

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

Ing. en Nanotecnología. Alejandro Ballesteros Quiñones

Profesor PAP: Yenni Guadalupe Velázquez Galván

Tlaquepaque, Jalisco, 30 de noviembre 2022

ÍNDICE

Contenido

Contenido.....	1
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	3
Resumen.....	3
1. Objetivos	4
1.2. Justificación.....	5
1.4. Contexto	10
2. Desarrollo	13
2.1. Sustento teórico y metodológico.....	13
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	17
Descripción del proyecto	17
Plan de trabajo.....	18
Desarrollo de propuesta de mejora	19
3.Resultados del trabajo profesional	24
3.1 Metodología para la cristalización de la sal de Rochelle	24
3.2 Mezcla del elastómero con la sal de Rochelle (compósito)	26
Compósitos de PDMS y ECOFLEX.....	26
Caracterización óptica.....	28
Caracterización con Rayos X	30
Pruebas y ensayos mecánicos	34
Pruebas en electrodos para ensayos piezoeléctricos	39
Pruebas y ensayos piezoeléctricos	41
Cálculos numéricos	46
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto	48
Aprendizajes profesionales.....	48
Aprendizajes sociales.....	50
Aprendizajes éticos	51
Aprendizajes en lo personal.....	54
5. Conclusiones	55
6. Bibliografía.....	57

Anexos 61

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

La metodología que permitió la obtención de un compósito flexible y sólido con propiedades piezoeléctricas fue el de la adición y mezcla de la sal de Rochelle directa o en bruto, esto en ambos polímeros, PDMS y ECOFLEX, descartando la metodología en líquido con la utilización de diferentes disolventes. No obstante, mediante las pruebas de deformación con fuerza aplicada para el estiramiento del compósito se determinó que el polímero que brinda mejores propiedades en cuanto a la flexibilidad fue el ECOFLEX, descartando el PDMS, soportando una fuerza de 2.96N y con un estiramiento de 3.6cm.

El grosor y la concentración óptima de la sal dentro del compósito fue de 2g (100%) para un compósito con 2g de polímero total, determinado en las caracterizaciones ópticas y piezoeléctricas que permitieron observar una excelente homogeneidad de tamaño de cristal en todo el volumen del compósito permitiendo una mejor respuesta en la generación de voltajes alcanzando los 280mV como valor más alto en dicha concentración y con una estimulación de 40Hz.

1. Introducción

1. Objetivos

General

Estudiar el efecto de una serie de variaciones en los parámetros de síntesis química la cual nos permita obtener un compuesto con las características deseadas de alta flexibilidad, morfología uniforme, resistencia, cristalización homogénea en todo el volumen y conductividad eléctrica con el propósito de poder obtener una señal eléctrica uniforme al producir una deformación física mediante un estímulo mecánico como por ejemplo de doblado o de golpeo.

Específicos

- Investigación bibliográfica de procesos químicos y condiciones óptimas (temperatura, agitación, diluyentes, etc.) para la obtención de la disolución y cristalización de la sal de Rochelle.
- Investigación bibliográfica en procesos de síntesis química de cristales piezoeléctricos con enfoque particular en la sal de Rochelle.
- Investigación bibliográfica en procesos de síntesis de elastómeros y de procesos de polimerización que involucren la adición de sales.
- Aplicación de técnicas de síntesis químicas y nanotecnológicas para el desarrollo de metodologías destinadas a la obtención de un compuesto piezoeléctrico.
- Uso de equipos de laboratorio como baño ultrasónico y mufla para el desarrollo de procesos fisicoquímicos.
- Realizar ensayos mecánicos por medio de un diseño de montaje experimental para conocer las propiedades del compuesto, como lo son la elasticidad, flexibilidad y resistencia.
- Realizar montajes para la caracterización piezoeléctrica.

- Caracterización del compuesto piezoeléctrico obtenido sobre sus propiedades piezoeléctricas y físicas, mediante el uso del microscopio óptico, Rayos X, 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 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 (tartrato sódico potásico $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) es un compuesto con grandes propiedades piezoeléctricas y con gran potencial de ser utilizado como cosechador de energía limpia al estar funcionalizado con un elastómero como PDMS o ECOFLEX, pues brindarían principalmente la capacidad de tener propiedades mecánicas deseadas como una buena flexibilidad, baja deformación y buena resistencia, dando así un compuesto piezoeléctrico con posibilidad de ser utilizado en diversas aplicaciones.

Por lo tanto, la investigación y desarrollo de materiales multifuncionales como el compuesto 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.

Una de las aplicaciones factibles es en la recolección de energía por medio de la energía mecánica o vibracional, la cual, enfocado en el cuerpo humano consiste en el aprovechamiento de los movimientos que se generen en él, haciendo que el sistema puede detectar este tipo de estímulos y realice una conversión de estos para generar energía

aprovechable. El elastómero 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 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. Para lograr esta funcionalidad, es necesario la adición de nuevos materiales y de propiedades particulares, como los magneto-mecano-eléctricos (MME), que son capaces de interactuar con los campos magnéticos y generar una respuesta mecánica, captada por el elastómero piezoeléctrico y transformándola en alguna señal o energía eléctrica (Melzer et al., 2015).

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, 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).

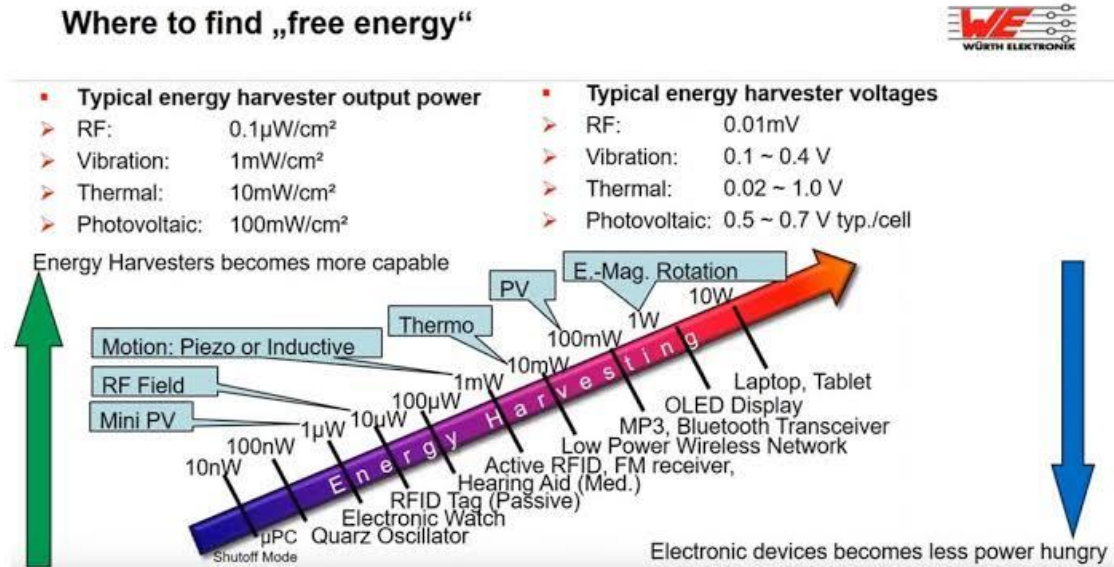


Figura 1.- Comparativa de fuentes de energía obtenida por cosechadores y aplicaciones (Zahnstecher, 2017).

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 (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 microwatts hasta algunos miliwatts por centímetro cúbico.

No obstante, la alimentación de los biosensores es relevante el poder tener un sistema capaz de inducir o transmitir energía periódica que permita su funcionamiento, ya que utilizan enzimas, anticuerpos, tejidos o células aislados para detectar compuestos químicos

generalmente por medio de señales eléctricas, térmicas u ópticas, haciéndolo un sistema multifuncional que permita medir distintos parámetros en el cuerpo humano.

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, 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 titanato de circonato de plomo 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 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). Podemos comparar la sal de Rochelle con otro cristal con propiedades piezoeléctricas como es el cuarzo, uno de los cristales más usados en la electrónica para hacer dispositivos semiconductores. La ventaja de la sal de Rochelle contra el cuarzo es que la sal de Rochelle puede cristalizar de forma óptima a temperaturas bajas, en cambio el

cuarzo necesita de temperaturas altas para cristalizar además de que el cuarzo tiene diferentes formas de cristalización dependiendo la temperatura.

El titanato de circonato de plomo (PZT), exhibe una gran sensibilidad y tiene una temperatura de funcionamiento muy alta, en comparación con otros compuestos piezoeléctricos, por lo que esto permite usarlos en condensadores cerámicos y actuadores. Sin embargo, tiene varias desventajas su uso, por ejemplo, tiene una fuerte dependencia de las propiedades piezoeléctricas con la frecuencia que se incide, altas pérdidas dieléctricas; en especial debajo de la temperatura de Curie, es mecánicamente débil, y también el óxido de plomo es el mayor constituyente del compuesto por lo que este exhibe una alta volatilidad y toxicidad (Fernandez, 1993).

Por ende, en 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 por sí solo no tiene propiedades piezoeléctricas notorias que puedan ayudar al desarrollo eléctrico, pero en conjunto con la sal permite el desarrollo de un compuesto con las propiedades mecánicas del elastomero y las propiedades piezoeléctricas de la sal.

1.4. Contexto

Es de suma importancia el poder conocer las estadísticas del impacto ambiental 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 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.

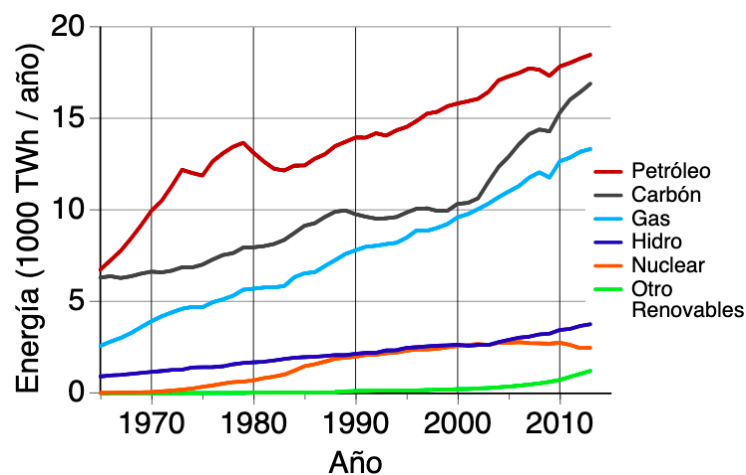


Figura 2.- Gráfico del consumo de energía mundial (BP: Workbook of Historical Data (Xlsx), 2012).

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 auto sustentarse 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.

Ahora bien, los cosechadores de energía tienen la ventaja de aplicarse a otras funciones o actividades, donde por ejemplo en el caso para el sensado de signos vitales; en específico para enfermedades cardiacas (Aldape & Delgado, 2012), se realiza un monitoreo continuo de signos vitales, con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos, para determinar el estado de salud actual del usuario, con el fin de entregar asistencia médica si se requiere. Este sistema registra las siguientes señales: Electrocardiograma (ECG), mediante la compresión y relajación del material piezoeléctrico que sensan la actividad eléctrica del corazón y movimiento respiratorio, gracias a un elástico piezoresistivo que capta el movimiento tóraco-abdominal. Por lo tanto, esto permite un monitoreo preciso a

partir de una base de datos en una aplicación y conocer sobre las condiciones del paciente o individuo en cualquier momento, previniendo algún infarto o problema en el corazón que lo ponga en riesgo (Gutiérrez Cisternas, 2016).

Asimismo, la presión arterial alta, la llamada hipertensión, es la principal causa de enfermedades graves como la enfermedad cerebrovascular, la arteriosclerosis, el daño en la retina, la insuficiencia renal y la enfermedad cardíaca. La implantación de sensores de presión arterial *in vivo* podría ayudar a diagnosticar estas enfermedades y evaluar la eficacia del tratamiento farmacológico. La recolección de energía por medio de los cosechadores permitiría la operación autoalimentada de los sensores para eliminar los problemas relacionados con la batería, incluidas las fugas de corriente, el agotamiento de la energía, la recarga y la vida útil limitada (Sezer & Koç, 2021).

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 de baja energía. 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), por ejemplo, los sensores piezoeléctricos para medir presión, aceleración, tensión y fuerza los cuales se consideran herramientas versátiles para la medición de distintos procesos, por ejemplo en garantías de calidad, procesos de control o investigación y desarrollo en diferentes campos industriales.

La sal de Rochelle como cristal, al ser sometido a una deformación genera un campo eléctrico directamente proporcional (Imagen 1, apartado A) o viceversa (imagen 1, apartado B).

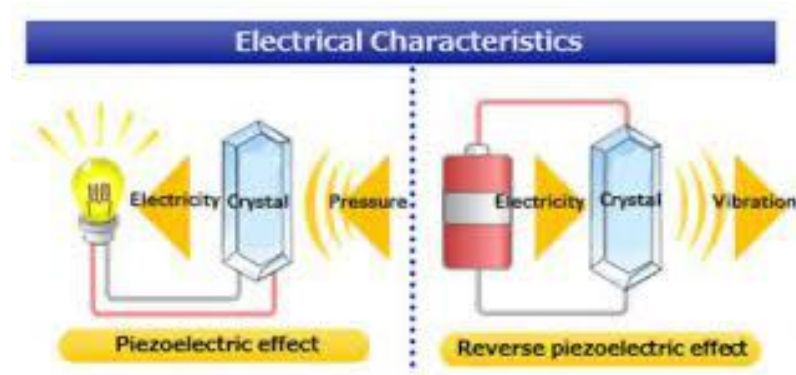


Imagen 1. A) Efecto piezoeléctrico en un cristal, B) efecto piezoeléctrico inverso.

Siendo un material de gran interés para los cosechadores de energía piezoeléctricos, sin embargo, 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).

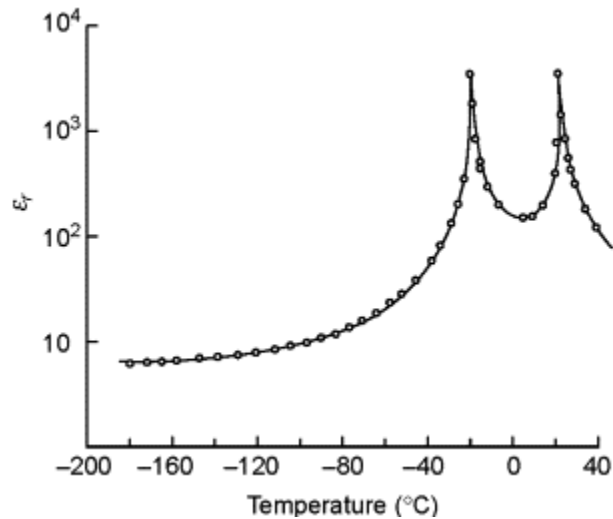


Figura 3.- Gráfico de la constante dieléctrica (k) de la sal de Rochelle en función de la temperatura (Kao, 2004).

