

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

Sustentabilidad y Tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
PROGRAMA DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN
NANOCIENCIAS Y NANOTECNOLOGÍA I



ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara

4I03B Programa de apoyo a la investigación y desarrollo en nano ciencias y
nanotecnología

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

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ing. en nanotecnología Tamara Gutiérrez Guerra

Ing. en nanotecnología Angélica Monge Curiel

Ing. en nanotecnología Isaura Rodríguez Navarro

Profesora PAP: Dra. Yenni Guadalupe Velázquez Galván

Tlaquepaque, Jalisco, 11 de mayo del 2022

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	2
1. Introducción.....	3
1.1. Objetivos.....	4
1.2. Justificación	5
1.3 Antecedentes.....	7
1.4. Contexto	9
2. Desarrollo	9
2.1. Sustento teórico y metodológico	9
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	16
3. Resultados del trabajo profesional.....	21
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto	31
5. Conclusiones	40
6. Bibliografía	41
Anexos	42

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

El presente proyecto de aplicación profesional (PAP4G03) del Programa de apoyo a la investigación y desarrollo en nano ciencias y nanotecnología se llevó a cabo por primera vez y bajo la supervisión de la Dra. Yenni Velázquez, investigadora y docente del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) para investigar, diseñar y desarrollar un material multifuncional magnetoeléctrico para la generación de un cosechador de energía magneto-mecano-eléctrico (MME) para capturar, almacenar y alimentar sistemas de manera sostenible. Se investigó el potencial del Galfenol (FeGa) como material magnetostrictivo que presenta beneficios para la transferencia de energía magnético-mecánica en ambientes de bajo campo magnético. Se realizaron pruebas de electrodeposición química de FeGa sobre láminas de Cu en diferentes arreglos de celdas electroquímicas y con diferentes recetas electrolíticas. Diferentes métodos de caracterización fueron empleados para determinar la presencia de la aleación buscada, la estequiometría propuesta, así como la topografía y morfología del depósito.

Previo a la experimentación de deposiciones de FeGa, electrodeposiciones de diferentes metales y aleaciones fueron realizadas para la familiarización con el método, así como la identificación de los parámetros modificables principales en este tipo de sistemas químicos, y su efecto en el depósito final. Posterior a la identificación de lo anterior mencionado, cinco electrolitos diferentes fueron puestos a prueba bajo distintas condiciones expuestas en este reporte.

1. Introducción

El interés en la actualidad en los cosechadores de energía ha incrementado exponencialmente, gracias a su capacidad de recolectar, almacenar y administrar toda aquella energía que se encuentra a nuestro alrededor y no es aprovechada, como la energía lumínica, eólica, térmica y, en el caso de esta investigación, se demuestra un particular interés en la energía generada por efecto piezoeléctrico (Twenergy, 2016).

Recientemente, los compuestos magnetoeléctricos (ME), que pueden convertir la energía del campo magnético en energía del campo eléctrico, demuestra eficiencia en la recolección de energía. Un compuesto ME presenta una mayor eficiencia para convertir el campo magnético de baja amplitud en energía eléctrica, especialmente en el rango de baja frecuencia. Es por eso el alto interés de este proyecto, en investigar y generar recolectores de energía MME basados en compuestos ME (Yu, Chu, Yang, Asl, & Yuan , 2020). Los generadores MME utilizan el acoplamiento magnetoeléctrico (ME) en compuestos de materiales piezoeléctricos y magnetostrictivos. Debido a que la fase piezoeléctrica en el compuesto también responde directamente a la vibración mecánica, un recolector de energía basado en ME puede aprovechar la energía de las vibraciones mecánicas y los campos magnéticos simultáneamente. El cosechador MME tiene un alto potencial como proveedor de energía ubicuo y autónomo, ya que puede recolectar energía a partir de

niveles diminutos de ruido magnético, en un entorno ambiental y convertirla en electricidad utilizable (Venkateswarlu , Haribabu , Geon-Tae , Mahesh, & Dae-Yong , 2017).

Estos materiales fabricados a partir de materiales nanoestructurados se encuentran en un área de gran desarrollo en la actualidad, ya que estos dispositivos hacen posible disponer de aparatos electrónicos autosuficientes, que utilicen la energía recolectada de su alrededor sin necesitar de ninguna otra fuente complementaria y pueden ser aprovechados en el área médica, en la generación de energías renovables y entre muchas otras aplicaciones (Twenergy, 2016).

En este proyecto se pretende reducir el uso de baterías y aumentar la innovación de estructuras de materiales para sistemas de energía autosustentable, limpias y de alta duración. Como resultado se busca la fabricación de cosechadores de energía MME que al aplicarlos en dispositivos electrónicos y de salud, mejoren y eficienten su funcionamiento como fuente autosustentable

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivos Generales

- Diseñar y desarrollar un material multifuncional magnetoeléctrico para la generación de un cosechador de energía MME para capturar, almacenar y alimentar sistemas de manera sostenible.

1.1.2 Objetivos Particulares

- Probar método de síntesis de electrodeposición química para el crecimiento de nanoestructuras de Galfenol (FeGa).
- Estudiar y relacionar los efectos del potencial aplicado, geometría y distribución de los electrodos, tiempo, densidad de corriente y pH del electrolito en un sistema electroquímico.

- Evaluar sistemas de celdas electroquímicas para deposición de metales como Ni y aleaciones como Ni-P, Ni-Fe, Fe-Ga.
- Realizar pruebas de voltametría a electrolitos para identificación de potenciales redox.
- Caracterizar composición química de depósitos mediante EDS con Microscopio Electrónico de Barrido, por sus siglas en inglés (SEM).
- Caracterizar rugosidad y espesor de depósitos metálicos mediante Microscopio de Fuerza Atómica, por sus siglas en inglés (AFM).
- Diseñar receta y sistema electroquímico para depósito de Galfenol sobre membrana, con composición Fe:80%, Ga:20%.

1.2. Justificación

Los cosechadores de energía tienen como función retener energía después de capturarla para que los dispositivos sean autónomos. En el caso de este proyecto es un cosechador de energía magneto electrónico para un sistema sostenible de detección, como lo es un biosensor.

El desarrollo de este permitirá reemplazar la fuente de energía que actualmente se utiliza, ya que las baterías comunes, en su mayoría, están compuestas de químicos tóxicos como pueden ser mercurio, litio, níquel, cadmio, manganeso, plomo; que al ser desechadas y entrar en contacto con el medio ambiente y contaminan los ecosistemas. Las baterías desechables no solo representan un riesgo para el medio ambiente sino también para la salud humana; al ser tóxicos algunos componentes de las baterías, si los humanos tienen contacto con ellos por algún medio, ya sea cuerpos de agua o cultivos, por poner algún ejemplo, pueden provocar diarrea, vómitos, daño al sistema nervioso, incluso la muerte, dependiendo la exposición a las sustancias peligrosas, algunos de ellas también son cancerígenos.

Desarrollar e implementar un cosechador de energía implica ahorrar recursos, pues se prevé un agotamiento de combustibles fósiles, fomentar la investigación para el desarrollo de energías alternativas, prevenir el daño irreversible que se ocasiona al medio ambiente la contaminación por baterías y la quema de combustibles fósiles.

La visibilidad y concientización de este problema ecológico y la búsqueda de alternativas sustentables y ecológicamente responsables, ha incitado el avance de los estudios de los fenómenos de magnetismo, electricidad y conductividad, en los cuales se ha descubierto y demostrado la utilidad de la aplicación de estas propiedades en los cosechadores de energía. Los cristales ferroeléctricos permiten una polarización eléctrica estable e intercambiable en forma de desplazamientos atómicos, mientras que los cristales ferromagnéticos exhiben una magnetización estable e intercambiable a través del fenómeno cuántico de intercambio. Existen materiales con ambas propiedades magnéticas y eléctricas llamados multiferroicos.

Por otro lado, y de la misma manera, los materiales ME laminados, resultan ser los candidatos más favorables para los sensores de campo magnético y cosechadores de energía, debido a su respuesta ME efectiva y por la generación de potencia con alto voltaje a dispositivos electrónicos (Kambale, 2013).

La magnetostricción es un fenómeno físico por el cual un material cambia de forma o dimensión a medida que se magnetiza. La magnetostricción tiene el potencial de ser una propiedad muy útil para los sensores, actuadores y transductores basados en MEMS, pero los dispositivos magnetostrictivos actualmente tienen un tamaño mesoscópico y están comercialmente restringidos a aplicaciones de sonar solo debido a las limitaciones con las propiedades del material, el costo y la capacidad de fabricación de las muestras (Kay , Hoyd-Gigg, Popov, Record, & Desmulliez, sf).

El generador MME basado en acoplamiento ME utiliza vibraciones mecánicas inducidas por la alternancia de un campo magnético. En teoría, la amplitud de la vibración mecánica del generador MME es proporcional a la intensidad del campo magnético que rodea al generador y, por lo tanto, la distribución del campo magnético dentro del generador afecta la deformación y la potencia de salida resultante del dispositivo (Venkateswarlu , Haribabu , Geon-Tae , Mahesh, & Dae-Yong , 2017).

1.3 Antecedentes

Diferentes sistemas y metodologías experimentales de MME han sido propuestas y desarrolladas en la última década, como por ejemplo, la fabricación de piezoeléctricos monocristalinos o de compuestos de microfibras (MFC), sistemas multimodales de compuestos ME para la cosecha de energía magnética y mecánica, o la implementación de galfenol texturizado en su fase magnetostrictiva para mejorar la suministración de potencia a dispositivos electrónicos (Yu, Chu, Yang, Asl, & Yuan , 2020).

En la bibliografía se menciona que recientemente se han desarrollado algunos nuevos grados de aleaciones de alfenol (Fe-Al) y galfenol (Fe-Ga) con textura fuerte. Estas aleaciones no solo mostraron buenas características de magnetostricción, sino también fuertes comportamientos anisotrópicos. Además, estos materiales magnetostrictivos podrían exhibir buena ductilidad y acoplamiento magneto mecánico, que son benéficos para la transferencia de energía magnético-mecánica en ambientes de bajo campo magnético (Venkateswarlu , Haribabu , Geon-Tae , Mahesh, & Dae-Yong , 2017). Además, las nanoestructuras de película delgada tienen valores de acoplamiento ME directo de mayor magnitud y una clara evidencia de acoplamiento ME indirecto en comparación con los materiales a granel. Por ello se utiliza la técnica de electrodeposición para generar depósitos de materiales con estas propiedades como es el Galfenol (Ortega , Kumar , Scott, & Katiyar, sf).

El Galfenol es una aleación de hierro y galio nacida de la necesidad de encontrar un material que sea mecánicamente robusto a la vez que altamente magnetostrictivo. Los estudios teóricos han demostrado que manteniendo un porcentaje de galio entre el 15% y el 35% se puede conseguir alta magnetostricción, alcanzando un máximo en el 27%, soportando tensiones de 440 MPa y logrando deformaciones cercanas al 0.25% (Lopes, 2020). Además, presenta alta resistencia a la corrosión, alta permitividad magnética, una propiedad importante para MME magnéticos de baja potencial, y la materia prima es aproximadamente 6 veces menos costosa que el Terfenol D, una aleación basada en Fe de tierras raras, lo que convierte al Galfenol en un material muy atractivo para aplicaciones basadas en MME (Kay , Hoyd-Gigg, Popov, Record, & Desmulliez, sf)

Los métodos tradicionales para producir dichos componentes magnetostrictivos implican mecanizar piezas para generar la geometría requerida. Tal proceso es difícilmente compatible para la fabricación de alto volumen de dispositivos MME y, por lo tanto, la incorporación de la funcionalidad magnetostrictiva dentro del campo de los microsistemas ha sido limitada hasta la fecha. El Terfenol D y otros materiales altamente magnetostrictivos no pueden depositarse electroquímicamente a diferencia del Galfenol, lo que lo convierte en un material muy atractivo (Kay , Hoyd-Gigg, Popov, Record, & Desmulliez, sf).

