

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE

Departamento de Aplicación Profesional

Sustentabilidad y Tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)

PROGRAMA DE APOYO A LA INVESTIGACION Y DESARROLLO EN
NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGIA I



ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

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

Desarrollo de materiales multifuncionales magnetoeléctricos para nano-
dispositivos de nueva generación

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ing. en Nanotecnología. Luis Fernando Arias Aguilar

Ing. en Nanotecnología. Luis Carlos Mendoza Sedano

Profesor PAP: Yenni Guadalupe Velazquez Galvan

ÍNDICE

Contenido

Contenido	1
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	6
1.4. Contexto	7
2. Desarrollo	10
2.1. Sustento teórico y metodológico	10
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	13
Descripción del proyecto	13
Plan de trabajo	13
Desarrollo de propuesta de mejora	14
3.Resultados del trabajo profesional	19
Síntesis química en líquido de la sal de Rochelle	19
Cristalización	20
Caracterización con AFM	21
Mezcla de polímero con la sal de Rochelle	21
Voltajes generados en el polímero piezoeléctrico	23
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto	26
Aprendizajes profesionales	26
Aprendizajes sociales	28
Aprendizajes éticos	29
Aprendizajes en lo personal	31

5. Conclusiones	32
6. Bibliografía	34
Anexos	37

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

En la presente investigación se realizó una serie de procesos experimentales enfocados en la obtención de un polímero biocompatible, flexible y sólido con propiedades piezoeléctricas, utilizando materiales base como los polímeros PDMS y ECOFLEX, y la sal de Rochelle que proporcionará la propiedad piezoeléctrica y de biocompatibilidad. Primeramente, se experimentó con la síntesis química de la sal de Rochelle, para después realizar procesos de mezclado con los polímeros. De esta forma, se concluyó que el polímero ECOFLEX fue el óptimo para la obtención del polímero piezoeléctrico con las características deseadas.

Se desarrollaron tres metodologías para la obtención del polímero piezoeléctrico. El proceso en bruto fue el que presentó respuestas de voltajes más altos de hasta 1V en concentraciones saturadas y únicamente con estímulos pulsados. Para el proceso en líquido se presentó una respuesta piezoeléctrica con un menor voltaje por medio de estímulos pulsados, no obstante, fue el único que presentó respuesta por medio de estímulos de flexión. Finalmente, para el proceso en raspado se presentó una buena respuesta

piezoeléctrica por medio de estímulos pulsados, pero a concentraciones muy bajas. Se considera que se debe continuar con la investigación de los polímeros piezoeléctricos obtenidos en ámbitos de electrónica para realizar pruebas de almacenamiento y vida útil, logrando dar un mayor énfasis en la optimización del polímero piezoeléctrico.

1. Introducción

1.1 Objetivos

Generales

Se buscará dar solución a la necesidad de la fabricación de productos capaces de autosustentarse, es decir, crear su propia energía, esto mediante la investigación y desarrollo de una metodología que permita obtener un polímero con propiedades piezoeléctricas, con el fin de poder aplicarlo a sistemas o contextos que involucren su necesidad para una mejor optimización en la recolección, almacenamiento y alimentación de energía a ciertos dispositivos.

Específicos

- Investigación bibliográfica en procesos de síntesis química de cristales piezoeléctricos, con enfoque particular en la sal de Rochelle, aunados a la obtención de propiedades específicas mediante la variación de parámetros fisicoquímicos.
- Investigación bibliográfica en procesos de síntesis de polímeros y de procesos de polimerización que involucren la adición de sales.
- Aplicación de técnicas de laboratorio químicas y nanotecnológicas para el desarrollo de metodologías destinadas a la obtención de un polímero piezoeléctrico.
- Caracterización del polímero piezoeléctrico obtenido sobre sus propiedades piezoeléctricas y físicas, mediante el uso del microscopio óptico, microscopio de fuerza atómica (AFM), multímetro y osciloscopio.

1.2. Justificación

El desarrollo de este proyecto tiene gran importancia social al contribuir con la reducción del impacto ambiental causado por el uso de fuentes de energías no renovables, tales como los combustibles fósiles los cuales representan al rededor del 90% de la energía comercial en todo el mundo, por otro lado, en la industria de los electrónicos, el desecho de las baterías, las cuales tienen un gran impacto a la salud y al medio ambiente (*Fuentes de energía no renovables*, 2015).

Con esta problemática surgen la necesidad de buscar fuentes de energía que estén basadas en materiales o compuestos amigables al medio ambiente y no dañinos a la salud. La sal de Rochelle es un compuesto con grandes propiedades piezoeléctricas y con gran potencial de ser utilizado como cosechador de energía limpia al estar funcionalizado con un polímero como PDMS o ECOFLEX, pues brindarían principalmente la capacidad de ser flexible creando así un polímero piezoeléctrico con posibilidad de ser utilizado en diversas aplicaciones. Una de las más factibles es en la recolección de energía por medio de la energía mecánica o vibracional que proporciona el cuerpo humano, ya que el polímero al estar compuesto por materiales biocompatibles y flexibles sería apto para ser utilizado como un cosechador de energía portable y ligero, alimentando dispositivos electrónicos que requieran de esas características, y por supuesto de energía.

Bajo una perspectiva más específica, podría ser aplicado en ámbitos médicos, como en el monitoreo de signos vitales mediante el censado de los campos magnéticos generados por el cuerpo humano, pues son un indicador muy importante para el diagnóstico temprano de problemas cardiovasculares. Para lograr esta funcionalidad, es necesario la adición de nuevos materiales y de propiedades particulares, como los magneto-mecano-electricos (MME), que son capaces de interactuar con los campos magnéticos y generar una respuesta mecánica, captada por el polímero piezoeléctrico y transformándola en alguna señal o energía eléctrica (Melzer et al., 2015). Por lo tanto, la investigación y desarrollo de materiales multifuncionales como el polímero piezoeléctrico mencionado anteriormente

son un motivo para ser utilizados en cosechadores de energía optimizados y/o nanodispositivos de nueva generación con diversas áreas de aplicación.

1.3 Antecedentes

El gran incremento de la población mundial a partir de la primera revolución industrial ha provocado un incremento en contaminación y la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía, debido a que la vida humana requiere de ella para ser sustentable en la actualidad (Annapureddy et al., 2017). Particularmente, 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 de igual forma es muy baja (**Error! No se encuentra el origen d e la referencia.**), haciendo posible su funcionamiento únicamente con la utilización de la energía limpia recolectada del entorno como la energía solar, térmica, mecánica, magnética, entre otras. (Wang, 2013).

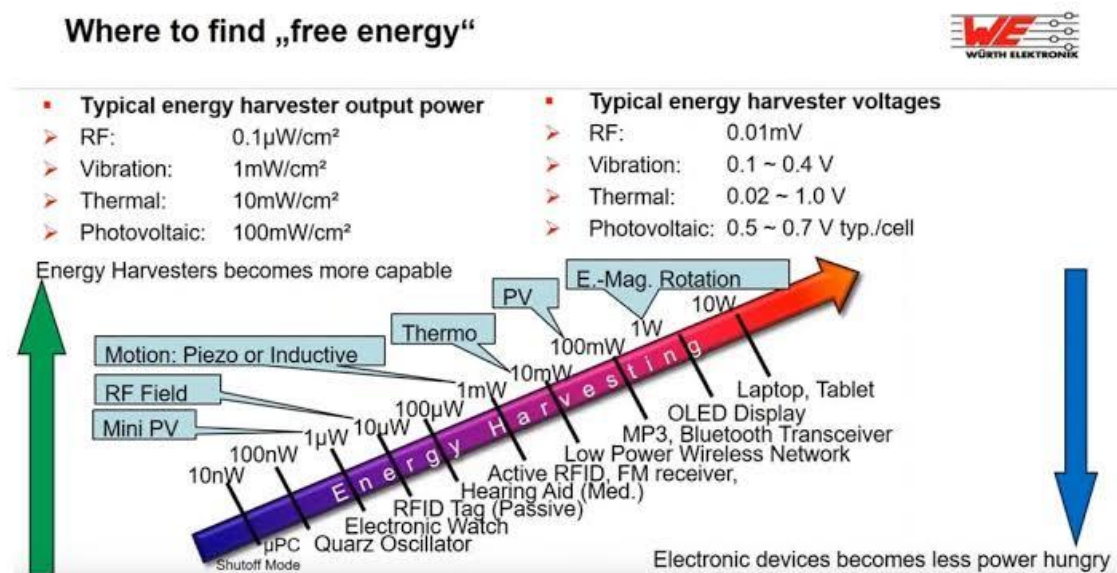


Figura 1.-.- Comparativa de fuentes de energía obtenida por cosechadores y aplicaciones (Zahnstecher, 2017).

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. 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 microwatts hasta algunos miliwatts por centímetro cúbico.

El titanato circonato de plomo (PZT) es uno de los materiales piezoeléctricos más utilizados para la recolección de energía mecánica, 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 nanotecnología se ve implicada de manera contundente en la búsqueda de éstos nuevos materiales alternos, pues se han realizado numerosas investigaciones sobre materiales nanoestructurados que presentan excelentes propiedades, como los nanoalambes de ZnO, CdS, InN, GaN, entre otros, permitiendo la creación de MNs piezoeléctricos con funcionamientos óptimos y mejorados (Wang & Wu, 2012).

En la investigación y desarrollo de MNs piezoeléctricos existe un material de gran interés debido a su bajo costo y biocompatibilidad, 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.

1.4. Contexto

Es de suma importancia el poder conocer las estadísticas de los impactos ambientales de las energías en todo el mundo en las cuales se representa, por ejemplo, el consumo de

energía mundial ya que nos puede evidenciar el gran impacto ambiental que se tiene al usar energías de tipo no renovables, la gráfica de la Figura 2 nos muestra una tasa generalizada del consumo de energía de los distintos tipos de fuentes usadas mundialmente entre los años 1970 al 2010.

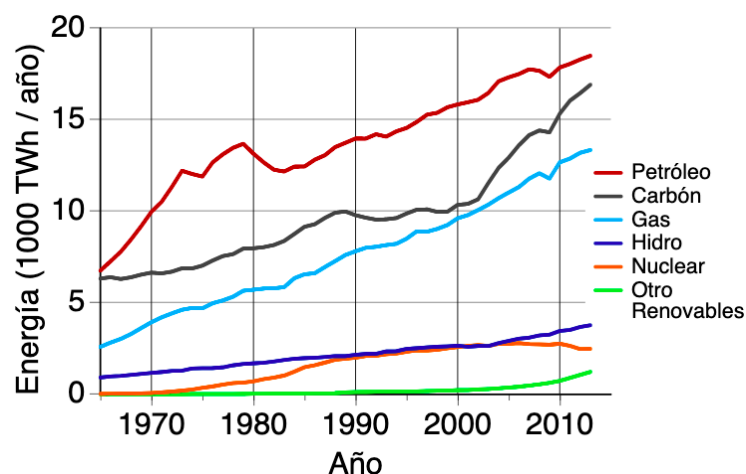


Figura 2.- Gráfico del consumo de energía mundial (BP: Workbook of Historical Data (Xlsx), 2012).

