

# INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Volumen I, Número 1, Enero 2024



ISSN: 2992-8281

**Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo**

# Presentación

Es un honor para mí presentarles la revista **INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**, un compendio que refleja la esencia vibrante de nuestro compromiso con el avance del conocimiento y la exploración de nuevas fronteras en la ciencia y la tecnología.

Tengo que decirlo, en nuestra Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo, convergen las mentes más brillantes, compartiendo experiencias, descubrimientos y perspectivas que iluminan los caminos hacia un futuro más prometedor. La innovación, piedra angular de nuestra misión educativa, cobra vida en estas páginas a través de investigaciones y proyectos transformadores.

Estas investigaciones, nos sumerge en narrativas concretas de cómo nuestras ideas pueden cambiar el mundo. Desde laboratorios hasta el mercado, observamos cómo la innovación se convierte en una fuerza tangible que impulsa el progreso y redefine los paradigmas.

Los invito a adentrarse en las profundidades del conocimiento, donde nuestros doctores y maestros aportan soluciones a los desafíos más apremiantes de nuestro tiempo. Cada artículo revisado por expertos representa un pilar en la construcción del edificio del saber.

Exploremos cómo la tecnología se convierte en un catalizador para el bienestar colectivo. Desde proyectos locales hasta iniciativas globales, destacando el impacto positivo que podemos lograr cuando la tecnología se pone al servicio de la sociedad.

**INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA** no es solo una publicación; es un testimonio de nuestra dedicación colectiva a la búsqueda constante de la excelencia académica y la creación de un impacto positivo en el mundo que nos rodea.

El enfoque de nuestra Revista va dirigido a estudiantes, profesores, investigadores y profesionales asociados, al desarrollo de proyectos científicos e innovaciones tecnológicas, siendo la finalidad el impacto académico, social y ambiental.

**M.A. Fernando Garza Rodríguez**  
**Encargado del Despacho de la Rectoría**

**Universidad Tecnológica  
Gral. Mariano Escobedo**



# DIRECTORIO

## Gobierno del Estado de Nuevo León

Dr. Samuel Alejandro García Sepúlveda  
**Gobernador Constitucional**

Dra. Sofíaleticia Morales Garza  
**Secretaria de Educación**

## Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo

M.A.. Fernando Garza Rodríguez  
**Encargado del Despacho de la Rectoría**

M.C. Eliut López Toledo  
**Encargado de la Secretaría Académica y de Desarrollo**

## Comité Editorial

MDEMS. Rafael Ríos Cazares  
M.C. Jorge Miguel Saldaña Acosta

MACDE. Erika Patricia Lucio Ayala  
M.I. Lizeth Reyna Ovalle Flores

## Consejo Técnico

### Mantenimiento Industrial:

Dra. Magaly Yajaira Nava Núñez  
Dr. Sinuhe Uriel Costilla Aguilar  
Dra. Paloma Berenice Jiménez Vara

### Química y Nanotecnología:

Dra. María Magdalena del Ángel Sánchez  
Dr. Víctor Jesús Gallegos Sánchez

### Mecatrónica:

Dra. Luz Hypatia Verásteguí Domínguez  
Dr. Valentín Guzmán Ramos  
M.C. Joel Pablo García Rangel

### Negocios y Logística:

M.R.I. Ivett Berenice Quezada Cavazos

### Tecnologías de la Información:

Dr. Felipe de Jesús Rosales Mandujano

### Lengua Inglesa:

Mtro Abel Cohuo Durán

## Consejo Arbitral Externo

Dr. Humberto Quiroz Martínez  
**UANL - FCB**

Dr. Romeo de Jesús Selvas Aguilar  
**UANL - FCFM**

Dr. Eduardo Pérez Tijerina  
**UANL - FCFM**

Dr. Arturo Alberto Castillo Guzmán  
**UANL - FCFM**

**Universidad Tecnológica  
Gral. Mariano Escobedo**



**INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**, Volumen I, Número 1, Enero 2024 es una publicación semestral editada por la Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo, Libramiento Noreste Km. 33.5, Código Postal 66050 Cdad. Gral. Escobedo, N.L. Tel. 81 5000 4200, <https://www.ute.edu.mx/>, [revista@ute.edu.mx](mailto:revista@ute.edu.mx), Editor responsable M.D.E.M.S. Rafael Ríos Cazares. Reserva de Derechos a Uso Exclusivo No. 04-2023-062217120300-102 , ISSN 2992-8281, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Fecha de la última modificación enero de 2024.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación para fines didácticos no lucrativos, siempre y cuando se cite la fuente completa; su uso para otros fines requiere previa autorización de la Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo.

"Licitud de Título y contenido: en trámite"

## EDITORIAL

Como editores de la revista **INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA**, nos complace presentarles nuestro primer número, que acentúa los valiosos aportes de investigadores reconocidos de la Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo. Estos artículos provienen de los cuerpos académicos de nuestra universidad, presentados durante nuestro primer coloquio de Innovación e Investigación Científica y Tecnológica.

Les extendemos una cordial invitación a adentrarse en el apasionante mundo del conocimiento de frontera que no solo son relevantes a nivel local, sino que también tienen un impacto significativo para el estado de Nuevo León y, en última instancia, para el mundo. Agradecemos su interés y esperamos que disfruten de este fascinante viaje a través de la innovación y la investigación científica y tecnológica de nuestra institución.

**Universidad Tecnológica  
Gral. Mariano Escobedo**



# HISTORIA DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA GRAL. MARIANO ESCOBEDO

La Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo nace en Septiembre de 1998 como respuesta a la demanda de Técnicos Superiores Universitarios, por parte de las industrias y empresas de región de Apodaca, Escobedo, San Nicolás de los Garza y el norte de Nuevo León. La UTE es una institución de educación superior con un modelo educativo innovador que ofrece a los egresados de bachillerato o equivalente una formación de calidad y excelencia, basada en la preparación técnica y tecnológica principalmente.

El objetivo para el cual fue creada la universidad, es el de formar técnicos superiores universitarios aptos para la aplicación y la solución creativa de problemas, con un sentido de innovación en la incorporación de los avances científicos y tecnológicos, desarrollar estudios o proyectos en las áreas de su competencia y promover la cultura en el Estado, mediante la investigación aplicada y el intercambio académico con otras instituciones educativas nacionales o extranjeras.

