29. Caracterización eléctrica de compósitos con diferentes métodos de adición de nanopartículas.

Se escogió una metodología para la síntesis de nanopartículas de plata, como fue la metodología 4, ya que el proceso de síntesis ayuda a una precipitación de las mismas, al mismo tiempo permitía una limpieza rápida, secado a temperatura ambiente y obtención de polvo de nanopartículas con un nivel de pureza alto. Como podemos observar en la figura 30, se tienen 4 compósitos caracterizados eléctricamente, dos con nanopartículas en bruto y los otros dos con las nanopartículas dispersas en tolueno. Sin embargo, podemos notar que mientras más aumentamos la cantidad de nanopartículas en el compósito estos tienen un comportamiento más lineal, pero los compósitos con menor cantidad de nanopartículas tienen un mayor pico máximo que llega cerca de los 275 mV.

Además, podemos notar que en las compósitos de adición de nanopartículas en bruto el de 0.5 g tiene una respuesta mayor a la base en frecuencias baja pero igual en frecuencias altas, en cambio en compósito con 0.25 g supera en todas las frecuencias a el compósito base.

En cambio, los compósitos con la dispersión de nanopartículas con tolueno tienen un comportamiento más senoidal al tener una respuesta menor en frecuencias como 40 y 50 Hz, para después volver a aumentar su respuesta.

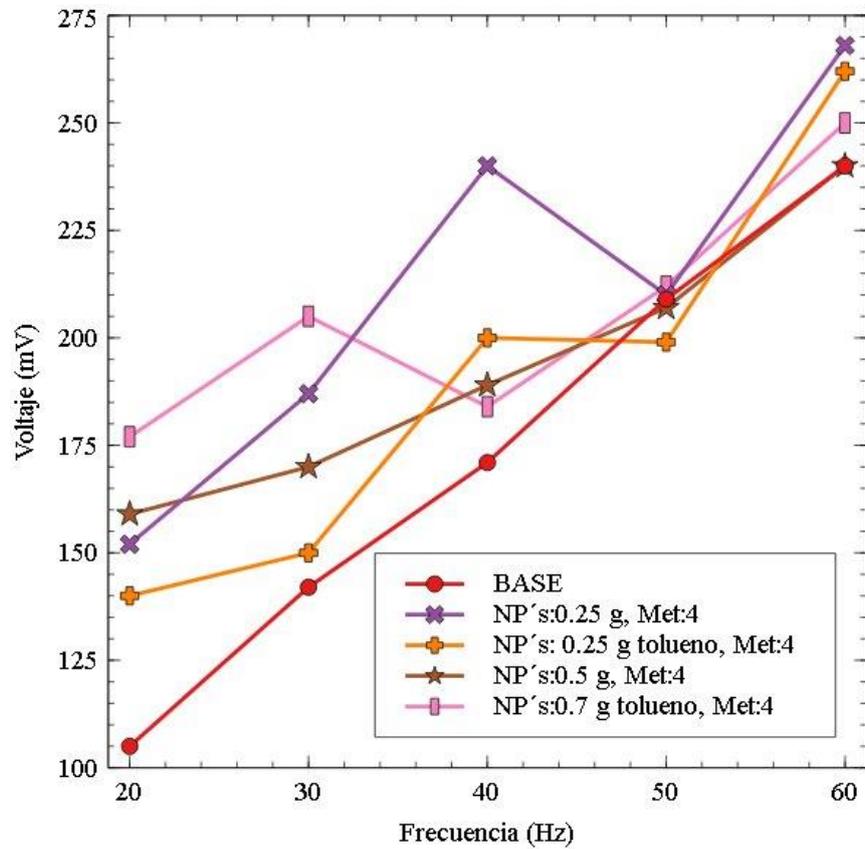


Figura 30. Caracterización eléctrica de compósitos con nanopartículas de plata sintetizadas con la metodología 4.

3.11 Caracterización de compósitos por XRD.

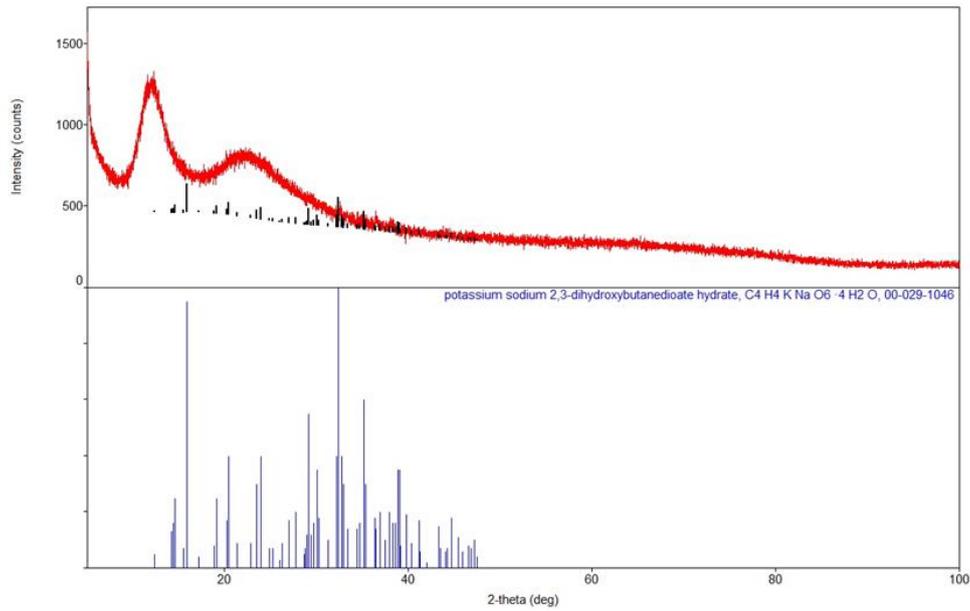


Figura 31. Espectro XRD de compuesto sobresaturado con 3 g de sal.