La electrodeposición de $Fe_{1-x}Ga_x$ fue demostrada por primera vez por McGary y luego refinada y caracterizada por Reddy y Estrine (Lupu, Chiriac, & Pascariu, 2008). Hasta la fecha, los parámetros de electrodeposición de $Fe_{1-x}Ga_x$ solo se han definido para superficies planas (Hein, Park, Cozzo, Flatau, & Stadler, sf). Debido a las propiedades que presenta esta aleación, varios grupos han estado trabajando en películas delgadas de FeGa, estudiando como, por ejemplo, la influencia de la tasa de evaporación de Ga, la densidad de potencia para la pulverización catódica de Fe y el efecto de la temperatura del sustrato en las películas de FeGa. Sin embargo, aún se debe de profundizar y estudiar más a fondo el comportamiento y los parámetros influyentes en la deposición de esta aleación para

garantizar los avances en las aplicaciones en tiempo real (Nivedita, Manivel, Pandian, & et al., 2018).

1.4. Contexto

Un cosechador de energía obtiene la energía de una fuente natural externa, ya sea de la luz del entorno, energía mecánica, energía térmica, solar, eólica, etc.

Hasta ahora los sistemas de captura de energía no han logrado abastecer cantidades de potencia como para lograr trabajos grandes. Sólo para sensores o algún otro dispositivo intermitente que utilice alta potencia.

El impacto ambiental de las baterías representa la explotación de recursos, desperdicio y contaminación de agua; para dar una idea del alcance perjudicial de una pila de mercurio, está puede llegar a contaminar hasta 600 mil litros de agua, las pilas de reloj hasta 2 millones de litros de agua.

Existen regulaciones en cada país para la fabricación, desecho, acopio, reciclaje de baterías, pues es un producto que se debe manejar con cuidado para garantizar la salvaguarda del medio ambiente.

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

A continuación, se presentan los sustentos teóricos utilizados durante la investigación y desarrollo experimental del proyecto PAP de desarrollo de materiales multifuncionales magnetoeléctricos para nano-dispositivos de nueva generación durante el periodo de primavera 2022.

La electroquímica es el área de la química que estudia la conversión entre la energía eléctrica y la energía química. Se les denomina procesos electroquímicos a las

semirreacciones de oxidación-reducción (redox) en donde la energía liberada por una reacción espontánea se transforma en electricidad, y este proceso se lleva a cabo en la celda electroquímica. En otras palabras, las reacciones químicas que se dan en la interface de un conductor eléctrico, llamado electrodo, el cual puede ser un metal o un semiconductor y un conductor iónico, el electrolito, pudiendo ser una disolución y en algunos casos especiales, un sólido (Bard & Faulkner, 2001). Específicamente, una reacción redox es aquella en la se presenta una transferencia de electrones entre las sustancias presentes, en la Figura 1 se muestra un ejemplo de una reacción redox.

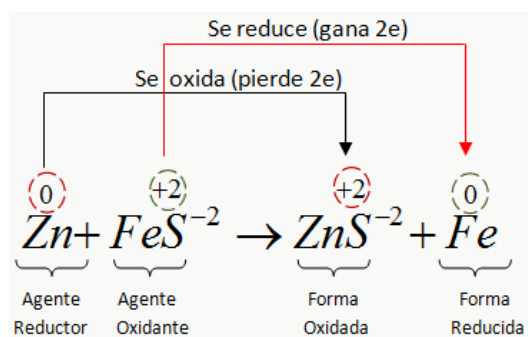


Figura 1. Ejemplo de una reacción redox.

En una celda electroquímica, como la que se muestra en la Figura 2, el ánodo es aquel en donde se lleva a cabo la oxidación, es decir, dona electrones, mientras que el cátodo recibe electrones, siendo el que se reduce. La corriente fluirá del ánodo al cátodo debido a la diferencia de potencial entre los dos electrodos. El potencial de la celda depende de la naturaleza de los electrodos y iones, así como de la concentración del electrolito y de la temperatura (Ibero, 2005).

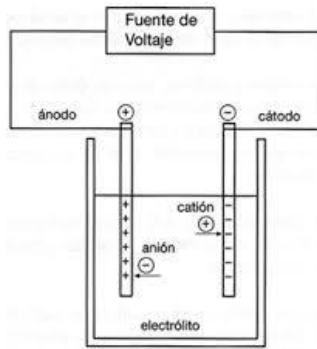


Figura 2. Celda electroquímica de dos electrodos.

De la misma manera, existen celdas electroquímicas de 3 electrodos. Estas requieren de un electrodo de trabajo (ET) donde ocurre la reacción de interés, de un electrodo de referencia (ER), el cual tiene un potencial fijo y no circula corriente a través de este durante las medidas, por lo que cualquier cambio en el potencial aplicado a la celda modifica la polarización del electrodo de trabajo. Llevando el electrodo a potenciales más negativos, se aumenta la energía de los electrones en él, alcanzando así un nivel suficientemente alto para transferirse a estados electrónicos vacantes de especies en el electrolito (Bard A. J., 2001). En ese caso, aparece un flujo de electrones desde el electrodo a la solución (corriente de reducción). Por último, el contra electrodo que es donde ocurre el proceso de deposición. De igual manera, se emplea para hacer conexión eléctrica al electrolito, para de esta manera poder aplicar una corriente al electrodo de trabajo. Los tres electrodos se encuentran sumergidos en la solución electrolítica que completa el circuito, como se muestra en el arreglo representado en la figura 3.

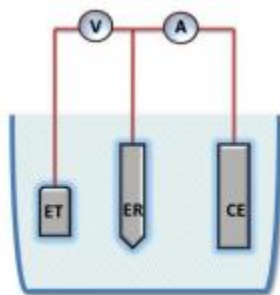


Figura 3. Celda electroquímica de tres electrodos

A continuación, se describen las técnicas utilizadas para el análisis de los electrolitos y la caracterización de las muestras obtenidas a lo largo del proyecto por el método de electrodeposición.

○ VOLTAMETRÍA

El uso de la técnica de voltametría es de gran importancia en el área de la electroquímica, en especial para reacciones redox. En esta se estudia el efecto de la variación de corriente a medida que se modifica el potencial aplicado. Esta técnica está basada en realizar un barrido de potencial al electrodo de trabajo (ánodo), se fija un valor inicial (E_o) y final (E_f) de potencial (Institute, BSG, 2020). El potencial del electrodo de trabajo aumenta linealmente en función del tiempo, de E_o a E_f para, posteriormente, invertir el sentido del barrido hasta volver al valor origen (E_o). Es importante mencionar que, el barrido se inicia en el sentido anódico, y que al alcanzar el potencial óptimo para que comience la reacción de oxidación, la corriente aumenta notablemente hasta alcanzar un valor máximo. Cuando se alcanza este valor, llamado potencial de corte anódico, el barrido de potencial es invertido y se obtiene un aumento de corriente catódica correspondiente a la reacción de reducción (Institute, BSG, 2020).

Estos ciclos de rampas en potencia pueden repetirse tantas veces como sea necesario. Como resultado, la corriente en el electrodo de trabajo se traza frente al voltaje aplicado para generar la traza del voltamograma cíclico (Hmong, 2018).

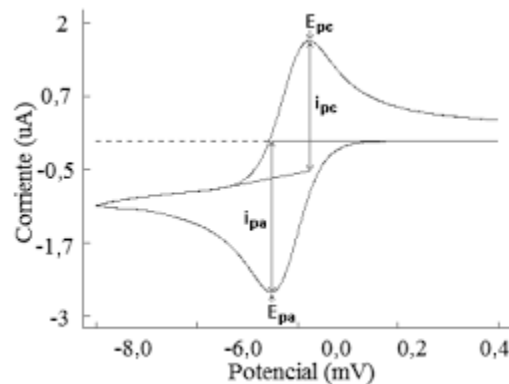


Figura 4. Voltamograma cíclico.

Dos valores importantes para el análisis del proceso de óxido reducción, son las corrientes obtenidas en los máximos, llamados corriente de pico anódico (i_{pa}) y corriente de pico catódico (i_{pc}), respectivamente. Por otro lado, también se obtienen los valores de la separación de los potenciales de pico, E_{pa} y E_{pc} , y el intervalo de potencial en el que ocurre el proceso de óxido – reducción (Centro de Investigaciones en Optica , 2007). Dichos valores se muestran en la figura 4.

○ SEM

El Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) es un instrumento utilizado para la observación y caracterización de sólidos orgánicos e inorgánicos imperceptibles en un Microscopio Óptico. Las mediciones se realizan al incidir un haz de electrones hacia la muestra en vacío, mientras que el haz es condensado por un sistema electroóptico compuesto por lentes condensadoras, lentes objetivo, una bobina de barrido y una rejilla de apertura variante hasta llegar a la muestra. Al interactuar los electrones con la muestra, diferentes respuestas

se pueden producir. Por esto, el sistema está equipado generalmente con 3 diferentes tipos de detectores:

- Detector de Electrones Secundarios (SE): para obtener imágenes de alta resolución
- Detector de Electrones Retro dispersados (BE): para obtener imágenes de composición y topografía de la superficie
- Espectrómetro de Energía Dispersiva (EDS): recolecta los Rayos X generados por la muestra para realizar análisis semicuantitativo y de distribución de elementos presentes en la muestra.

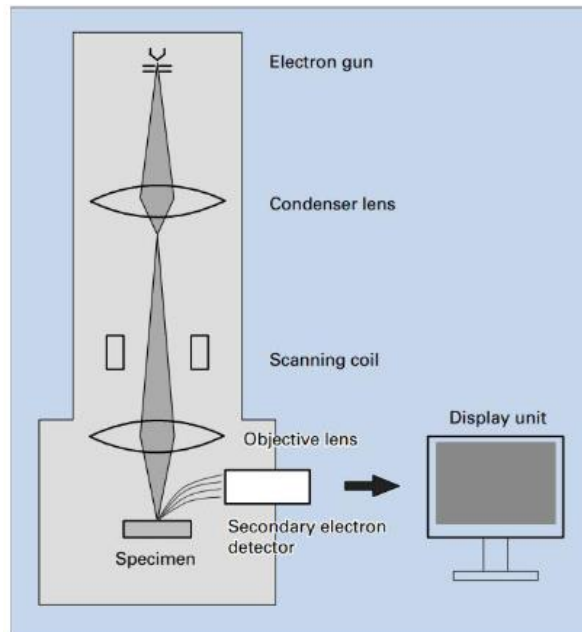


Figura 5. Sistema electroóptico del SEM.