A partir de septiembre de 2010, se imparten carreras de nivel 5A (Ingenierías) con el fin de ampliar su cobertura, manteniendo su presencia y calidad, para con ello obtener una mayor rentabilidad social, en apego a las necesidades del país. Las Universidades Tecnológicas brindan una respuesta a las aspiraciones de sus egresados de Técnico Superior Universitario (TSU) que muestran interés por continuar sus estudios de ingeniería/ licenciatura.

**Universidad Tecnológica  
Gral. Mariano Escobedo**



# TABLA DE CONTENIDO

<b>Sistema de Control de Tres Bloques para Análisis de Audio Digital en Tiempo Real</b> <i>Nestor Antonio Flores Martínez, Ricardo Chapa García, Valentín Guzmán Ramos, Luz Hypatia Verástegui Domínguez</i>	1
<b>Eliminación de contaminantes al interior de las edificaciones</b> <i>Magaly Yajaira Nava Núñez. Azael Martínez de la Cruz</i>	5
<b>Máquina Prototipo para Producción de Filamento con Control Automático de Temperatura y Velocidad</b> <i>Carlos Eduardo Bautista Gutiérrez, Hernán Cardona Rodríguez, Ricardo Chapa García, Valentín Guzmán Ramos</i>	10
<b>Desarrollo de Prototipo con Brazo Robótico Automatizado para la obtención de Películas Delgadas Semiconductoras</b> <i>Rivas Orozco Rafael, Gamboa Torres Gerson, Colunga Meza Estefani, García Garza Julissa, Dávila Rodarte Keila, Alfaro Galena Stefany, Martínez Hilariona, Gloria Puente Juan José, Verástegui Domínguez Luz Hypatia</i>	15
<b>Trituración Criogénica De Neumáticos Usados Por Crio Fractura</b> <i>Saldaña Acosta Jorge Miguel</i>	23
<b>Interface De Anodo-Soportado/Electrolito (NiO-GDC) Para Aplicación A Pila De Combustible (SOFC)</b> <i>Sinuhe Costilla Aguilar, René Fabián Cienfuegos Pelaes</i>	31

REVISTA

**IICT**

INNOVACIÓN E INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

**IICT**



**UTE**

*Nuevo León*

Organismo Público Descentralizado  
del Gobierno del Estado de Nuevo León

## Sistema de Control de Tres Bloques para Análisis de Audio Digital en Tiempo Real

**Nestor Antonio Flores Martínez**

janadioses@hotmail.com

**Ricardo Chapa García**

garcia@ute.edu.mx

**Valentín Guzmán Ramos**

vguzman@ute.edu.mx

**Luz Hypatia Verástegui Domínguez**

lhypatia@ute.edu.mx

Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo.  
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas,  
Universidad Autónoma de Nuevo León.

### Resumen:

Desde una perspectiva estadística se tienen múltiples valores posibles de un pulso acústico sin importar la fuente. Un registro de audio digital contiene un conjunto de elementos de error; algunos no se pueden eliminar como el ruido electrónico (de disparo) y otros conocidos como ruido de fondo, primero debido a que las condiciones atmosféricas no son constantes en los sistemas reales y porque las micro variaciones en la distribución de partículas generan pulsos diferentes, aunque conserven similitudes entre ellos. Mediante el análisis paramétrico de ecuaciones de Navier-Stokes con una perspectiva de procesos estocásticos desarrolla una ecuación que genera el colapso de estados estadísticos en una sola señal. En un sistema de control puesto a prueba en Simulink de tres bloques, se encontró que uno de ellos genera una retroalimentación con elemento de error para limpiar la señal.

Palabras clave: sistema de control, pulso acústico, procesamiento del ruido, filtros de Kalman e híbridos, audio digital.

### Abstract:

From a statistical perspective there are multiple possible values of an acoustic pulse regardless of the source. A digital audio record contains a set of error elements; some cannot be eliminated such as electronic noise (shooting) and others known as background noise, first because atmospheric conditions are not constant in real systems and because micro variations in the distribution of particles generate different pulses, although similarities preserved between them. Through the parametric analysis of Navier-Stokes equations with a stochastic process perspective, an equation is developed that generates the collapse of statistical states into a single signal. In a three-block control system tested in Simulink, it was found that one of them generates feedback with an error element to clean the signal.

Keywords: control system, acoustic pulse, noise processing, Kalman and hybrid filters, digital audio.



## 1. INTRODUCCIÓN

En un análisis paramétrico de ecuaciones de Navier-Stokes con una perspectiva de procesos estocásticos se desarrolla una ecuación que genera el colapso de estados estadísticos en una sola señal. Los sistemas acústicos tienen una retroalimentación en tiempo real a través de interacciones mecánicas con el sistema circundante. El sistema de control puesto a prueba en Simulink es de tres bloques, donde uno de ellos genera una retroalimentación con elemento de error para limpiar la señal. La entrada del registro de audio está compuesta por una señal limpia que incluye elementos de un sistema de control externo (segundo bloque) que mide las variaciones de la presión en las zonas cercanas al dispositivo. Un bloque anexo, analiza los cambios en la temperatura para establecer en tiempo real una medida de la densidad del medio circundante (aire o cualquier gas) para generar múltiples canales de análisis del audio y, se pueden determinar condiciones de funcionamiento. Con datos acumulativos, se pueden establecer valores promedios estadísticos para conocer el nivel de eficiencia del sistema en un ambiente no controlado.

## 2. METODOLOGÍA

Se trabajó en un filtrado correspondiente a función de transferencia obtenida para el tensor de deformaciones con elementos del sistema acústico y EM.

Conociendo el orden de magnitud de deformaciones, compresiones y torsiones debido a un pulso electromagnético en un sistema, conociendo las propiedades del pulso, podemos generar sistemas de mayor precisión en manipulación de nano estructuras en ciencias de materiales para el diseño de experimentos con compuestos semimetálicos o con microorganismos.