En cambio, si nos enfocamos ahora hacia el consumo de energía por hogar en México por estado podemos ver que existe un gran uso de energías derivadas de los combustibles fósiles, tales como el petróleo donde la gráfica de la Figura 2 nos demostraba su relevancia y permanencia conforme pasan los años, en la Tabla 1 se muestran datos de algunos de los estados de México donde se realiza un promedio del consumo de energía, en especial de fuentes de energías como la electricidad y el combustible, por habitantes. En las dos últimas columnas de la Tabla 1, se muestra el equivalente del consumo de toneladas de petróleo derivados del combustible y el consumo total de igual manera.

Entidad federativa	Número de hogares (miles)	Personas por hogar	Consumo de electricidad (kWh/hogar)	Consumo de combustibles (tep/hogar)	Consumo total de energía (tep/hogar)
Aguascalientes	341.35	3.97	1,277.39	0.32	0.43
Baja California	1,049.29	3.24	3,162.04	0.17	0.44
Baja California Sur	236.45	3.12	3,079.73	0.20	0.46
Campeche	252.34	3.70	2,474.38	0.38	0.59
Coahuila	825.65	3.69	2,159.91	0.22	0.41
Colima	215.58	3.41	1,948.70	0.21	0.38
Chiapas	1,311.01	4.11	1,260.79	0.76	0.86
Chihuahua	1,085.42	3.36	1,793.23	0.42	0.57
Ciudad de México	2,734.16	3.31	1,054.90	0.27	0.36
Durango	481.54	3.74	1,203.03	0.25	0.35
Guanajuato	1,498.62	4.00	1,226.86	0.24	0.35
Guerrero	993.87	3.62	1,276.80	0.47	0.58
Hidalgo	770.49	3.81	911.26	0.57	0.65
Jalisco	2,146.20	3.75	1,307.48	0.24	0.35
México	4,424.44	3.77	856.56	0.37	0.44
Michoacán	1,260.40	3.72	1,290.07	0.38	0.49
Morelos	558.52	3.50	1,332.00	0.34	0.45
Nayarit	352.96	3.44	1,748.58	0.24	0.39
Nuevo León	1,405.53	3.77	2,967.42	0.30	0.55
Oaxaca	1,085.21	3.73	1,107.63	0.71	0.80
Puebla	1,652.97	3.84	1,033.68	0.67	0.76
Querétaro	550.78	3.84	1,269.59	0.24	0.35
Quintana Roo	483.81	3.23	2,551.62	0.24	0.46

Tabla 1.- Consumo de energía por entidad federativa de México (SEMARNAT, 2016).

Ahora bien, países líderes en innovación tecnológica tales como Estados Unidos, Alemania, Japón, China, etc., han empezado a invertir en la investigación y el desarrollo de cosechadores de energía que involucren la nanotecnología para evitar que siga existiendo un gran impacto ambiental, además de conocer los grandes beneficios que pueden traer el

uso de energías capaces de autosustentarse para la creación de nuevos dispositivos tecnológicos de nueva generación.

<i>País (estimado)</i>	<i>Inversión en millones de dólares</i>
Mundo	7,849
Unión Europea	2,440
Estados Unidos	1,821
Japón	1,128
Rusia	1,076
Alemania	541
China	510
Corea del Sur	350
Reino Unido	184
Taiwán	97
India	50

Fuente: Elaboración propia con información de Científica (2009).

Tabla 2.- Inversión en investigación y desarrollo en nanotecnología en países líderes (Záyago-Lau & Foladori, 2010).

Por otro lado, los cosechadores MME son una gran opción comparado con otros dispositivos de almacenamiento de energía tales como termogeneradores, motor de aire termoacústico, etc., debido a que los cosechadores MME funcionan por medio de campos magnéticos externos que pueden proporcionar propiedades únicas y destacables; gracias a los materiales ferromagnéticos, piezoeléctricos y conductores que lo conforman, las cuales son transformados en forma de energía eléctrica.

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

La principal función de un cosechador de energía es capturar la energía del medio ambiente, para después transformarla en energía eléctrica que pueda ser utilizada en diversos dispositivos o aparatos electrónicos. Este objetivo se logra a partir de la utilización de materiales con estas 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

sometido a una deformación genera un al campo eléctrico directamente proporcional, o viceversa, siendo un material de gran interés para los cosechadores de energía piezoeléctricos.

Para poder ser funcional como piezoeléctrico, la sal de Rochelle, primeramente, debe de ser sintetizado en forma de cristal bajo ciertas condiciones y parámetros, ya que el cristal presenta un rango de temperaturas donde logra comportarse como ferroeléctrico, permitiendo su funcionamiento ideal para el cumplimiento con su objetivo. Este rango es delimitado por dos temperaturas de Curie de -18°C (249K) y 24°C (291K) (Figura 3), 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 por el otro lado no polar ortorrómbica para el estado paraeléctrico ($-18^{\circ}\text{C} > T > 24^{\circ}\text{C}$) (Kao, 2004).

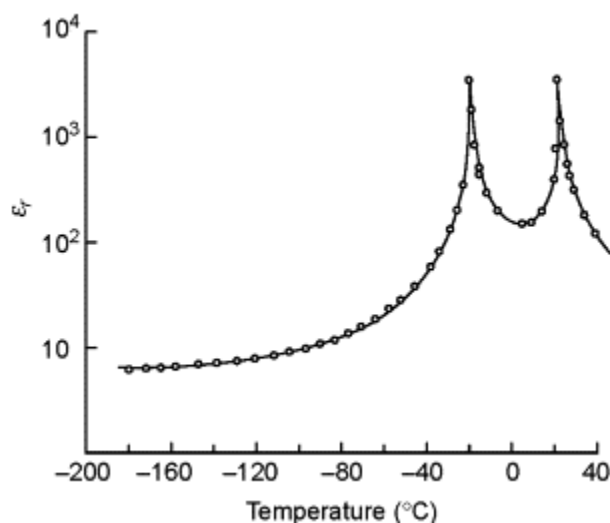


Figura 3.- Gráfico de la constante dieléctrica (k) de la sal de Rochelle en función de la temperatura (Kao, 2004).

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 ronde entre los 70°C - 80°C y su

solubilidad en agua que es de 73g/100g de H₂O a temperatura ambiente (24°) (Mallinckrodt Baker, Inc, 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. La temperatura y la concentración ideal para sintetizar cristales de la sal de Rochelle, es de 50°C a una concentración de 1060g/L (Osorio Vázquez, s. f.).

Para la caracterización de un piezoeléctrico, el microscopio óptico es una buena opción pues permite visualizar la estructura del material en tamaños micrométricos. El tamaño de los cristales formados, hablando de la sal de Rochelle, proporciona información relevante sobre el proceso de síntesis y cristalización que se llevó a cabo, en cuanto a temperaturas, tiempos y del sustrato base donde se formaron, además, también 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).

Recientemente se han realizado investigaciones acerca de recolectores de energía mecánica y magnética, basados en los efectos piezoeléctricos y MME (Annapureddy et al., 2017). Con el objetivo de desarrollar a futuro un recolector de energía de este tipo, 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, simplemente con la mezcla de ambos y la variación de parámetros como temperatura, agitación, concentraciones, utilización de diferentes polímeros, temperaturas de curado etc. Por el otro lado, el efecto MME será brindado principalmente por nanoestructuras de galfenol que serán desarrolladas por el grupo A de este proyecto, creando así el compósito, es decir, el cosechador de energía.

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

Descripción del proyecto

La propuesta de solución del proyecto consiste en el desarrollo de una metodología de síntesis química capaz de optimizar las propiedades piezoeléctricas de la sal de Rochelle en conjunto con la estabilidad y biocompatibilidad de un polímero, para lograr obtener un polímero piezoeléctrico. Para poder lograrlo se requiere de experimentar con diversos parámetros basándonos en referencias e investigaciones bibliográficas.

Plan de trabajo

Las actividades que consideraron en este proyecto tanto a nivel profesional, técnico y operativo fueron en primer lugar realizar una investigación bibliográfica inicial de nuestro piezoeléctrico (Sal de Rochelle) y polímero. En segundo lugar, efectuar la síntesis de nuestro piezoeléctrico (sal de Rochelle). En tercer lugar, crecer los cristales piezoeléctricos con las condiciones óptimas. En cuarto lugar, realizar variaciones en cuanto a los parámetros de temperatura, concentración y agitación, en nuestra síntesis química del piezoeléctrico. En quinto lugar, investigar bibliográfica sobre la adherencia del polímero a otros materiales. En sexto lugar, impregnar en los distintos polímeros (PDMS y ECOFLEX) el cristal piezoeléctrico y encontrar los parámetros de síntesis ideales para fabricar su compuesto. En séptimo lugar, realizar la caracterización del polímero piezoeléctrico y variar los procesos de polimerización para conocer si existe algún cambio final. En octavo lugar, pruebas de respuesta piezoeléctrica que nos permitan conocer a detalle más comportamientos del ámbito eléctrico-energético de nuestro polímero piezoeléctrico. Finalmente, en noveno lugar, análisis de datos y respuestas conforme a la propuesta o iniciativa del proyecto para poder conocer los alcances y mejoras que se requieren. Además, como etapa complementaria se realizó un primer ensayo en el microscopio óptico y en el microscopio de fuerza atómica para tener un primer acercamiento a la distribución, morfología y estructura de los cristales piezoeléctricos.

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.

En cuanto a los tiempos o reuniones previstas, se realizaron distintas juntas cada viernes de semana 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

Inicialmente se llevó a cabo investigaciones científicas en torno a las propiedades, metodologías y usos del piezoeléctrico (sal de Rochelle), la cual brindará los beneficios y propiedades piezoeléctricas, se escogió una metodología de proceso para poder partir de un diseño experimental y realizar las modificaciones necesarias para el objetivo del proyecto. Una vez hecho esto, se realizaron técnicas de síntesis química con el propósito de lograr una solución homogénea concentrada a partir de agua destilada y la sal de Rochelle. No obstante, para la síntesis química se usaron distintos procedimientos de calentamiento para lograr la temperatura deseable para la disolución de la sal de Rochelle en un estado saturado, uno de ellos consistió en el uso de una placa de calentamiento (Figura 5) y el otro en el uso de una manta de calentamiento (Figura 6), además a estos métodos se les aplicó un sistema refrigerante (Figura 4) para poder mantener más estable la temperatura de este.

Las temperaturas que se estuvieron usando para la síntesis fueron entre los 50°C a 58°C para mantenerse dentro de los puntos de Curie y se conserven las propiedades del piezoeléctrico.



Figura 5.- Metodología con placa de calentamiento.



Figura 4.- Metodología con refrigeración.



Figura 6.- Metodología con manta térmica.

El primer experimento consistió en depositar; usando la solución homogénea por medio de un atomizador con dispersión amplia y directa, por medio del método de rociado se colocó en toda el área del papel filtro; donde en un inicio se usó únicamente papel tipo Bond pero luego se usó otro tipo de papel como el acuarela, pero los resultados en un primer acercamiento del papel acuarela fueron nulos debido a su baja porosidad por lo que se

escogió únicamente el papel filtro tipo Bond, esto con el objetivo de que se dé a cabo de manera uniforme la cristalización de la sal, brindándole propiedades piezoeléctricas. También, las áreas de los papeles que se rociaron fueron en gran parte rectangulares, pero también se usaron circulares y cuadradas para poder tener una perspectiva más amplia de cómo se cristalizaba en cada uno (Figura 7 y 8).