○ AFM

El Microscopio de Fuerza Atómica es utilizado para caracterizar principalmente la rugosidad y topografía de la superficie de una muestra plana. Su principio de funcionamiento es la medición de las fuerzas de interacción (Van der Waals y electrostáticas) entre la punta de un cantiléver y la superficie de la muestra que causan una deflexión en el cantiléver y son medidas con un sensor de distancia de resolución nanométrica. El cantiléver se mueve con forma de barrido sobre un área de hasta 90 x 90 μm . Las mediciones pueden realizarse en modo contacto, no contacto o “tapping”, según la resolución u objetivo que se desee. Las

imágenes obtenidas son una representación gráfica de la fricción o potencial con coloración que simula la rugosidad y topografía de la superficie.

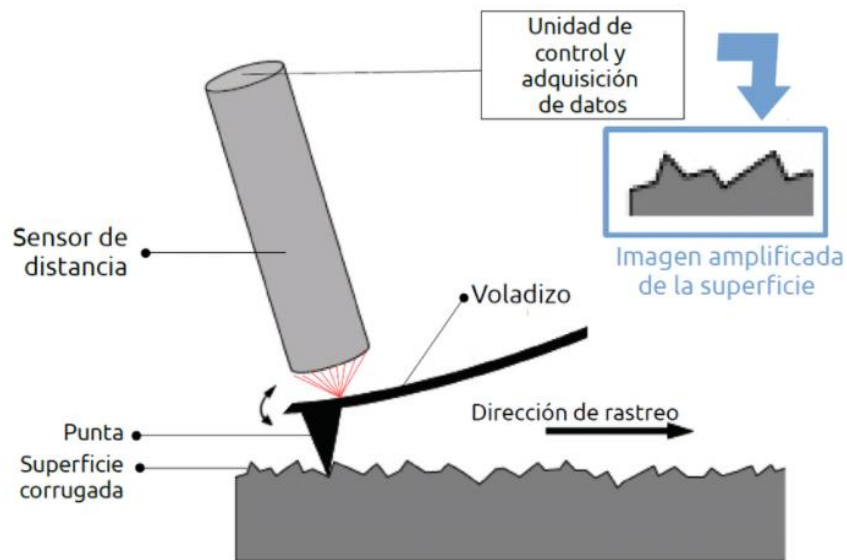


Figura 6. Componentes y principios principales del AFM.

XPS

La espectroscopia de fotoelectrones de rayos X (XPS) es una técnica cuantitativa que permite conocer la composición elemental de la superficie de un material, la fórmula empírica, y determinar los estados de enlace y el estado químico de los elementos presentes en la muestra. El XPS se utiliza con gran frecuencia para el análisis de superficie debido a la simplicidad relativa de su uso y la interpretación de datos (Mather, 2009). Se requiere de ultra alto vacío y basa su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico. Esto se refiere a que el XPS implica la detección de fotoelectrones emitidos por una muestra como resultado de incidir en ella una radiación electromagnética, es decir, fotones de rayos X de energía única. Las fuentes de rayos X más utilizadas son Mg K α (1253,6 eV con un ancho de línea \approx 0,7 eV) y Al K α (1486,6 eV con un ancho de línea \approx 0,85 eV) (Baer & Thevuthasan, 2010). Específicamente se va midiendo la energía cinética de los electrones que se emiten desde los 1 a 10 nm superiores del material que se está investigando. Los átomos de la superficie tienen picos característicos en el espectro XPS. La energía y la intensidad de estos

picos permiten la identificación y cuantificación de todos los elementos superficiales presentes, excepto el hidrógeno (Guy & Walker , 2016).

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

En esta investigación se trabajó con la parte magnética del material, por lo que se comenzó indagando en la literatura sobre voltametría, materiales magnéticos, electrodeposición química y lo necesario para empezar a experimentar, además de leer artículos de investigación sobre el método de síntesis electrodeposición química en general y específicamente de la síntesis de películas delgadas de galfenol con este método.

Antes de sintetizar la nanoestructura magneto-electrónica, primero se hicieron electrodeposiciones de un metal puro, para las cuales se escogió níquel por ser un compuesto afable para la deposición y de lenta oxidación. La deposición de la película de níquel se hizo con el objetivo de comprender, adaptarse y familiarizarse a este método de síntesis propuesto por Dra. Yenni Velázquez para depositar galfenol.

Entonces, para arrancar los primeros experimentos de electrodeposiciones de un solo metal a dos electrodos, con un electrolito como la fuente de iones metálicos que además contenían compuestos para aumentar conductividad del baño electrolítico, mejorar corrosión del ánodo, mantener el pH y prevenir oxidación del baño, se tomaron en cuenta diferentes parámetros que influyen en el proceso de electrodeposición, como la concentración del compuesto fuente de iones metálicos, voltaje aplicado, fuente de voltaje, pH, electrodos, composición del electrolito y el tiempo de deposición.

Una vez que se determinó la influencia de cada parámetro en el proceso de electrodeposición, se llevaron a cabo experimentos de electrodeposiciones de diferentes aleaciones, con la que se inició fue NiFe.

Se realizaron pruebas de voltametría con la fuente Keithley 2410 a 4 puntos para cada solución preparada para determinar los voltajes favorables de deposición, así como los picos de oxidación y reducción (Figura 4) y los potenciales en los cuales se alcanzan.

Se comenzó haciendo electrodeposiciones de un solo metal (níquel) usando dos electrodos y variando el tiempo, pH de la solución y potencia de la fuente de voltaje. Se siguió depositando aleación de NiFe igualmente a dos electrodos estudiando la electrodeposición a distintos parámetros.

Para poder seguir con deposiciones de la aleación FeGa se optaron por diferentes recetas de electrolitos, estos variaban en concentración de los elementos a depositar, la cantidad y naturaleza de los aditivos; esto para experimentar diferentes formas de deposiciones y poder definir las más propicias para la aleación del galfenol.

Algunas de las deposiciones obtenidas se caracterizaron en el SEM, obteniendo un análisis EDS para conocer la composición de los depósitos, otras se caracterizaron en el AFM para examinar la topografía, confirmar que había depósito y poder ver la uniformidad de deposición.

- Plan de trabajo

El presente proyecto se realizó en el semestre de primavera 2022, de manera presencial, en los laboratorios de síntesis química y microscopía del ITESO. Asimismo, se llevaron a cabo, de manera virtual, reuniones de equipo y asesorías

semanales con la profesora Yenni Guadalupe Velázquez. Las actividades realizadas, el tiempo invertido en cada una de las etapas y los recursos empleados se presentan en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Cronograma general de actividades

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Actividad	17 en e- 21 en e	24 en e- 28 en e	31 en e- 4 feb	7 feb -11 feb	14 feb -18 feb	21 feb -25 feb	28 feb -4 mar	7 mar -11 mar	14 mar -18 mar	21 mar -25 mar	28 mar -1 abr	4 abr -8 abr	18 abr -22 abr	25 abr -29 abr	2 may -6 may	9 may -13 may
Revisión de bibliografía	Y B	Y B	B		B	B	B	B	B							
Electrodeposición de un solo material.			EN EC F2 2	EN EC F2 2						EN EC F2 4	F2 4					
Electrodeposición de aleaciones					EN EC F2 2	EN EC F2 2		EN EC F2 2								
Electrodeposición Galfenol a 2 electrodos.								EP EC F2 2	EP EC F2 4	EP EC F2 4	F2 4 EP	F2 4 EP	F2 4 EP	F2 4 EP	EP EC F2 4	

																F2 2	
Caracterización de deposiciones				A Y	S G		S Y		S G		S Y	S Y		A Y	X ER		
Voltametría cíclica electrolitos					F2 4 EP CA	F2 4 EP CA		F2 4 EP CA			F2 4 EP CA		F2 4 CA EP	F2 4 CA EP			
Entrega 1r borrador reporte										B							
Entrega previo reporte																B	
Entregables de habilidades adquiridas																	B
Reporte final																	B Y
Presentación PAP																	B Y
<p>Recursos Humanos: Dra. Yenni Guadalupe Velázquez (Y), Téc. Guillermo González (G). Téc. Eleazar Benítez Núñez y Dr. Ramón Enrique Barajas (ER)</p>																	
<p>Recursos Materiales: Bibliografía y materiales de consulta (B), Electrodo de Ni (EN), Electrodo de Pt (EP), Electrodo de Cu (EC). Electrodo Cloruro-Plata (ClAg) (CA)</p>																	
<p>Recursos Tecnológicos: Microscopio Óptico de Barrido (S), Fuente Keithley 2400 (F24), Fuente Keithley 2200-30-5 (F22), Microscopio de Fuerza Atómica (A). Espectroscopia de fotoelectrones emitida por rayos x (X)</p>																	

- Desarrollo de propuesta de mejora

En esta sección se presenta evidencia del trabajo realizado durante las 16 semanas del proyecto de aplicación profesional. El trabajo y la experimentación fueron realizados presencialmente en los laboratorios de ITESO con los equipos de AFM de Agilent Technologies (Figura 7), SEM Jeol JSM-6010 (Figura 8), y el XPS (Figura 9).

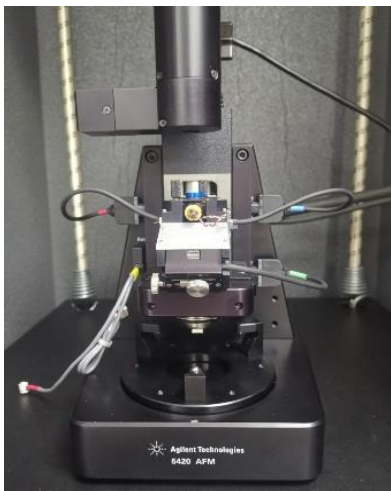


Figura 7. AFM Agilent Technologies



Figura 8. SEM Jeol JSM-6010



Figura 9. XPS de ITESO

La preparación de los electrolitos y el montaje para la celda electroquímica fue realizada en el laboratorio de síntesis química. Un vaso de precipitados fue utilizado como celda, las fuentes de poder Keithley funcionaron como potenciostato, los electrodos fueron fijados por caimanes haciendo contacto y conectados a la fuente, y los electrodos fueron sujetos en un soporte universal y acercados entre ellos con cinta, tal como se muestra en las Figuras 10 y 11.

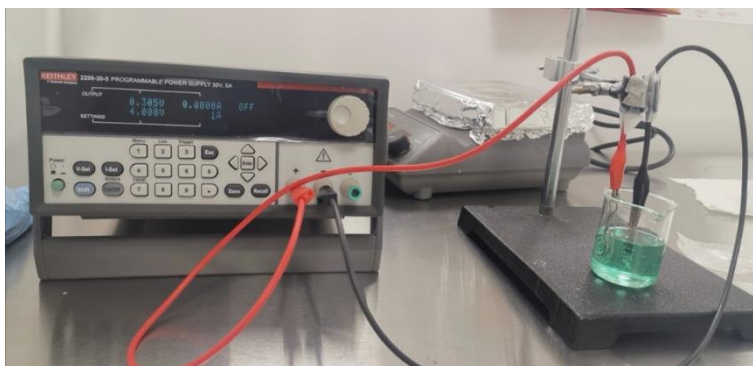


Figura 10. Montaje de celda electroquímica con fuente Keithley 2200.