La densidad del aire para cada instante  $t_i$  depende de la dispersión de las moléculas en ese instante, y de igual manera la viscosidad, por ello son funciones dependientes del tiempo, partiendo de su temperatura base que se toma como 20 °C. la mayoría de los elementos de esta ecuación varían con el tiempo, algunos de forma no lineal y otros de manera cíclica como el campo magnético del láser pulsado.

El factor de condiciones iniciales se puede eliminar de la función de transferencia considerando que, en lugar de tener una retroalimentación, se tiene una señal de referencia con la cual se contrastan los datos registrados. También se deben recuperar los términos que implican transformadas de Laplace de términos no correspondientes al ruido, sino a los parámetros físicos del aire.

Elementos de entrada: pulso acústico acompañado de una señal de onda de referencia de tipo exponencial convergente (como un pulso que se desvanece), variación de presión senoidal, una amplitud mínima que indique un ambiente con variación predecible. También el sistema como una función de transferencia de dos partes y la retroalimentación por el elemento de error:

$$H(s) = \frac{X_2}{e(s)}$$

$$= \frac{3}{\rho_0^Y} \frac{sk_1 + k_2}{(s - 2j\omega)(4\epsilon s - (X_1 + 1))}$$

$$H(s) = \frac{3}{\rho_0^Y} \left( \frac{sk_1}{(s - 2j\omega)(4\epsilon s - (X_1 + 1))} + \frac{k_2}{(s - 2j\omega)(4\epsilon s - (X_1 + 1))} \right)$$



#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de filtros de varias secciones, filtros Kalman e híbridos eliminan elementos que pueden formar parte de la información del sistema original. Este nuevo modelo permite no solo controlar los elementos del algoritmo, señales externas para retroalimentación, sino que también por ingeniería inversa, nos deja conocer cuáles son las señales que generan el ruido en el registro digital.

Determinando un conjunto de parámetros de entrada, los canales deben ser auto responsivos estableciendo prioridades por descarte de propiedades.

La señal final registrada nos genera un decaimiento en el tiempo, incluso en la simulación, que coincide con los pulsos acústicos reales para la determinación del fenómeno físico. Las amplitudes; máxima, mínima y promedio son un aspecto significativo de la absorción de energía de la señal que genera el pulso.

Aspectos externos como la presión y temperatura deben tener sus sistemas de filtrado propios.

#### 5. LISTA DE REFERENCIAS

Aris, R., 1989, Vectors, Tensors and the Basic Equations of Fluid Mechanics, Dover Publications, Chap. 6. ISBN: 0-486-66110-5

Newland, D. E., 2005, An Introduction to Random Vibrations, Spectral & Wavelet Analysis, 3rd ed., Dover Publications, New York, Chap. 1, Chap. 2, Chap. 3, Chap. 5. ISBN: 0-48-644274-8

Rosenhouse, G., 2012, The essence of noise in nature with reference to acoustics. WIT Transactions on Ecology and Environment, 160

Daniel, A., Makarovskiy, O., 2015, Pink Noise in Physics and Music, The University of Nottingham: School Physics and Astronomy, Nottingham.

## Eliminación de contaminantes al interior de las edificaciones

**Magaly Yajaira Nava Núñez**

mnava@ute.edu.mx

**Azael Martínez de la Cruz**

azael.martinezdl@uanl.edu.mx

Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo.  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME),  
Universidad Autónoma de Nuevo León.

### Resumen

El objetivo del presente trabajo de investigación fue preparar muestras de yeso fotocatalítico capaz de eliminar contaminantes atmosféricos tipo óxidos de nitrógeno (NOx) para aplicación en espacios interiores. Las muestras de yeso preparadas con adición de óxido de zinc (ZnO) demostraron una buena eficiencia fotocatalítica siendo la muestra preparada con 3% en peso la que demostró un mayor porcentaje de eliminación con una eficiencia del 25% de conversión de óxido nítrico (NO) bajo iluminación de luz ultravioleta UV-A.

Yeso, fotocatalisis, NOx, ZnO

### Abstract

The objective of this research work was to prepare samples of photocatalytic gypsum capable of eliminating atmospheric pollutants such as nitrogen oxides (NOx) for application in indoor spaces. The gypsum samples prepared with the addition of zinc oxide (ZnO) demonstrated good photocatalytic efficiency with the sample prepared with 3% by weight demonstrating a higher percentage of removal with an efficiency of 25% nitric oxide (NO) conversion under UV-A ultraviolet light illumination.

Gypsum, photocatalysis, NOx, ZnO

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación en las grandes ciudades es un grave problema medioambiental que provoca el efecto invernadero, el calentamiento global y muchas enfermedades que afectan a la población que vive en los países desarrollados. En particular, la contaminación del aire provoca millones de muertes prematuras en todo el mundo [1]. La exposición a los contaminantes del aire se ha estudiado ampliamente, sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que el aire contaminado no solo se encuentra en la atmósfera exterior sino también en el interior de los edificios. La concentración de contaminación en algunos edificios en ocasiones es mucho mayor en el interior que en el exterior [2]. Las principales fuentes de contaminación del aire interior son la ventilación inadecuada principalmente en zonas industriales y altamente urbanizadas; otras fuentes incluyen los gases de la cocina y la calefacción. Algunos otros factores que pueden influir en el aire interior contaminado son el diseño arquitectónico, las fuentes de contaminación exterior, el aire acondicionado y la gran cantidad de toxinas liberadas por los materiales de construcción.

En particular, las personas pasan en promedio entre el 80 y el 90% de su tiempo diario en ambientes interiores, por esa razón es importante eliminar estos contaminantes del aire [3]. La mala calidad del aire interior puede estar asociada a enfermedades respiratorias como asma, neumonía, bronquitis, faringitis, cáncer de pulmón, enfermedades de la piel como erupciones cutáneas, dermatitis y conjuntivitis. Contaminantes como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y VOC's, son los principales contaminantes que se pueden encontrar en el interior de los edificios [4]. Recientemente, el uso de materiales fotocatalíticos está aumentando debido a las ventajas que ofrecen para reducir los

contaminantes en el agua, el suelo y el aire principalmente. La industria de la construcción es una de las principales industrias que ha considerado la fotocatalisis como una tecnología prometedora para remediación ambiental. Los óxidos fotocatalíticos se pueden agregar a los materiales de construcción como cemento, morteros, concreto, pavimentos, pinturas y yesos y estos pueden usarse en el interior o exterior de las edificaciones [5]. La diferencia con el material tradicional es que los materiales de construcción fotocatalíticos pueden oxidar gases contaminantes del aire como NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y COV's. Por lo tanto, sólo se necesita un fotocatalizador y una fuente de irradiación para activar la reacción fotocatalítica de los materiales fotocatalíticos. Los materiales de construcción más populares estudiados para aplicaciones de degradación de NO<sub>x</sub> son los cementos, sin embargo, considerando la contaminación interior, uno de los recubrimientos más utilizados en ambientes interiores es el yeso, el cual puede ser utilizado en paredes y techos de edificios, así como en perfiles decorativos, relieves y paneles prefabricados [6].