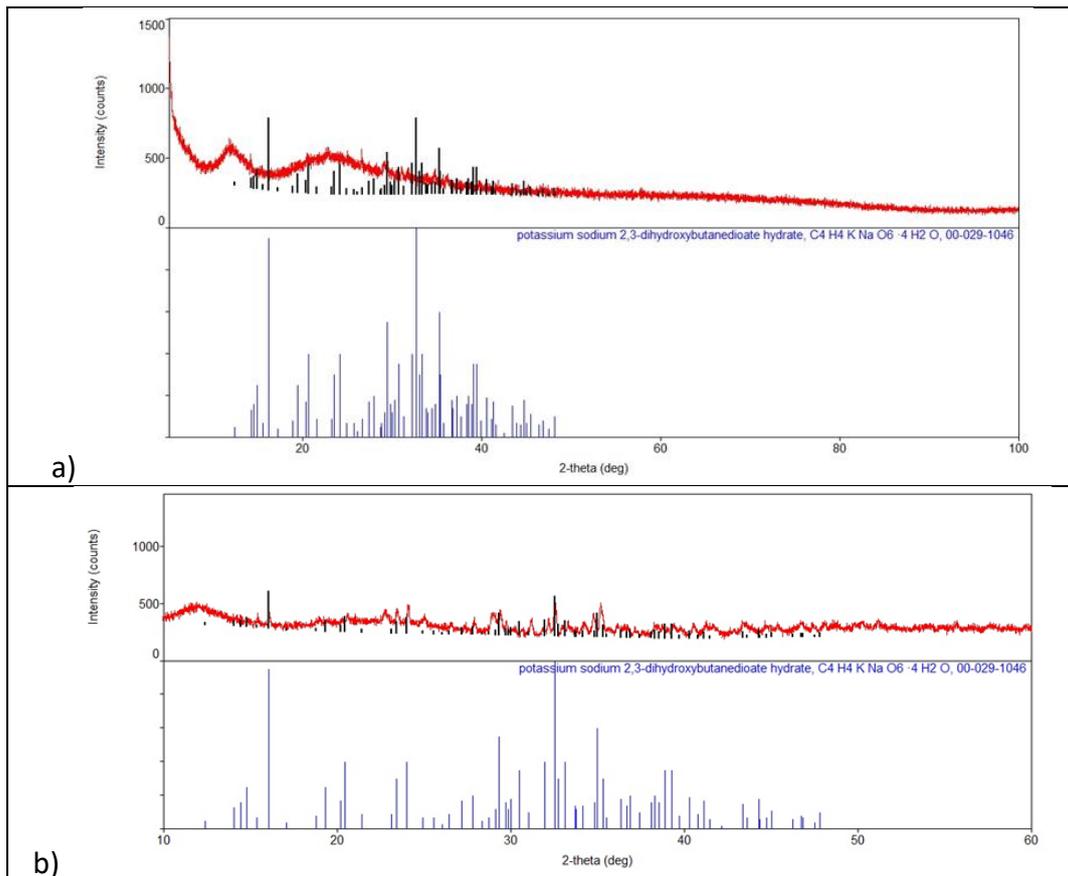


Figura 32. Espectro XRD de compuesto sintetizado con frecuencia de 37Hz y temperatura ascendente. a) Por arriba y b) por abajo.

En este difractograma (Figura 31) es muy claro que la distribución de la sal no está uniforme en todo el compuesto, puesto que, en la medición realizada por la parte superior, predominan

las curvas del ECOFLEX (comparando con la *Figura 8*) y no es posible distinguir los picos característicos de la sal, caso contrario cuando la medición se realizó por abajo, donde la sal se asienta.

Comparando con los picos de la sal de Rochelle reportados en la literatura (*Figura 9*), se observa que el pico más alto aproximadamente en 17° corresponde a la dirección cristalina (210), seguido del pico en 33° con dirección (410). Otros picos más pequeños antes de 25° corresponden a (031) y (221). Las alturas de los picos corresponden con las que presenta el espectro de la sal por lo que no es posible determinar una dirección preferencial, aunque es posible que las antes mencionadas sí se encuentren en mayor proporción que otras.

Hay diversos parámetros que pueden afectar el crecimiento del cristal, principalmente para este experimento fue el cambio de frecuencia, pero también la temperatura, la potencia y el tiempo de sonicado. Además, dado que principalmente se midió la sal sedimentada, no se puede comprobar que al interior del elastómero la sal presente la misma cristalinidad.

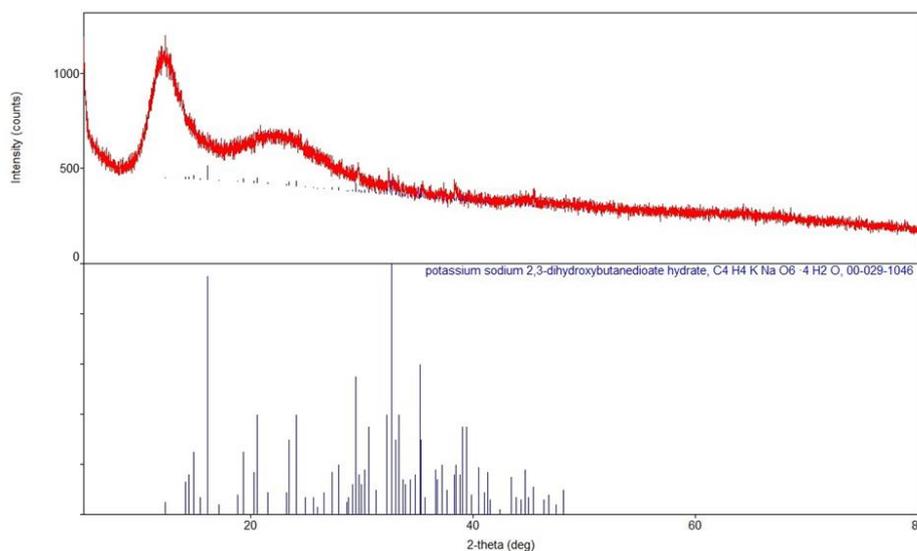


Figura 33. Espectro XRD de compuesto sintetizado con temperatura fija 34°C y frecuencia de 80Hz.