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 ronda entre los 70°-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 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 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. La etapa de cristalización influye directamente en características del composito, como el tamaño, la forma, el rendimiento y la pureza de los cristales, por lo que las propiedades tanto físicas como eléctricas se ven afectadas por la uniformidad del tamaño de los cristales en el composito.

Por otro lado, las temperaturas, tiempos y 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 como 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 (*¿Qué son los elastómeros y la polimerización?*, s. f.)

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, 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, en cuanto a la fuente de energía; como se busca un sistema de energía limpia y autónomo, donde en el caso de este proyecto se buscará por el movimiento del cuerpo humano, es necesario un material piezoeléctrico eficaz y biocompatible al mismo, así como un elastómero que permita una mejor manipulación y estabilidad de las propiedades piezoeléctricas. Es así como se genera el compuesto piezoeléctrico, 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 específica por medio de modificaciones y procesos fisicoquímicos capaz de optimizar las propiedades piezoeléctricas de la sal de Rochelle en conjunto con la estabilidad y biocompatibilidad de un elastómero, para lograr obtener un compuesto flexible piezoeléctrico. Para poder lograrlo se requiere de experimentar con diversos parámetros basándonos en referencias e investigaciones bibliográficas, además de realizar procesos de caracterización que nos permitan optimizar y conocer los alcances de este, no obstante, es importante realizar una caracterización por medio microscopía óptica para conocer los elementos y factores que lo componen estructuralmente para poder optimizarlo según sea

el caso, así como pruebas mecánicas en el mismo que nos permitan conocer características como flexibilidad, resistencia mecánica, maleabilidad y diferencia de potencial.

Después una elaboración de montajes experimentales para la caracterización de propiedades eléctricas. Además, es importante conocer parámetros como la resistencia y conductividad eléctrica del mismo para poder compararlo con otros sistemas generadores de energía, a partir de equipos detectores de señales.

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 nuestro piezoeléctrico (Sal de Rochelle) y para la parte de estabilidad el elastómero. En segundo lugar, efectuar procesos y metodologías fisicoquímicas de la sal de Rochelle. En tercer lugar, impregnar en los distintos elastómeros (PDMS y ECOFLEX) el cristal piezoeléctrico y encontrar los parámetros de síntesis ideales para fabricar el compuesto. En cuarto lugar, realizar primeros acercamientos en el microscopio óptico para caracterizar la estructura, cristalización y homogeneidad del compuesto piezoeléctrico, esperando un tamaño de cristal homogéneo y distribuido en todo el volumen, así como su morfología. En quinto lugar, realizar variaciones en la polimerización variando los parámetros de temperatura, concentración, relación del elastómero y disolventes, en la integración de nuestro elastómero con la sal de Rochelle. En sexto lugar, realizar ensayos/pruebas de las propiedades mecánicas y eléctricas del compuesto piezoeléctrico, con el propósito de conocer de manera cuantitativa parámetros eléctricos de la producción eléctrica del compuesto. En séptimo lugar, pruebas de respuesta piezoeléctrica que nos permitan conocer a detalle más comportamientos del ámbito eléctrico-energético de nuestro compuesto piezoeléctrico, que nos permita conocer intensidades de voltaje y su eficiencia en conducción eléctrica. En octavo lugar, realizar la caracterización óptica, mecánica y piezoeléctrica del compuesto 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 en un futuro.

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 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

Inicialmente se llevaron a cabo investigaciones científicas en torno a las propiedades, metodologías y usos del piezoeléctrico (sal de Rochelle), se eligió 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 distintas metodologías con el propósito de lograr una solución homogénea saturada a partir de la sal de Rochelle y agua destilada. No obstante, para la síntesis química se usó el procedimiento por método de calentamiento para lograr la temperatura deseable para la disolución de la sal de Rochelle en estado saturado, este consistió en el uso de una placa de calentamiento.

Las temperaturas que se estuvieron usando para la síntesis fueron entre los 50°C a 70°C para mantenerse dentro de los puntos de Curie y se conserven las propiedades del piezoeléctrico.



Figura 4.- Metodología con placa de calentamiento.

El primer experimento consistió en disolver la sal de Rochelle en un disolvente; se utilizó tanto agua destilada como alcohol isopropílico; ya que estos fueron los únicos disolventes que funcionaron, se hizo este proceso en un rango de temperatura con una concentración de sal específica, para después agregar la disolución al elastómero (PDMS) y pasar por un proceso de polimerización a cierta temperatura y tiempo de exposición (dependiendo del equipo a utilizar para el proceso) para lograr que la sal cristalice dentro del elastómero. De esta manera se logra un compósito con la composición de material piezoeléctrico (sal de Rochelle) y un material con propiedades mecánicas adaptables, en el caso del elastómero.



Figura 5.- PDMS SYLGARD 184(Molykote EB-184-1.1, s. f.). Figura 6.- ECOFLEX 00-33AF (Morph Industries, s. f.).

No obstante, se avanzó al segundo experimento donde se realizaron investigaciones bibliográficas y análisis específicos sobre otros procesos o metodologías que podrían usarse para poder mezclar el polímero con nuestro piezoeléctrico conservando ambas propiedades de los materiales o compuestos. Es importante mencionar que la preparación de los elastómeros consta de la mezcla de dos compuestos y relaciones proporcionados por el fabricante; en el caso del PDMS la relación recomendada es de 1:10, en referencia al agente catalizador y al polímero respectivamente, en cuanto al ECOFLEX se mezclan dos compuestos, A y B en relación 1:1, 2:1, 1:2, 1:3 y 1:4 en busca de mejorar la propiedad de elasticidad(Molykote EB-184-1.1, s. f.; Morph Industries, s. f.). A continuación, en la Tabla 3 se muestra la metodología aplicada y en qué consiste, haciendo uso de los dos elastómeros ya mencionados anteriormente.

<p>En Bruto</p> <p>Mezcla directa de la sal con el elastómero</p>

Tabla 3. - Metodología de síntesis del compuesto piezoeléctrico.

Para llevar a cabo la elaboración del compuesto se mezcló el elastómero con la sal de Rochelle triturada y se puso a los parámetros de una temperatura ascendente (de 28 a 45 C) y sonicación (20min). Una vez obtenido el compuesto, se realizó caracterización en el microscopio óptico para observar una mejor imagen de los cristales piezoeléctricos

formados sobre los compósitos fabricados para poder analizar la homogeneidad del tamaño y distribución de la cristalización en el composito.

Por otro lado, para conocer y decidir que elastómero se desempeñaba de mejor manera, es decir, que tenga mejores propiedades mecánicas como la flexibilidad relacionada a su módulo de Young, se realizaron pruebas de tipo mecánicas para poder analizar de manera comparativa y cuantitativa los dos elastómeros usados (PDMS y ECOFLEX), por lo que se requirió de un equipo especial y diseñada de manera personalizada para dichas pruebas o ensayos. El método de medición para este ensayo consistió en estirar al máximo el elastómero sin que se quebrara y medir su elongación, así como sus cambios de deformación antes y después del ensayo ejercido. De esta manera, se conocerán datos del comportamiento del módulo de Young, para después efectuar los análisis y graficas que nos permitan compararlos y determinar el mejor para el proyecto.

Ahora bien, para poder conocer a detalle las propiedades eléctricas y piezoeléctricas obtenidas con cada una de las metodologías y realizar una comparativa entre ellas en el compósito piezoeléctrico, realizaron diferentes procesos de caracterización. para el caso de las pruebas piezoeléctricas el uso del multímetro y el osciloscopio de marca Agilent Technologies modelo DSO-X-2002A y la preparación de electrodos con pintura de plata (variando las dimensiones del mismo para que se acoplaran al tamaño de la muestra) para ayudar con la detección de una señal eléctrica.

Para la configuración del osciloscopio en las pruebas piezoeléctricas se realizó una programación que se presenta en la tabla siguiente:

RANGO DE MEDICIÓN	y= \pm 20mV
RETRASO	50mV/s
ADQUISICIÓN DE SEÑAL	Promedio
TIPO DE MEDICIÓN	Máxima

TRIGGER	28mV
TIPO DE DISPARO	Flanco con inclinación ascendente

Se realizaron montajes de pruebas eléctricas para medir una diferencia de potencial. En el primer montaje se puso al composito sobre un riel el cual recibía golpeteo constante de parte de un motor para producir una vibración en el composito y generar una corriente eléctrica que produjera una diferencia de potencial (Figura 7).

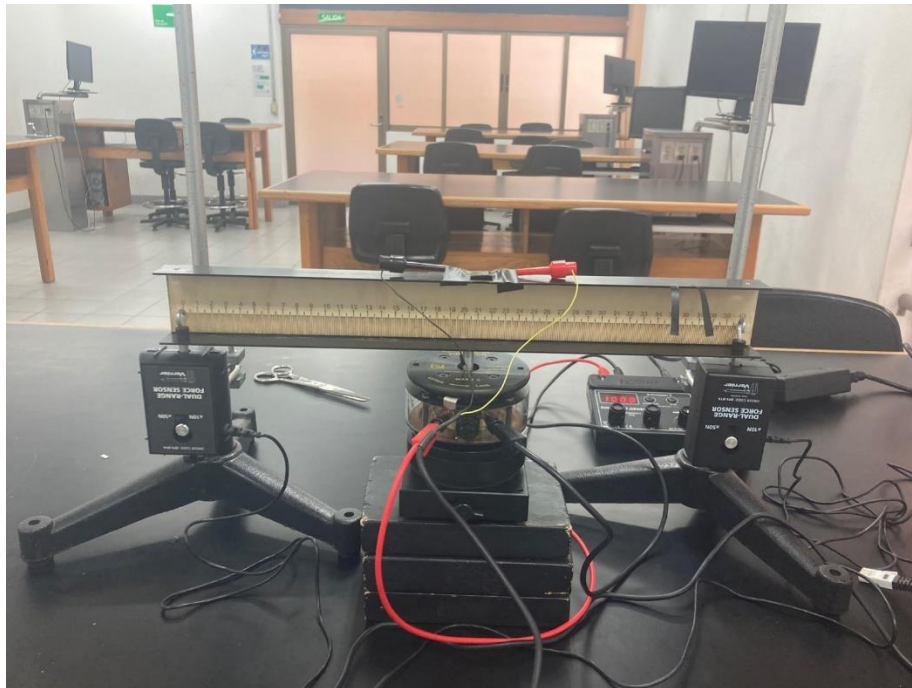


Figura 7.- Montaje de vibraciones.

En el segundo montaje el composito se montó de manera que quedara suspendido en el aire para poder recibir golpes continuos del motor directamente (estos se pueden regular mediante la frecuencia) para generar una diferencia de potencial (las mediciones son en función del tiempo), es decir, voltaje (Figura 8).

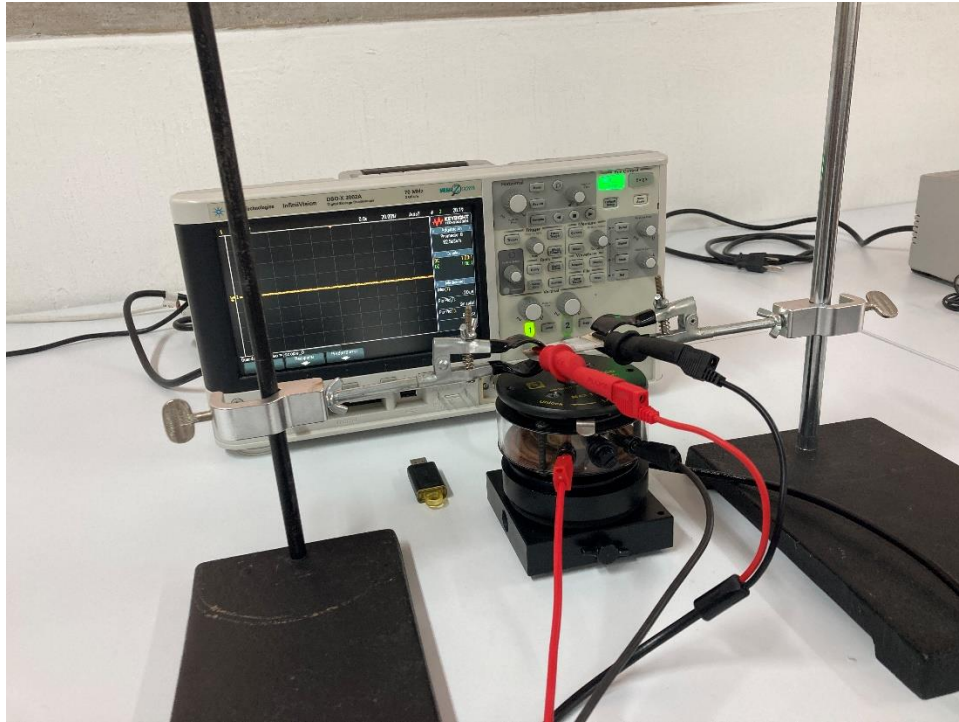


Figura 8.- Montaje de golpeo directo.

Una vez realizado este segundo experimento se usaron herramientas de caracterización y observación como la difracción de rayos X, donde a partir de esta es posible identificar el sistema cristalino de la muestra analizada y obtener información tridimensional acerca de la estructura interna del cristal, así como para poder conocer mejor la orientación cristalina, planos cristalográficos, respuesta piezoeléctrica y estructura del proceso de cristalización de nuestro piezoeléctrico.

3.Resultados del trabajo profesional

3.1 Metodología para la cristalización de la sal de Rochelle

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

A continuación, se presentan los diferentes métodos de síntesis para la cristalización de la Sal de Rochelle (Tabla 4).

- Método en líquido

Consiste en la disolución de la sal en un disolvente (en este caso se usó agua destilada y alcohol isopropílico), a una temperatura constante, para después ser agregada en forma de disolución al elastómero (PDMS y ECOFLEX) y agitar hasta lograr una muestra homogénea.

- Método en bruto

- *Sal comercial*

Consiste en moler la sal lo más fina posible y agregar directamente al elastómero la cantidad de sal que se desee y agitar durante un tiempo, hasta que se disperse lo suficiente en todo el elastómero.

- *Sal sintetizada*

Agregar la sal directamente al elastómero y agitar durante un tiempo hasta lograr que se disperse lo suficiente en todo el elastómero.