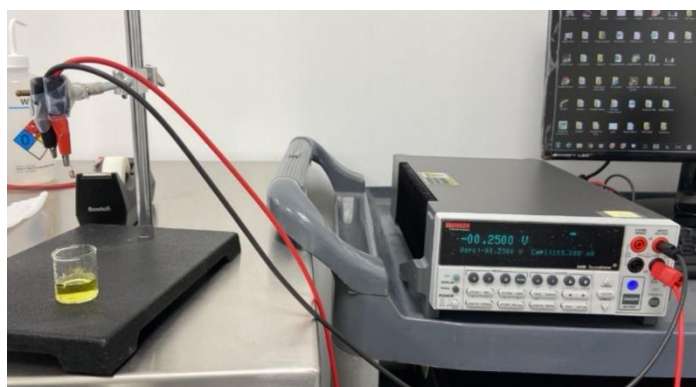


Figura 11. Montaje de celda electroquímica con fuente Keithley 2400

3. Resultados del trabajo profesional

Las concentraciones de los reactivos necesarias para la preparación de los electrolitos empleados en la experimentación de este trabajo se describen en la tabla 2. A continuación, se describe el papel de los reactivos utilizados en las diferentes recetas que se presentaron en dicha tabla.

El ácido bórico (H_3BO_3) es añadido en baños de sulfato utilizados en electrodeposiciones de metales de grupos de Fe. Durante este proceso, una parte de la corriente es consumida para formar Hidrógeno, lo cual provoca que disminuya la eficiencia de la corriente, aumente el pH y afecta la cinética de reducción en el sistema. El ácido bórico incrementa el rango de

potencial necesario sin formar hidróxido, disminuye el aumento de pH en la superficie del cátodo y mejora la apariencia de la película depositada y disminuye la fragilidad del depósito (Torabinejad, 2016).

Por otro lado, se utiliza citrato de sodio (Cit-Na) como agente complejante de los iones de Fe y Ga. La estabilidad de estos iones decrece, y al añadir citrato de Na al baño de sulfatos, el contenido de iones metálicos en el cátodo aumenta, sin embargo, la densidad de corriente decrece significativamente. Además, resultados indican aumento de pH en la superficie del cátodo, y es en este momento que el citrato se descompone para provisionar suficientes portones y mantener una buena eficiencia catódica. Cuando no se quiere formación de hidróxido, la cantidad de Ga y/o Fe en el depósito disminuye y se quedan los iones Fe^{2+} y Ga^{3+} en la disolución. El efecto complejante de los iones de citrato cambia el potencial de reducción de la aleación de Fe-Ga al potencial más negativo e incrementa la corriente de difusión (Torabinejad, 2016).

Asimismo, el ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) previene la oxidación de los iones de Fe^{2+} , Fe^{3+} y Ga^{3+} durante el proceso de electrodeposición, es decir, inhibe la producción de hidróxidos (Torabinejad, 2016).

Tabla 2. Electrolitos utilizados; condiciones y concentraciones empleadas.

Electrolito	Electrodeposición	Concentraciones	PH	Observaciones
N1	Electrodeposición de Ni	1 M $NiSO_4$	4.1	Se deposita correctamente a un voltaje de 1 V por tiempos cortos de 6 minutos.
		0.5 M H_3BO_3		
N2	Electrodeposición de Ni	1 M $NiSO_4$	6	Se deposita correctamente a altos voltajes (3 V) por 48 segundos.
		0.5 M H_3BO_3		
NP	Electrodeposición de NiP	0.5 M H_3BO_3	2.64	No se logró un depósito uniforme a potenciales de 2 V a 4 V. Aunque a 2 V se confirmó, por EDS, la presencia de Níquel y Fosforo.
		1 M $NiSO_4$		
		15.5 mL H_3PO_4		

NF	Electrodeposición NiFe	20 mM FeSO ₄	4.03	Se logro un depósito de 70% Ni y 30% Fe a un potencial de 1.5 V con tiempo de deposición de 10 minutos.
		0.5 M NiSO ₄		
		0.5 M H ₃ BO ₃		
G1	Electrodeposición de Galfenol	0.065 M Cit-Na	3-4 Aprox.	Se observaron depósitos a 1.5 V con tiempos de deposición de 5, 13 y 15 minutos. Sin embargo, con EDS, no se confirmó la presencia de Ga ni Fe.
		0.5 M NaSO ₄		
		0.015 M FeSO ₄		
		0.038 M Ga ₂ (SO ₄) ₃		
G2	Electrodeposición de Galfenol	0.04 M FeSO ₄	2.35	Se obtuvo un depósito a 1.5 V por 15 minutos, 1 V por 35 minutos, -0.5 V por 30 minutos y -0.8 V por 20 minutos. Pero al igual que la solución G1, no hubo presencia de Ga ni de Fe.
		0.05 M Ga ₂ (SO ₄) ₃		
		0.1 M Cit- Na		
G3	Electrodeposición de Galfenol	15 mM FeSO ₄	3 – 4 Aprox.	Resultado una deposición bajo las condiciones de -1 V por 25 minutos. No obstante, el análisis EDS no mostro la presencia de los materiales interés.
		17.5 mM Ga ₂ (SO ₄) ₃		
		35 mM Cit- Na		
G4	Electrodeposición de Galfenol	0.06 M Ga ₂ (SO ₄) ₃	Desconocido	Se realizó una deposición a pulsos de voltajes de -2. 1 V y -0.9 V durante 15 minutos. Se observo textura en la deposición y se confirmó la presencia de Fe en la zona de mayor coloración.
		0.03 M FeSO ₄		
		0.5 M H ₃ BO ₃		
		0.15 M Cit-Na		
		0.04 M C ₆ H ₈ O ₆		
G5		0.06 M Ga ₂ (SO ₄) ₃	Desconocido	

	Electrodeposición de Galfenol	0.006 M FeSO_4		En este caso, se llevó a cabo deposición a pulsos de voltajes de -2.1 V y -0.9 V durante 25 minutos. Como era de esperarse, al haber disminuido la concentración de FeSO_4 , no hubo presencia ni de Fe. De igual manera, no se pudo confirmar la presencia de Ga.
		0.5 M H_3BO_3		
		0.15 M Cit-Na		
		0.04 M $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$		
C2	Electrodeposición de Galfenol	0.04 M FeSO_4	Desconocido	En este caso, el depósito se llevó a cabo bajo las condiciones de -0.25 V durante 1 hora. En el análisis topográfico se confirmó depósito sobre la lámina de Cu.
		0.05 M $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$		
		0.1 M Cit-Na		

Antes de realizar las electrodeposiciones con los diferentes electrolitos, se realizó voltametría cíclica del electrolito de N1, NP, NF, G1, G2, G4 y C2. De la figura 7 a la 13 se muestran los voltamogramas obtenidos en cada una de las pruebas. Esto para conocer los potenciales en los que se oxida y reduce cada una de las soluciones, y así obtener mejores resultados en la electrodeposición correspondiente.

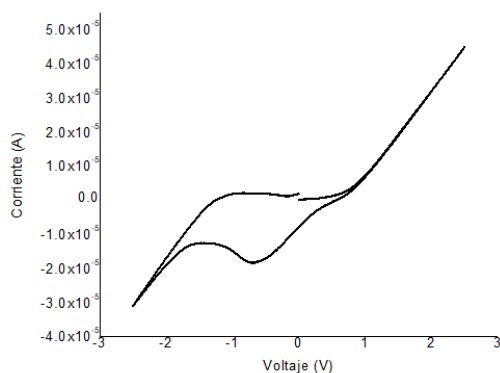


Figura 12. Voltamograma solución N1.

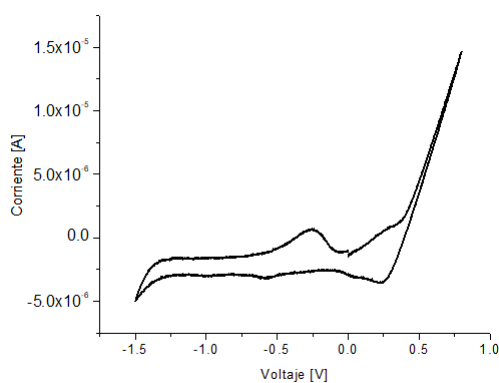


Figura 13. Voltamograma solución NP

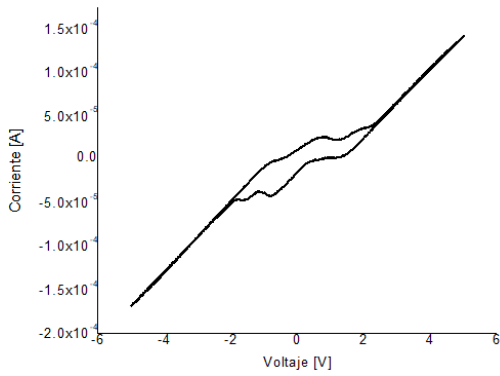


Figura 14. Voltamograma solución NF.

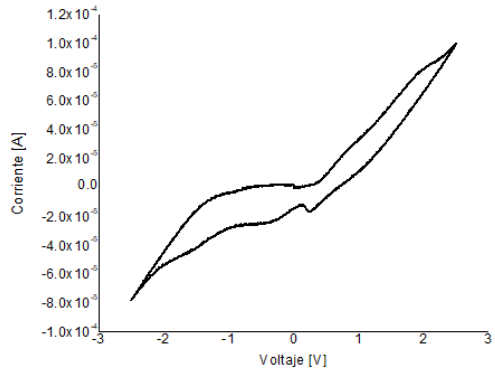


Figura 15. Voltamograma solución G1

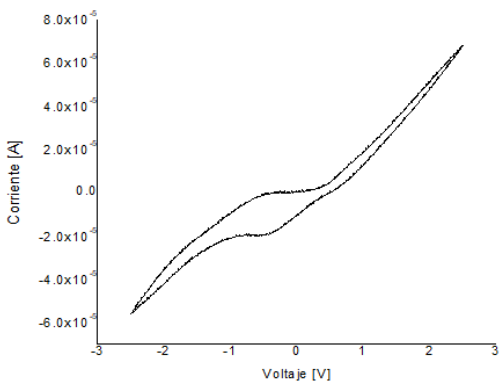


Figura 16. Voltamograma solución G2.

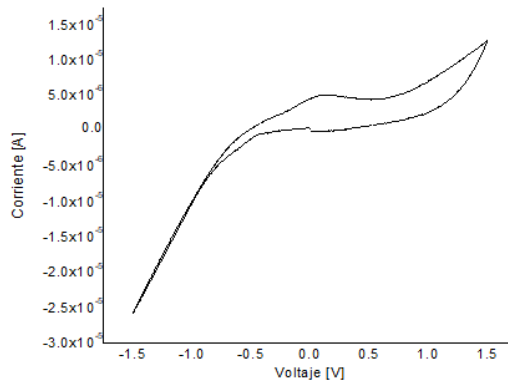


Figura 17. Voltamograma solución G4.

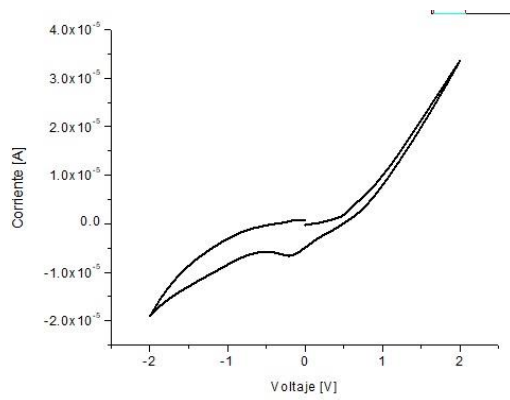


Figura 18. Voltamograma solución C2.