Confirmando la hipótesis de la sedimentación, en este espectro (*Figura 33*) sólo se identifican los picos anchos del elastómero (*Figura 8*), por lo que no es posible determinar si el cambio de temperatura afectó la cristalización de la sal.

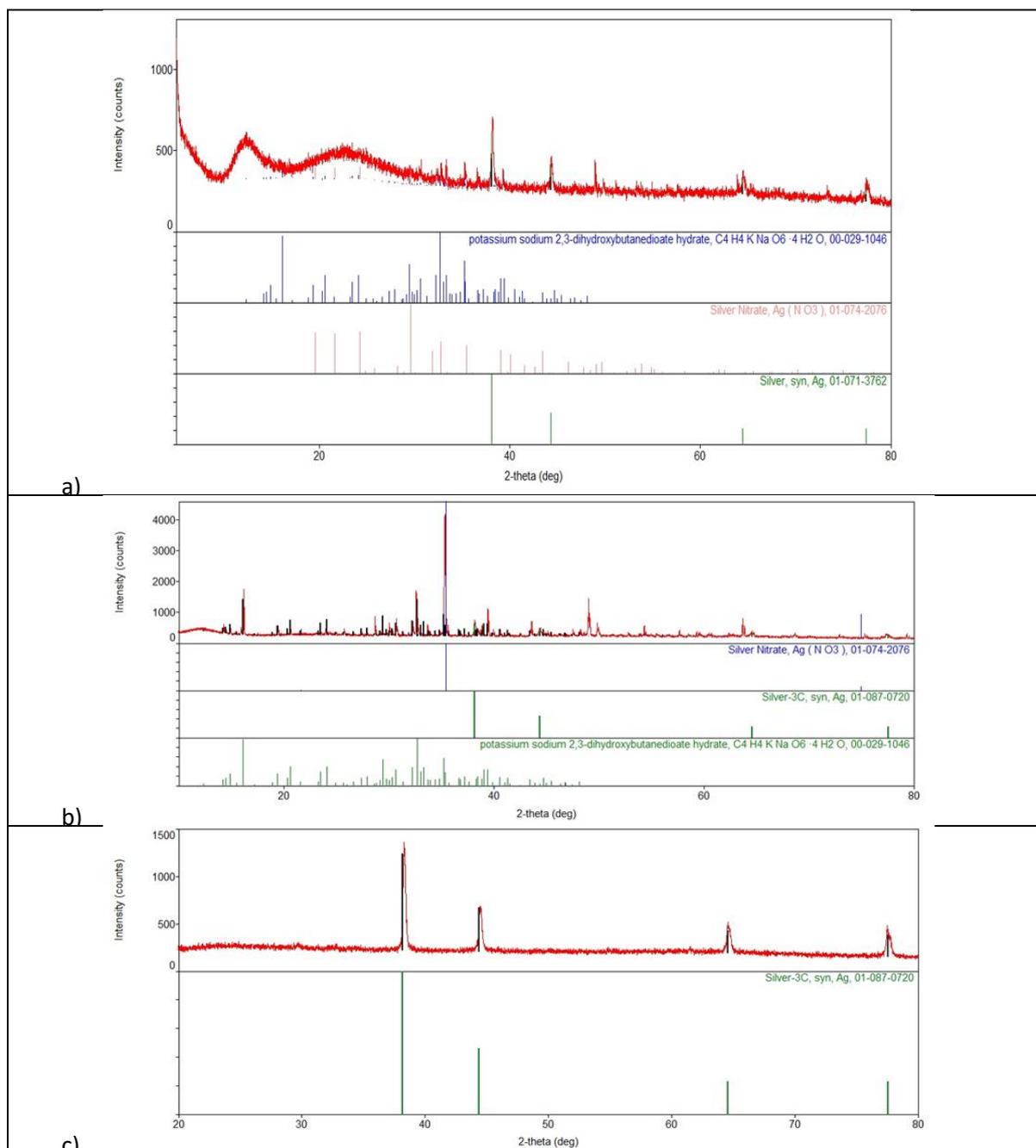


Figura 34. Espectro XRD de compósitos con AgNPs, a) 0.24 g en bruto, b) 0.24 g con 0.5 ml tolueno, c) 1 g con 1.5 ml de tolueno.

En la *Figura 34a*, se distinguen los picos de ECOFLEX y los correspondientes a la plata por la adición de las nanopartículas, y también logran identificarse algunos picos de la sal correspondientes a las direcciones antes mencionadas.

Sin embargo, en los compósitos a los que se les agregó tolueno, desaparece la señal del ECOFLEX. Podemos dar razón a esto considerando que el tolueno es un solvente fuerte que pudo cambiar la estructura molecular del elastómero. En la literatura se reporta que este

puede degradar varios tipos de polímeros (González, s.f.), pero en este caso no fue lo suficiente para evitar la polimerización.

Comparando la *Figura 34b* con la *Figura 34c*, en la primera sí es posible distinguir los picos de la sal de Rochelle puesto que la cantidad de nanopartículas era baja, pero en el segundo caso predomina la señal de la plata debido a la concentración de las mismas. Esto a demás resulta de la cristalinidad definida que tiene la plata, que da un patrón más intenso.

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

- Aprendizajes profesionales

Martha Sofia Curiel Medina

Durante el desarrollo de este proyecto, logré adquirir diferentes habilidades, tanto académicas como interpersonales y profesionales, entre las que se destaca el trabajo coordinado en equipo y la comunicación eficiente entre los participantes para diseñar y poner en práctica un proyecto de investigación. Desde el punto de vista académico, aprendí a fabricar el compuesto piezoeléctrico y a medir sus propiedades eléctricas; por otro lado, pude estudiar el proceso de síntesis para las nanopartículas de plata y la influencia de la variación de parámetros en el resultado.

En el proyecto puse a prueba mis conocimientos sobre química, electrónica y síntesis y caracterización de nanomateriales que he aprendido en la carrera, pero también mis habilidades de investigación bibliográfica y elaboración de reportes de proyecto.