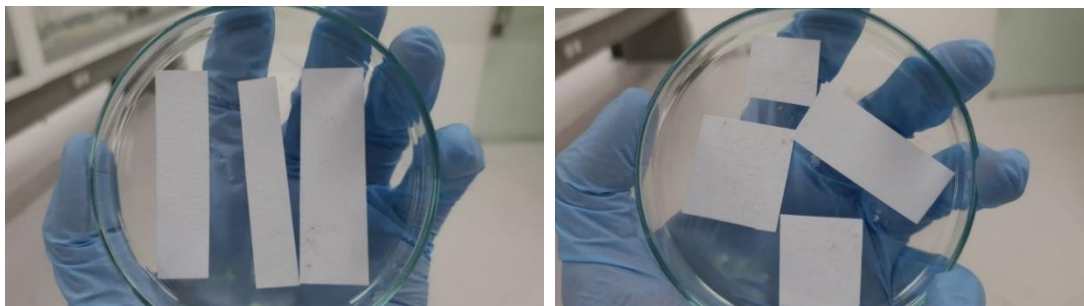


Figura 7 y 8.- Recortes de papel bond con cristales de sal de Rochelle, por rociado.

Una vez realizado este primer experimento se usaron herramientas de caracterización y observación como el multímetro y el microscopio de fuerza atómica (AFM); usando una configuración para el AFM de modo no contacto, para poder conocer mejor la topografía, respuesta piezoeléctrica y estructura del proceso de cristalización de nuestro piezoeléctrico.

Dado lo anterior, se realizaron variaciones en variables tales como tipo de dispersión (vertical y horizontal), proceso de deposición (dip-coating) y activación del área del papel filtro (ozono), con el objetivo de observar alguna uniformidad en la cristalización del piezoeléctrico en toda el área. A su vez, se realizó caracterización en el microscopio óptico para observar una mejor imagen de los cristales piezoeléctricos formados sobre el papel filtro y también se ejecutaron pruebas piezoeléctricas con el multímetro para observar variaciones de voltaje al flexionar o golpear el papel filtro.

Para nuestro segundo experimento, ya teniendo una idea más clara del proceso de cristalización del piezoeléctrico, se comenzaron a realizar pruebas de tipo “bulking” para

impregnar el polímero al piezoeléctrico, con el fin de poder brindar ciertas propiedades mecánicas. Los polímeros que se usaron fueron PDMS y ECOFLEX 00-33AF por sus grandes atribuciones a sus propiedades físicas y mecánicas.



Figura 9.- ECOFLEX 00-33AF (Morph Industries, s. f.).

No obstante, conforme se avanzó en este segundo experimento se realizaron investigaciones bibliográficas y deducciones sobre otros procesos o metodologías que podrían usarse para poder impregnar el polímero a nuestro piezoeléctrico conservando ambas propiedades de los materiales o compuestos. A continuación, la siguiente Tabla se muestran las metodologías aplicadas y en qué consisten cada una de ellas, haciendo uso de los dos polímeros ya mencionados anteriormente.

En Bruto Mezcla directa de la sal con el polímero
En Líquido Primeramente, se realiza la síntesis química en líquido de la sal, para después mezclar la solución obtenida con el polímero.
Raspado Se realiza la síntesis química en líquido de la sal, después se deposita en papel filtro para permitir su cristalización. Una vez obtenidos los cristales, se raspa el papel para extraerlos y mezclarlos con el polímero.

Tabla 3.- Metodologías de síntesis del polímero piezoeléctrico.

Después de realizar toda esta serie de metodologías nos enfocamos únicamente para los siguientes experimentos en el polímero ECOFLEX 00-33AF, debido a que en ciertos procesos de impregnación del polímero PDMS con nuestro piezoeléctrico no podían realizarse, esto por la densidad del mismo. Por lo tanto, se agregó una metodología de triturado para poder tener una mejor perspectiva de todos los procesos (Tabla 4).

Triturado
Se realiza la síntesis química en líquido de la sal, después se deja crecer por varios días el cristal para permitir una cristalización apta para su recolección. Una vez obtenido el cristal, se tritura o se muele por completo en pedazos muy finos para luego mezclarlo con el polímero.

Tabla 4.- Metodología de triturado, aplicada únicamente para ECOFLEX 00-33AF.

Ahora bien, para poder conocer a detalle las propiedades obtenidas con cada una de las metodologías y realizar una comparativa entre ellas en el polímero piezoeléctrico se realizaron diferentes procesos de caracterización. Para el caso de observar de manera clara el proceso de polimerización junto con el piezoeléctrico se usó el microscopio óptico y para el caso de las pruebas piezoeléctricas el osciloscopio de marca *Tektronix* modelo TDS 210.

Para la configuración del osciloscopio en las pruebas piezoeléctricas se realizó una configuración automática con el botón “autotune”, después se realizaron unos cambios en la configuración de la pantalla del osciloscopio las cuales consistieron en el tipo de formato el cual se tomó como vectores, en la sección del periodo de tiempo se estableció un tiempo infinito para poder ver los cambios que ocurren con el paso de las distintas pruebas realizadas y para el formato de salida se escogió el YT donde de forma vertical se muestra el voltaje y de forma horizontal el tiempo.

Para la metodología de triturado se descartó desde un inicio usando el microscopio óptico ya que los cristales que formaban eran muy grandes y no uniformes en el volumen del polímero piezoeléctrico, lo cual no se buscaba. Se continuó con las otras tres metodologías (en bruto, en líquido y raspado) realizando a su vez; para una mejor optimización de datos

y resultados, variaciones en aspectos como el proceso de polimerización (curado), tiempo de curado para el proceso de polimerización y concentración de sal de Rochelle y del polímero. Para luego ser evaluados en pruebas piezoeléctricas y observar los resultados obtenidos con cada una de las modificaciones que se realizaron de cada metodología seleccionada.

3.Resultados del trabajo profesional

Síntesis química en líquido de la sal de Rochelle

Para este punto se realizaron una serie de distintos procesos y metodologías para realizar con éxito la síntesis química con el objetivo de evaluar que método presentaba mejor desempeño en cuanto a las características de cristalización, solubilidad, homogeneidad y estabilidad en temperatura.

- Método con placa de calentamiento y vaso de precipitados

La temperatura fue muy variable y con un rango muy amplio entre temperaturas, debido a la dificultad de mantener un buen control de la temperatura. El rango de temperatura fue entre los 30°C a 73°C. A pesar de lo anterior, hubo un buen proceso de cristalización.

- Método de la manta térmica

Para este método fue más estable y poco variante los rangos de temperatura, esto permitiendo un mayor control. El rango de temperatura fue 40°C a 61°C.

- Método con refrigeración

Para el caso del uso del refrigerante nos permitió tener una menor cadencia de descenso al agregar la sal de Rochelle, disminuyendo el rango de temperatura. El rango de temperatura fue 45°C a 57°C

Característica	Método
----------------	--------

	Con placa de calentamiento	Con manta térmica	Con refrigeración
Solubilidad	Alta	Alta	Alta
Cristalización	Alta	Alta	Alta
Homogeneidad	Alta	Alta	Alta
Estabilidad en temperatura (Rango de variación)	Baja (30°C-73°C)	Medio (40°C-61°C)	Alta (45°C-57°C)
Tiempo (Duración del procedimiento)	15-20 min	15-20 min	25-30 min

Tabla 5.- Tabla comparativa de métodos de síntesis química de la sal de Rochelle.

Cristalización

La cristalización en los papeles bond se mostró mas dispersa mediante el rociado de la solución de la sal de Rochelle, mientras que el proceso de dip-coating o sumergido y el micropipeteo permitió una compactación de los cristales, al mismo tiempo se presentaron de mayor tamaño respecto a los del proceso de rociado. El área y el proceso de la adición de ozono únicamente provoco una compactación mayor de los cristales dependiendo de la cantidad y el tamaño del área de deposición. El proceso de cristalización se logró por todos los métodos de deposición.



Figura 10.- Cristalización en papeles bond por diferentes métodos de deposición, a) Rociado vertical b) micropipeteo (25uL) c) micropipeteo (1000uL).

Caracterización con AFM

La Figura 11 muestra la caracterización por medio del AFM de las muestras de cristales de la sal de Rochelle depositadas por rociado, donde se observan alturas de $1.3\mu\text{m}$ y longitudes mayores a $10\mu\text{m}$ de protuberancias o bultos, los cuales no fueron posibles de determinar si eran realmente cristales.

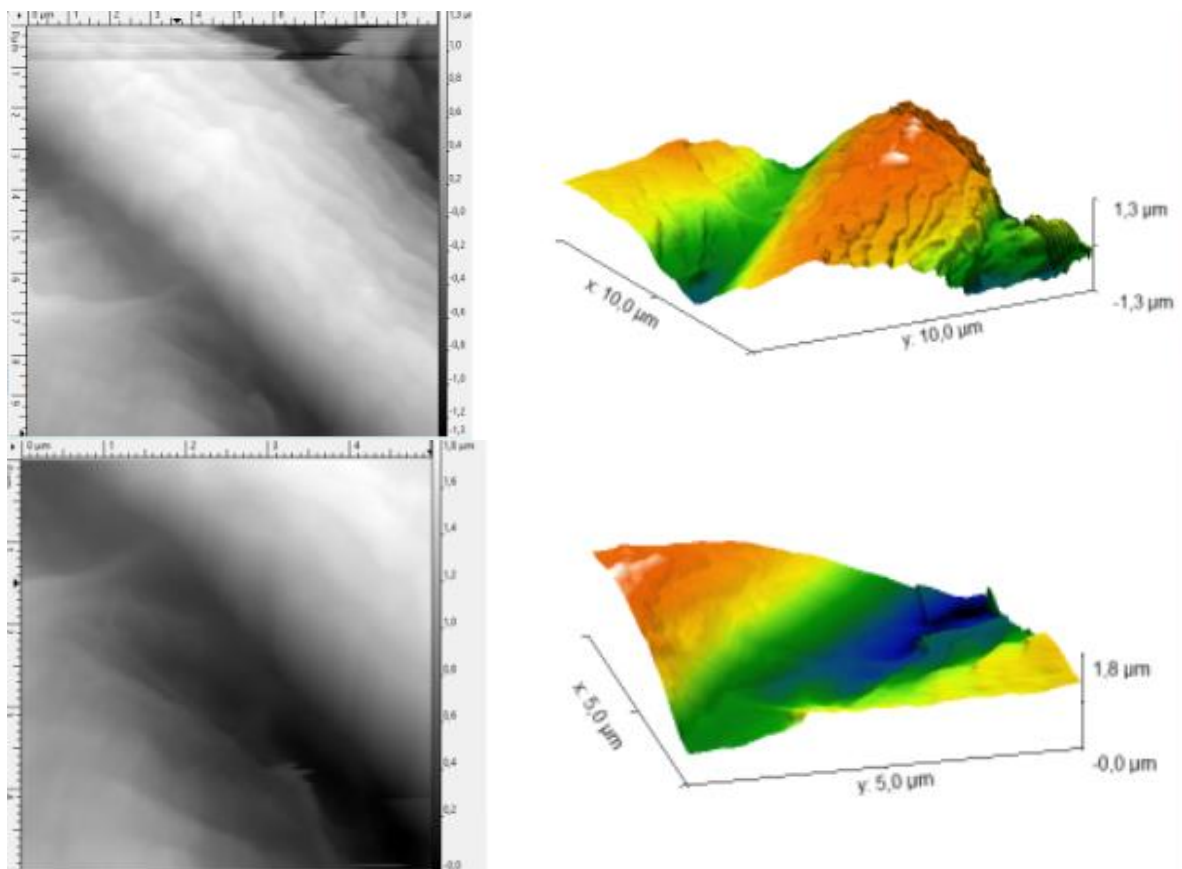
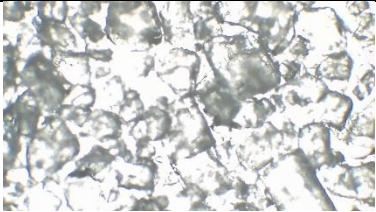
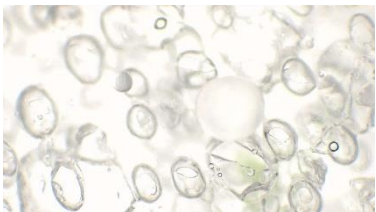


Figura 11.- Caracterización AFM de la topografía de las muestras de cristales de sal de Rochelle depositados por el método de rociado visualizadas por medio del software Gwyddion3dView.