De los voltamogramas de los diferentes electrolitos se pudo inducir un rango aproximados en los que se espera se deposite el material u aleación, según sea el caso. En la tabla 3, se presentan los valores de los picos de reducción y oxidación de los electrolitos. Es importante mencionar que, en algunas ocasiones, como el caso del electrolito NP, se obtienen dos picos, esto se debe a que se trata de una aleación y se tienen dos elementos participantes.

Tabla 3. Potenciales de reducción y oxidación de los diferentes electrolitos.


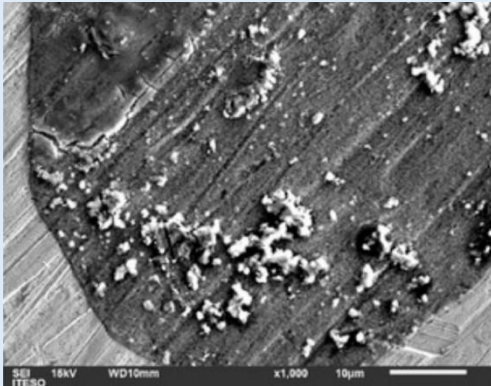

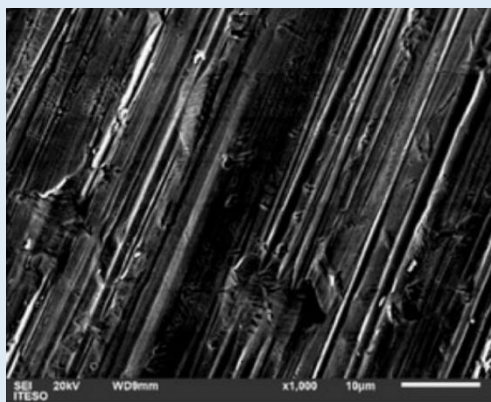
Electrolito	Pico de reducción [V]	Pico de oxidación [V]
N1	-0.7 V.	-1 V.
NP	0.25 V, -0.6 V	-0.25 V
NF	-1.5 V, -0.8 V	0.7 V
G1	0.25 V, -0.4 V	-1 V
G2	-0.45 V	-0.5 V
G4	-	-0.1 V
C2	-0.25 V	-

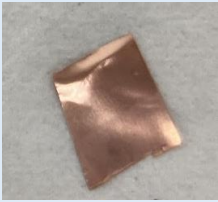
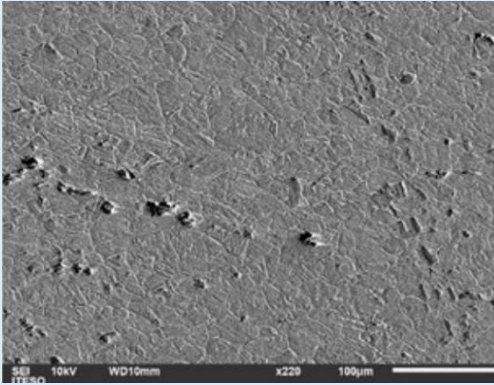

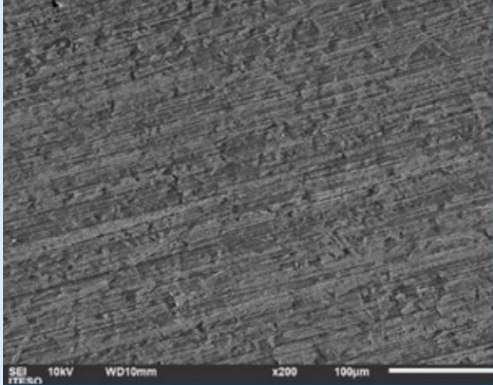
Posterior a las pruebas de voltametría cíclica se procedió a llevar a cabo las electrodeposiciones variando los parámetros del tiempo, distancia entre electrodos y potencial. En las figuras 34 y 35, en la sección de anexos, se muestran las deposiciones con el electrolito N1 y N2.

En la Tabla 4 se presentan los resultados más contundentes para las muestras en cuya caracterización se utilizó el SEM para conocer la morfología y composición. Se concluyó que bajo los parámetros utilizados se logró depositar Ni lo, NiP y NiFe. Por otro lado, en el caso del Galfenol, en los análisis EDS, no se demostró la presencia del Ga ni del Fe, con excepción

del caso de la receta G4, en la que se encontró una pequeña cantidad de hierro en el área más oscura del depósito.

Tabla 4. Resultados contundentes de la caracterización en el SEM de las diferentes muestras.

Electrolito	Imagen depósito	Micrografía	Composición de la muestra
NP	 <p data-bbox="397 997 597 1050"><i>Figura 19. Depósito a 2 V por 6 min.</i></p>	 <p data-bbox="771 1008 1079 1039"><i>Figura 20. Micrografía a x1000</i></p>	Cobre: 56.48
			Oxígeno: 18.98
			Carbono: 10.15
			Níquel: 5.92
			Fósforo: 4.47
NF	 <p data-bbox="381 1585 649 1638"><i>Figura 21. Depósito a 1.5 V por 10 min.</i></p>	 <p data-bbox="771 1722 1079 1753"><i>Figura 22. Micrografía a x1000.</i></p>	Cobre: 66.86
			Carbono: 16.57
			Níquel: 7.41
			Aluminio: 4.87
			Hierro: 2.92

G1	 <p><i>Figura 23. Depósito a 1.5 V por 15 min.</i></p>	 <p><i>Figura 24. Micrografía a x200.</i></p>	Cobre: 95.23
			Carbono: 3.38
			Renio: 1.39
G2	 <p><i>Figura 25. Depósito a 1.5 V por 15 min.</i></p>	 <p><i>Figura 26. Micrografía a x220.</i></p>	Cobre: 96.18
			Carbono: 3.82
G3			Cobre: 84.39
			Carbono: 12.58

	 <p data-bbox="381 579 651 636"><i>Figura 27. Depósito por 25 min a -1 V.</i></p>	 <p data-bbox="773 709 1073 741"><i>Figura 28. Micrografía a x200</i></p>	<p data-bbox="1195 468 1357 499">Aluminio: 3.04</p>
<p data-bbox="280 1094 313 1125">G4</p>	 <p data-bbox="394 1157 638 1234"><i>Figura 29. Depósito a pulsos de -2.1 V a -0.9 V por 15 min.</i></p>	 <p data-bbox="773 1171 1073 1203"><i>Figura 30. Micrografía a x500.</i></p>	<p data-bbox="1195 842 1357 873">Carbono:48.09</p> <p data-bbox="1195 968 1357 999">Aluminio:23.39</p> <p data-bbox="1195 1094 1357 1125">Oxigeno:14.65</p> <p data-bbox="1195 1220 1325 1251">Cobre: 6.18</p> <p data-bbox="1195 1346 1325 1377">Hierro: 3.78</p>
<p data-bbox="280 1619 313 1650">G5</p>	 <p data-bbox="394 1717 638 1795"><i>Figura 31. Depósito a pulsos de -2.1 V a -0.9 V por 25 min.</i></p>		<p data-bbox="1195 1482 1341 1514">Cobre: 98.68</p> <p data-bbox="1195 1619 1325 1650">Renio: 0.49</p> <p data-bbox="1195 1755 1357 1787">Aluminio: 0.48</p>

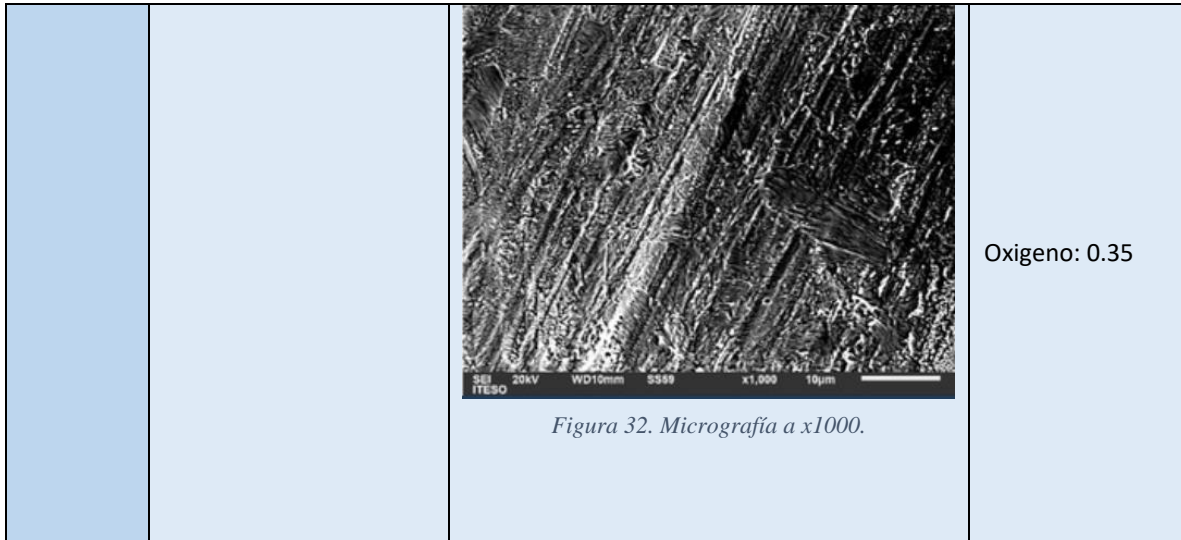


Figura 32. Micrografía a x1000.

En el caso específico de las deposiciones realizadas con el electrolito C2 se practicó un análisis topográfico en el AFM. Se pudo notar una importante diferencia entre la imagen “a” y “b” que se muestran en la figura 33, en la “b” se observó textura, mientras que en la “a” es totalmente plana. Dicho en otras palabras, en la imagen “a” se ven las líneas bien definidas del cobre de la lámina y una topografía plana. Mientras que en la “b” la superficie es rugosa, con mayor relieve en comparación, y con cambio de coloración, lo cual nos indica la presencia de un depósito.

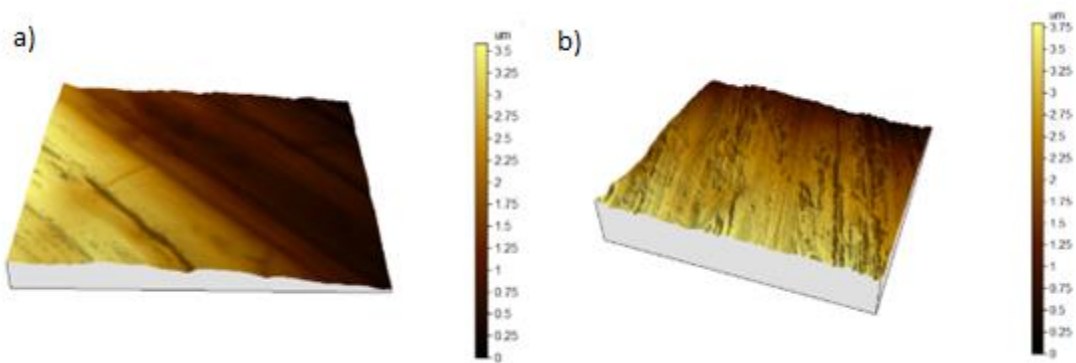


Figura 33. Topografía obtenida con el AFM de: a) Electrodeposición a 1 V durante 1 hora y 45 minutos, b) Electrodeposición a -0.25 V durante 2 horas.

Posterior a este análisis, se llevó la muestra al XPS para corroborar si había o no presencia de Ga y Fe (figura 36). Con el análisis de composición de la muestra no se comprobó la presencia del Ga ni del Fe. No se adjuntan los datos obtenidos ya que no son concluyentes.