Característica	Método		
	En líquido	En bruto Sal comercial	En bruto Sal sintetizada
Solubilidad	Alta	-	Alta
Cristalización	Escasos	Alta	Nula
Homogeneidad	Nula	Media - Alta	Nula
Estabilidad en temperatura (Rango de variación)	Media (55°C -70°C)	Alta (50°C-60°C)	Media (55°C-70°C)
Tiempo (Duración del procedimiento)	15-20 min	-	10 min

Tabla 4.- Tabla comparativa de metodología con la sal de Rochelle.

Comparando las metodologías de síntesis se encontró que para el método en líquido se presenta una solubilidad alta, pero con una escasa cristalización, además de que no muestra una homogeneidad en todo el volumen. Para el método en bruto a partir de la Sal comercial su cristalización es alta y su homogeneidad varía conforme a su concentración. Por último, para la sal sintetizada con un proceso de elaboración en líquido, presenta mala cristalización y homogeneidad en cualquiera que fuera su concentración.

3.2 Mezcla del elastómero con la sal de Rochelle (compósito)

Compósitos de PDMS y ECOFLEX

Se realizaron diferentes muestras del compósito con los métodos mencionados a continuación para poder observar las diferencias que presenta en la cristalización y homogeneidad (Tabla 5 Tabla 6 respectivamente). Cabe mencionar, que en la Tabla 7 no se usaron ningún tipo de disolvente para la síntesis.

Tipo de muestra	Relación	Catalizador	Sal de Rochelle	Método	Temperatura y tiempo	Tipo de disolvente
Compósito	5:1	1 g	0.5 g	En líquido	130 °C, 3 min. (mufla)	Agua destilada
Compósito	15:1	0.33 g	0.5 g	En líquido	130 °C, 3 min. (mufla)	Agua destilada
Compósito	25:1	0.2 g	0.5 g	En líquido	130 °C, 3 min. (mufla)	Agua destilada
Elastómero	15:1	0.33 g	-		150 °C, 10 min. (mufla)	-
Compósito	15:1	0.33 g	0.5 g	En líquido	150 °C, 10 min. (mufla)	Alcohol isopropílico

Compósito	15:1	0.33 g	0.5 g	Sal sintetizada mezclada en bruto	150 °C, 10 min. (mufla)	Agua destilada
Compósito	15:1	0.33 g	0.5 g	Sal sintetizada mezclada en bruto	150 °C, 10 min. (mufla)	Alcohol isopropílico
Compósito	15:1	0.33 g	0.5 g	En bruto	30 - 80 °C 22 min. (baño ultrasónico)	-

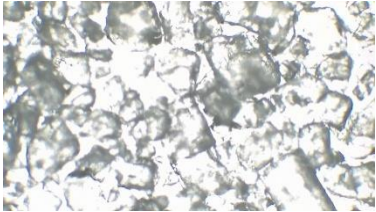
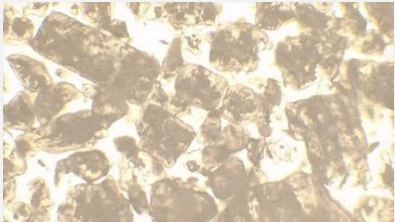
Tabla 5.- Tabla con los procesos/elementos aplicados a las muestras realizadas con el elastómero PDMS.

Relación	Cantidad de elastómero	Sal	Temperatura y tiempo
1A:1B	2 g	1 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)
1A:1B	2 g	1.2 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)
1A:1B	2 g	1.4 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)
1A:1B	2 g	1.5 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)
1A:1B	2 g	1.6 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)
1A:1B	2 g	2 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)
1A:1B	2 g	2.5 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)

Tabla 6.- Tabla con los procesos/elementos aplicados a las muestras realizadas con el elastómero ECOFLEX.

Caracterización óptica

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 microscopía óptica se evaluaron características en las muestras sobre dispersión y tamaño de los cristales de la Sal de Rochelle.

M E T O D O S	En bruto	PDMS	Para este método se mostró una baja flexibilidad y bastante rígido el compuesto, lo cual no ayuda en las propiedades elásticas que se buscan como objetivo.	 <p><i>Figura 9. - Imagen tomada con microscopio óptico de compuesto piezoeléctrico sintetizado por método en bruto con PDMS (Objetivo 4x) (0.5g de sal de Rochelle)</i></p>
		ECOFLEX	Se presentó una alta flexibilidad en él, presenta una cristalización casi homogénea y gracias a la zonificación esta se presenta de forma distribuida y sin burbujas de aire, además de ser un elastómero bastante resistente.	 <p><i>Figura 10. - Imagen tomada con microscopio óptico de compuesto piezoeléctrico sintetizado por método en bruto con ECOFLEX (Objetivo 4x) (0.5g de sal de Rochelle)</i></p>

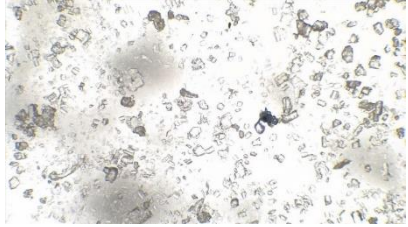

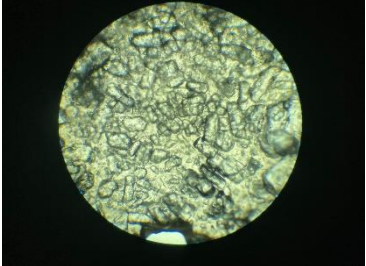
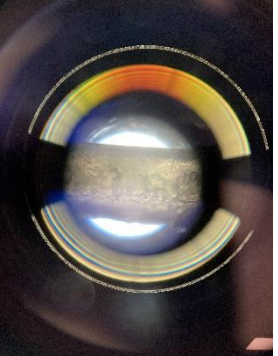
En líquido	PDMS	Para este método se consiguió una muestra rígida y con una cristalización media, ya que el tamaño de los cristales era uniforme pero su distribución no era homogénea.	 <p>Figura 11. - Imagen tomada con microscopio óptico de compuesto piezoeléctrico sintetizado por método en líquido con PDMS (Objetivo 4x)</p>
	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, pero no presento una buena cristalización de la sal.	 <p>Figura 12. - Imagen tomada con microscopio óptico de compuesto piezoeléctrico sintetizado por método en líquido con ECOFLEX (Objetivo 4x) (0.5g de sal de Rochelle).</p>

Tabla 7.- Tabla comparativa del compuesto piezoeléctrico fabricado por diversos métodos.

En la Tabla 8 se muestran las imágenes de la cristalización de los compósitos con diferentes concentraciones de sal de Rochelle para muestras de dos gramos de elastómero.

Cantidad de sal	Plano horizontal	Corte transversal
1.4 g (70%)		

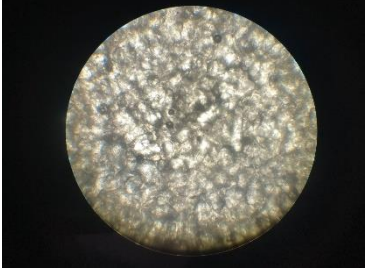

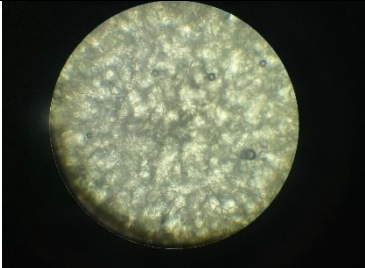
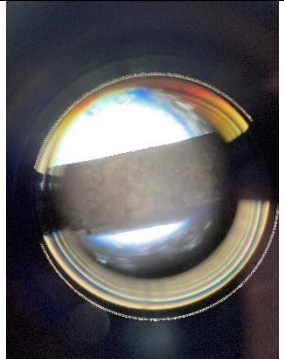

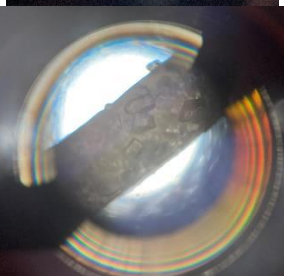

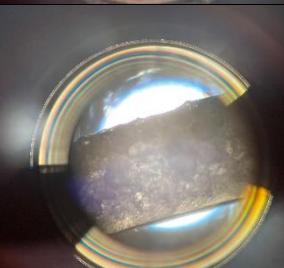
1.5 g (75%)		
1.6 g (80%)		
2 g (100%)		
2.5 g (125%)		

Tabla 8.- Tabla comparativa de la cristalización en los compositos con diferentes concentraciones de sal de Rochelle.

Caracterización con Rayos X

Se hicieron los análisis por difracción de rayos x (XRD) con radiación Alpha CuK=1.54Å, esto mediante la colaboración de IPICYT. Se realizaron análisis de nuestro elastómero puro como fue el ECOFLEX, un análisis de la sal de Rochelle y un análisis de un composito con una concentración del 60% de sal o con 1.2g. Como podemos ver en análisis XRD de la sal (Figura 10) esta tiene un pico característico en los primeros grados del ángulo 2θ ($22^\circ - 23^\circ$), en

cambio en el análisis del ECOFLEX (Figura 9) podemos apreciar un patrón menos distinguible comparada con la sal de Rochelle, a pesar de esto, en el análisis del compuesto (Figura 11) podemos observar que empieza con el patrón del ECOFLEX pero presenta un pico distinguible en los primeros ángulos referente al presentado en el análisis de la sal de Rochelle, pero con un ligero desplazamiento de 10 grados aproximadamente que nos hace ver la presencia de la sal dentro del compuesto.

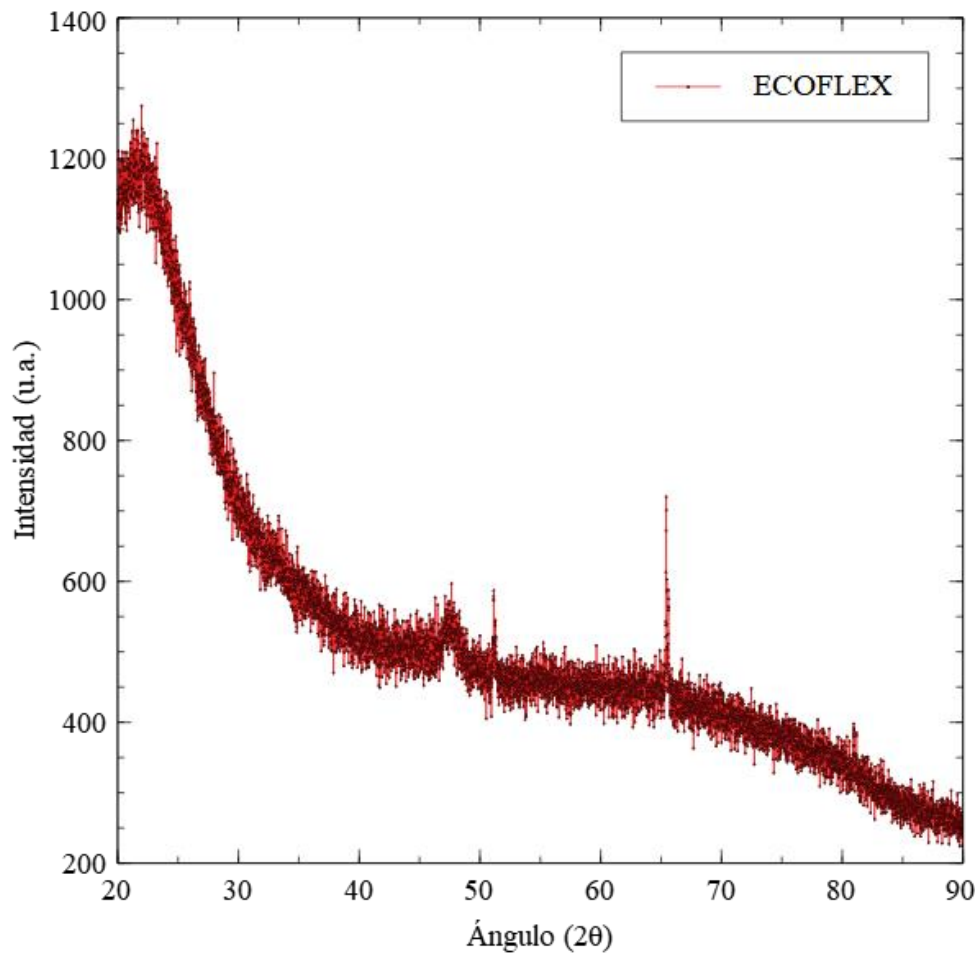


Figura 9.- Análisis XRD ECOFLEX puro.

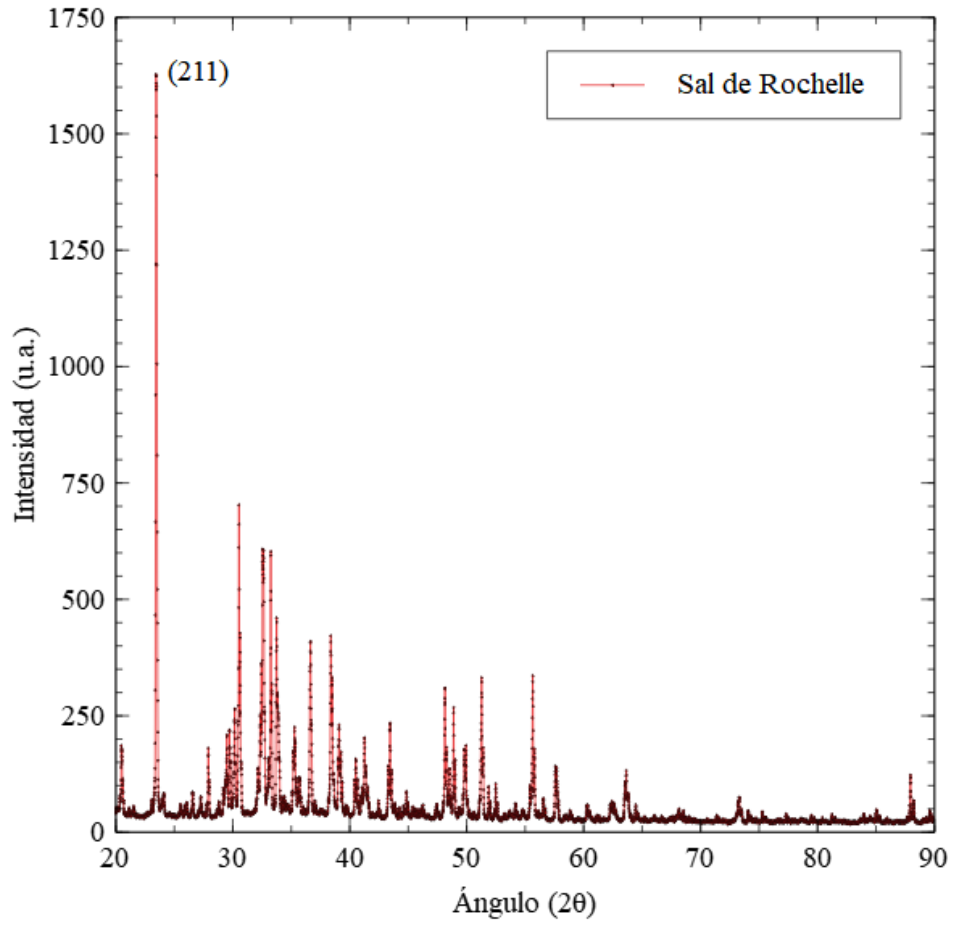


Figura 10.- Análisis XRD sal de Rochelle.