Por otro lado, considera que esta experiencia aporta mucho a mi vida profesional porque uno de los principales campos donde me gustaría desempeñarme es en la investigación, y de esta forma pude conocer un poco mejor la forma de trabajo y familiarizarme con las dinámicas.

Alejandro Ballesteros Quiñones

A lo largo del transcurso del desarrollo del proyecto he podido desarrollar más varias habilidades como fueron la comunicación, el trabajo en equipo, iniciativa y la toma de decisiones, además de reforzar habilidades como la investigación y trabajo en el laboratorio,

gracias a las diferentes pruebas químicas, mecánicas y eléctricas que se han realizado durante el proyecto me han permitido trabajar con equipo y profesionales que nos han enseñado y ayudado mucho para obtener resultados esperados.

A pesar de que este proyecto su mayor enfoque es en ayudar a cubrir la necesidad de energía este también nos permitió descubrir que otras aplicaciones que puede llevar a cabo y poder hacer el proyecto más avanzado, esto sucedió gracias a que nuestros conocimientos a lo largo de la carrera fueron puestos a prueba durante el desarrollo del proyecto y me permitieron abrir más las posibilidades del mismo, este proyecto me ha permitido utilizar muchos conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera como fueron los procesos de síntesis química, propiedades de los materiales como su estructura cristalina, propiedades físicas como fueron el cálculo de su módulo de Young y se resistencia física y electromagnetismo y piezoelectricidad.

- [Aprendizajes sociales](#)

Grupal

Al conocer las problemáticas a detalle que se presentan hoy en día entorno al desarrollo y conservación de energías renovables, nos dimos cuenta de que podemos transformar y llevar a cabo una iniciativa que logre solucionar estas grandes incógnitas que se presentan, sin olvidar que detrás de ello se considera una mejora en la calidad de vida de las personas. Por lo tanto, con base a las experiencias que tenemos en los segmentos del emprendimiento, somos capaces de poder ejecutar y desarrollar nuestro proyecto, teniendo muy claro nuestros objetivos iniciales. Ahora bien, para poder darle seguimiento y poner en práctica nuestros conocimientos emprendedores requerimos de cierto apoyo de personas con mayor experiencia en cuestiones de desarrollo de proyectos para poder conocer mejor los aspectos a los que debemos darles prioridad o aquellos que no estamos tomando en cuenta para nuestro proyecto, y que a la larga pueda afectar su ejecución.

En cuanto a los ámbitos de la sociedad en los que pudimos innovar con base en este proyecto, fueron el poder reconocer las necesidades de los demás y siempre estar bajo la búsqueda del bienestar común. Para los impactos que se veían más esperados desde el planteamiento inicial del proyecto fueron la iniciativa de buscar nuevos mecanismos capaces de poder

disminuir el impacto ambiental y las consecuencias que han traído el uso de otras energías no renovables, también conocer como las organizaciones e institutos que están encargados de colaborar en este tipo de situaciones buscan nuevas ideas o proyectos capaces de combatir este gran problema a nivel mundial.

En este proyecto se ven beneficiados todos los grupos sociales ya que no está enfocado en un solo sector, si no, a la colaboración en conjunto. No obstante, todas estas colaboraciones y apoyos pueden ir no solo dirigidos a este tipo de proyectos, también a otros que busquen una mejora en las necesidades de la sociedad. Para poder darle un seguimiento a esto se requiere la ayuda de instituciones y personas especializadas en el área para que puedan tener un mayor peso entorno a las acciones que se realicen dentro y fuera del proyecto.

Finalmente, mi visión del mundo ahora con base a este proyecto se puede decir que es mucho más amplia ya que descubrimos una gran necesidad que se tiene, aún no resuelta y que tiene grandes repercusiones que pueden afectar el bienestar humano.

- [Aprendizajes éticos](#)

Martha Sofia Curiel Medina

Las principales decisiones fueron en torno a los experimentos. Con base en la investigación previa, en equipo decidimos cuáles serían los pasos a seguir para lograr nuestros objetivos. Además, durante el desarrollo se presentaron algunos obstáculos que tuvimos que resolver a partir de nuestros conocimientos sobre las propiedades de los nanomateriales y los parámetros de las síntesis, decidiendo el mejor camino que nos llevara a superar esos obstáculos y lograr los resultados esperados.

Esta experiencia me lleva a querer seguir aprendiendo sobre dispositivos de captación de energía que puedan ser aplicados de alguna forma para mejorar la calidad de vida de las personas. Me interesa continuar mi camino profesional relacionado con esta área, buscando ayudar a otros e innovar en el ámbito de investigación de materiales.

Alejandro Ballesteros Quiñones

Este tipo de proyectos permiten ampliar la vista de forma que nos permite apreciar y aceptar las consecuencias de nuestras decisiones, por eso es importante conocer cuáles son los alcances y objetivos de nuestro proyecto, en este caso los más importante que tuvimos que hacer fue saber cuáles serían los materiales óptimos para el desarrollo de nuestro proyecto y a la par de saber qué consecuencias tiene estos en nuestro medio ambiente, ya que el desarrollo de cualquier proyecto tiene que tener como prioridad el saber los daños que este puede llegar a generar.

Sin embargo, otro aspecto importante es la finalidad del proyecto, en este caso se busca un generador de energía para poder abastecer la necesidad de energía en el mundo, además de que se podría agregar más funcionalidades las cuales le permitan a nuestro proyecto cubrir más necesidades ya sean de las personas o del medio ambiente.

Grupal

Esta experiencia nos deja muchos aprendizajes entorno a como nuestras decisiones pueden ser clave para lograr con éxito nuestros objetivos ya sean personales o sociales, teniendo en cuenta todos los aspectos que lo rodeen que puedan traer consecuencias o cambios en la iniciativa planteada. Además, esto deja muy en claro que debemos siempre buscar un bienestar común para poder sentirnos plenos y seguros de nosotros mismos.

- [Aprendizajes en lo personal](#)

Martha Sofía Curiel Medina

El PAP me ayudó a darme cuenta de algunas habilidades que tengo pero que nunca había podido poner en práctica, entre las que se encuentra el uso de equipo y material de laboratorio. También, desde un punto de vista más personal, pude distinguir mis motivaciones en lo que respecta a un proyecto, lo que me inspira y me anima a seguir adelante.