Existen algunas investigaciones sobre la fabricación de yeso fotocatalítico con adición de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), sin embargo, el empleo de ZnO en este tipo de materiales no sido evaluado. Por lo cual, en este trabajo de investigación se propone la adición de ZnO comercial (802) en muestras de yeso con el fin de evaluar su capacidad para eliminar gases tipo NO<sub>x</sub> en espacios interiores.

## 2. METODOLOGÍA

### Preparación de las muestras de yeso

Las muestras de yeso se prepararon mediante la mezcla de las materias primas según las proporciones indicadas en la Tabla 1. Las probetas se prepararon con yeso comercial y se

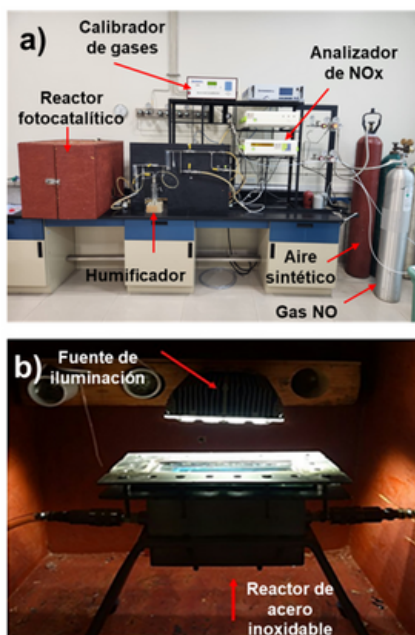
utilizó una relación yeso: agua de 1:0.8. Las muestras se obtuvieron mediante la adición de polvo de ZnO directamente en mezcla. Las proporciones del fotocatalizador utilizadas fueron 1 y 3% en peso en relación con el contenido total de yeso. Después del proceso de mezclado, el yeso se vertió sobre moldes con dimensiones de 10 x 5 x 2.5 cm y se curó por 14 días. Transcurrido este tiempo, se llevó a cabo la evaluación de la actividad fotocatalítica de las muestras para la degradación de NO.

**Tabla 1.** Formulación de las muestras de yeso.

Materiales	Formulación		
	Control	1%	3%
Yeso (g)	10	9.9	9.7
ZnO (g)	0	0.1	0.3
Agua (mL)	0.8	0.8	0.8

### Pruebas fotocatalíticas

Las pruebas fotocatalíticas se evaluaron en la reacción de foto oxidación de NO, para ello se empleó un sistema de purificación de aire diseñado con base en la Norma ISO 22197-1. Este sistema está conformado por un reactor fotocatalítico que alberga la muestra, un cilindro de gas de óxido nítrico (NO), un cilindro de aire cero, un calibrador de gases y un analizador de NOx como se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1.** a) Sistema de purificación de aire para la eliminación de NO y b) parte interno del reactor fotocatalítico.

En los experimentos fotocatalíticos se empleó como fuente de iluminación una lámpara de luz UV-A de la marca TecnoLite la cual tiene una potencia de 20 W y una longitud de onda máxima de 365 nm como se aprecia en el espectro presentado en la Figura 2. Las mediciones fotocatalíticas se realizaron empleando una concentración inicial de 1 ppm de NO. Una vez que esta concentración fue estable en el reactor fotocatalítico, se procedió a encender la lámpara iniciando la reacción fotocatalítica. La concentración de NO a la entrada y salida del reactor fue medida por el analizador de NOx marca EcoPhysics CLD88p.

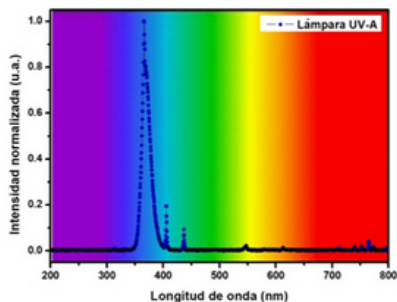


Figura 2. Espectro de lámpara TecnoLite.

Para calcular el porcentaje de conversión de NOx se utilizó la fórmula:

$$\text{Conversion de NO (\%)} = \frac{NO_i - NO_f}{NO_i} \times 100$$

Donde  $[NO]_i$  representa la concentración de NO inicial y  $[NO]_f$  la concentración de NO final después de 30 minutos de irradiación.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ZnO utilizado en la preparación de los morteros está constituido principalmente de la fase wurzita hexagonal en concordancia con la tarjeta N° 36-1451, tal y como se aprecia el patrón de difracción de rayos-X presentado en la Figura 3. Dicho material presenta una área superficial específica de 4.4 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, siendo esta propiedad muy importante en la evaluación de superficies fotocatalíticas, debido a que una mayor área superficial específica contribuye a una mayor absorción de los contaminantes, lo que a su vez conduce a una mayor degradación de contaminantes.

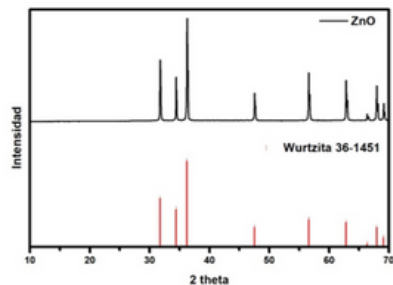
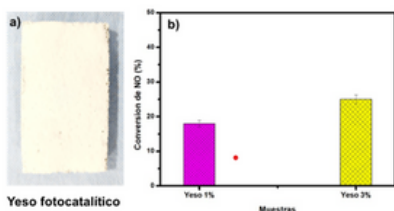


Figura 3. Patrón de difracción de rayos-X del ZnO.