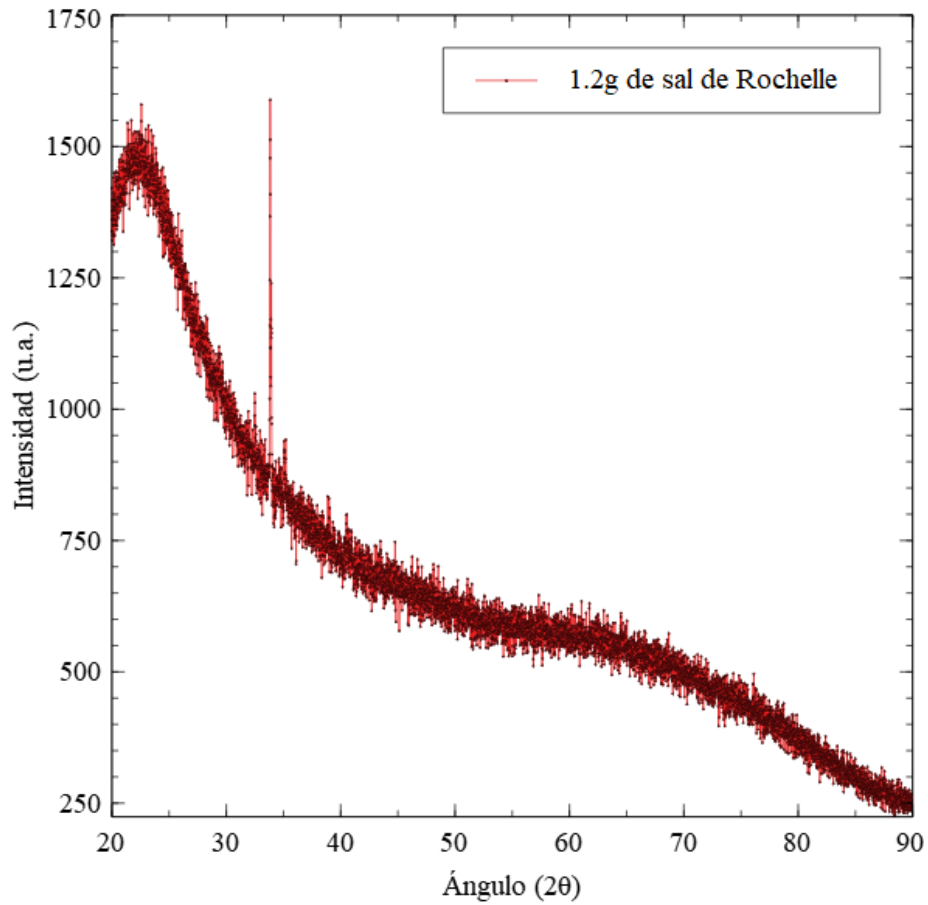


Figura 11.- Análisis XRD compósito con ECOFLEX y 1.2g de sal de Rochelle.

En la Figura 12 se presentan las gráficas de ECOFLEX puro de la revista Journal of Materials Science, la cual nos muestra el patrón específico que sigue el ECOFLEX en un rango de 0 a 60 grados en 2θ . Podemos apreciar el patrón es muy similar al obtenido en las pruebas XRD realizadas.

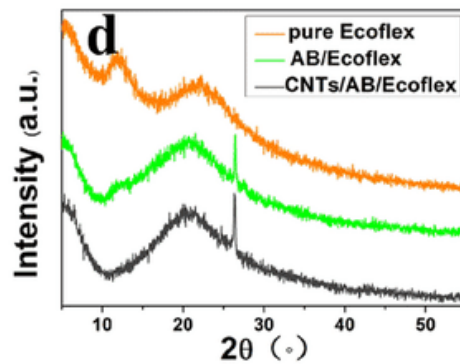


Figura 12.- Análisis XRD ecoflex (Journal of Materials Science: Materials in Electronics)

Pruebas y ensayos mecánicos

Se realizaron pruebas mecánicas a ambos elastómeros para poder conocer sus propiedades físicas, más que nada su nivel de flexibilidad, resistencia y su módulo de Young ya que queremos conocer cuál es la cantidad de fuerza o esfuerzo que puede soportar cada uno de los elastómeros. El montaje consistía en un soporte universal sobre el cual se colocaba una pinza, la cual sostiene al sensor de fuerza y sobre él se colocaron dos ganchos los cuales sostenían la pinza que tenía agarrada la parte superior del composito, en la parte inferior del composito agarrada también por una pinza, la cual tenía dos ganchos colgando una porta pesas en la cual se iba aumentando el peso para producir una mayor fuerza que generara una mayor elongación. Además, se tenía con una pinza agarrado al soporte universal una regla la cual nos marcaba el inicio de la medición de elongación del composito.

➤ *PDMS*

Al hacer las pruebas mecánicas al composito de PDMS se presentó una buena resistencia a la deformación ya que volvía a su estado original después de estirarse, pero el problema que presenta es que no tiene mucha flexibilidad, lo cual es un impedimento importante para lo que se busca. Se logra apreciar en la Figura 14 que el composito soporta una buena carga de peso.

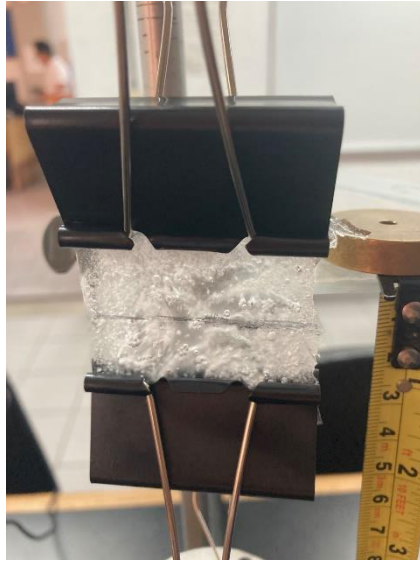


Figura 13.- Colocación de muestra realizada con el elastómero PDMS para ensayo mecánico de elasticidad.



Figura 14.- Ensayo mecánico de elasticidad para muestra realizada con el elastómero PDMS

Y como podemos ver en la gráfica de la Figura 14, la pendiente de crecimiento de esfuerzo-deformación del elastómero PDMS, en donde la flexibilidad del elastómero es muy baja, lo cual disminuye la capacidad de elasticidad del material.

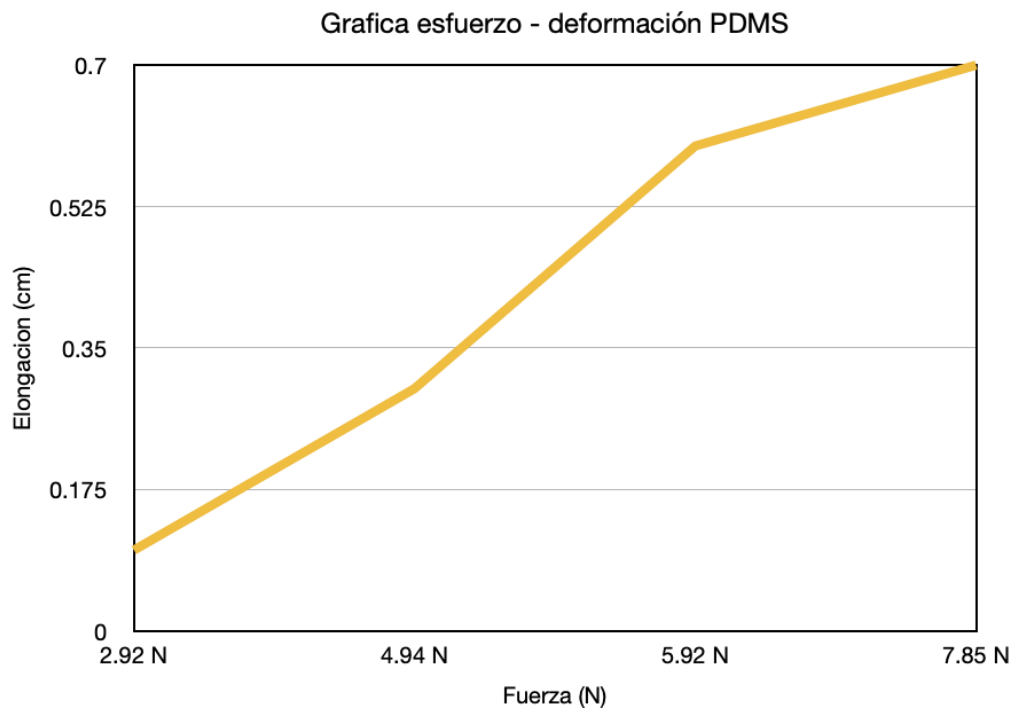


Figura 15.- Gráfica esfuerzo-deformación para muestra realizada con el elastómero PDMS.

➤ ECOFLEX

Al hacer las pruebas mecánicas con el compuesto de ECOFLEX este presenta una buena resistencia y una muy buena flexibilidad, la cual se ve afectada por la cantidad de parte B que tiene el elastómero. En las siguientes imágenes podemos observar esta flexibilidad.

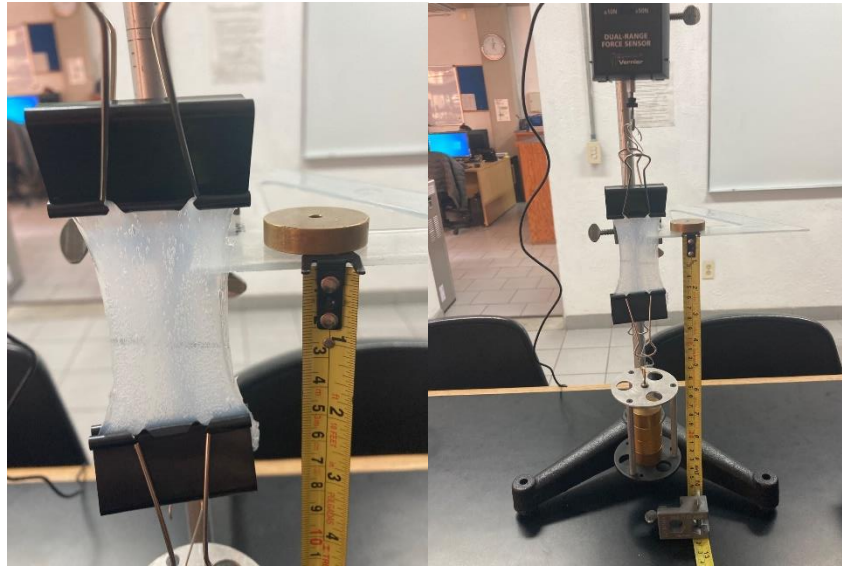


Figura 16.- Ensayo mecánico de elasticidad para muestra realizada con el elastómero ECOFLEX.

Y como podemos ver en la siguiente grafica de la Figura 16 está la pendiente del crecimiento del esfuerzo – deformación del elastómero Ecoflex, el cual presenta una buena flexibilidad y además presenta la capacidad de volver a su forma original después de haberse sometido a un esfuerzo mecánico.

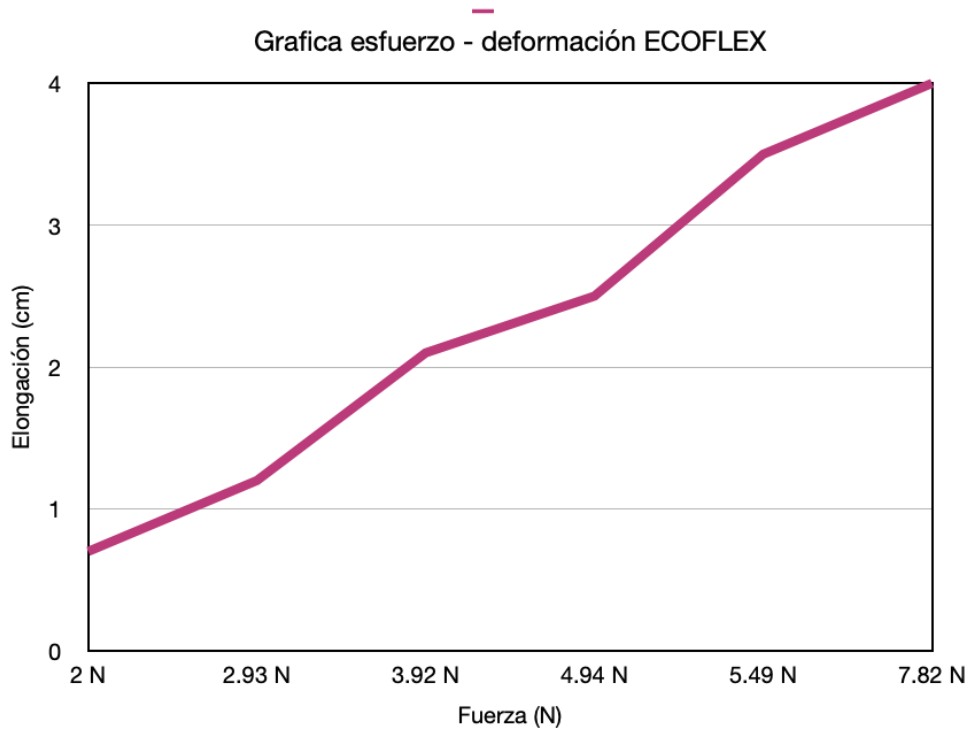


Figura 17.- Gráfica de esfuerzo deformación para muestra realizada con el elastómero ECOFLEX.

➤ *Compósito piezoeléctrico (elastómero + sal de Rochelle)*

Al hacer las pruebas mecánicas con los compositos que se hicieron con ECOFLEX estos presentaron una buena flexibilidad al tener un porcentaje de concentración de sal entre 20 y 100%, los compositos que tenían una mayor concentración al 100% perdían flexibilidad y resistencia, y los compositos con una concentración más baja se comportaban como el elastómero solo. En la gráfica de la Figura 17, se puede observar que existe una tendencia de disminución de la elongación del compósito conforme se va aumentando la concentración de sal, por lo que esto disminuye las propiedades mecánicas del elastómero.