Por otro lado, tuve la oportunidad de convivir y conocer un poco más a mis compañeros de trabajo, a los técnicos y encargados de laboratorio. Con esto pude relacionarme con diferentes formas de pensar y de trabajar, lo que también enriqueció mucho mi experiencia y me ayudó a crecer como persona.

Trabajar estos meses en investigación me ayudó a definir un poco mejor mi proyecto de vida porque pude tener un acercamiento a una de las actividades en las que me gustaría desempeñar mi vida profesional y me gustó mucho.

Alejandro Ballesteros Quiñones

Gracias a este proyecto pude primero poner en una práctica más constante mis habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo de mi carrera ya que pude estar más constantemente en el laboratorio para desarrollar mis habilidades experimentales y en el apartado teórico el aprender a buscar las mejores referencias e información para respaldar nuestras acciones en el laboratorio, segundo al no tener algún estudio o artículo científico en el cual nos pudiéramos basar decidimos el basarnos en diferentes pasos que se realizan en diferentes artículos y nosotros ver que es lo que pasaba con nuestro proyecto, este aprendizajes fue el poder iniciar algún proyecto que nunca se ha hecho, pero seguir una guía la cual nos permita obtener resultados.

Tercero el seguir aprendiendo todavía cuestiones muy importantes de la nanotecnología, ya que durante la carrera vemos aspectos muy generales y gracias al proyecto uno llega a descubrir factores más importantes del desarrollo de proyectos con nanotecnología. Este tipo de proyectos nos permiten no solo emplear todas la habilidades y conocimientos adquiridos, sino que nos permiten mejorar nuestras habilidades, desarrollar nuevas habilidades, agarrar confianza para utilizar los equipos, aprender más acerca de nuestra carrera y aprender de profesores y profesionales de la materia.

5. Conclusiones

Se logró desarrollar y mejorar un compuesto piezoeléctrico fabricado a partir del elastómero ECOFLEX y de sal de Rochelle, partiendo del procedimiento definido el semestre pasado en el mismo proyecto. Se logró aumentar y estabilizar la señal eléctrica generada con la adición de nanopartículas de plata que tienen propiedades conductoras y con la variación de los parámetros de síntesis del compuesto.

Además, se definieron las condiciones óptimas para la síntesis y obtención en polvo de las nanopartículas, y se caracterizaron para conocer su forma, tamaño y composición química. A

su vez, se encontraron los parámetros óptimos para aumentar el efecto piezoeléctrico de la sal bajando la frecuencia del ultrasonido a 37 Hz y con temperatura ascendente.

El compósito con pura sal preparado con las condiciones anteriores alcanzó un valor máximo de voltaje de 310 mV, mientras que el adicionado con nanopartículas sintetizado con las condiciones base llegó a 275 mV, logrando mantener la señal más estable.

Se hicieron algunos cambios en el calendario de los objetivos, pero todos se cumplieron de forma satisfactoria. Se propone para el próximo semestre experimentar con la adición de otros tipos de nanopartículas conductoras, probar la dispersión de las mismas en otros solventes, e investigar sobre recubrimientos que mejoren las propiedades del compósito. Todavía queda mucho camino por recorrer, pero las investigaciones realizadas este semestre y los anteriores, constituyen una base para seguir desarrollando el proyecto.

6. Bibliografía

Admin. (2021, 1 enero). El microscopio óptico - Mundo Microscopio. Mundo Microscopio. <https://www.mundomicroscopio.com/>

Duque, Johan. (2017). Resonancia del plasmon de superficie en nanopartículas metálicas sintetizadas por ablación láser.. 10.13140/RG.2.2.32857.52329.

Díaz, J. C., & Arias, M. L. D. (2004). La contaminación por pilas y baterías en México. Gaceta ecológica, (72), 53-74.

Méndez-Sánchez, P., Velasco-Hernández, M. A., Becerra-Ponce, J. I., DE LEON, D., Castillo-Velázquez, J. I., SÁNCHEZMOZO, C., ... & Serrano-Cuatlayol, M. (2006). CONTAMINACIÓN DE AGUA POR PILAS ALCALINAS TIPO AA. In Conference: V Congreso Internacional de Ciencias Ambientales At: UAEM Mexico Volume: ISBN (pp. 968-878).

Lemaire, E., Borsa, C. J., & Briand, D. (2015). Green piezoelectric for autonomous smart textile. Journal of Physics: Conference Series, 660, 012082.

- Melzer, M., Mönch, J. I., Makarov, D., Zabala, Y., Cañón Bermúdez, G. S., Karnaushenko, D., Baunack, S., Bahr, F., Yan, C., Kaltenbrunner, M., & Schmidt, O. G. (2015). Wearable Magnetic Field Sensors for Flexible Electronics. *Advanced Materials*, 27(7), 1274-1280.
- Aldape, D., & Delgado, J. (2012). Microgeneración y almacenamiento de energía para sistemas autónomos de sensado. 107.
- Kao, K. C. (2004). 4—Ferroelectrics, Piezoelectrics, and Pyroelectrics. En K. C. Kao (Ed.), *Dielectric Phenomena in Solids* (pp. 213-282). Academic Press.
- Mallinckrodt Baker, Inc. (2008). POTASSIUM SODIUM TARTRATE. https://pr.vwr.com/assetsvc/asset/en_US/id/8270551/contents
- Osorio Vázquez. (s. f.). Transductores eléctricos sensibles a estímulos magneto. Mecánicos.
- Rösler, A., Vandermeulen, G. W., & Klok, H. A. (2012). Advanced drug delivery devices via self-assembly of amphiphilic block copolymers. *Advanced drug delivery reviews*, 64, 270-279.
- Rahaman, M., Aldalbahi, A., Govindasami, P., Khanam, N., Bhandari, S., Feng, P., & Altalhi, T. (2017). A New Insight in Determining the Percolation Threshold of Electrical Conductivity for Extrinsicly Conducting Polymer Composites through Different Sigmoidal Models. *Polymers*, 9(12), 527. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/polym9100527>
- MohdIsa, W., Hunt, A., & HosseinNia, S. H. (2019). Sensing and Self-Sensing Actuation Methods for Ionic Polymer–Metal Composite (IPMC): A Review. *Sensors*, 19(18), 3967. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/s19183967>
- Shahinpoor, M., & Kim, K. J. (2001). Ionic polymer-metal composites: I. Fundamentals. *Smart Materials and Structures*, 10(4), 819–833.
- Wang, Z. L. (2013, octubre 3). Triboelectric Nanogenerators as New Energy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors (world) [Review-article]. ACS Publications; American Chemical Society.
- Zahnstecher, B. (2017, octubre 5). Battery Power Online \textbar The Role of Power Electronics and Energy Harvesting in the Future of Batteries.