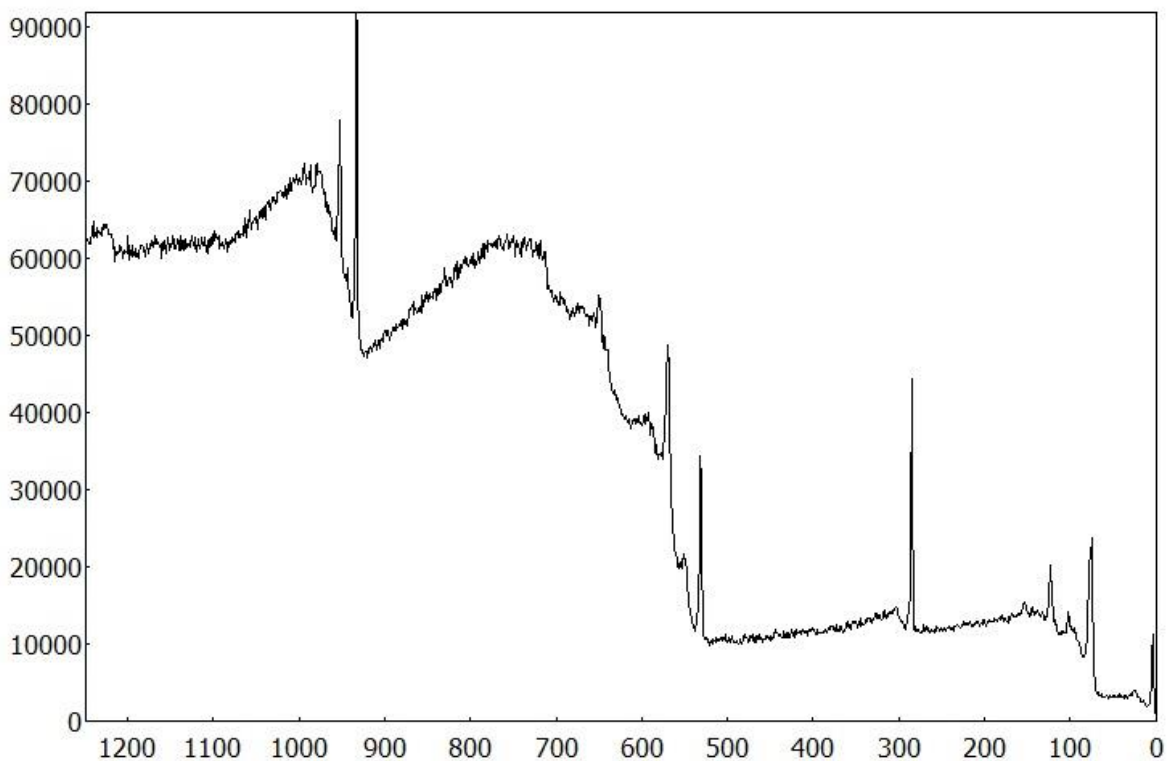


Figura 34. Survey de muestra de deposición G4.

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

- Aprendizajes profesionales
 - Angélica Monge Curiel

A lo largo de este proyecto de aplicación personal puse en práctica conocimientos experimentales sobre química, específicamente en electroquímica. Además, enfocado en la carrera de Ingeniería en Nanotecnología, los métodos de caracterización resultan de mucha utilidad, pues logran identificar de manera muy puntual y específica las propiedades de un material. Las espectroscopias utilizadas, de fuerza atómica y de electrones retro dispersados, fueron puestas en práctica, retomando así los principios básicos del

funcionamiento de los equipos, de la preparación de las muestras y de la interpretación de resultados.

Durante el proyecto, se realizamos el acercamiento al departamento de Química para la petición de préstamo de recursos químicos, como lo fue el electrodo de alambre de Pt. De la misma manera, se recibió una asesoría con el coordinador de carrera de Ing. Química para la explicación de la distribución de cargas en una celda electrolítica. Aunque pequeña, pero de gran utilidad, la colaboración con este departamento demuestra la interrelación de las asignaturas y las carreras y me hizo entender y valorar el trabajo en equipo interdisciplinar.

Fue de mucho interés y un reto grande este acercamiento a la investigación científica, especialmente en una primera etapa de proyecto en la cual se requiere mucha organización y planeación, así como búsquedas bibliográficas y de asesoramiento con expertos en el tema. Adicionalmente, el realizar un reporte científico como el presente me fue de mucha utilidad pues requirió estructuración, planeación, trabajo en equipo, búsqueda de información, organización de tiempos, y principalmente desarrolló mi comunicación escrita.

- Isaura Rodríguez Navarro

De las competencias genéricas que desarrollé fue la iniciativa, la autonomía, el pensamiento crítico, expresar ideas y conceptos escritos, ordenar información con relación entre sí y el estructurar ideas.

El redactar el reporte PAP me aporta a las competencias profesionales de investigación, la documentación de procesos y el liderazgo de proyectos. También el leer y estudiar diferentes fuentes para poder diseñar experimentos y plantear diferentes hipótesis y posibles situaciones para hacer nuestras electrodeposiciones y caracterizaciones, para sacar mis propias conclusiones.

Con el trabajo colaborativo desarrollé competencias de comunicación, resolver conflictos en conjunto, la escucha a mis compañeras y a la asesora PAP, habilidades de negociación, el confiar en los demás para poder cumplir con los objetivos planteados en conjunto.

Los saberes que puse a prueba fueron la comprensión de los conceptos básicos de química, física, nanotecnología, nanociencia y electroquímica que sirven y son indispensables para entender fenómenos que ocurrían en las electrodeposiciones y en especial a nivel nano, en los materiales nanoestructurados y entre ellos mismos. Tener esas ideas claras, de como por ejemplo qué es un electrón y su comportamiento, para poder explicarlo y procesarlo de una manera inteligible.

Para mi proyecto de vida profesional aprendí que siempre debo analizar la calidad de mi trabajo. A primero estructurar mi mente para poder avanzar con los objetivos del proyecto. Seguir manejando de manera constructiva las sugerencias y enseñanzas de los demás. Ser reflexiva y abierta con mis aportaciones.

Tomar decisiones de mejora para cualquier proyecto que haga, tener ese criterio para que cuando cualquier problema o contratiempo que surja ser rápida, ver más allá del problema y proponer soluciones o alternativas.

- Tamara Gutiérrez Guerra.

Para el proyecto PAP de Apoyo a la Investigación y Desarrollo en nanociencia y nanotecnología recordé aprendizajes de química general para llevar a cabo la preparación de electrolitos, montaje de celdas electroquímicas de manera que efficienten el procedimiento, comprensión de funcionamiento de reacciones redox y entender el método de electrodeposiciones. De igual manera, reforcé y profundicé las técnicas de caracterización como es el SEM, AFM Y XPS. Así como el análisis de datos obtenidos en cada uno de ellos.

Con ayuda de maestros, como la Dra. Yenni Velázquez, y el coordinador de la carrera de Ingeniería química el Dr. Fernando Hernández, tuvimos la oportunidad de revisar y comprender de la distribución de cargas que sucede a lo largo del proceso electroquímico y de propiedades magnéticas, como la magnetostricción y los materiales ferromagnéticos, que facilitaban la comprensión de un cosechador de energía MME, el cual es el resultado que se busca obtener con este proyecto. Además, gracias a que pude formar parte de este proyecto tuve la oportunidad de tener mi primer acercamiento real con lo que es la investigación en el campo de la Nanotecnología, lo cual no solo aporta a mis conocimientos y herramientas profesionales, sino que, clarifica mi camino de hacia dónde me gustaría dirigir mi proyecto personal y profesional.

- Aprendizajes sociales
 - Angélica Monge Curiel

La investigación del contexto social es clave para el desarrollo de un producto. El conocer e identificar las problemáticas sociales es el primer paso para idear un proyecto de mejora social. Esta fase inicial de proyecto nos ayudó a reestructurar hábitos de organización y disciplina, tanto personales como en equipo. El ponernos metas semanales incitó a un trabajo más organizado sin perder de vista el objetivo final.

Como primera fase de investigación, no se logró evidenciar aún un impacto ni social ni tecnológico, sin embargo, se propició la imaginación y la planeación de una segunda fase de proyecto para que eventualmente se logró el objetivo principal.

Fue de mi agrado contribuir y tener este acercamiento a las nuevas fuentes de energía del futuro, pues el aprovechamiento de la energía motriz es actualmente casi nulo, y este experimento fue realizado en base a antecedentes muy poco estudiados y con resultados generalmente difíciles de conseguir. El ayudar al medio ambiente y sobre todo, a la sociedad

a acercarse a una fuente asequible y accesible de energía me motiva a seguir estudiando y profundizando en temas de cosechadores de energía.

- Isaura Rodríguez Navarro

Este tipo de proyectos de investigación científica es una iniciativa para abrir las puertas de la ciencia e información, pues la realidad actual, que limita la innovación, descubrimiento o desarrollo de investigaciones y aplicaciones a la comunidad científica dejando de lado a los estudiantes o cualquier persona fuera del ámbito científico.

Ahora soy capaz de preparar un proyecto, aprendí que debo delimitar lo que voy a trabajar, en el caso de este proyecto los objetivos específicos. Es necesario tener bien claros los objetivos específicos, no sólo el objetivo general del producto final que se busca con el proyecto y al estar en fase inicial este proyecto, lo considero aún más importante.

Este proyecto considero me sirvió mucho para desarrollar y seguir trabajando técnicas de organización de tiempo y actividades y estructurar información. No solo debíamos continuar con el trabajo, seguir estudiando los temas involucrados en las experimentaciones y caracterizaciones, sino también ir enlazando todos estos, regresar a información pasada para revisar y corroborar que todo fuera siguiendo el mismo hilo, cumpliendo objetivos, con mente abierta y despejada para solucionar problemas, proponer mejoras en las experimentaciones o complementado con la investigación de diferentes artículos de investigación.

Con mi investigación para el reporte me di cuenta de que la información sigue siendo escasa, la oportunidad de aprender del mundo es limitada.

Siempre ha sido una inquietud mía el compartir mis conocimientos y habilidades a otros para acercarlos a la ciencia.

Debo de estar lo mejor preparados en cuestión de teoría y práctica para saber responder y accionar en cualquier situación que se nos presente. Volviendo a la nanotecnología, y será repetitiva, es algo que a simple vista puede parecer insignificante y para otro parecer nada, pero los que realmente saben no se pueden engañar a sí mismos (aunque sí a otros), por lo que se debe actuar responsablemente y con bases científicas con respecto a los residuos de la fabricación de nano materiales.

Tengo presente el poner los intereses de la profesión por encima de los personales, pues si es al revés, los daños a la sociedad, los ecosistemas y salud humana son inminentes.

- Tamara Gutiérrez Guerra

El acercamiento a la problemática que prende de solucionar este proyecto me hizo caer en cuenta de que en la actualidad esta es un área de oportunidad, pero sobre todo que merece la agencias y apoyo necesario para poderse desarrollar. Actualmente, nos encontramos inmersos en una crisis social, económica y ecológica, por lo que es urgente innovar y crear nuevas alternativas que no solo sean inicio de un cambio, sino que, suponga con ella una reestructuración de cómo generamos tecnología, soluciones y de cómo vivimos nuestro día a día.