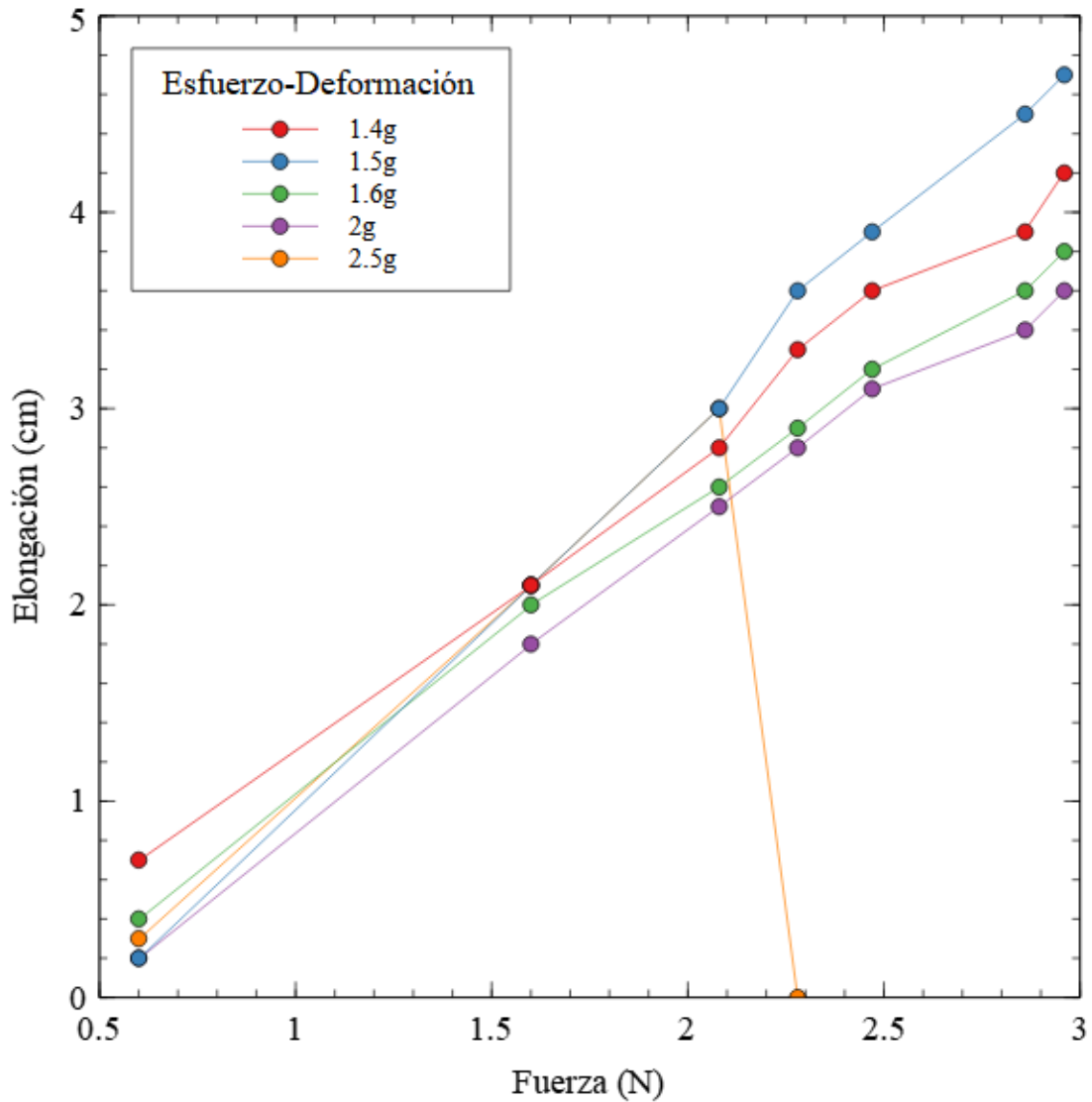


Figura 18.- Gráfica de esfuerzo-deformación en compósitos con diferentes concentraciones de sal de Rochelle.

Pruebas en electrodos para ensayos piezoeléctricos

Se realizó la fabricación de los electrodos para la realización de las pruebas eléctricas mediante una pintura de plata y papel de opalina. Se realizaron varias capas de pintura al electrodo para lograr uniformidad en el mismo y tener un rango de resistencia menor de 1 ohm para que no influya en las mediciones de las pruebas o ensayos realizados.

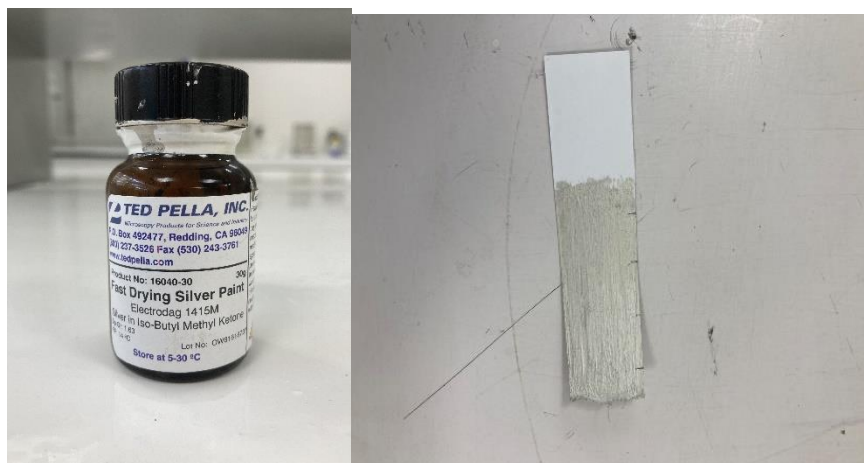


Figura 19.- Pintura de plata (concentración de plata del 57 al 59%) y electrodo con 2 capas de pintura aplicadas.

Para realizar un análisis comparativo de las resistencias eléctricas de los electrodos, se llevaron a cabo dos metodologías distintas con dos tipos de pintura de plata (una más antigua y otra más nueva), la primera consistió en la pintura sin diluir, es decir, la pintura concentrada y la segunda la pintura diluida. A continuación, en la Tabla 9 se muestra de manera comparativa la cantidad de capas de pintura de plata con las que se cubrió el electrodo respecto a cada metodología y pintura, así como las resistencias eléctricas respectivas.

Pinturas	Capas	Resistencia eléctrica (Ω Ohms)
Antigua sin diluir	3, 4, 5, ...	0.4
Antigua diluida	4	0.7 - 0.4
Nueva sin diluir	1 y 2	1.5 y 0.4

Tabla 9.- Comparativa de la resistencia eléctrica de las metodologías con los dos tipos de pintura de plata.

Cabe destacar que para la pintura nueva no se realizaron pruebas en diluido debido a que por los datos obtenidos con la pintura antigua se concluía que no era lo óptimo. Por lo tanto, con base a la tabla anterior se puede decir que la pintura nueva sin diluir es la óptima con una mayor cantidad de capas cubiertas, ya que para la antigua se requiere aún más capas para lograr la misma resistencia eléctrica.

Pruebas y ensayos piezoeléctricos

Al realizar los experimentos de respuestas piezoeléctricas, una medida de referencia para poder conocer si realmente generaba alguna corriente eléctrica al estimular el elastómero piezoeléctrico era el voltaje generado, visualizado en el osciloscopio.

Para poder comprender de mejor manera los resultados obtenidos en los múltiples ensayos y pruebas experimentales, es necesario conocer a detalle ciertas variables y/o parámetros eléctricos de nuestro compósito piezoeléctrico, como, por ejemplo, la constante dieléctrica y la capacitancia. Para el caso de la constante dieléctrica nos permite conocer la magnitud de corriente eléctrica que pasa sobre el material, el cual es importante conocer para poder saber si realmente nuestro material puede almacenar dicha energía eléctrica.

Gráficas de respuesta piezoeléctrica

Se obtuvo una gran cantidad de datos a partir de las pruebas piezoeléctricas por lo que se realizaron diferentes gráficas para su análisis. Primeramente, se identificaron los máximos pico-pico en cada una de las pruebas de los compósitos con diferentes concentraciones estimulados a diferentes frecuencias de golpeo, además del ruido o “Trigger” del sistema el cual fue de 19mV con el objetivo de conocer cuál era la respuesta de generación de voltaje real.

Para la frecuencia de 10Hz se identificaron 3 máximos por cada 0.2 segundos (Figura 20). Dado que la frecuencia se fue aumentando a 20Hz, 30Hz y 40Hz, también el número de máximos lo hizo, de manera que se obtuvieron 5, 7 y 9 respectivamente. Se muestran un par de ejemplos de este procesamiento de datos en la Figura 20 y Figura 21 para las frecuencias de 10Hz y 30Hz. Es importante mencionar que se ajustó el tiempo a cero para el primer máximo de cada señal obtenida en cada compósito para visualizar y comparar de mejor manera las respuestas debido a que no fue posible la sincronización de la toma de datos con la estimulación del motor de golpeo. Las señales de respuesta obtenidas sin procesamiento de datos se pueden visualizar en la sección de anexos.

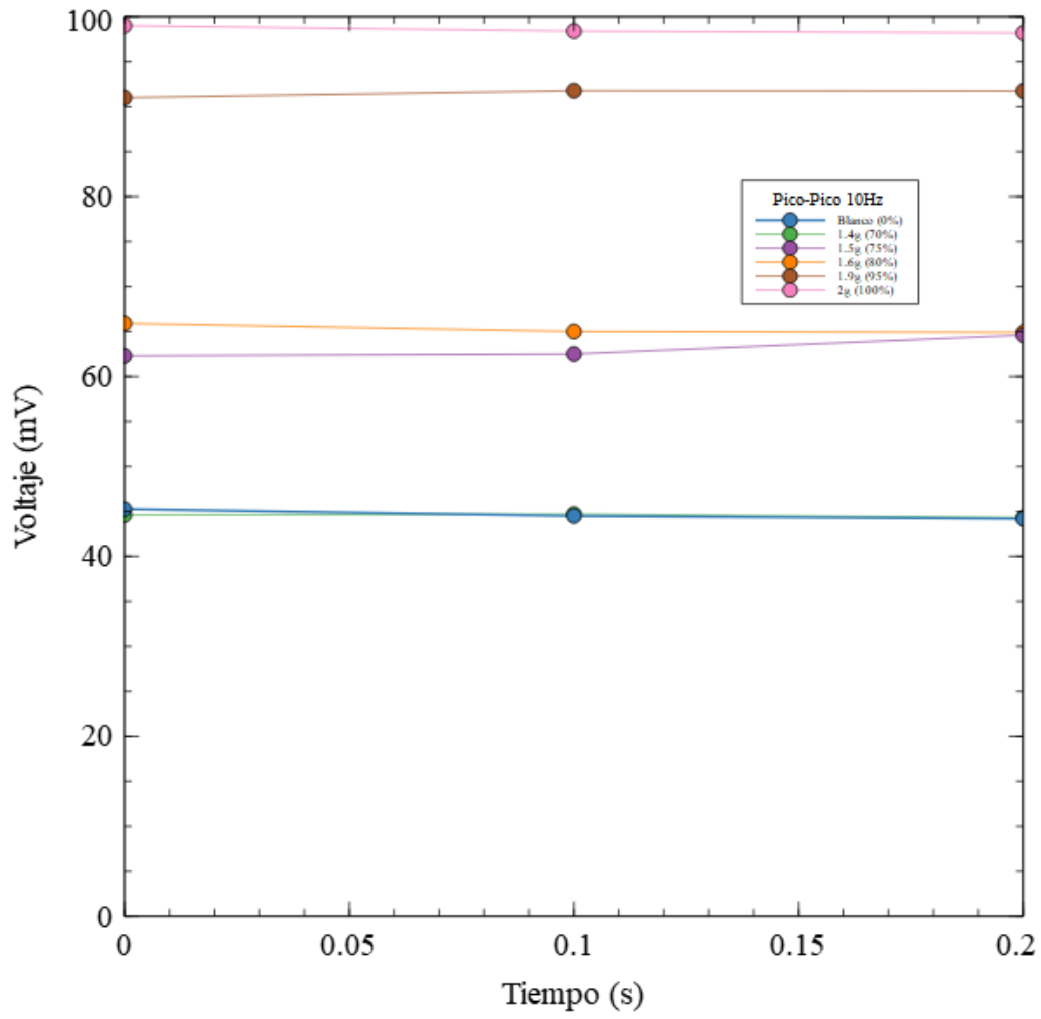


Figura 20.- Máximos de voltaje pico-pico de muestras con diferentes concentraciones de sal de Rochelle con estimulación por golpe en frecuencia de 10Hz.

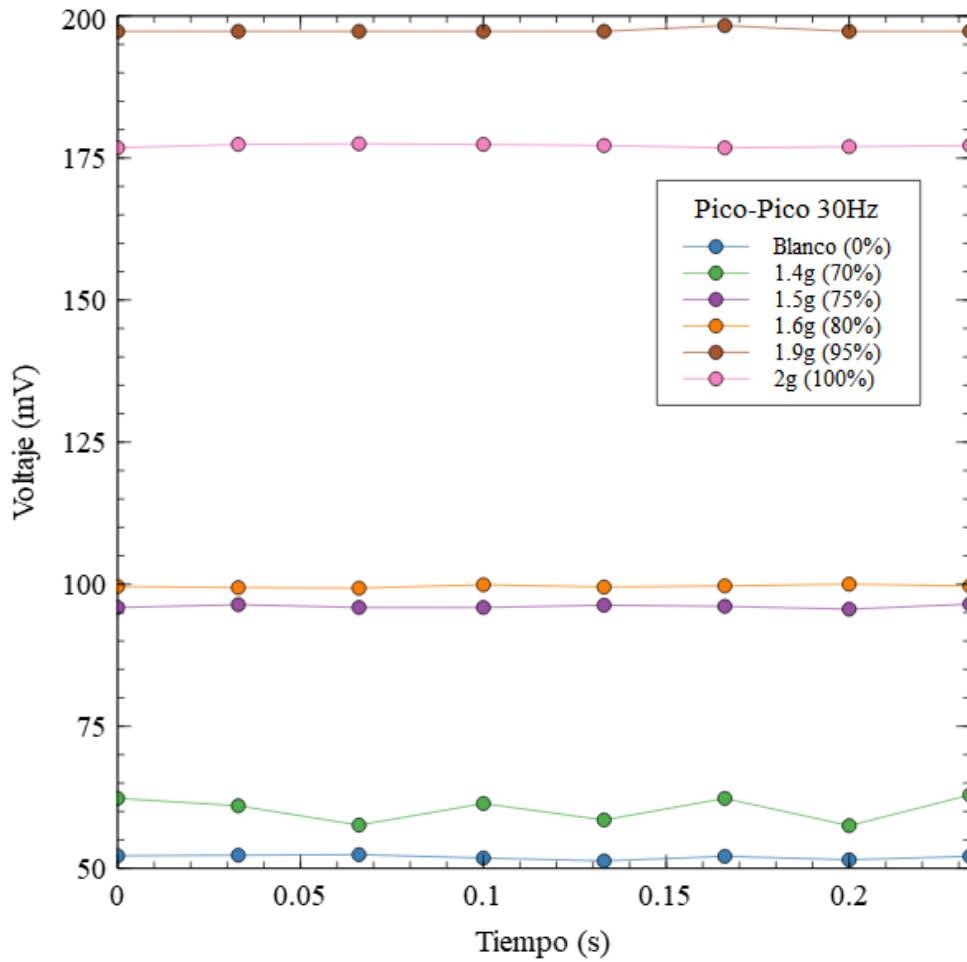


Figura 21.- Máximos de voltaje pico-pico de muestras con diferentes concentraciones de sal de Rochelle con estimulación por golpe en frecuencia de 30Hz.