<https://www.batterypoweronline.com/articles/the-role-of-power-electronics-and-energy-harvesting-in-the-future-of-batteries/>

Cerdeiras Montero, E. (2016). Materiales piezoeléctricos derivados del $(\text{Bi}_{0,5}\text{Na}_{0,5})\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$: Preparación y estudio de las propiedades funcionales [Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona]. En TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). <http://www.tdx.cat/handle/10803/400829>

hmong.wiki. (s. f.). Titanato de circonato de plomo Propiedades electrocerámicas y Usos. Recuperado 11 de noviembre de 2022, de https://hmong.es/wiki/Lead_zirconate_titanate

IIES-UNAM, 2020 D.R. (s. f.). <https://www.iies.unam.mx/el-impacto-de-la-basura-electronica-en-mexico/>

Concari, S. (2014). Tecnologías emergentes¿ cuáles usamos. Latin American Journal of Physics Education, 8(3), 494-503.

Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. Revista Repertorio de Medicina y Cirugía, 27(2).

Medina, M. E., Galván, L. E., & Reyes, R. E. (2015). Las nanopartículas y el medio ambiente. Universidad, Ciencia y Tecnología, 19(74), 49-58.

Wang, H., Qiao, X., Chen, J., & Ding, S. (2005). Preparation of silver nanoparticles by chemical reduction method. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 256(2-3), 111–115.

Eka Putri, G., Rahayu Gusti, F., Novita Sary, A., & Zainul, R. (2019). Synthesis of silver nanoparticles used chemical reduction method by glucose as reducing agent. Journal of Physics: Conference Series, 1317, 012027.

Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). Scanning electron microscopy (SEM): A review. Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX (pp. 7-9).

Khan, H., Yerramilli, A. S., D'Oliveira, A., Alford, T. L., Boffito, D. C., & Patience, G. S. (2020). Experimental methods in chemical engineering: X-ray diffraction spectroscopy—XRD. *The Canadian journal of chemical engineering*, 98(6), 1255-1266.

X-ray diffraction (XRD) :: Anton Paar Wiki. (s. f.). Anton Paar. <https://wiki.anton-paar.com/co-es/difraccion-de-rayos-x-xrd/>

Shyju, T. S., Anandhi, S., & Gopalakrishnan, R. (2012). Comparative studies on conventional solution and Sankaranarayanan–Ramasamy (SR) methods grown potassium sodium tartrate tetrahydrate single crystals. *CrystEngComm*, 14(4), 1387–1396.

Zhang, Y., Ren, E., Tang, H., Li, A., Cui, C., Guo, R., ... Shen, H. (2020). Carbon nanotubes/acetylene black/Ecoflex with corrugated microcracks for enhanced sensitivity for stretchable strain sensors. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*.

Ortega, Gustavo. (2016). OPTIMIZACIÓN DE LA ACTIVACIÓN ELÉCTRICA Y DE LA RESPUESTA PIEZOELÉCTRICA DE POLÍMEROS ESPUMADOS Y MODELIZACIÓN DE LOS PROCESOS ELECTROSTÁTICOS INTERNOS.. 10.4995/Thesis/10251/62408.

Anexos (en caso de ser necesarios)

Graficas de comparación de métodos de adición de nanopartículas de plata

En bruto

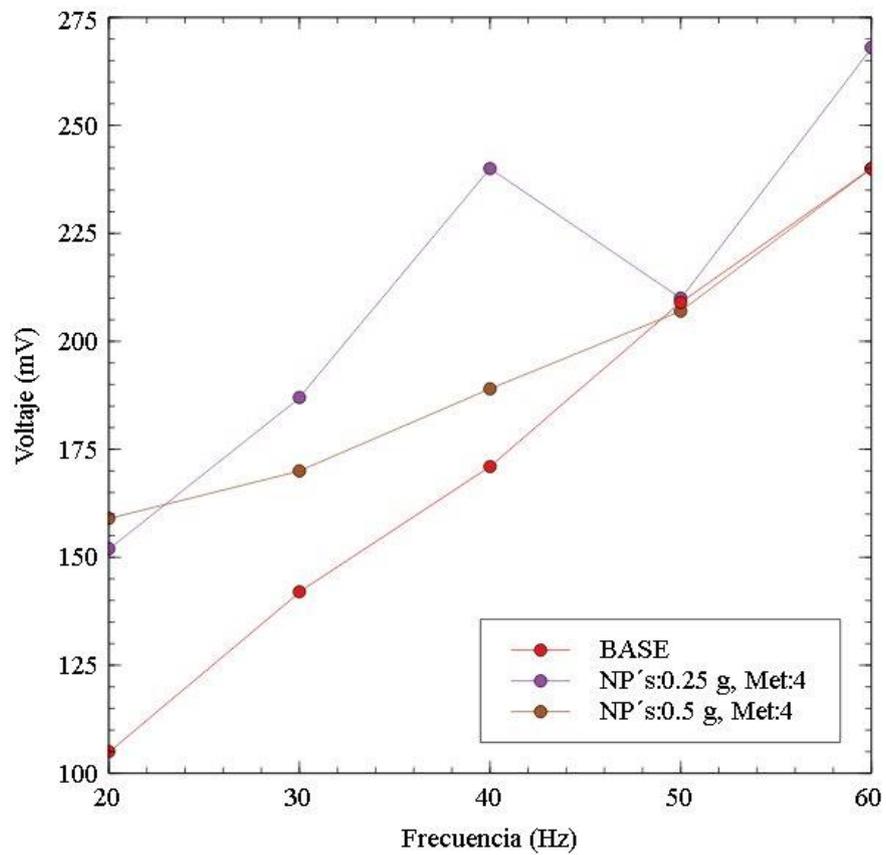


Figura A1. Caracterización eléctrica composito con adición en bruto.