La actividad fotocatalítica obtenida para las diferentes muestras de yeso fotocatalítico es presentada en la Figura 4. Como se puede apreciar en la gráfica, ambas muestras presentaron una importante degradación de la molécula contaminante de óxido nítrico (NO). Se puede apreciar que la actividad fotocatalítica se incrementó conforme se añadió un mayor porcentaje de ZnO a las mezclas de yeso, siendo la muestra preparada con un 3% de ZnO la que alcanzó una eliminación de 25% después de 30 minutos de irradiación con luz UV-A. Este resultado es muy similar al alcanzado por las muestra de mortero preparado con 20% de adición de TiO<sub>2</sub> modificado con nitrógeno la cual alcanzó un % de degradación de NO de aproximadamente 30% [7], por lo cual con base en los resultados obtenidos podemos asegurar que la adición de ZnO en yeso representa una muy buena opción de eliminación de NO y puede ser potencialmente utilizada en espacios interiores.



**Figura 4.** a) Muestra de yeso fotocatalítico preparado con 3% de ZnO, b) Porcentaje de conversión de NO obtenido por las muestras de yeso fotocatalítico.

#### 4. CONCLUSIONES

Fue posible formular muestras de yeso fotocatalíticos con adición del fotocatalizador ZnO. Estas muestras demostraron una importante eliminación de NOx, incluso con un porcentaje de adición de fotocatalizador mucho menor que lo reportado en la literatura, por lo cual consideramos que estos materiales representan una excelente opción de remediación ambiental para ser utilizados en espacios interiores.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Khomenko et al., "Spatial and sector-specific contributions of emissions to ambient air pollution and mortality in European cities: a health impact assessment," *Lancet Public Heal.*, vol. 8, no. 7, pp. e546–e558, 2023.

[2] Y. Lu et al., "Insight into the Photocatalytic Removal of NO in Air over Nanocrystalline Bi<sub>2</sub>Sn<sub>2</sub>O<sub>7</sub> under Simulated Solar Light," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 55, no. 40, pp. 10609–10617, 2016.

[3] J. González-Martín, N. Kraakman, C. Pérez, and R. Lebrero, "A State-of-the-Art Review on Indoor Air Pollution and the Potential of Biotechnologies for Indoor Air Purification 2," pp. 1–59, 2021.

[4] P. Spiru and P. L. Simona, "A review on interactions between energy performance of the buildings, outdoor air pollution and the indoor air quality," *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 179–186, 2017.

[5] V. P. Singh, D. Mishra, E. N. Kabachkov, Y. M. Shul'ga, and R. Vaish, "The characteristics of BiOCl/Plaster of Paris composites and their photocatalytic performance under visible light illumination for self-cleaning," *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 3, pp. 299–307, 2020.

[6] M. Janus, J. Zatorska, K. Zając, E. Kusiak-Nejman, A. Czyżewski, and A. W. Morawski, "The mechanical and photocatalytic properties of modified gypsum materials," *Mater. Sci. Eng. B*, vol. 236–237, no. November, pp. 1–9, 2018.

[7] M. Janus, K. Bubacz, J. Zatorska, E. Kusiak-Nejman, A. Czyżewski, and A. W. Morawski, "NOx photocatalytic degradation on gypsum plates modified by TiO<sub>2</sub>-N, C photocatalysts," *Polish J. Chem. Technol.*, vol. 17, no. 3, pp. 8–12, 2015.



## Máquina Prototipo para Producción de Filamento con Control Automático de Temperatura y Velocidad

**Carlos Eduardo Bautista Gutiérrez**

carlosbgtz571@gmail.com

**Hernán Cardona Rodríguez**

hernancardona44@gmail.com

**Ricardo Chapa García**

rgarcia@ute.edu.mx

**Valentín Guzmán Ramos**

vguzman@ute.edu.mx

Universidad Tecnológica Gral. Mariano Escobedo

### Resumen:

En este proyecto se presenta la implementación de una máquina que sirve para reutilizar las botellas de plástico y reducir la contaminación debido a la mala disposición de este producto. El impacto ambiental a los ecosistemas por causa de la contaminación por plásticos ha ocasionado un gran daño, y es un problema que se tiene que combatir para evitar que estos contaminen la tierra, los ríos y las costas de los océanos, además de que provocan afectaciones graves en la salud de las personas. En el desarrollo de este proyecto se muestra el procedimiento que se lleva a cabo para reutilizar el material plástico que sale de las botellas cuando se ha cumplido su propósito como contenedor y se desea disponer. Lo que se genera en este proceso es una bobina de un filamento de plástico que es útil para las impresoras 3D. Pruebas experimentales de la máquina que muestran la funcionalidad del proyecto han sido realizadas.

Palabras clave: reducción de contaminación, generación de filamento, máquina automática, sistema de control.

### Abstract:

This project presents a machine that serves to reuse plastic bottles and reduce pollution due to poor disposal of this product. The environmental impact on the ecosystems due to plastic pollution provokes immense damage; and is a problem that needs to be solved to avoid soil, river, and ocean pollution; moreover, this type of pollution seriously affects people's health. The project's development shows the procedure to reuse the plastic material from the bottles when its purpose as a container end and goes into the trash. What is generated in this process is a coil of plastic filament that is useful for 3D printers. To show the functionality of the project, some experimental tests were carried out on the machine.

Keywords: pollution reduction, filament generation, automatic machine, control system.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por residuos plásticos que provienen de las botellas es un problema demasiado severo, cuando estos son mal dispuestos causa que la tierra, ríos y océanos sean contaminados y posteriormente esto ocasiona daños a la salud de la fauna, animales y personas. La OMS anima a investigar sobre los microplásticos y a reducir drásticamente la contaminación por plásticos. La OMS ha pedido que se realice una evaluación exhaustiva de la presencia de microplásticos en el medio ambiente y de sus efectos en la salud de las personas, tras publicarse un análisis acerca de los conocimientos actuales sobre estos materiales en el agua potable (OMS, 2019)

Con la reutilización de los residuos plásticos se pretende reducir la contaminación de la tierra, ríos y océanos, además de reducir los riesgos de enfermedades en las personas, animales y fauna ocasionadas por este tipo de contaminación. Algunas aplicaciones que se pueden realizar con este residuo plástico serían filamentos para las impresoras 3D. Desde el punto de vista económico al reutilizar este residuo plástico se ahorra un costo de disposición o confinamiento y se pretende obtener ganancias por la venta de las bobinas generadas.