La muestra que mostró un mejor desempeño en cuanto a flexibilidad, buena homogeneidad en cristalización y generación de voltaje fue la de una concentración de 2g o 100%, por lo que se realizó una gráfica comparativa de respuesta a las diferentes frecuencias de estimulación únicamente de dicha muestra (Figura 22).

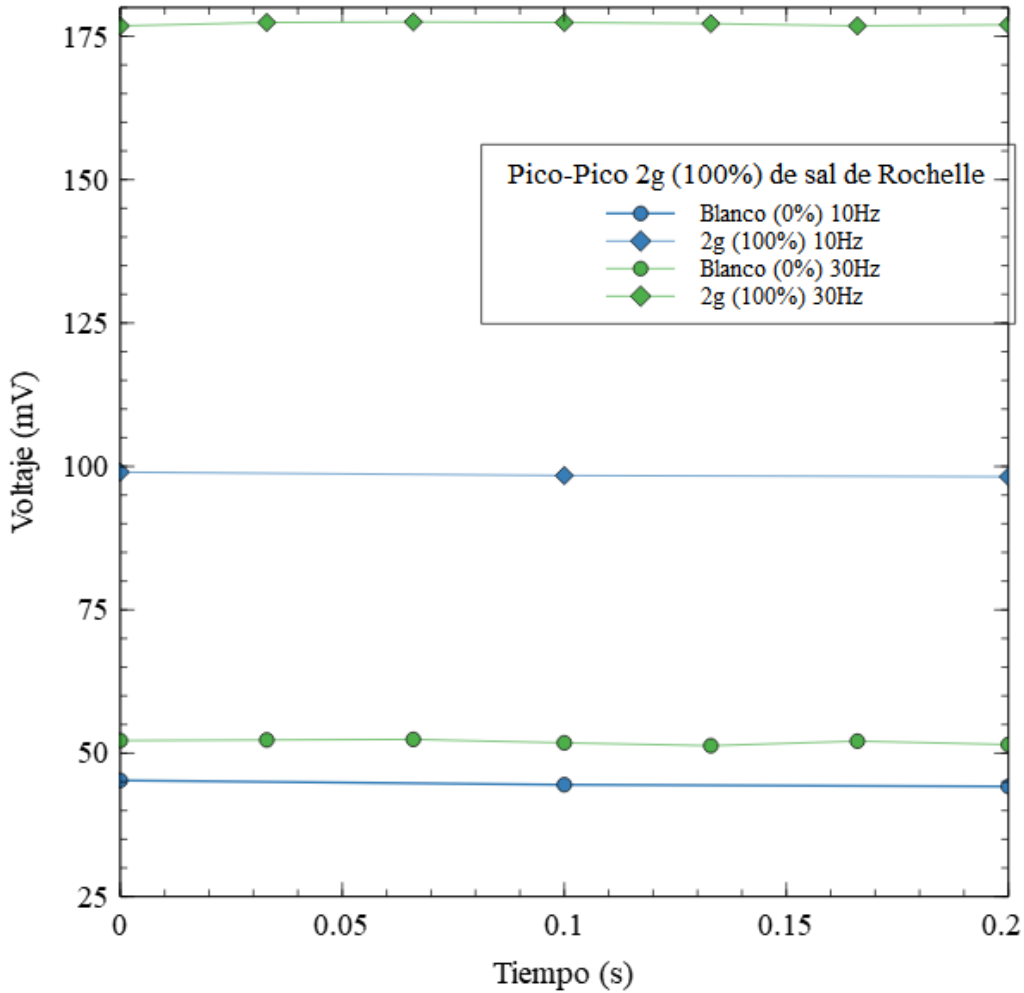


Figura 22.- Máximos de voltaje pico-pico en muestra de 2g de sal de Rochelle o 100% de concentración en diferentes frecuencias de estímulo por golpe.

Para concretar el análisis, se realizó una gráfica promediando los máximos pico-pico de las señales de respuesta como los presentados para las frecuencias de 10Hz y 30Hz en la Figura 20 y Figura 21 para cada concentración de sal de Rochelle utilizada en los compósitos y por cada frecuencia aplicada, obteniendo comportamientos particulares en cada frecuencia, pues se esperaba que el aumento de concentración de sal y frecuencia aumentara el voltaje obtenido. En cambio, se obtuvieron valores de voltaje más altos para la frecuencia de 20Hz respecto a la de 30Hz en concentraciones de 1.4g y 1.6g, con valores un poco superiores a los 70mV y 100mV como voltajes reales respectivamente. Otro de los comportamientos inesperados ocurrió en la frecuencia de 30Hz en la concentración de 1.9g con un valor

notoriamente superior en comparación respuestas obtenidas con las demás frecuencias en dicha concentración, con un voltaje promedio pico-pico de alrededor de los 180mV como voltaje real en 30Hz.

De manera general, esta vez cumpliendo con la hipótesis que se había planteado acorde a la concentración y frecuencia, el voltaje promedio pico-pico más bajo perteneció al compuesto con la concentración y frecuencia más baja con un valor promedio de 25.5mV y de igual manera el valor promedio más alto de voltaje pico-pico, correspondiente a la concentración y frecuencia más alta fue de 273.9mV(Figura 23).

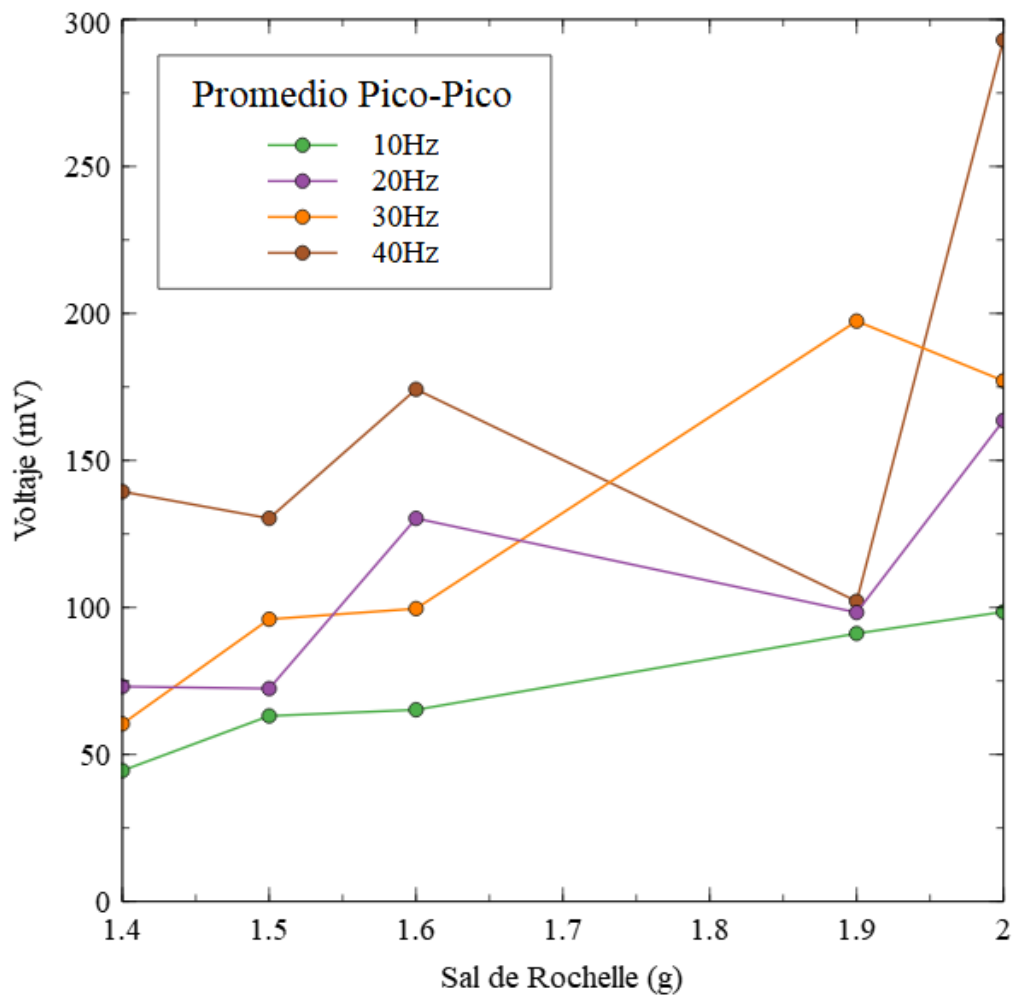


Figura 23.- Máximos promedio pico-pico a diferentes concentraciones de sal de Rochelle y frecuencias de estimulación por golpe.

Cálculos matemáticos de propiedades eléctricas del compuesto piezoeléctrico

A partir de los resultados obtenidos en nuestros ensayos y pruebas piezoeléctricas, a continuación, se muestra a detalle el proceso matemático que se realizó para conocer y determinar los parámetros más relevantes en un material piezoeléctrico (constante dieléctrica y capacitancia).

Para conocer la magnitud física que nos cuantifica la capacidad de un material para acumular carga eléctrica (la constante dieléctrica), conociendo que es un material compuesto por dos distintos materiales o compuestos, con distintos estados de agregación en su forma natural, se requiere usar el cálculo de la constante dieléctrica efectiva en materiales heterogéneos de dos fases. El término “efectiva” es únicamente para indicar la magnitud real que está exponiendo el compuesto piezoeléctrico al ser estimulado de manera física o eléctrica. El uso de la fórmula de Maxwell-Garnet para materiales heterogéneos de dos fases, permite conocer la capacitancia dieléctrica de una manera ideal o generalizada de nuestro compuesto piezoeléctrico, ya que esto dependerá del sistema cristalino en el que se encuentre el volumen del compuesto (Sihvola & Alanen, 1991).

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_0 + 3f\epsilon_0 \frac{\epsilon - \epsilon_0}{(1-f)\epsilon + (2+f)\epsilon_0} \quad (1)$$

Fórmula de Maxwell-Garnett para materiales heterogéneos de dos fases.

Donde la variable ϵ_0 se refiere a la constante dieléctrica de la sal de Rochelle en uno de sus puntos de Curie (24°C - 40°C), siendo está de 10^3 , ahora para ϵ es la constante dieléctrica del elastómero usado; el ECOFLEX, la cual es de 28. Para la variable f está se refiere a la fracción de volumen de la inclusión de la sal de Rochelle, en este caso al ser un material que se cristaliza y por ende, tiene una estructura cristalina específica; en este caso se toma siendo expuesta a un rango de temperatura dentro del punto de Curie, la cristalización es de tipo ortorrómbica, por lo que su factor de empaquetamiento es del 40% en todo el volumen, considerándola que en todo el volumen se comporta de la misma manera sin ningún defecto, deformación o cambio de temperatura abrupto.

Ahora, conociendo ya todas las variables y aplicando en (1) queda de la siguiente manera:

$$\epsilon_{eff} = 10^3 + 3(0.4)10^3 \frac{28-10^3}{(1-0.4)28+(2+0.4)10^3}$$

Siendo su constante dieléctrica efectiva de $\epsilon_{eff} = 517.4$.

Ahora bien, para la capacidad de recoger y almacenar energía en forma de carga eléctrica; la capacitancia, se aplica la misma fórmula de la capacitancia que para un circuito o componente eléctrico.

$$C = \epsilon \left(\frac{A}{d} \right) (2)$$

Donde ϵ sería la constante dieléctrica efectiva del compuesto piezoeléctrico, multiplicado por la constante dieléctrica del vacío es $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$. Para el caso de la variable “A” se refiere al área que cubre el volumen del compuesto piezoeléctrico, en este caso es rectangular por lo que su área será la multiplicación de la base y altura del compuesto, $A = 2.3 \text{ cm} \times 4.7 \text{ cm} = 10.8 \text{ cm}^2 = 0.00108 \text{ m}^2$. Finalmente, para la variable “d” es más que nada el espesor de nuestro compuesto, siendo este de $d = 1.5 \text{ mm} = 0.0015 \text{ m}$.

Sustituyendo los datos en (2) y resolviendo:

$$C = 4.57 \times 10^{-9} \frac{C^2}{Nm^2} \left(\frac{0.00108 \text{ m}^2}{0.0015 \text{ m}} \right)$$

La capacitancia para nuestro compuesto piezoeléctrico es de $C = 3.3 \text{ nF}$.

Con estos resultados obtenidos sabemos que nuestro compuesto piezoeléctrico acumula una carga eléctrica de $\epsilon_{eff} = 517.4$ y una capacidad para recoger y almacenar energía de

$C = 3.3 nF$. Por lo tanto, se puede hacer una comparativa más precisa con otros materiales cerámicos piezoeléctricos que tienen un comportamiento similar. Es importante mencionar que estos cálculos y resultados numéricos son para un caso ideal de estructura cristalina homogénea, en caso contrario, se requiere de un análisis más detallado con respecto a la orientación y el crecimiento de los cristales de la inclusión y por lo tanto, cálculos más extensos (Sareni et al., 1997).

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.

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 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 por lo 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 más 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.

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 lo 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

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.

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

Metodología para la cristalización de la sal de Rochelle

La mejor metodología para la generación de una cristalización más homogénea y uniforme fue el método en bruto, el cual con un proceso termodinámico; como fue el baño

ultrasónico, permitió sacar el aire que tuviera el compósito además de permitir una mejor distribución de los cristales a lo largo del volumen del compósito.