Dispersas en Tolueno

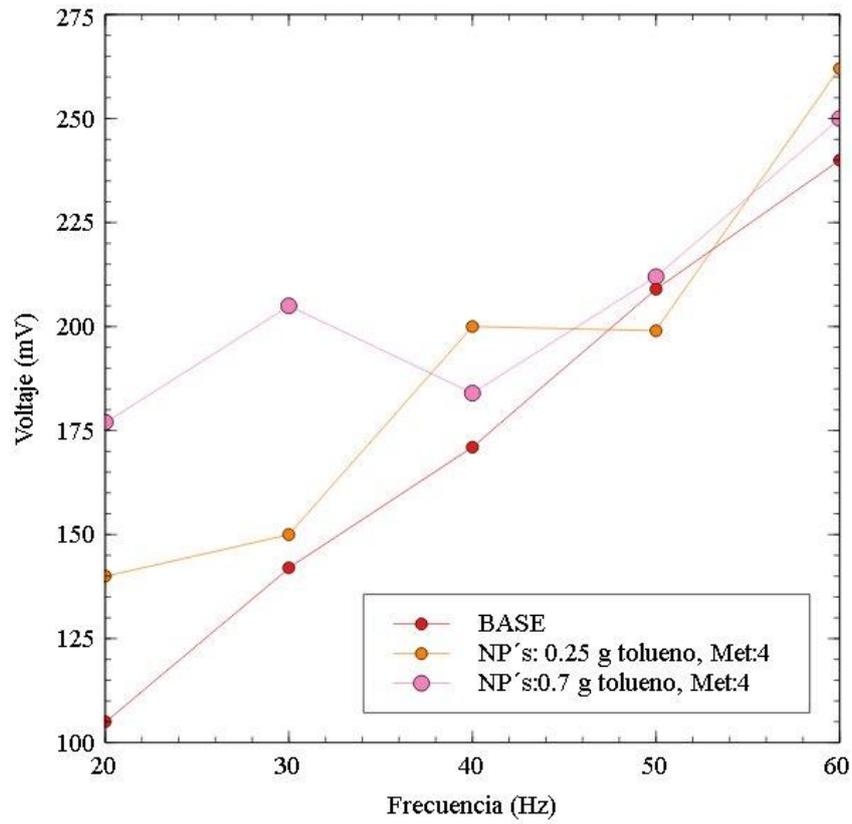


Figura A2. Caracterización eléctrica composito con adición en tolueno.

Pruebas de diferentes solventes.

Isopropanol



Figura A3. Compósito con isopropanol.



Figura A4. Compósito con nanopartículas en isopropanol.

Tolueno

Composito con 1 g de nanopartículas de plata. No polimerizo por la cantidad de tolueno.



Figura A5. Compósito con 1 g de nanopartículas de plata y 1.5 ml de tolueno (superior).



Figura A6. Compósito con 1 g de nanopartículas de plata y 1.5 ml de tolueno (inferior).

Recubrimiento del compuesto con nanopartículas de plata

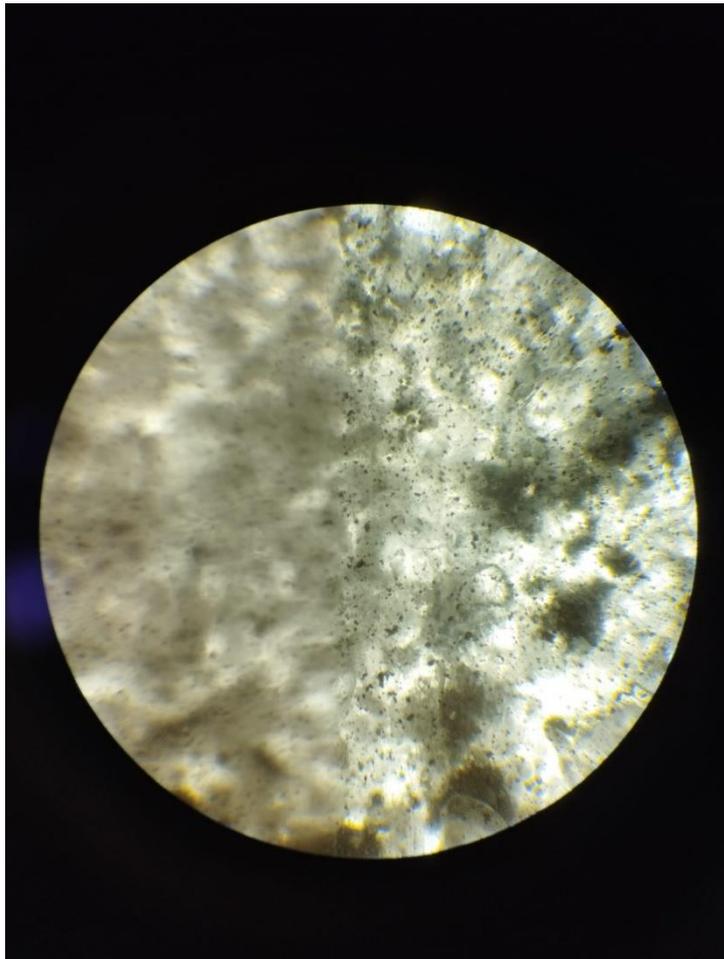


Figura A7. Compósito con recubrimiento de oro.