El problema de contaminación por residuos plásticos ha crecido considerablemente, estudios recientes muestran que se han generado daños graves al medio ambiente. Un informe presentado por la jefa de noticias de la ONU sobre la contaminación por plásticos publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) muestra que la contaminación por plásticos es una amenaza creciente para todos los ecosistemas desde donde se origina la contaminación que llega hasta el mar, el estudio destaca que dicha contaminación ha crecido considerablemente en los últimos años y prevé que se duplique para el 2030. El informe destaca que el plástico representa el 85% de los residuos que llegan a los océanos y en consecuencia todas las especies marinas, desde plancton y moluscos hasta las aves, tortugas y los mamíferos se enfrentan a riesgos de intoxicación, trastornos del comportamiento, inanición y asfixia (Rukikaire, 2021).

En un blog presentado por la Procuraduría Federal del Consumidor de México en el que se aborda el tema de la contaminación por plástico se menciona que los plásticos de un solo uso representan el 50% de los que se producen cada año, además se informa que 100,000 tortugas y mamíferos marinos y 1,000,000 aves marinas mueren anualmente por la contaminación de plásticos en los mares, se proyecta que para el año 2050 habrá más plásticos que peces en el océano y se estima que 8 millones de toneladas de plástico llegan a océanos cada año (PROFECO, 2021).

Como una posible solución al problema de la contaminación por plásticos, se propone la creación de una máquina prototipo para la producción de filamento, con la cual se pretende reutilizar los residuos plásticos que provienen de las botellas principalmente. Con esta alternativa de solución se evitará que estos residuos lleguen a la tierra, ríos y océanos. Adicionalmente, se espera que haya una reducción de enfermedades causadas por este tipo de contaminación.

El objetivo del proyecto es la creación de una máquina prototipo para reutilizar las botellas de plástico y ayudar al medio ambiente con la reducción de la contaminación que proviene de la mala disposición de este producto cuando ya ha cumplido con su propósito como contenedor.

## 2. METODOLOGÍA

El diseño de una máquina de termoconformados para la fabricación de filamentos ABS y PLA se presenta en el trabajo de (García León, Agrotta Hernandez, & Quintero , 2021), en su trabajo proponen el diseño de una máquina de termoconformados de bajo costo para utilizar material de desperdicio que se genera en la impresión 3D, se utilizaron teorías de diseño mecánico, transferencia de calor y análisis numérico para calcular y analizar los elementos más importantes Teniendo en cuenta lo anterior, las industrias que utilizan este tipo de polímeros podrán reciclar y fabricar el material de impresión, optimizando, además el proceso productivo, reduciendo los tiempos de entrega y los costos de impresión mediante el uso de esta máquina.

En el trabajo de (Navarro Soto, Navarro Soto, & Castillo Sánchez , 2022), se diseñó, construyó y elaboró la programación de una máquina extrusora casera la cual está destinada a obtener filamento o insumo utilizado para la impresión en 3D, además se obtuvo un prototipo de máquina extrusora casera con dimensiones aptas para ser portátil. Las pruebas realizadas demostraron un funcionamiento satisfactorio de la máquina.

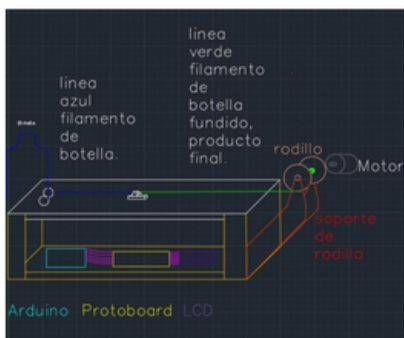
En el artículo titulado Elaboración de Filamentos de PLA, se expone un equipo de una máquina extrusora para la creación de filamentos PLA. La metodología empleada integra la búsqueda de componentes, desarrollo de ítems, ensamble de partes y pruebas de extrusión de filamento. Los resultados obtenidos por el diseño y desarrollo del dispositivo generaron un equipo capaz de extruir filamento de calibre 1.6 mm útil para la impresión de prototipos con equipo Makerboot® (Aguilar Duque, Amaya Parra, Juárez Luna, & González Valadez, 2016)

El trabajo de grado Diseño de una Extrusora para Filamento de Impresión 3D, consiste en diseñar una máquina capaz de tratar materiales termoplásticos disminuyendo su degradación para generar a partir de éstos un filamento útil para impresoras 3D. Por lo anterior se estudia el comportamiento de una extrusora previamente diseñada y partes fabricadas, para luego definir la geometría general y las variables de diseño adecuadas para representar convenientemente un calefactor para extrusión de filamento. El trabajo finaliza con un diseño de fácil construcción y optimizado, capaz de trabajar con diferentes materiales termoplásticos, (García Acevedo, 2015).

En la actualidad los procesos de reciclado o reutilización de materiales son de gran importancia para combatir la contaminación del medio ambiente, en algunos de los residuos plásticos se convierten en hidrocarburos, pero también existen otros procesos para el aprovechamiento de estos residuos y uno de ellos es la producción de filamentos para impresoras 3D.

En este proyecto se fabrica una máquina prototipo para la producción de filamentos. Esta máquina consta de una base en la cual se monta una botella de plástico que posteriormente será cortada desde su base con la ayuda de unos rodamientos para crear una tira de plástico que pasa por una cavidad que está en un bloque de aluminio y que es calentada con una resistencia calefactora de 24 volts. Un control de temperatura programado en una tarjeta Arduino mantiene en un valor deseado la temperatura que es leído por un sensor de temperatura (Termopar tipo K) del bloque de aluminio, posteriormente sale un filamento que es enfriado por un abanico y enrollado en un carrete que está girando por la acción de un motor de corriente directa de 24 volts (Ver Ilustración 1).