Me inspira este proyecto porque puede llegar a ser aplicado no solo a un segmento de la población, ya que puede ser integrado a otros productos y hasta llegar a generar energía en las comunidades de bajos recursos y poca accesibilidad a los servicios básicos.

- Aprendizajes éticos

- Angélica Monge Curiel

Los cosechadores de energía demuestran un gran potencial en la ciencia y la investigación. Como profesionistas y científicas, tenemos una obligación social para desarrollar propuestas de mejora para problemáticas actuales, como la agresión y violencia a los

ecosistemas y el medio ambiente. El privilegio del que gozo al estudiar una carrera de tecnología en una universidad como ITESO me hace pensar en que debo de aprovechar la oportunidad para poder aportar un granito de arena en el futuro tecnológico que se avecina. Todas las herramientas se me han brindado a lo largo de estos cinco años de carrera, y es ahora que veo a quién puedo beneficiar con estas herramientas.

- Isaura Rodríguez Navarro

Después de esta experiencia en este PAP dedicaré mi profesión a la investigación, difusión de la información y editorial científicos.

Sé que formarme en ética es igual de importante que formarse en técnica y/o teoría, pues eso influye en la manera en que se dé a la sociedad y se sume con calidad y no solo ser el fin sino el medio.

Reconozco que tengo una responsabilidad como integrante de la sociedad, el proponer mejoras y alternativas a las existentes que lejos de beneficiar estancan, repercuten negativamente a la naturaleza, comunidades y salud humana.

Aprender a respetar ideas, proposiciones, todas son válidas si parten desde la intención de proporcionar mejoras y conducir al desarrollo tecnológico y científico. Que lo que haga en mi vida profesional y personal sea con propósito de aportación, con pasión, con congruencia a mis ideales y convicciones.

Tomo la frase que me encanta del padre Adolfo Nicolás S.J. “No formamos a los mejores del mundo, sino los mejores para el mundo”, para mí esa frase resume y explica todo. Se puede ser excelente y perfecto técnicamente hablando, pero si no se hace con ética, con responsabilidad y con calidad no se termina la tarea, ni ayuda a sumar y construir un mundo.

- Tamara Gutiérrez Guerra.

Principalmente, reafirmo la visión que el ITESO nos ha inculcado a lo largo de nuestra carrera universitaria “Libres para transformar”. El tener la oportunidad y el privilegio de estudiar una licenciatura, y que en esta podamos ser parte de proyectos, diálogos y movimientos que generan un impacto social y medio ambiental me lleva a darme cuenta de mi papel en mi comunidad. No se trata de aumentar ganancias, tener una posición llena de privilegios o ganar el reconocimiento profesional, sino de, crear un cambio, una solución y una oportunidad.

Durante este proyecto hacemos más real y tangible la posibilidad de hacer esto a través de nuestros conocimientos adquiridos y acciones, a través de nuestra carrera profesional. Que los avances tecnológicos y académicos que logremos a lo largo de esta sean motor y generación de alternativas responsables ecológica y socialmente. No ser causa de consecuencias para ni de atrasos para la sociedad, los seres vivos y el medio ambiente.

De igual manera, al ser la investigación científica una actividad fundamental para nuestro desarrollo, debemos de cuidar nuestros objetivos, las condiciones de trabajo y el ambiente laborar. Respetando y cuidando la integridad de cada uno de los colaboradores del proyecto.

- Aprendizajes en lo personal
 - Angélica Monge Curiel

Mi aprendizaje principal al desarrollar este proyecto es la paciencia. Los resultados obtenidos no fueron los que esperaba cuando me planteé mis objetivos al comenzar el semestre, pero aprendo que, para llegar a un objetivo, hay una cantidad numerosa de pasos a realizar. El conocimiento de la base fundamental de un proyecto es importante, pues podemos creer que sabemos acerca de un tema que hemos visto muchas veces anteriormente, pero regresar a conocer las definiciones básicas siempre es útil y no debería parecer tonto.

De igual manera, aprendo que el “prueba y error” es algo natural en una investigación científica, y que la investigación no es fácil. La clave está en saber interpretar los errores y aprender de ellos para poder mejorar.

Me gustó trabajar en equipo, sobre todo aprender que hay equipos trabajadores que aportan al proyecto y a tu conocimiento y hay equipos que no. Después de tener un par de experiencias negativas, veo y aprendo la verdadera funcionalidad de un equipo en el que todos los engranes encajan y suman al proyecto.

- Isaura Rodríguez Navarro

Al trabajar en este proyecto confirmo que la investigación y divulgación científica son áreas que tienen mi interés y que debo de tener siempre la actitud de reflexión y análisis. Este PAP aporta a mi proyecto de vida ayudando a discernir lo que me atrae en mi vida profesional y la falta que hace el abrir el mundo de la ciencia a la juventud. ME di cuenta de lo importante que es el cuestionarme mi misma mis razones, si aquello en lo que decido trabajar e invertir mi tiempo me aporta a mí y a los demás, y si es congruente con lo que creo, para así ser profesional y profesionista que aporte y sume para construir una sociedad más completa.

Otra vez más me reitero a mí misma que tengo una responsabilidad grande al tener la capacidad y la oportunidad de manipular la materia a nivel atómico y molecular, por lo que me motivo a seguir preparando, estudiando, adquiriendo y generando conocimiento.

Como conclusión personal añado que hay una línea muy delgada entre el error y el desconocimiento. Si algo se hizo por ignorancia o si se hizo por falta de información en el tema (aunque también puede ser que en eso en específico aún no haya información), las consecuencias son las mismas.

- Tamara Gutiérrez Guerra.

Durante el periodo en el que pude ser parte del PAP de Apoyo a la Investigación y Desarrollo en nanociencia y nanotecnología caí en cuenta de mi capacidad de lograr las metas que me propongo, y que para lograr los objetivos esperados en el tiempo indicado; mi organización, determinación y responsabilidad son herramienta clave para ello. De igual manera, tuve la oportunidad de trabajar en conjunto con mis compañeras y maestros, aprendiendo que la diversidad de ideas, opiniones, y maneras de ver y solucionar las cosas no deben ser causa de conflicto, sino que, nos podemos ver verdaderamente beneficiados por ello. Lo que yo ignoro, es lo mi compañera o compañero me puede invitar a notar. Al final, todos tenemos un fin en común, es mejor ver un panorama completo de las posibilidades, a encerrarnos en nuestras ideas y opiniones.

Además, al tratarse de un proyecto que busca generar una solución sustentable y responsable que beneficia tanto a ser humano como al medio ambiente, no se puede evitar reconocer que es un tema que nos concierne todos, y que todos somos parte de la causa y solución de este. Me doy cuenta de que falta mucha conciencia y conocimiento al respecto, ya que se conocen las consecuencias, pero se ignoran las causas y las alternativas, ya que estas llevan con sí la necesidad y urgencia de un cambio. Adquirí conocimientos que me aportan a mi vida en el presente y en el futuro, dando cuenta que trabajar, tanto en lo personal como en lo profesional, de manera respetuosa, dedicada, organizada y por un bien común es gratificante y motivador.

5. Conclusiones

Se probó el método de síntesis de electrodeposición química para el crecimiento de nanoestructuras de metales y las aleaciones.

Se comprendió la relación de los efectos del potencial aplicado, geometría y distribución de electrodos, tiempo, densidad de corriente y pH en un sistema electroquímico.

Se llevaron a cabo las pruebas de voltametría a los electrolitos y se determinó el potencial al cual cada receta de galfenol y otras aleaciones se oxidan y se reducen.

Se llevaron a cabo técnicas de caracterización física y química aprendidas durante la carrera.

Se plantearon perspectivas para el seguimiento y progreso del proyecto, con respecto a las recetas de galfenol, el manejo de las fuentes de poder, la caracterización y manejo de las muestras. Además de aprender el proceso de deposición del galfenol.

6. Bibliografía

- Summers, E., Thomas A. , L., Snodgrass , J., & Slaughter, J. (2004). *Magnetic and mechanical properties of polycrystalline Galfenol*. Obtenido de <https://doi.org/10.1117/12.539781>
- Velázquez Galván, Y., de la Torre Medina , J., Piraux, L., & Encinas Oropesa , A. (2019). Robustness of the enhanced magnetic anisotropy in Ni nanowires regardless of the deposition potential. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Volume 497.
- Baer , D., & Thevuthasan , S. (2010). Characterization of Thin Films and Coatings. *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings*, 3, 749-864. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-8155-2031-3.00016-8>.
- Bard , A., & Faulkner, L. (2001). *Electrochemical methods: Fundamentals and Applications*. New York: Wiley.
- Bard, A. J. (2001). *Electrochemical methods: Fundamentals and Applications*. Nueva York: 2.
- Centro de Investigaciones en Optica . (2007). *Voltametría*. Obtenido de https://www.cio.mx/invest_13/gpom/archivos/Taller%20_CaracterizacionEQ_sesion2.pdf
- Guy , O., & Walker , K. (2016). Graphene Functionalization for Biosensor Applications. *Silicon Carbide Biotechnology*, 2, 85-141. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802993-0.00004-6>.
- Hein, M., Park, J., Cozzo, J., Flatau, A., & Stadler, B. (sf). *Electrodeposited Fe-Ga Alloy Films for Directly Coupled Noncontact Torque Sensing*.
- Hmong. (2018). *Voltametría Cíclica* . Obtenido de https://hmong.es/wiki/Cyclic_Voltammetry
- Ibero. (2005). *Reaccion REDOX* . Obtenido de <https://ibero.mx/campus/publicaciones/quimanal/pdf/7reaccionesredox.pdf>
- Institute, BSG. (2020). *Voltametría Cíclica*. Obtenido de <https://bsginstitute.com/bs-campus/blog/voltametria-ciclica-109>
- Kambale, R. C. (2013). Magneto-Mechano-Electric (MME) Energy harvesting properties of piezoelectric macro-fiber composite/Ni magnetolectric generator. *Energy Harvesting and Systems*. doi:doi 10.1515/ehs-2013-0026

- Kay , R., Hoyd-Gigg, J., Popov, C., Record, P., & Desmulliez, M. (sf). *Electrochemical deposition of Galfenol* .
- Lopes, L. (2020). *Diseño de un sensor de corriente basado en una fbg recubierta de galfenol por electrodeposición y con elevada magnetostricción [PDF]*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/156880/Lopez%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sensor%20de%20co>
- Lupu, N., Chiriac, H., & Pascariu, P. (2008). Electrochemical deposition of FeGa/NiFe magnetic multilayered films and nanowire arrays. *Journal of Applied Physics*. doi:DOI:10.1063/1.2832353
- Mather, R. (2009). Surface modification of textiles by plasma treatments. *Woodhead Publishing Series in Textiles*, 296-317. doi:<https://doi.org/10.1533/9781845696689.296>.
- Nivedita, L., Manivel, P., Pandian, R., & et al. (2018). Enhancement of magnetostrictive properties of Galfenol thin films. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 451. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.11.030>
- Ortega , N., Kumar , A., Scott, J., & Katiyar, R. (sf). *Multifunctional Magnetoelectric Materials for Device Applications*.
- Twenergy. (19 de 01 de 2016). *Twenergy*. Obtenido de Centro de investigación mexicano desarrolla cosechadores de energía: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/medio-ambiente/centro-de-investigacion-mexicano-desarrolla-cosechadores-de-energia-2087/>
- Vázquez, M. (2003). *Química Analítica 2*. Obtenido de Voltametría Cíclica : <http://huitoto.udea.edu.co/cen/electroquimica/volt.html>
- Venkateswarlu , A., Haribabu , P., Geon-Tae , H., Mahesh, P., & Dae-Yong , J. (2017). Magnetic energy harvesting with magnetoelectrics:an emerging technology for self-powered autonomous systems. *Sustainable Energy & Fuels*, 1, 2031–2182.
- Yu, Z., Chu, Z., Yang, J., Asl, M., & Yuan , X. (2020). A magneto-mechano-electric (MME) energy harvester based on rectangular cymbal structure. *Sensors and Actuators*, 316. doi:doi:10.1016/j.sna.2020.112400

Anexos

- Deposiciones realizadas con los electrolitos N1 y N2.