Mezcla de polímero con la sal de Rochelle

Para este caso se buscaba la mezcla de la sal con el polímero (PDMS o ECOFLEX) donde se evaluaron características como flexibilidad, grosor, resistencia y homogeneidad, comparando diferentes metodologías en el agregado de la sal de Rochelle. En la síntesis de cada polímero por separado, se observaron diferencias en cuanto a viscosidad, pues con el

PDMS la mezcla del agente de curado y el polímero se mostraba más densa en comparativa con el ECOFLEX, ocasionando que la mezcla con la sal fuera más sencilla con este último. En cuanto a tiempos de curado o de polimerización, en ambos podía manipularse por medio de la adición de calor con la mufla. También con la microscopia óptica se evaluaron características en las muestras sobre dispersión y tamaño de los cristales de la Sal de Rochelle.

Métodos	En bruto		Para este método se mostró una baja flexibilidad y algo quebradizo, por lo que complicaba las mediciones o experimentos que se realizaban sobre él. En cuanto al tamaño del cristal fue pequeño.	 <i>Figura 12.- Imagen tomada con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en bruto con PDMS (Objetivo 4x) (0.5g de sal de Rochelle o 4% en volumen total).</i>
	ECOFLEX		Se presento una alta flexibilidad en él y al hacer uso de la mufla para acelerar el proceso de polimerización se logró una mezcla homogénea. En cuanto al tamaño del cristal fue pequeño y muy uniformes en todo el volumen, además de ser un polímero bastante resistente.	 <i>Figura 13.- Imagen tomada con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en bruto con ECOFLEX (Objetivo 4x) (1g de sal de Rochelle o 9% en volumen total, curado de 150°C por 20min).</i>
	En Líquido		Para este método no se logró una mezcla de una sola fase y homogénea ya que el polímero era más denso y no se contemplaba aún procesos de grado térmico.	 <i>Figura 14.- Imagen tomada con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en líquido con PDMS (Objetivo 8x).</i>

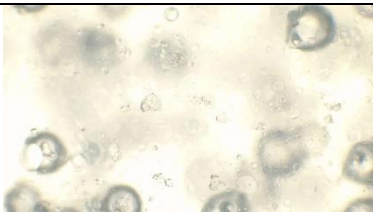
	Raspado	ECOFLEX	Se logró mezclar en una sola fase el polímero y la sal de Rochelle en solución, permitiendo que fuera homogéneo y pudiera adquirir resistencia y flexibilidad a la vez.	 <i>Figura 15.- Imagen tomada con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en líquido con ECOFLEX (Objetivo 4x) (1g de sal de Rochelle o 9% en volumen total, curado de 140°C por 5 min).</i>
		PDMS	No se realizó este método debido a que en las primeras metodologías fue casi nula flexibilidad y homogeneidad.	
		ECOFLEX	Para este polímero se usó este método para poder realizar una comparativa, con lo cual se logró un tamaño de cristal muy pequeño pero uniforme. También, mostro flexibilidad y homogeneidad.	 <i>Figura 16.- Imagen tomada con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en líquido con ECOFLEX (Objetivo 4x) (0.78g de sal de Rochelle o 7% en volumen total, curado de a temperatura ambiente).</i>

Tabla 6.- Tabla comparativa de polímeros piezoeléctricos sintetizados por diversos métodos.

Voltajes generados en el polímero piezoeléctrico

Al realizar los experimentos de respuestas piezoeléctricas, una medida de referencia para poder conocer si realmente generaba alguna corriente eléctrica al estimular el polímero piezoeléctrico era el voltaje generado, visualizado en el osciloscopio. En el gráfico de la Figura 17, se pueden observar los voltajes mas altos que se obtuvieron por cada método de síntesis del polímero piezoeléctrico con la especificación de la muestra que aportó dicho voltaje, donde las barras de color azul representan los voltajes obtenidos por un estímulo de golpe pulsado y las de color naranja por un estímulo de flexión. Es importante señalar que la concentración de la sal de Rochelle en la muestra está representada en forma de porcentaje sobre el volumen total del polímero en todas las gráficas presentadas en este trabajo. Para el método en bruto se consiguió un voltaje máximo de 1000mV o 1V, con una muestra de 73% en concentración de la sal de Rochelle y bajo un estímulo de golpe pulsado,

con este mismo estímulo con el método de raspado se consiguieron 500mV por muestras con concentraciones de 9% y 14%, finalmente por el método en líquido se consiguió un voltaje de 350mV con una concentración de 72%. Respecto a estímulos por flexión el único método que mostró respuesta fue el de líquido, con un voltaje de 40mV y una muestra con una concentración de 36%.

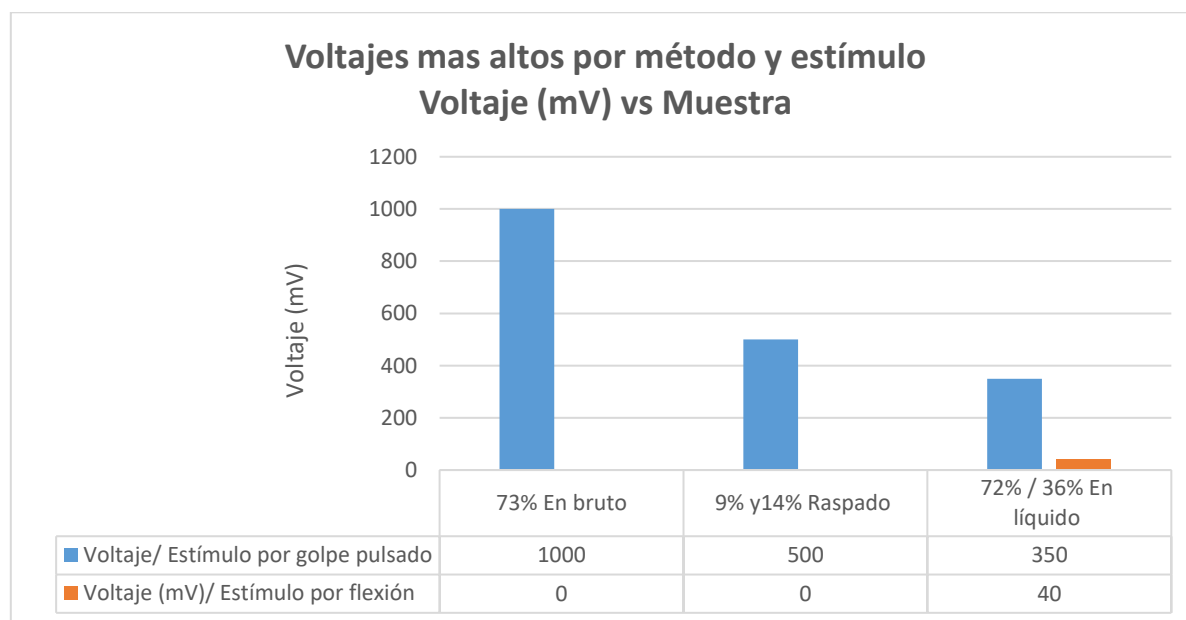


Figura 17.- Gráfico de voltajes máximos obtenidos por cada método de síntesis de polímeros piezoeléctricos y por diferentes estímulos.

En el gráfico de la Figura 18 se muestran los voltajes obtenidos por polímeros piezoeléctricos sintetizados por el método en bruto, en total se pueden observar tres muestras con concentraciones de sal de Rochelle de 9%, 14% y 72%, con voltajes de 250mV, 500mV y 1000mV. Esta misma evaluación se muestra en el gráfico de la Figura 19 para el método de raspado y para el método de en líquido en la Figura 20, con dos muestras por cada gráfico, donde arrojaron voltajes iguales de 500mV, con concentraciones diferentes de 9% y 14% en el primero, mientras que 180mV y 350mV, igual con 9% y 14% de concentración en el segundo.

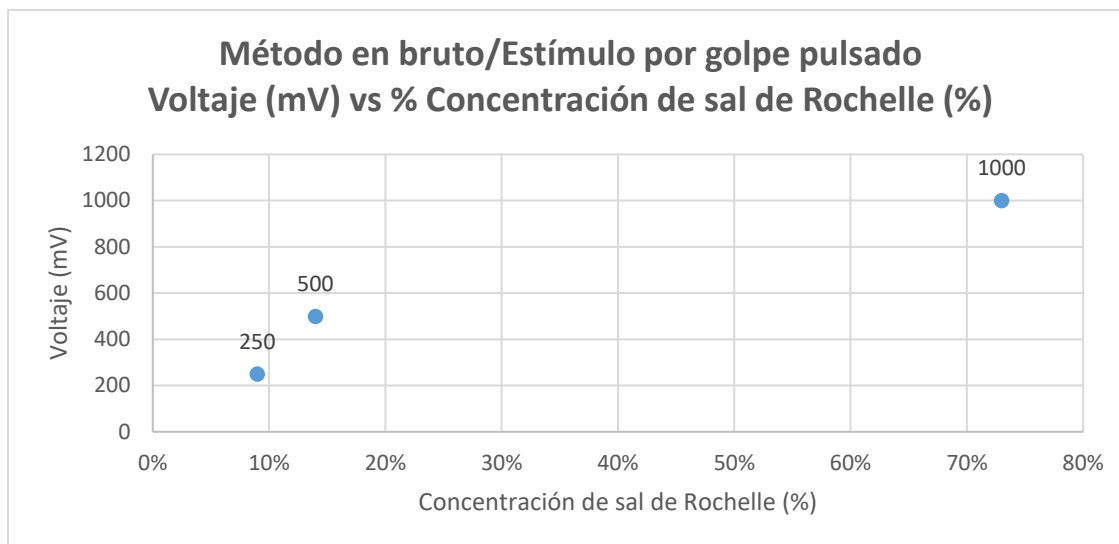


Figura 18.- Gráfica de voltajes obtenidos de polímeros piezoeléctricos sintetizados por el método de en bruto, bajo estímulos de golpe pulsado.