En el proyecto se utilizaron diferentes materiales como los presentados en las Ilustraciones 2 al 4. Una estructura de madera para instalar los diferentes componentes y una base que tiene dos rodamientos en la cual se monta la botella de plástico (ver Ilustración 2), un bloque de aluminio con una cavidad para la tira de plástico y una resistencia calefactora para el termoformado (ver Ilustración 3), un abanico de enfriamiento y un carrete accionado por un motor de corriente directa (ver Ilustración 4).



**Ilustración 1.** Diagrama esquemático de máquina prototipo.



**Ilustración 2.** Base de rodamientos para botella de plástico.



**Ilustración 3.** Bloque de aluminio y resistencia calefactora.



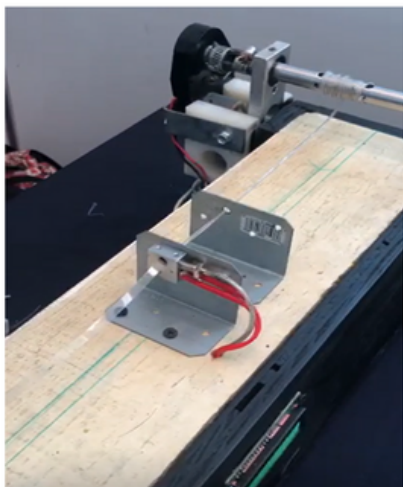
**Ilustración 4.** Abanico de enfriamiento.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Como resultado final se logró crear una máquina prototipo para disponer de una forma correcta los residuos de botellas plásticas. La integración de los componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control cumplieron con el propósito de generar un filamento que será útil para las impresoras 3D, ver Ilustración 5. En la Ilustración 6 se puede observar la máquina prototipo produciendo filamento; el cual tiene las siguientes especificaciones; el material reutilizado es "tereftalato de polietileno" (PET), y el diámetro del filamento es de aproximadamente 1.75 milímetros.



**Ilustración 5. Máquina prototipo.**



**Ilustración 6. Producción de filamento**

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo e implementación de la máquina prototipo presentó un reto por las dificultades técnicas relacionadas a la integración de las partes mecánicas, eléctricas, electrónicas y de control, sin embargo, se obtuvo un prototipo funcional, pero que está en una etapa de pruebas para generar un filamento de mayor calidad, por lo tanto, se tendrán que hacer más ajustes y un estudio detallado de la etapa de termoformado y control de temperatura, además del control de velocidad del carrete.

Con la fabricación de la máquina prototipo para la generación de filamentos 3D, y la experiencia que se adquirió, se espera que un futuro se pueda reducir al máximo contaminación por plásticos reutilizando la mayor cantidad de botellas, además de desarrollar un prototipo más eficiente y óptimo.

#### 5. LISTA DE REFERENCIAS

Aguilar Duque, J. I., Amaya Parra, G., Juárez Luna, V. M., & González Valadez, B. (2016). Elaboración de Filamentos de PLA. Academia Journals.

García Acevedo, C. A. (2015). Diseño de una Extrusora para Filamento de Impresión 3D. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica.

García León, R. A., Agrotta Hernandez, B., & Quintero, W. (2021). Diseño de una máquina de termoconformados para la fabricación de filamento ABS Y PLA. Informador Técnico, 34-51. Mohammed, A. J. (s.f.). Naciones Unidas México. Obtenido de <https://www.onu.org.mx/agenda-2030/objetivos-del-desarrollo-sostenible/>

Navarro Soto, R., Navarro Soto, L., & Castillo Sánchez, M. (2022). Diseño y construcción de una máquina extrusora para obtener filamento de impresoras. Memorias del Congreso Científico Tecnológico de las carreras de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Industrial y Telecomunicaciones, sistemas y electrónica, 1-6.

OMS. (22 de Agosto de 2019). Organización Mundial de la Salud. Obtenido de <https://www.who.int/es/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution>

PROFECO. (2 de Junio de 2021). Contaminación por plástico. Obtenido de <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es>

Rukikaire, K. (21 de Octubre de 2021). ONU programa para el medio ambiente. (Informe de la ONU sobre contaminación por plásticos advierte sobre falsas soluciones y confirma la necesidad de una acción mundial urgente) Obtenido de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/informe-de-la-onu-sobre-contaminacion-por-plasticos>

## **Desarrollo de Prototipo con Brazo Robótico Automatizado para la obtención de Películas Delgadas Semiconductoras**

**Rivas Orozco Rafael**  
**Gamboa Torres Gerson**  
**Colunga Meza Estefani**  
**García Garza Julissa**  
**Dávila Rodarte Keila**  
**Alfaro Galena Stefany**  
**Martínez Hilariona**  
**Gloria Puente Juan José**  
**Verástegui Domínguez Luz Hypatia**  
lhypatia@ute.edu.mx

### **Resumen**

El método de Adsorción y Reacción Sucesiva de Capa Iónica mejor conocido como SILAR por sus siglas en inglés es un método de deposición de películas que se basa en la inmersión de un sustrato en soluciones química, seguido de un enjuague del sustrato entre cada inmersión. Actualmente los sistemas de deposición SILAR suelen ser equipos costosos y poco accesibles a la comunidad científica y estudiantil. Por lo tanto, es necesario construir nuevos dispositivos que permitan desarrollar este método a precios accesibles para todos, para ello, ocupamos fomentar el interés científico, tecnológico y de innovación en los estudiantes de educación superior para que puedan comprender problemas reales, en los que se puede brindar solución mediante el desarrollo e integración de prototipos mecatrónicos automatizados. El prototipo cuenta con un brazo robótico, una pinza (gripper), una resistencia para calentar el agua modelo 1556, un termostato digital tipo W1209, un baño para control de temperatura, dos bombas de agua, un módulo de censado de tarjetas y un buzzer. Su estructura está fabricada con paredes de acrílico de 10mm y su funcionamiento se lleva a cabo utilizando un software basado en la plataforma Arduino.

Palabras claves: brazo robótico, prototipo automatizado, Arduino, películas delgadas, método SILAR.