Figura 35. Deposición con electrolito N1 con un potencial de 1 V y un tiempo de deposición de 6 min.

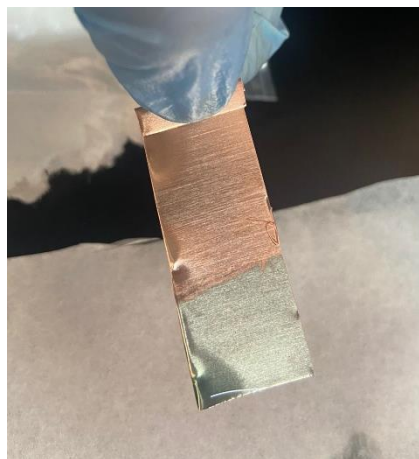


Figura 36. Deposición con electrolito N2 con un potencial de 3 V y un tiempo de deposición de 48 s.

- Espectros XPS

Elemento	Orbital	Peak	BE	KE	σ	área de pico	λ (KE)	Ni	Porcentaje atómico	
Ga	3s	0	158.1 2662	1328. 5732	0.94 5	12.72602 4	8.300 2193 7	1.533 21538 1	62.62492208	
	3s	1	158.5 4256	1328. 1573	0.94 5	7.593809 7	8.298 9210 7	0.915 03577 9	37.37507792	
								Total	2.448	0.067
	3d	0	35.98 7427	1450. 7125	0.48 5	0.189568 33	8.673 1090 4	0.022	0.126	
	3d	1	16.31 5308	1470. 3846	0.48 5	1414.083 3	8.731 6816 5	161.9 49	930.483	
								17.40 5	0.473	

Fe	3p	0	48.59 6436	1438. 103	0.53 5	714.9866 9	8.635 3563 8	154.7 61849	89.48721222	
	3p	1	52.13 9648	1434. 56	0.53 5	83.89181	8.624 719	18.18 11281 6	10.51278778	
								172.9 42977 2	4.698872416	
	2p	0	882.6 335	604.0 664	5.43	106085.6 8	5.601 9099 2	3487. 55298 1	99.99507381	
	2p	1	722.3 398	764.3 6	5.43	5.876118	6.298 5074 6	0.171 81181 7	0.004926186	
									3487. 72479 2	94.76171909
							Total	3680. 521	100.000	

ΣNi	3680. 521
------------	--------------

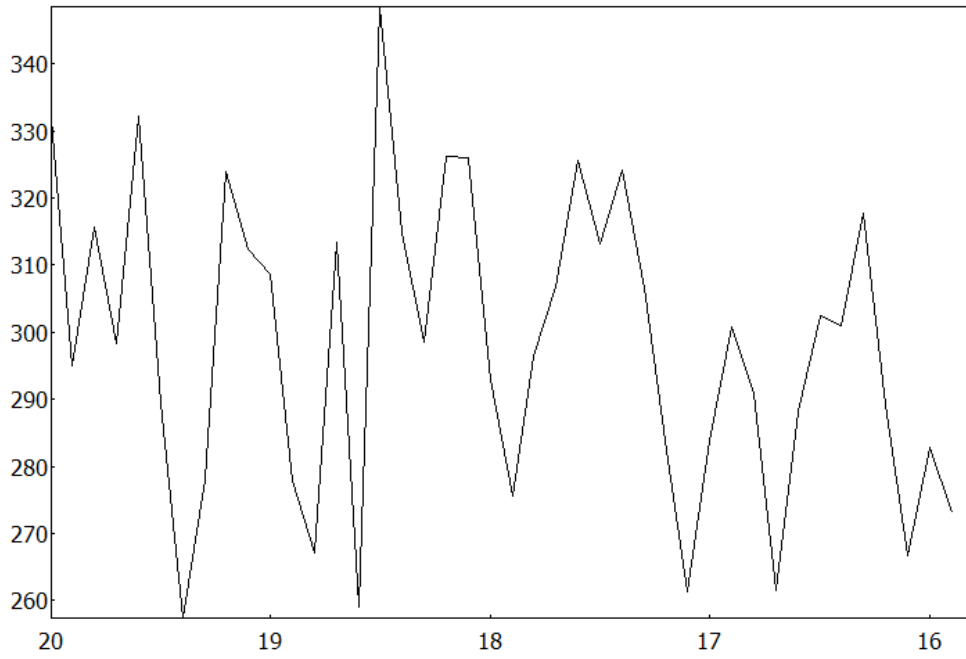


Figura 37. Ga3d con pico en 18.9

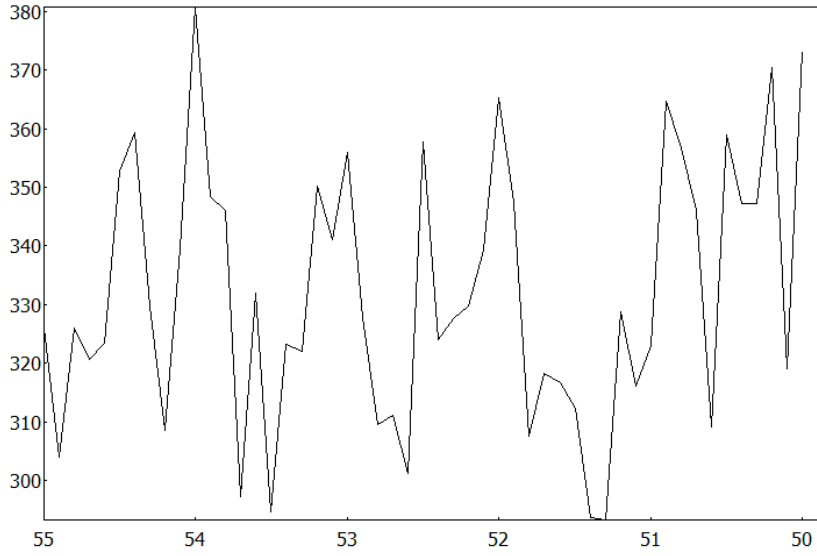


Figura 38. Fe_{3p} con pico en 52.6

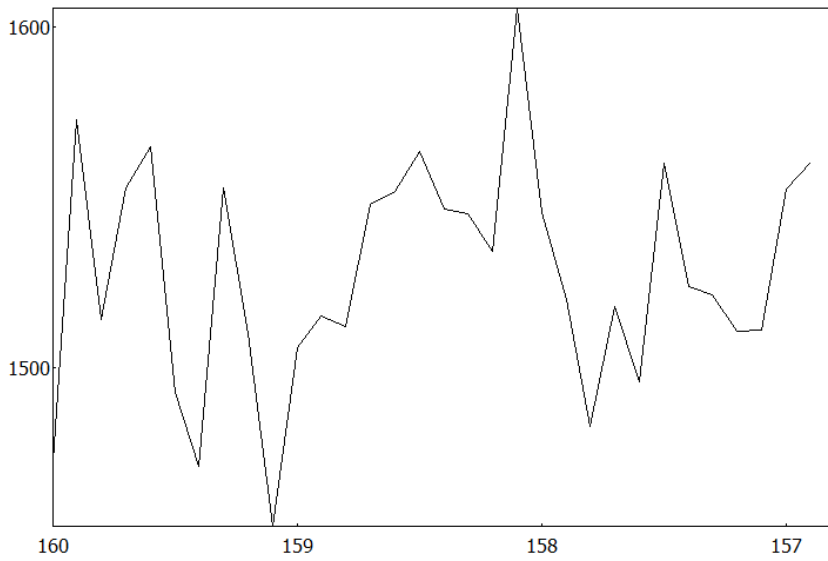


Figura 39. Ga_{3s} con pico en 158.9

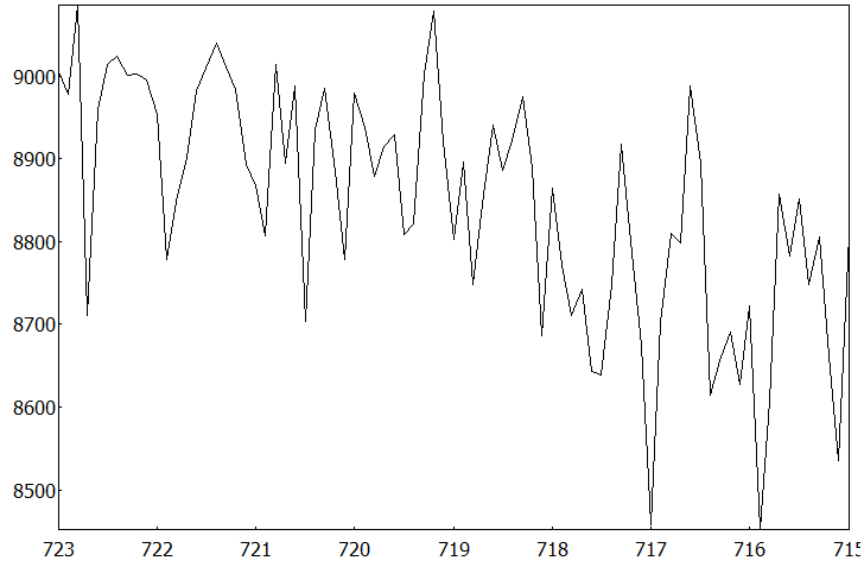


Figura 40. Fe_{2p} con pico en 719.9

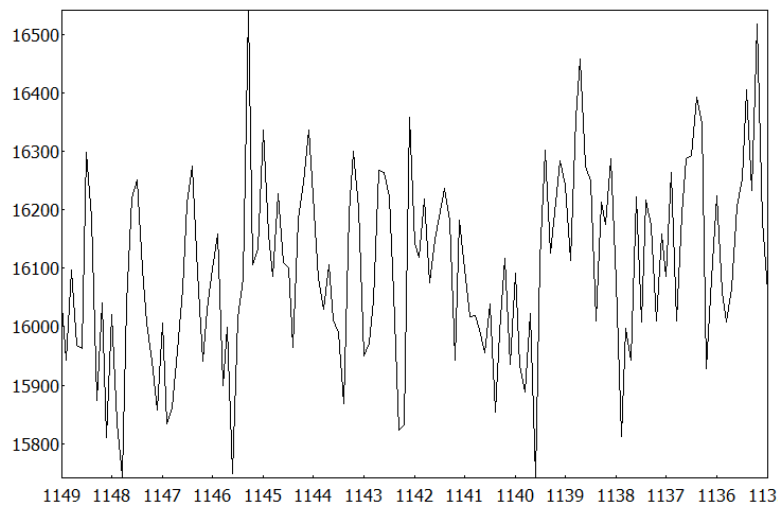


Figura 41. Ga_{2p} con pico en 1143.4