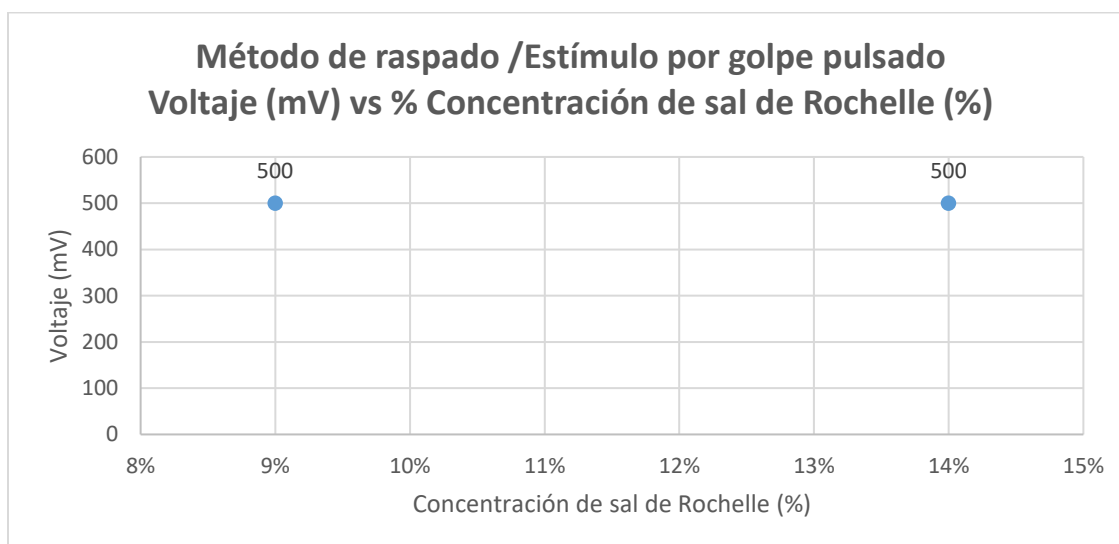


Figura 19.- Gráfico de voltajes obtenidos de polímeros piezoeléctricos sintetizados por el método de raspado, bajo estímulos de golpe pulsado.

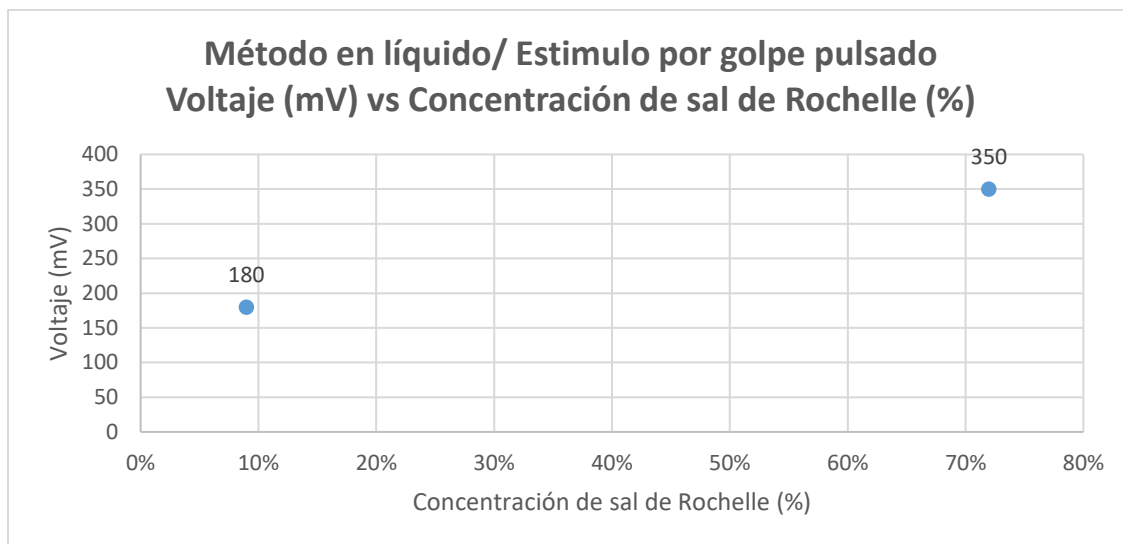


Figura 20.- Gráfico de voltajes obtenidos de polímeros piezoeléctricos sintetizados por el método de en líquido, bajo estímulos de golpe pulsado.

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

Aprendizajes profesionales

Luis Fernando Arias Aguilar

Durante todo el transcurso del desarrollo del proyecto se adquirí habilidades profesionales como la comunicación, el trabajo en equipo, iniciativa y toma de decisiones, las cuales me permitieron adaptarme al entorno de trabajo. También, desarrollé competencias de otras disciplinas como fundamentos de electricidad, ciencia de materiales y física de partículas.

En cuanto a los aprendizajes más importantes en contexto sociopolítico está en la gran necesidad de los distintos países líderes en investigación y desarrollo poder desarrollar mecanismos con tecnología aplicada capaces de poder impulsar una nueva transformación o revolución en el ámbito energético y ambiental. En lo económico, está el aspecto del alza incontenible de los precios de las energías hacia los habitantes y en especial de los combustibles fósiles los cuales son los más usados hoy en día, por lo que esto puede limitar ciertas regiones en el mundo a poder acceder a ello y sujetar consecuencias en su vida

diaria. Por último, me veo en la necesidad de poder resolver este tipo de circunstancias a través de mis conocimientos y habilidades basadas en el uso de la nanotecnología con el uso de materiales y mecanismos capaces de reemplazar por lo menos cierto porcentaje de sistemas basados en el uso de energías no renovables.

Por otro lado, algunos de mis saberes que se pusieron a prueba en el transcurso del proyecto fueron el uso de la química inorgánica, procesos de síntesis química, métodos termodinámicos y fundamentos de electricidad y magnetismo. Dado esto, se comprendió que, si no tuviese estos conocimientos y aprendizajes no hubiera realizado de manera correcta todo el proceso de ejecución y fabricación del proyecto, por lo que cuando sea necesario aplicarlo al ámbito profesional sabré que se necesita en gran parte también conocer la teoría para poder llevarla a la práctica y llevar a cabo con éxito todo el proceso de desarrollo.

Luis Carlos Mendoza Sedano

El desarrollo de competencias a lo largo de este proyecto fue muy enriquecedor, puesto que al estar directamente en contacto con profesionales en el área de nanotecnología que me aconsejaron durante todo el proceso me proporcionó la seguridad y confianza de adquirir nuevos conocimientos, en áreas de investigación y de laboratorio, particularmente en el desarrollo de metodologías de síntesis química, síntesis de polímeros, caracterización de materiales piezoeléctricos por medio de microscopia y en la parte eléctrica.

En cuanto a la investigación, considero haber aprendido habilidades sobre la búsqueda de información en artículos científicos, que posteriormente se ligaba a habilidades sobre el desarrollo de proyectos y metodologías de laboratorio. Aprendí sobre el trabajo en equipo y la comunicación, pues es esencial en este tipo de proyectos. Desarrolle mis habilidades en la toma de decisiones, pues al experimentar se debían evaluar diversos parámetros y resultados obtenidos con el objetivo de escoger el mejor camino que debía tomar la siguiente etapa del proyecto.

En este proyecto puse en práctica conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera sobre química, electrónica, fisicoquímica, magnetismo, computación, etc. Me pareció gratificante el poner a prueba todo lo que he aprendido, y presenciar los resultados que se generaban. Otro punto importante es el conocimiento aprendido sobre los cosechadores de energía, debido a que actualmente son sistemas que se requieren como solución a el deterioro progresivo del planeta por la contaminación. Sin duda alguna los aprendizajes profesionales que aprendí ayudan a forjar mi proyecto de vida y mis intereses en ser parte de la comunidad científica que busca el beneficio de las personas y el medio ambiente.

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 que podemos transformar y llevar a cabo una iniciativa que logré 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 que debó darle prioridad o aquellos que no estamos tomando en cuenta para nuestro proyecto y que a la larga pueda afectar la ejecución de desarrollo.

En cuanto a los ámbitos de la sociedad que pudimos innovar en base a este proyecto fueron el poder reconocer las necesidades de los demás y siempre estar bajo la búsqueda de 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

Luis Fernando Arias Aguilar

Las principales decisiones que tomé para este proyecto fueron varias, pero una de las más importantes fue el hecho de ser partícipe de una iniciativa que se enfocará en el ámbito de los cosechadores de energía, debido a que también me interesan otros aspectos como la generación de nanoestructuras estables para la dirección o entrega de medicamentos. Sin embargo, decidí tomar esta propuesta o iniciativa por el hecho de que era un ámbito que hoy en día tiene mucho impacto y repercusiones a la vida humana, así como la complejidad de desarrollar estos mecanismos o sistemas; lo cual me proporcionaba un reto personal para destacar mis habilidades y conocimientos en el campo.

Es por eso que toda esta experiencia vivida me motiva y me invita a seguir en el proceso para poder lograr un cambio radical que mejore la calidad de vida humana principalmente

y se demuestre además la capacidad de poder fabricar dispositivos para la sustentabilidad energética.

Por otro lado, esta experiencia del proyecto me hace comprender que es fundamental para todo tipo de proyecto, iniciativa o trabajo tener un objetivo claro de que es lo que queremos lograr y para quienes, ya que detrás de ello existirá un mayor peso en cuanto a nuestras acciones y decisiones dentro de él. En mi caso particular, buscó primero el bienestar de mi familia para luego enfocarme en quienes me rodean, manteniendo un equilibrio social y personal.

Luis Carlos Mendoza Sedano

Las principales decisiones que tomé fueron respecto a el uso de ciertos materiales o equipos, además de la realización de diversos procedimientos, pues se debía considerar cual sería mas efectivo no solo en ámbitos profesionales sino sociales, ya que se procuró evitar el desecho de residuos innecesarios al aplicar competencias originadas a partir de un pensamiento y desarrollo del proyecto ambientalmente favorable.

Este proyecto me dirige a un futuro profesional donde apliqué mis conocimientos siempre en beneficio de la comunidad y del medio ambiente, pues enriquecí habilidades que pueden tener un gran impacto en la sociedad mediante la creación y desarrollo de materiales novedosos que permiten la obtención de energías limpias, que al mismo tiempo pueden ser utilizados en dispositivos de nueva generación hablando en ámbitos tecnológicos.

Este PAP me ayudó a ampliar mi visión sobre las problemáticas ambientales que se presentan en la actualidad y al mismo tiempo a pensar en diversas soluciones que se requieren, donde podría poner en práctica lo aprendido.

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

Luis Fernando Arias Aguilar

Este PAP me hizo conocer de mí varios aspectos que antes no tenía muy claros como la habilidad de la intuición para poder desarrollar procesos o metodologías, también me despertó en mí más el interés en el campo de las energías sustentables, ya que no tenía muy claro a que ámbito me gustaría desarrollarme profesionalmente y con este proyecto logre conocer más a detalle mis objetivos. En el aspecto social, me hizo reconocer la importancia

También, este PAP me ayudó a mejorar mi comunicación y a tener una mente más abierta a otros puntos de vista u opiniones, lo cual me ayudará a contrastar mejor la situación problema y buscar mediante habilidades, debates y conocimientos individuales de cada uno de los involucrados un bienestar colectivo.