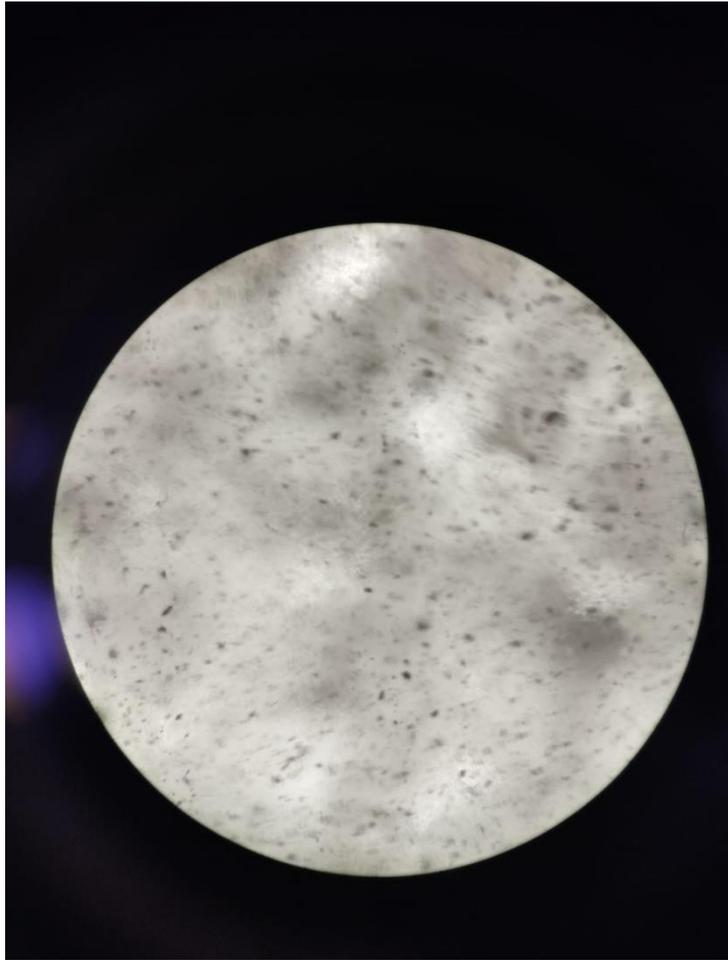


Figura A8. Compósito con recubrimiento de oro (visto desde el microscopio LEICA DM 500).

Caracterización eléctrica.

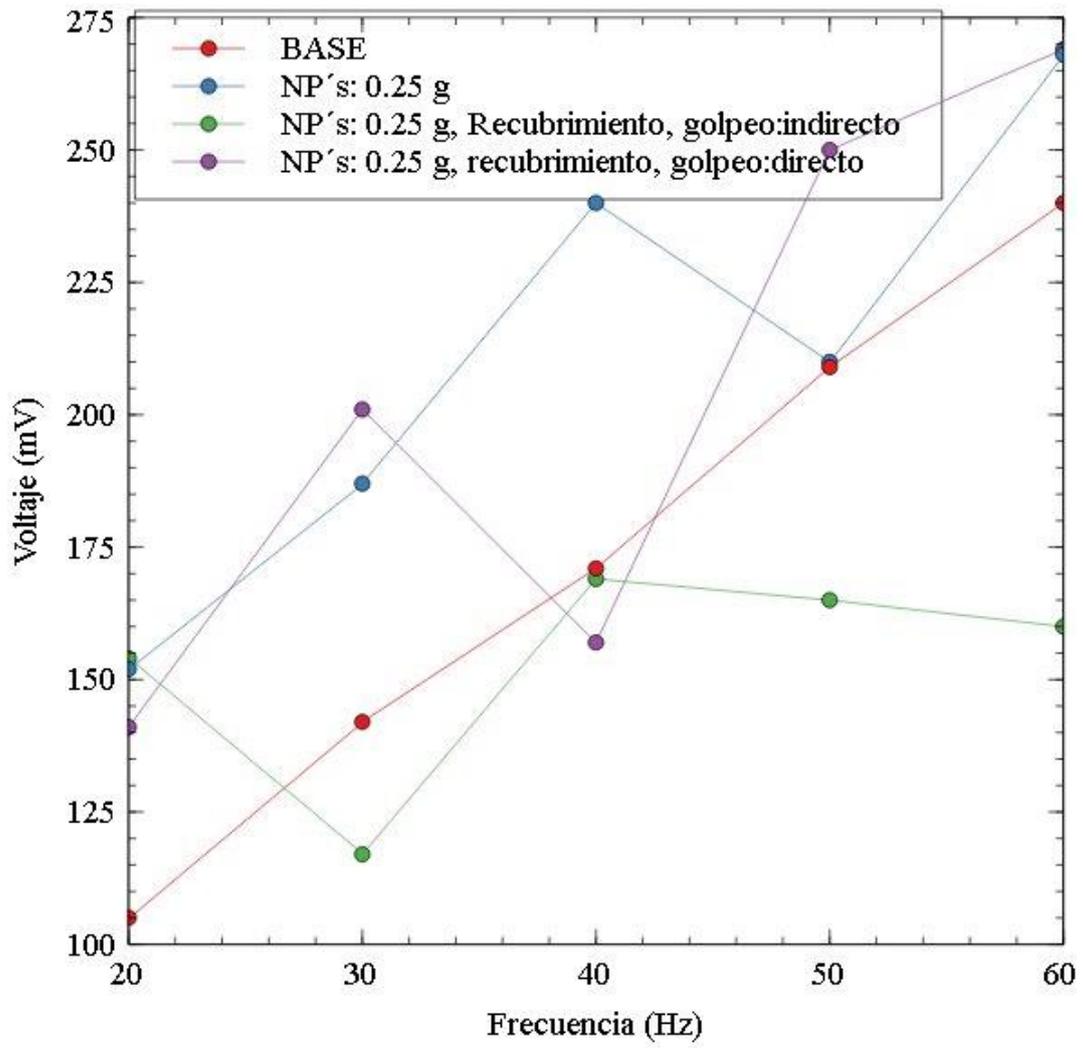


Figura A9. Caracterización eléctrica del compuesto con recubrimiento de oro.