Compósitos de PDMS y ECOFLEX

Para el compósito con el elastómero PDMS, presentaba cierta rigidez al tacto, lo cual no era deseado para el objetivo del proyecto. En cambio, para el compósito con el elastómero ECOFLEX, presentaba cierta elasticidad y con una menor dureza al tacto comparada con el compósito del PDMS.

Caracterización óptica de compósitos

Las muestras del compósito con PDMS, se observaron una mala cristalización, no de manera uniforme y con presencia de muchos espacios vacíos en todo el volumen. Ahora bien, para el compósito con ECOFLEX se observó una mejor cristalización en comparación que con el compósito del PDMS, con una cristalización uniforme y con ninguna presencia de espacios vacíos en todo el volumen; para concentraciones mayores al 70% del volumen total. Sin embargo, las mejores muestras entorno a la uniformidad y consistencia del compósito con ECOFLEX, fue la de 2 gr, sin embargo, es necesario observar muestras con concentraciones del 85% – 95% para poder dar un mejor análisis.

Caracterización con Rayos X

Conforme al estudio XRD es posible que se presente una cristalización mayoritaria a causa de la dirección cristalina preferencial, haciendo que los picos característicos puedan variar, por lo que se necesita tener más estudios de diferentes compósitos para poder identificar la dirección preferencial para nuestra muestra.

Pruebas y ensayos mecánicos

Para los compósitos con PDMS y con PDMS puro, se observó una tendencia a la baja de la elongación conforme se aplicaba una mayor fuerza de estiramiento, dando como resultado una fractura inmediata después de exhibir un esfuerzo aproximadamente de 1.5 - 2

Newtons. Por otro lado, para los compósitos con ECOFLEX y con ECOFLEX puro, se observó una gran elongación o resistencia a la fractura, por lo que esto exhibió un mejor desempeño con respecto a las propiedades mecánicas. Con esfuerzos superiores a 4 Newtons.

Pruebas en electrodos para pruebas piezoeléctricas

En el caso de la aplicación de pintura de plata para la fabricación de los electrodos planos, la pintura antigua presentaba una menor resistencia si se aplicaban menor cantidad de capas de pintura, en cambio, para la pintura nueva esta presentaba mejor resistencia con un menor número de capas de pintura. Por lo tanto, para poder tener una mejor medición de los parámetros de las propiedades eléctricas/piezoeléctricas de nuestros compósitos, la aplicación de la nueva pintura de plata sería la óptima debido a una presencia de menor resistencia en un rango de 0.3 - 0.5 Ohms.

Pruebas y ensayos piezoeléctricos

De manera general, se confirmó que el aumento de la concentración de la sal en el compósito propiciaba a una mejor homogeneidad en el tamaño de cristal en todo el volumen provocando que la respuesta de voltaje aumentara debido a que los cristales se mantenían más compactos mejorando el comportamiento piezoeléctrico. De esta manera, el máximo de voltaje promedio pico-pico fue de 273mV aproximadamente, bajo una estimulación con frecuencia de 40Hz en la concentración más alta utilizada para las pruebas piezoeléctricas la cual fue de 2g. Por lo que se determina que este compósito fue el óptimo, pues además mantenía una buena flexibilidad y el voltaje que generaba estaba dentro de los rangos que se estimaban obtener para un cosechador de energía mecánica o vibracional. Es importante destacar que existieron algunos comportamientos particulares pues, por ejemplo, para la concentración de 1.9g la respuesta de voltaje notoriamente más alta perteneció a la frecuencia de 30Hz con 180mV, siendo una concentración ideal si se desea utilizar el compósito en una aplicación con esa frecuencia de estimulación.

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>
- Cerdeiras Montero, E. (2016). Materiales piezoeléctricos derivados del (Bi_{0,5}Na_{0,5})TiO₃-BaTiO₃: 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>
- Del real, S. (2020). *¿Qué es un osciloscopio?* <https://acmax.mx/que-es-un-osciloscopio>
- Fernandez, J. F. (1993). *Materiales cerámicos ferroelectricos y sus aplicaciones*. 12.
- Fuentes de energía no renovables*. (2015, septiembre 16). Rincón Educativo.
<https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/fuentes-de-energia-no-renovables>
- Gutiérrez Cisternas, C. A. (2016). *Sistema de monitoreo continuo de signos vitales con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos*.
<http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/1945>
- 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

- 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>
- Molykote EB-184-1.1*. (s. f.). Recuperado 11 de noviembre de 2022, de <https://www.rudolphbros.com/itemdetail/?itemCode=EB-184-1.1>
- 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. (s. f.). *Transductores eléctricos sensibles a estímulos magneto.mecánicos. ¿Qué son los elastómeros y la polimerización? – DVA*. (s. f.). Recuperado 30 de noviembre de 2022, de <https://dva.com/mx/blog-mx/que-son-los-elastomeros-y-la-polimerizacion/>
- Sareni, B., Krähenbühl, L., Beroual, A., & Brosseau, C. (1997). Effective dielectric constant of random composite materials. *Journal of Applied Physics*, 81(5), 2375-2383. <https://doi.org/10.1063/1.364276>

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=*

Sezer, N., & Koç, M. (2021). A comprehensive review on the state-of-the-art of piezoelectric energy harvesting. *Nano Energy*, 80, 105567.

<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105567>

Sihvola, A. H., & Alanen, E. (1991). Studies of mixing formulae in the complex plane.

IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 29(4), 679-687.

<https://doi.org/10.1109/36.135831>

TECSA. (2020, febrero 28). ¿Qué es un multímetro y cómo funciona? *Tecsa*.

<https://www.tecsagro.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 \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/>

Záyago-Lau, E., & Foladori, G. (2010). La nanotecnología en México: Un desarrollo

incierto. *Economía, sociedad y territorio*, 10(32), 143-178.

Anexos

Relación	Cantidad de elastómero	Sal de Rochelle	Temperatura y tiempo	Tipo de disolvente
2A:1B	4 g	-	130 °C, 3 min. (Mufla)	-
2B:1A	4 g	-	130 °C, 5 min. (Mufla)	-
3A:1B	4 g	-	130 °C, 5 min. (Mufla)	-
1A:1B	4 g	0.5 g	130 °C, 5 min. (Mufla)	alcohol isopropílico
1A:1B	4 g	0.5 g (en bruto)	30 - 80 °C 15 min. (baño ultrasónico)	-
1A:1B	4 g	0.5 g (en bruto)	50 - 80 °C 10 min. (baño ultrasónico)	-
1A:1B	4 g	0.5 g (en bruto)	80 °C 5 min. (baño ultrasónico)	-
2B:1A	4 g	1 g (en bruto)	65 a 80 °C 5 min. (baño ultrasónico)	-
3B:1A	4 g	1 g (en bruto)	65 a 80 °C 5 min.	-

			(baño ultrasónico)	
4B:1A	4 g	1 g (en bruto)	65 a 80 °C 5 minutos (baño ultrasónico)	-
4B:1A	4 g	0.75 g (en bruto)	60 a 80 °C 5 min. (baño ultrasónico)	-
1A:1B	4 g	0.75 g (en bruto)	50 a 65 °C 10 min. (baño ultrasónico)	-
3B:1A	4 g	0.75 g (en bruto)	50 a 65 °C 10 min. (baño ultrasónico)	-
3B:1A	4 g	0.5 g (en bruto)	60 °C 15 min. (baño ultrasónico)	-
3B:1A	4 g	1 g (en bruto)	60 °C 10 min. (baño ultrasónico)	-
1A:1B	2 g	0.2 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	0.3 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 minutos (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	0.4 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	0.6 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 minutos	•

			(baño ultrasónico)	
1A:1B	2 g	0.7 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	1 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	1.2 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 minutos (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	1.4 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	1.5 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	1.6 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	2 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•
1A:1B	2 g	2.5 g (en bruto)	28 - 45 °C 10 min. (baño ultrasónico)	•

Tabla 10.- Muestras realizadas con ECOFLEX durante todo el proyecto.

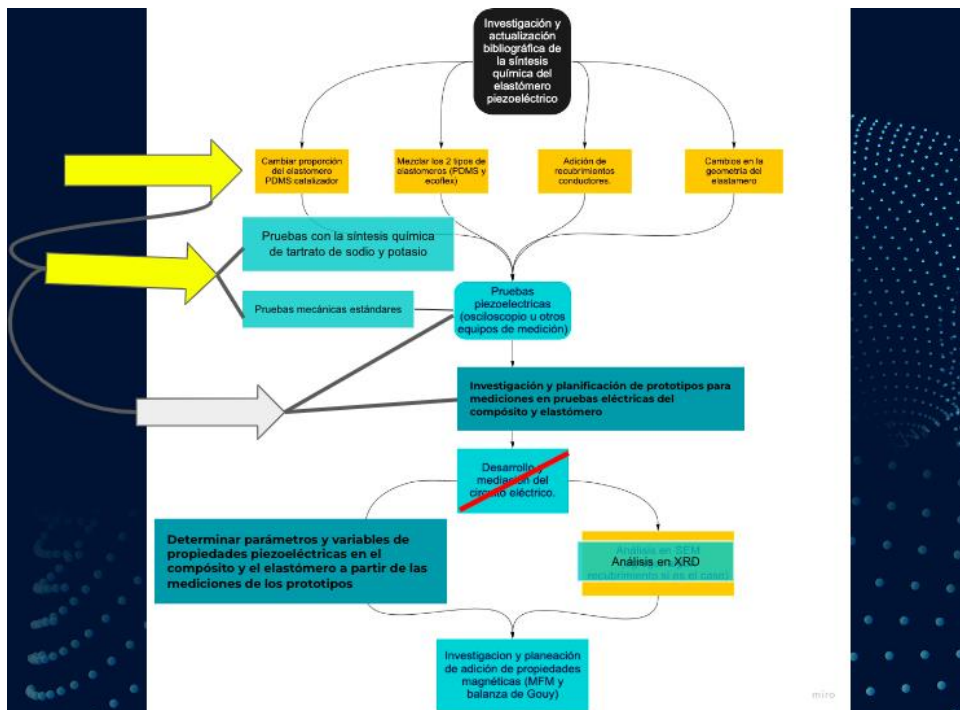


Figura 35.- Diagrama de las etapas del proyecto.

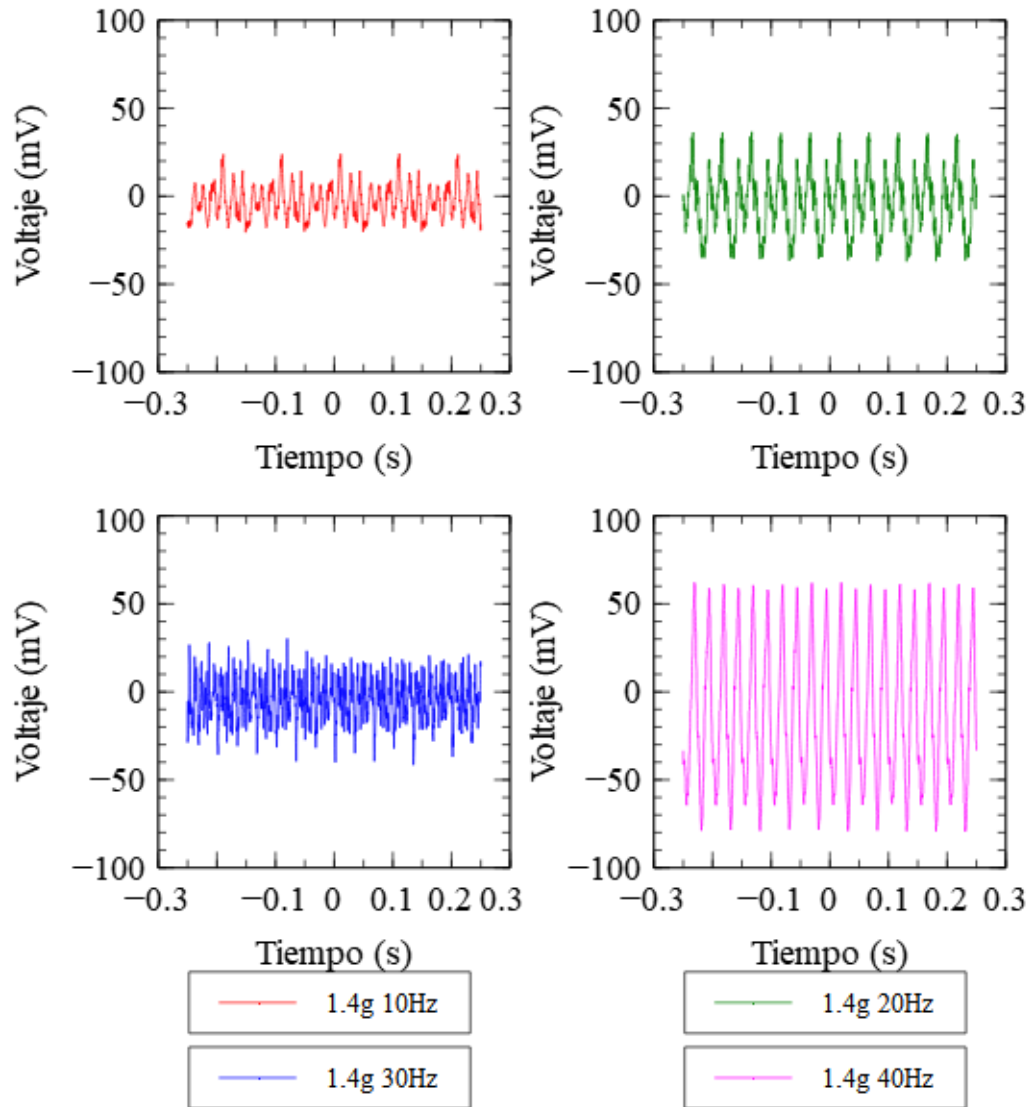


Figura 24.- Señales obtenidas de respuesta sin procesar de la muestra con 1.4g de sal de Rochelle bajo todas las frecuencias de estimulación por golpe aplicadas.