Finalmente, toda esta experiencia en el PAP aprendí que para mi proyecto de vida toda mi preparación profesional adquirida conlleva también un aprendizaje y preparación personal; tomando en cuenta todos los ámbitos sociales, culturales y económicos que lo rodeen, donde como objetivo principal está el formarme como un mejor profesionista y persona.

Luis Carlos Mendoza Sedano

Este PAP me brindó confianza en cuanto a la aplicación de las habilidades y conocimientos que he adquirido durante mi carrera al observar los resultados y las caracterizaciones que obtenía. También me ayudó a reconocer las problemáticas por las que la sociedad está pasando, específicamente ambientales, además el apoyo recibido por parte de los docentes

me brindó seguridad en cada paso que daba pues la comunicación siempre fue excelente para aconsejarme y guiarme en todas las etapas del proyecto.

Este PAP también me ayudó a fortalecer el trabajo en equipo y la comunicación, esto al estar siempre en contacto con mis compañeros de equipo y con los docentes, siempre teniendo un ambiente de trabajo incluyente y respetuoso, brindando apoyo a quien lo necesitara.

5. Conclusiones

Síntesis química en líquido de la sal de Rochelle

Después de realizar una serie de síntesis químicas en líquido de la sal, concluimos que la mejor metodología para este proceso es la de la manta térmica debido a que presenta un buen control de temperatura, además de ser un método rápido en comparativa con el proceso de refrigeración, que de igual forma mostro un buen control de temperatura, sin embargo la estabilidad en este parámetro no es un factor crucial para conseguir el objetivo principal de este proyecto, por lo que se determinó que cualquiera de los tres métodos es aceptable debido a que en la caracterización los cristales presentaban características deseables sin importar la variación amplia de temperaturas durante el proceso de síntesis.

Cristalización

Los procesos de cristalización mostraron un mejor comportamiento mediante el rociado de la solución de sal de Rochelle, ya que existía una mejor dispersión de los cristales en comparativa con el proceso de dip-coating o sumergido. La relación del área de deposición resultó ser influyente únicamente en el proceso micropipeteo, donde los cristales se mostraban más compactados con relación a la cantidad depositada y la magnitud del área, además de permitir la deposición micro cuantificada en áreas pequeñas. La aplicación de ozono únicamente provocó una dispersión de las gotas colocadas con la micropipeta, pero el proceso de cristalización sucedió de igual forma a la deposición con micropipeta sin la modificación de la tensión superficial.

Caracterización AFM

La caracterización por AFM fue inconclusa, ya que no se logró determinar con certeza si las protuberancias o bultos eran cristales de la sal de Rochelle, esto debido a que la punta del AFM tendía a estresarse, impidiendo la medición en áreas completas. Este problema fue ocasionado por el tamaño grande de los cristales, haciendo imposible su análisis completo y detallado. Es posible que la topografía pertenezca a las fibras del papel bond.

Mezcla de polímero con la sal de Rochelle

Una de las principales dificultades al momento de realizar la mezcla del polímero con la sal, fue conseguir la homogeneidad, pues la sal tendía a precipitarse, para dar solución a esto se requirió el uso de la mufla de calentamiento con el objetivo de realizar un proceso de curado, es decir, acelerar el proceso de polimerización. Es importante mencionar, que el polímero PDMS se descartó dentro de las primeras pruebas de respuesta piezoeléctrica debido a que no presentaba las propiedades deseadas en cuanto a la flexibilidad, pues se presentaba muy rígido y quebradizo. El uso del polímero ECOFLEX, permitió obtener las propiedades físicas que se buscaban, por lo que se definió como el polímero con el que se trabajaría posteriormente en las pruebas piezoeléctricas.

Voltajes generados en el polímero piezoeléctrico

En la evaluación de los voltajes generados por el polímero piezoeléctrico, la respuesta más alta fue mediante una estimulación por golpes pulsados en la metodología en bruto a una concentración saturada de 8g de sal/11g de polímero, con un valor de 1V como máximo. También se consiguieron voltajes a partir de estimulaciones por flexión, que llegaron hasta los 10mV únicamente con la metodología en líquido a concentraciones de 9-10%, pues se cree que debido a que la sal está disuelta tiene una mejor dispersión y cristalización en toda el área del polímero, además a respuesta fue en forma senoidal ya que la estimulación no fue puntual, sino continua. En cuanto al proceso de raspado, se observó que a bajas concentraciones (0.25g-0.5g) emitía pulsos eléctricos intensos desde los 500mV hasta 700mV, con golpes puntuales y periódicos, por lo tanto, las tres metodologías presentan

ventajas en diferentes aspectos que pueden ayudar a desarrollar el proyecto en múltiples aplicaciones y alimentar ciertos dispositivos electrónicos.

Se cumplió con el alcance de voltaje estimado en comparativa con cosechadores de energía vibracional, de radiofrecuencia y termal, que van desde 0.1mV y 1V, por lo que propone seguir experimentando con las tres metodologías en el campo de la electrónica con el objetivo de evaluar las propiedades de almacenamiento de energía y vida útil del polímero piezoeléctrico, con el fin de realizar comparativas y descartar con aquellos que no cumplan con los requisitos del proyecto. También se pretende utilizar equipos de medición más actualizados y montajes que permitan realizar pruebas de respuesta piezoeléctrica concluyentes.

6. Bibliografía

Aldape, D., & Delgado, J. (2012). *Microgeneración y almacenamiento de energía para sistemas autónomos de sensado*. 107.

Annapureddy, V., Palneedi, H., Hwang, G.-T., Peddigari, M., Jeong, D.-Y., Yoon, W.-H., Kim, K.-H., & Ryu, J. (2017). Magnetic energy harvesting with magnetoelectrics: An emerging technology for self-powered autonomous systems. *Sustainable Energy & Fuels*, 1(10), 2039-2052. <https://doi.org/10.1039/C7SE00403F>

BP: *Workbook of historical data (xlsx)*. (2012). Bp Global.

<https://www.bp.com/en/global/corporate/error.html>

Del real, S. (2020). *¿Qué es un osciloscopio?* <https://acmax.mx/que-es-un-osciloscopio>

Fuentes de energía no renovables. (2015, septiembre 16). Rincón Educativo.

<https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/fuentes-de-energia-no-renovables>

- Kao, K. C. (2004). 4—Ferroelectrics, Piezoelectrics, and Pyroelectrics. En K. C. Kao (Ed.), *Dielectric Phenomena in Solids* (pp. 213-282). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-012396561-5/50014-1>
- Mallinckrodt Baker, Inc. (2008). *POTASSIUM SODIUM TARTRATE*.
https://pr.vwr.com/assetsvc/asset/en_US/id/8270551/contents
- 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. <https://doi.org/10.1002/adma.201405027>
- Morph Industries. (s. f.). [112541] *Ecoflex 00-33 AF (Kit de prueba) (533×400)*. Recuperado 11 de mayo de 2022, de https://morphindustries.com/web/image/product.product/853/image_1024/%5B112541%5D%20Ecoflex%2000-33%20AF%20%28Kit%20de%20prueba%29?unique=47eb7fb
- Osorio Vázquez, R. S. (s. f.). *Transductores eléctricos sensibles a estímulos magneto.mecánicos*.
- SEMARNAT. (2016).
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA06_20&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&NOMBREENTIDAD=*&NOMBREANIO=*
- TECSA. (2020, febrero 28). ¿Qué es un multímetro y cómo funciona? *Tecsa*.
<https://www.tecsaqro.com.mx/blog/que-es-un-multimetro/>

- 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.
<https://doi.org/10.1021/nn404614z>
- Wang, Z. L., & Wu, W. (2012). *Nanotechnology-Enabled Energy Harvesting for Self-Powered Micro-/Nanosystems*.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.201201656>
- Zahnstecher, B. (2017, octubre 5). *Battery Power Online | 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/>
- Záyago-Lau, E., & Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México: Un desarrollo incierto. *Economía, sociedad y territorio*, 10(32), 143-178.

Anexos

Cristalización

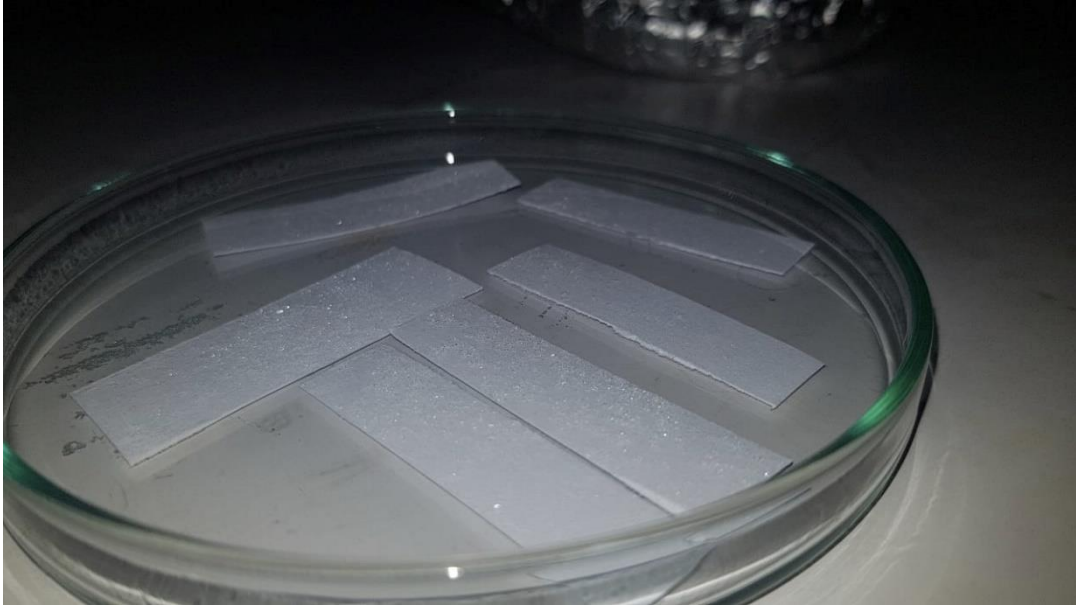


Figura 21.- Cristalización en papeles bond por método de rociado de la solución de sal de Rochelle preparada a 55° C.