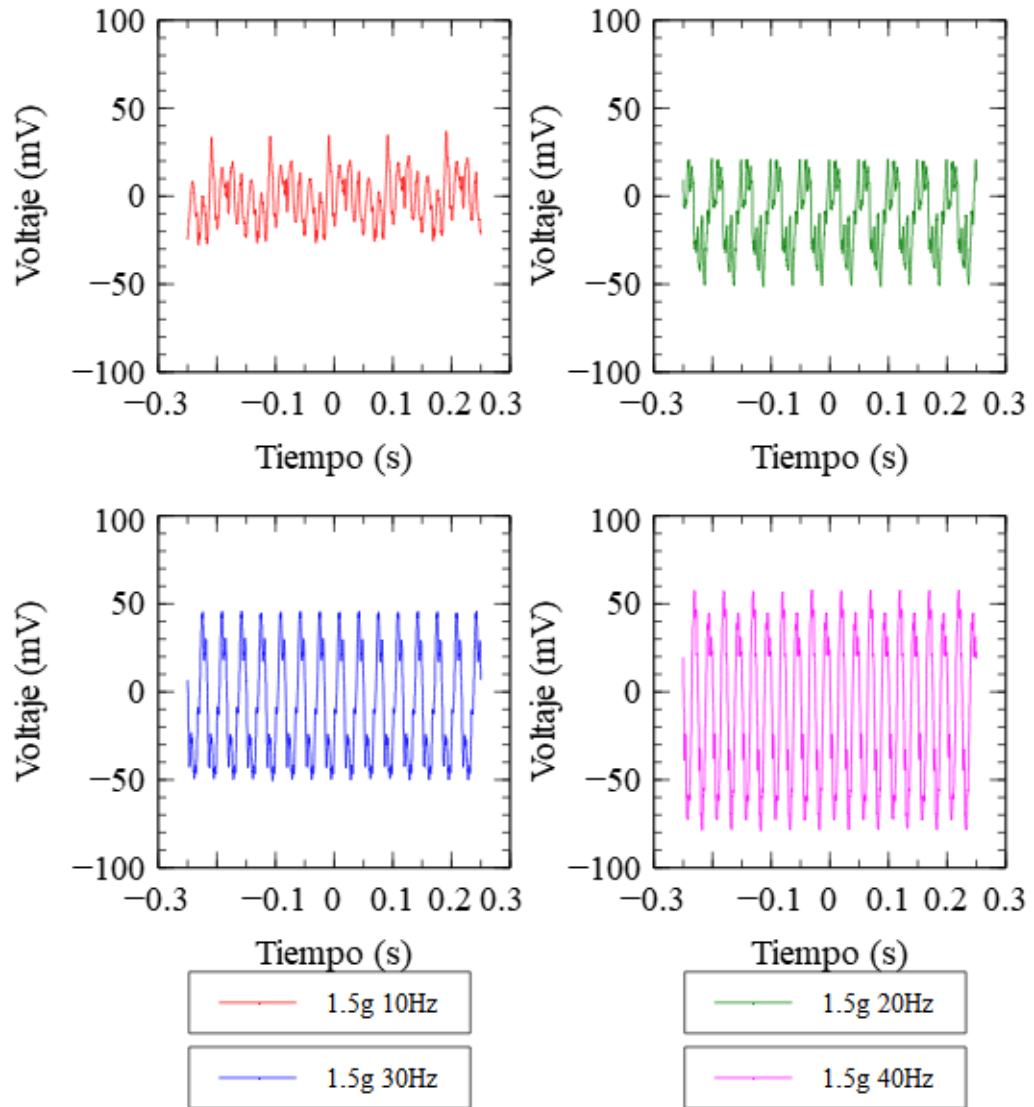


Figura 25.- Señales obtenidas de respuesta sin procesar de la muestra con 1.5g de sal de Rochelle bajo todas las frecuencias de estimulación por golpe aplicadas.

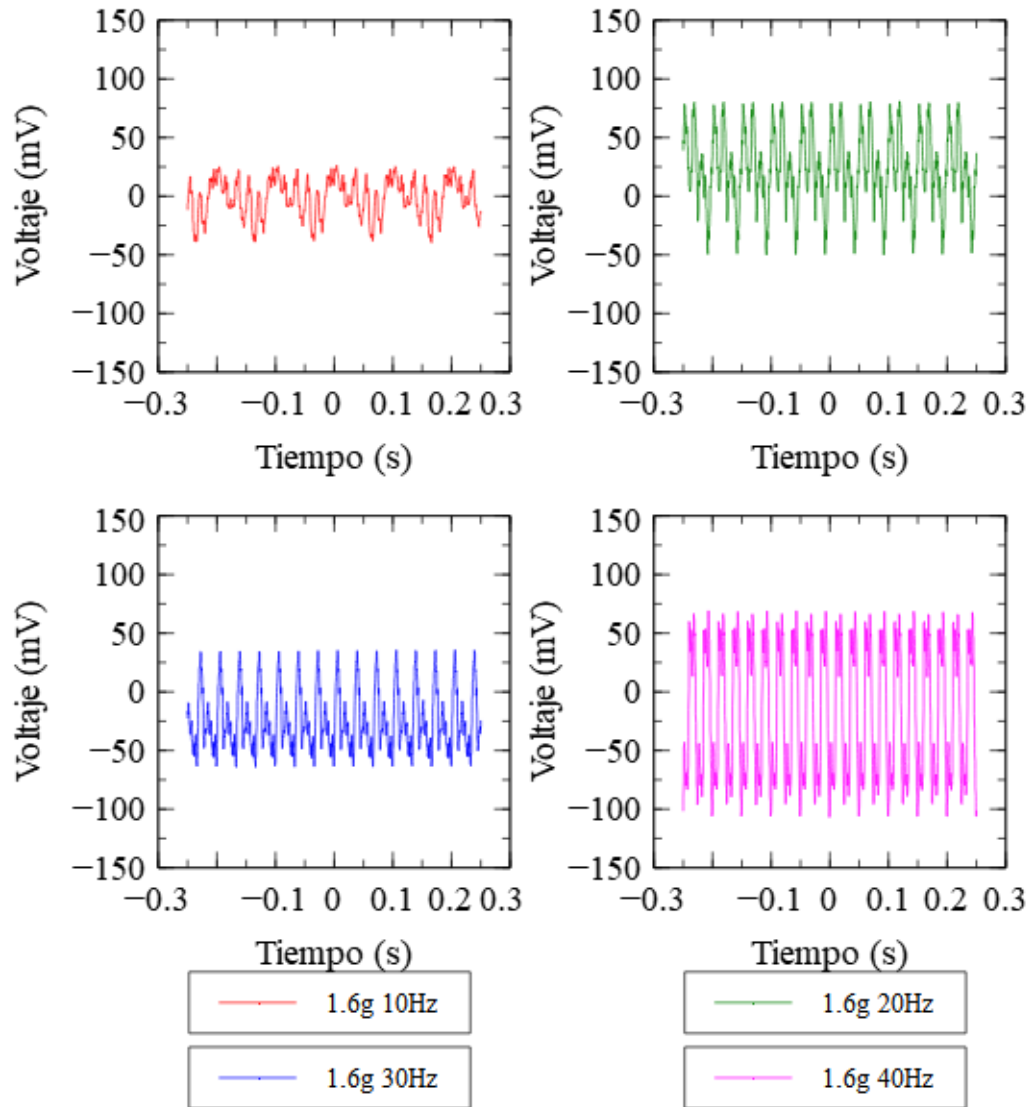


Figura 26.- Señales obtenidas de respuesta sin procesar de la muestra con 1.6g de sal de Rochelle bajo todas las frecuencias de estimulación por golpe aplicadas.

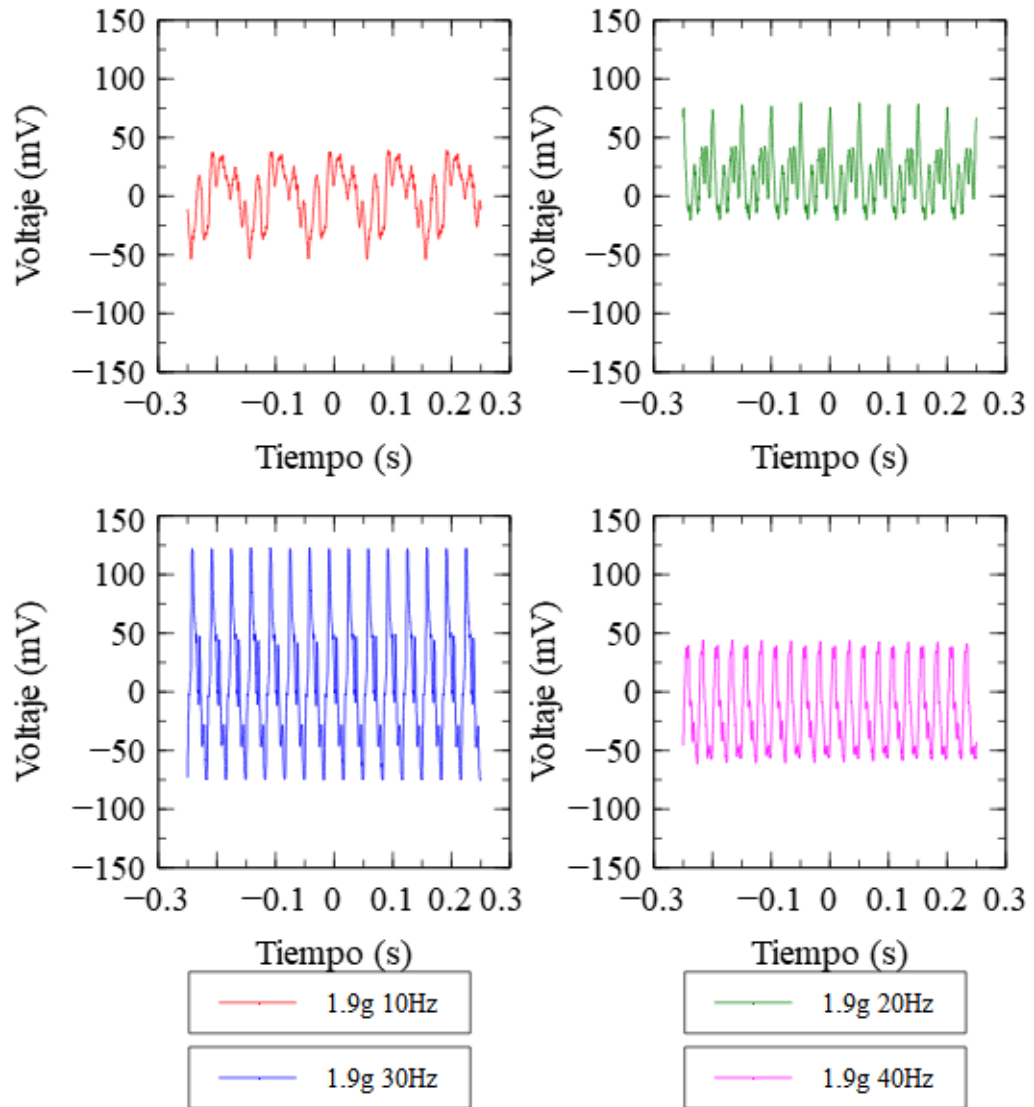


Figura 27.- Señales obtenidas de respuesta sin procesar de la muestra con 1.9g de sal de Rochelle bajo todas las frecuencias de estimulación por golpe aplicadas.

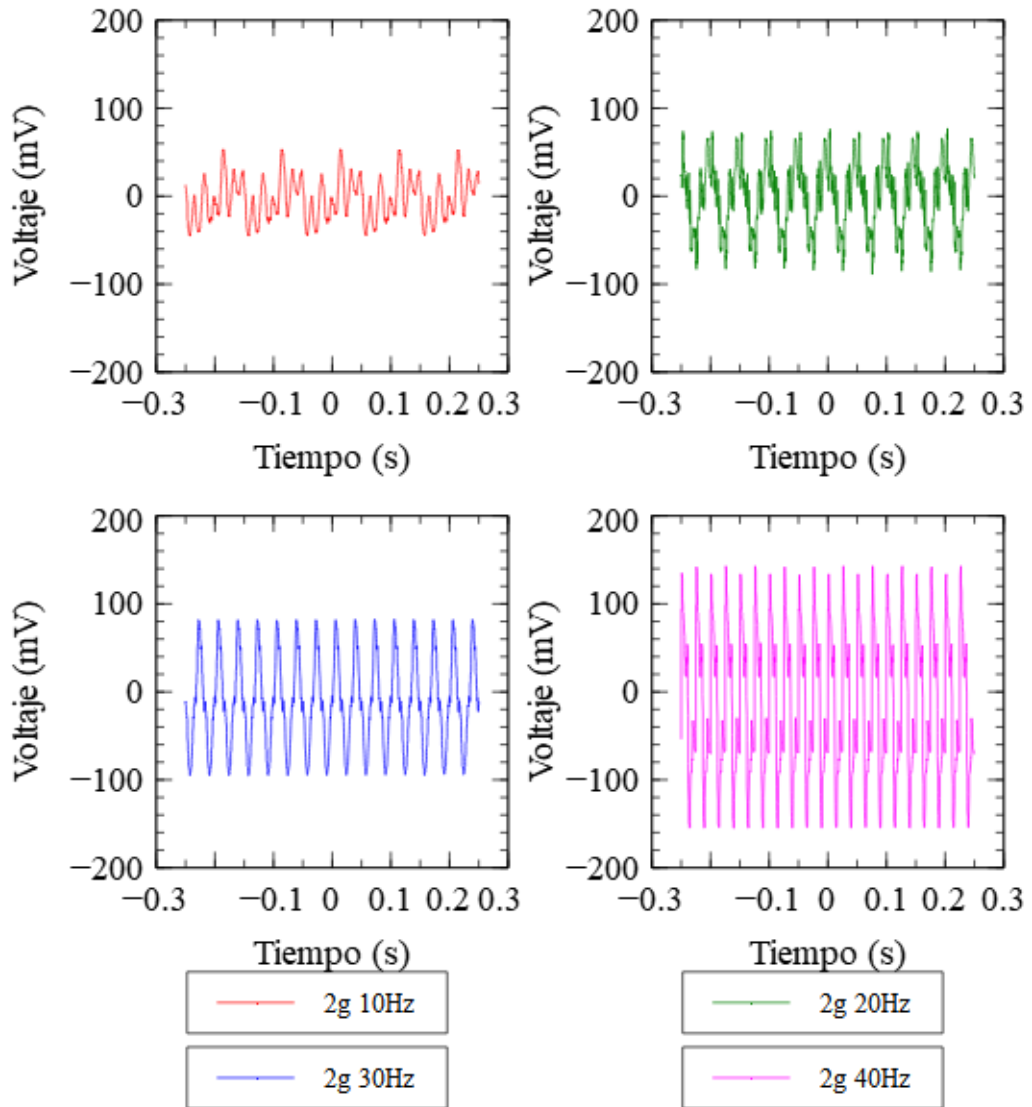


Figura 28.- Señales obtenidas de respuesta sin procesar de la muestra con 2g de sal de Rochelle bajo todas las frecuencias de estimulación por golpe aplicadas.