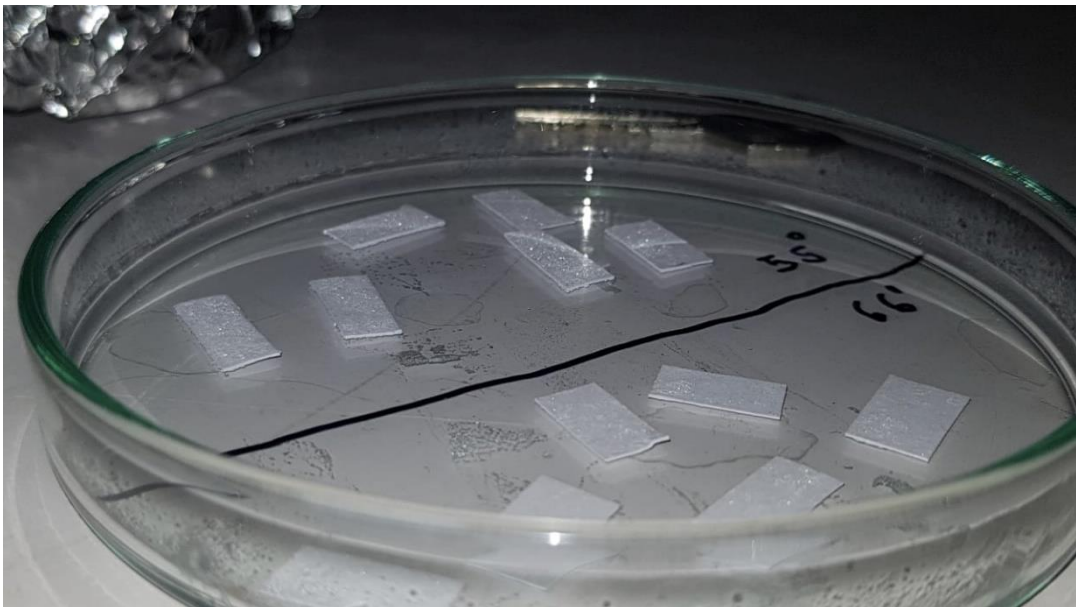


Figura 22.- Cristalización en papeles bond por método de rociado de la solución de sal de Rochelle preparada a diferentes temperaturas (55°C y 66°C) (Muestras analizadas en AFM).

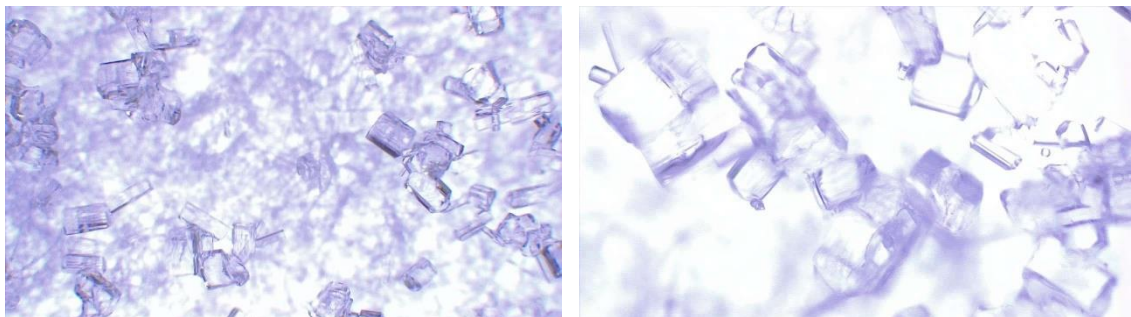


Figura 23.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de cristales en papeles bond depositados por método de micropipeteo (25 μ L) de la solución de sal de Rochelle preparada a 55°C (Objetivo 4x, imagen izquierda) (Objetivo 10x, imagen derecha).

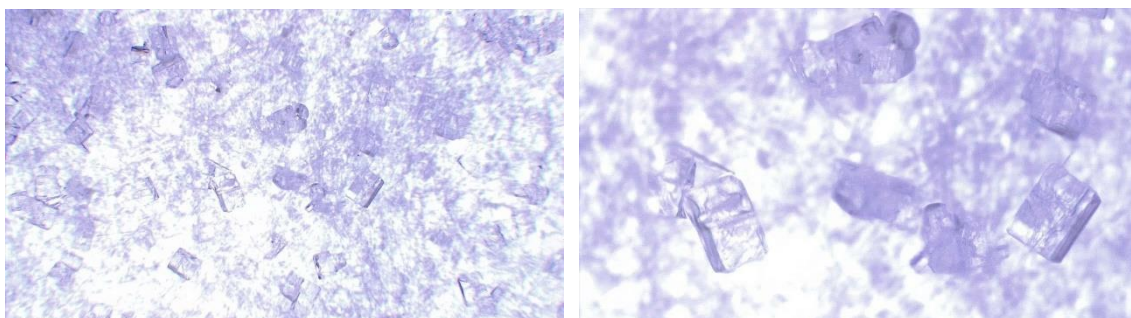


Figura 24.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de cristales en papeles bond depositados por método de micropipeteo (100 μ L) de la solución de sal de Rochelle preparada a 55°C (Objetivo 4x, imagen izquierda) (Objetivo 10x, imagen derecha).

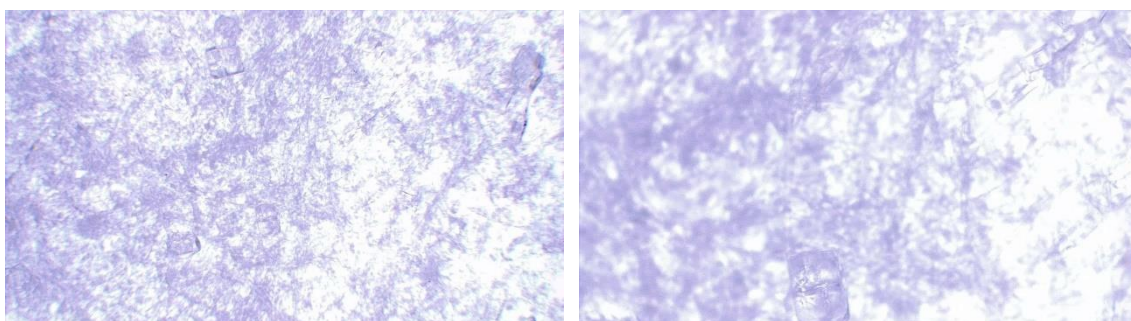


Figura 25.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de cristales en papeles bond depositados por método de micropipeteo (1000 μ L) de la solución de sal de Rochelle preparada a 55°C (Objetivo 4x, imagen izquierda) (Objetivo 10x, imagen derecha).

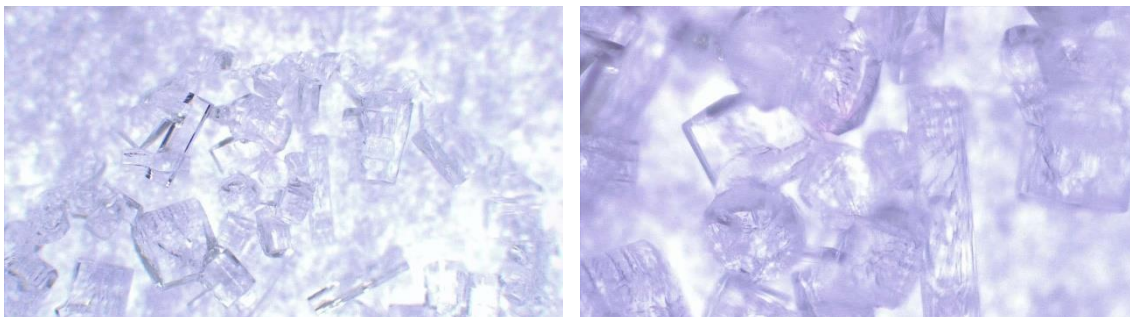


Figura 26.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de cristales en papeles bond depositados por método de rociado vertical de la solución de sal de Rochelle preparada a 55°C (Objetivo 4x, imagen izquierda) (Objetivo 10x, imagen derecha)..

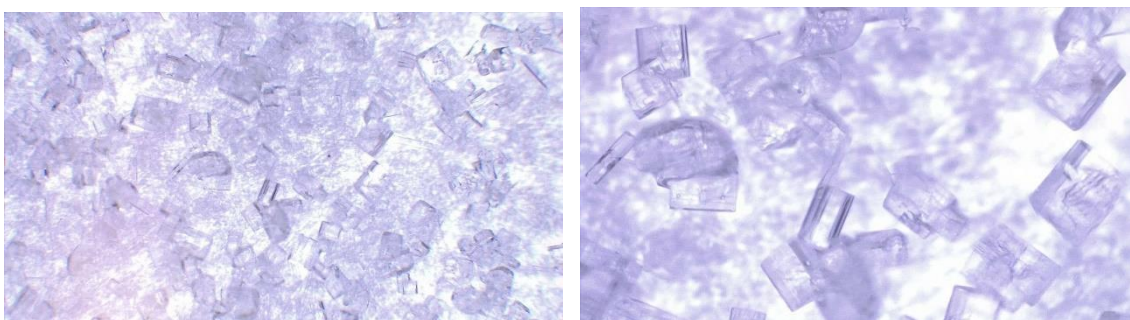


Figura 27.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de cristales en papeles bond depositados por método de rociado horizontal de la solución de sal de Rochelle preparada a 55°C (Objetivo 4x, imagen izquierda) (Objetivo 10x, imagen derecha).

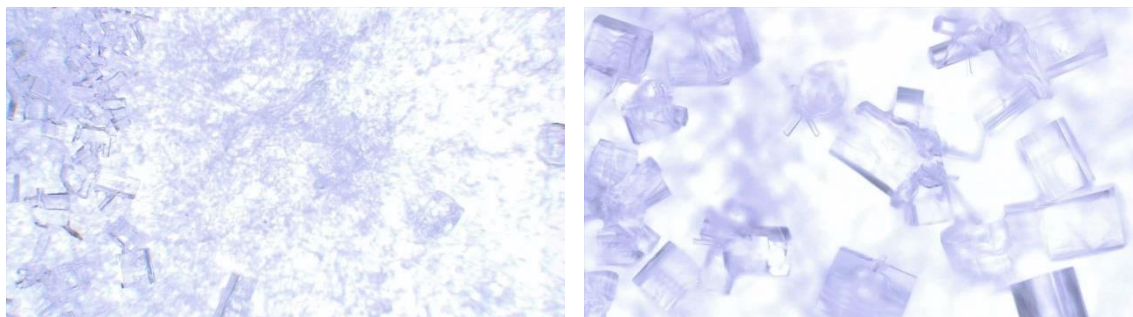


Figura 28.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de cristales en papeles bond depositados por método de dip-coating o sumergido en la solución de sal de Rochelle preparada a 55°C (Objetivo 4x, imagen izquierda) (Objetivo 10x, imagen derecha).

Mezcla de polímero con la sal de Rochelle

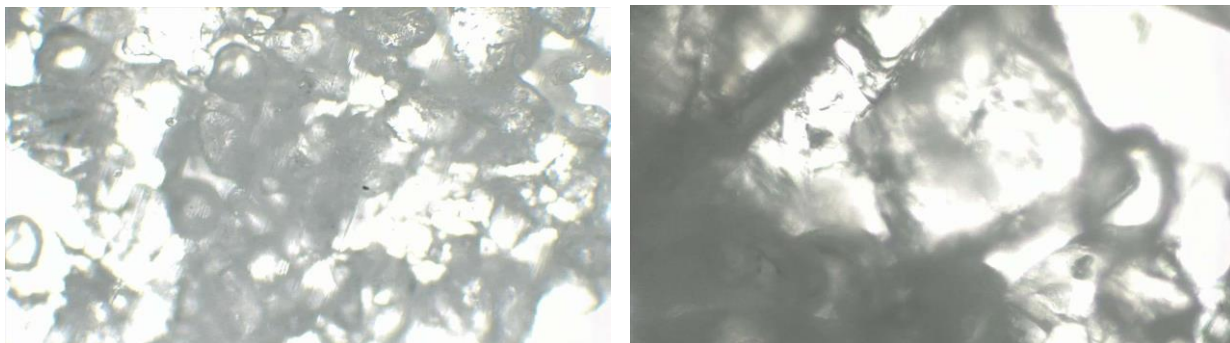


Figura 29.- Imágenes tomadas con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en bruto con PDMS (Objetivo 4x) (1g de sal de Rochelle o 9% en volumen total).

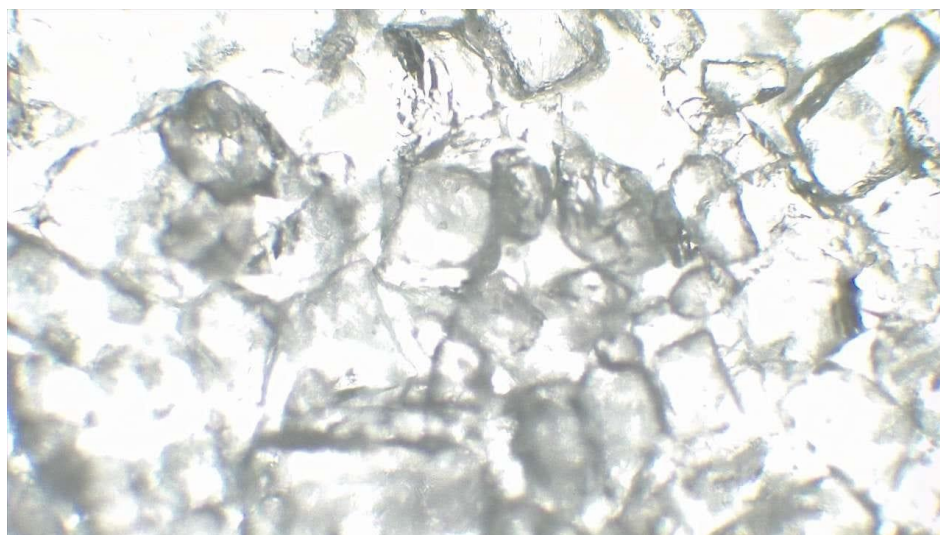


Figura 30.- Imagen tomada con microscopio óptico de polímero piezoeléctrico sintetizado por método en bruto con PDMS (Objetivo 10x) (1.5g de sal de Rochelle o 14% en volumen total).

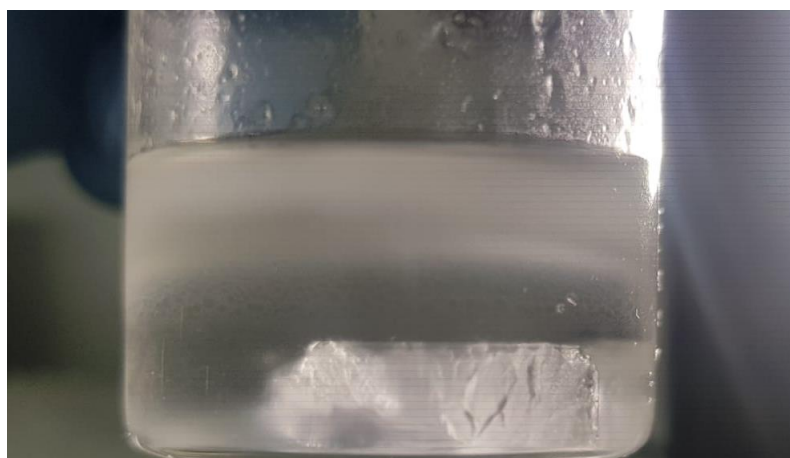


Figura 231.- Separación de fases del polímero y la solución de sal de Rochelle con la formación de un solo cristal macroscópico.

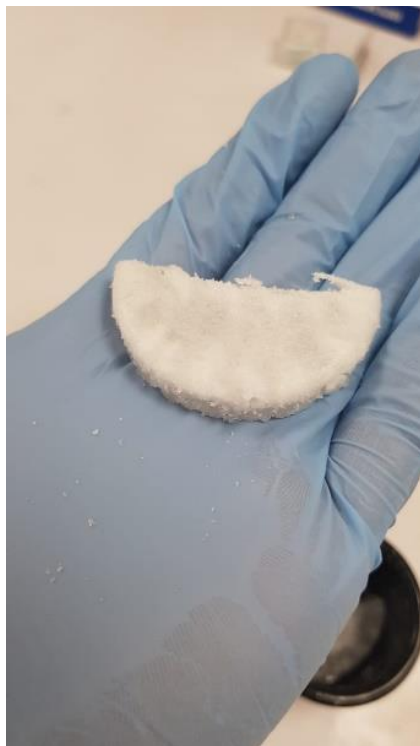


Figura 32.- Polímero piezoeléctrico sintetizado con PDMS por método en bruto (6g de sal de Rochelle o 54% en volumen total).

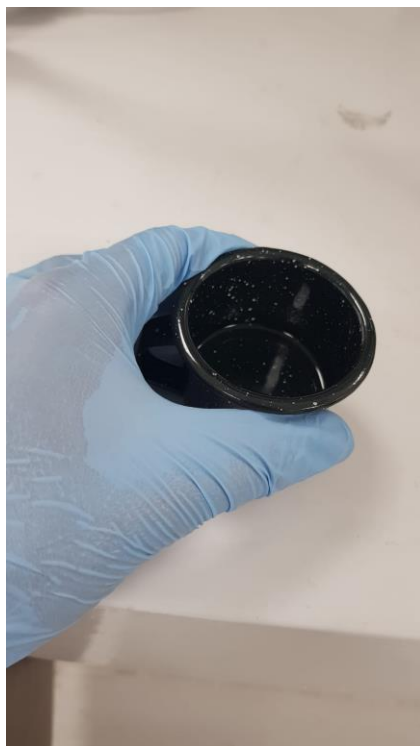


Figura 33.- Recipiente utilizado para la síntesis de polímeros piezoeléctricos.

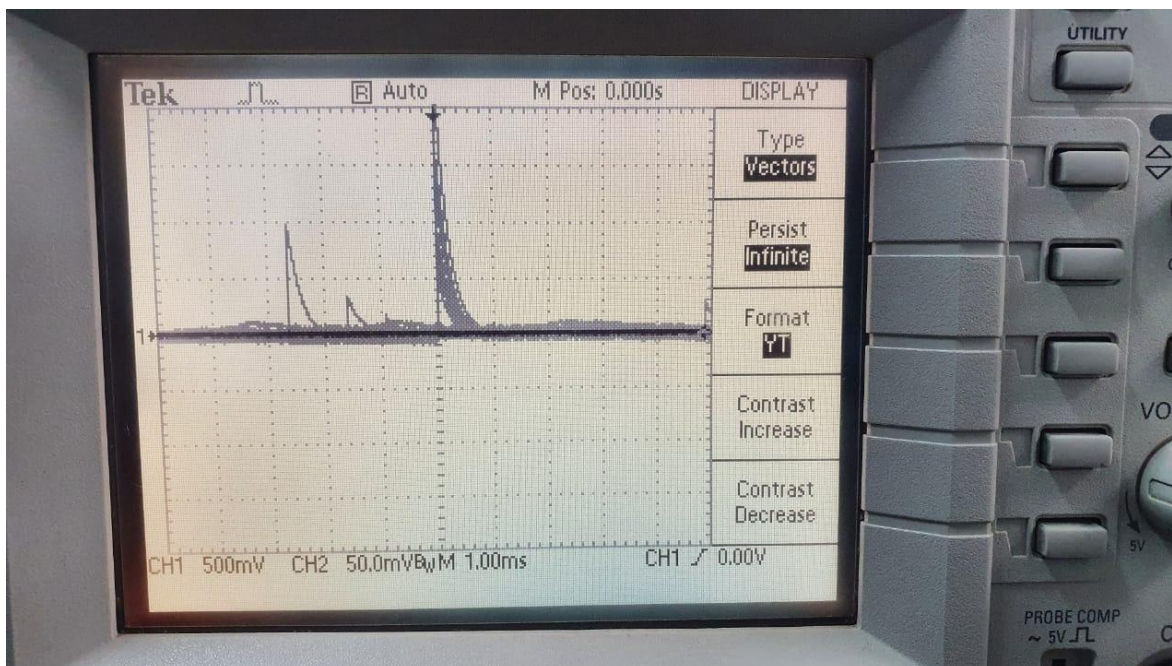


Figura 34.- Configuración del osciloscopio utilizado durante las pruebas piezoeléctricas.

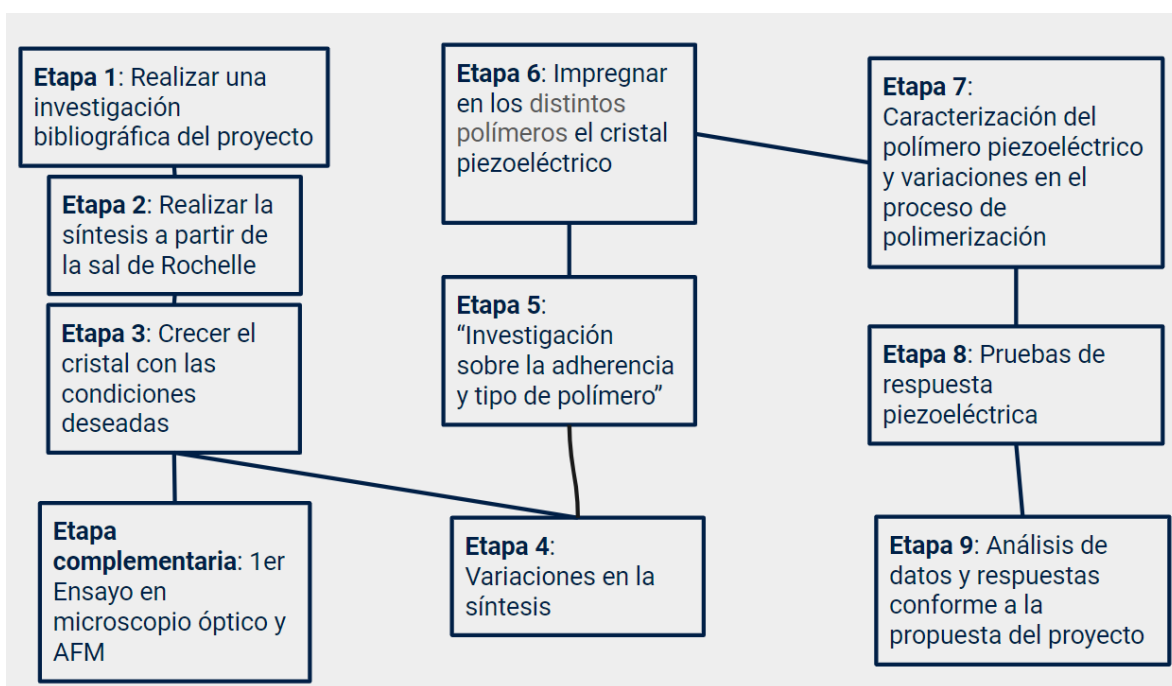


Figura 35.- Diagrama de las etapas del proyecto.