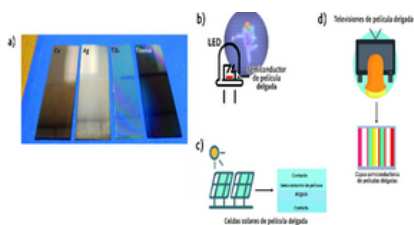
### **Abstract**

The Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction method, better known as SILAR, is a film deposition method that is based on the immersion of a substrate in chemical solutions, followed by rinsing the substrate between each immersion. Currently, SILAR deposition systems are usually expensive equipment and not very accessible to the scientific and student community. Therefore, it is necessary to build new devices that allow this method to be developed at prices accessible to everyone. To do this, we promote scientific, technological and innovation interest in higher education students so that they can understand real problems, in which can provide a solution through the development and integration of automated mechatronic prototypes. The prototype has a robotic arm, a clamp, a resistor, a W1209 type thermostat, a bath for temperature control, two water pumps, a card census module and a doorbell. Its structure is made of 10 mm acrylic walls and its operation is carried out using software based on the Arduino platform.

Keywords: robotic arm, automated prototype, Arduino, thin films, SILAR method.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una película delgada es aquel material cuyo espesor varía desde fracciones de un nanómetro (1nm=10-9m) hasta varios micrómetros. Actualmente, las a) películas delgadas están revolucionando la eficiencia tecnológica, ya que pueden ser utilizadas no sólo en el área electrónica, sino también en la fabricación de b) luces LED, c) celdas solares, d) televisiones de película delgada (Figura 1) , en superficies antibacteriales y autolimpiantes como recubrimientos o bien en herramientas para proporcionar dureza en piezas mecánicas, (Sucheta Sengupta, 2023; A. Adutharajan, 2023). Por otro lado, un material semiconductor es aquel que, dependiendo de las condiciones de temperatura, presión, radiación y campos magnéticos, pueden actuar como conductor, permitiendo el paso de la corriente, o como aislante, impidiendo el paso de esta. Como ejemplo encontramos que los óxidos semiconductores de zinc (Zn), estaño (Sn), magnesio (Mg), entre otros, han sido utilizados en el desarrollo de sensores, transistores, detectores UV, entre otros. Películas delgadas de sulfuro de cadmio (CdS) han sido utilizados en aplicaciones de almacenamiento de energía, principalmente en celdas solares (Abass A. Faremi, 2022). Todas estas investigaciones son posibles ya que las propiedades fisicoquímicas de los semiconductores proporcionan y aseguran la eficiencia para el buen funcionamiento de los dispositivos de película delgada.



**Figura 1** a) Películas delgadas y sus aplicaciones, b) transistores y LEDs, c) televisiones, d) celdas solares.

En la actualidad existen varias técnicas de deposición para obtener películas delgadas, incluidas técnicas de bajo costo como la deposición en baño químico, la electrodeposición y el método SILAR. Para facilitar el trabajo de obtención de películas finas en el laboratorio se han realizado desarrollos encaminados a la automatización del proceso SILAR. Por ejemplo, un grupo de investigadores de la Universidad Veracruzana desarrolló un instrumento automatizado para hacer películas delgadas mediante el método SILAR, éste se compone de tres sistemas diferentes: una plataforma móvil con dos grados de libertad, un microcontrolador de 8 bits para ajustar velocidades sobre los ejes XY y un software de código libre para programar y monitorear los principales parámetros de deposición del dispositivo SILAR (Woo García, 2022).

Nuestro trabajo se centró en el desarrollo de un prototipo que se capaz de producir películas delgadas mediante el método SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction) de forma automatizada. Este método consta de cuatro pasos diferentes, el primero es la inmersión de un sustrato en soluciones precursoras de carácter catiónico y aniónico respectivamente, seguido de un enjuague del sustrato entre cada inmersión en agua bidestilada. El proceso SILAR se describe a continuación:

1. El sustrato se sumerge en una primera solución catiónica durante cierto tiempo.
2. El sustrato se retira y se enjuaga rápidamente en agua bidestilada.
3. El sustrato paso a un tercer recipiente el cual contiene una solución aniónica durante cierto tiempo.
4. Finalmente, el sustrato se retira y se enjuaga nuevamente, terminando así un ciclo para comenzar de nuevo con otro ciclo.

Este proceso se repite tantas veces según sea necesario para hacer crecer películas delgadas semiconductoras con diferentes espesores. En la Figura 2 se observa el esquema de los cuatro pasos necesario para llevar a cabo el método SILAR.

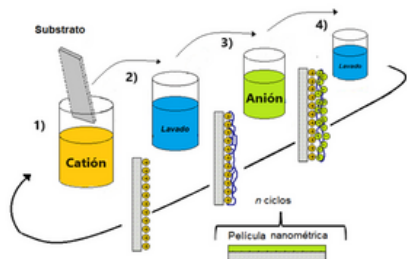


Figura 2 Esquema del proceso del método SILAR.

Una de las ventajas de nuestro prototipo es la de manipular sustratos de vidrio en una posición particular, y mediante un software controlar el tiempo, posición, velocidad, movimiento del brazo y temperatura. Otra ventaja es que el prototipo tiene un sensor que permite activar el proceso, lo permite tener una herramienta segura para quienes lo operan. Además, este prototipo cuenta con un sistema de vaciado y llenado de un contenedor de agua, el cual contiene los recipientes con las soluciones químicas, lo que permite variar las temperaturas de trabajo para la obtención de las películas delgadas.

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un prototipo automatizado para obtener películas delgadas, además, la construcción de este proyecto impactará en la formación de los estudiantes de mecatrónica en el área de automatización, ya que para hacerlo es necesario aplicar las habilidades y conocimientos adquiridos en sus materias. También permite desarrollar habilidades como liderazgo, gestión de recursos, gestión del tiempo, trabajo en equipo, capacidad de comunicación para resolver problemas y su formación profesional e integral como ingenieros. Por otro lado, el programa de nanotecnología tendrá una herramienta especializada para desarrollar nuevos materiales por la versatilidad del prototipo, permitiendo a los estudiantes ampliar sus competencias y enriquecer su aprendizaje educativo.

## 2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Este proyecto desarrolló un prototipo para obtener películas delgadas mediante el método SILAR. Para su construcción se propusieron las siguientes especificaciones:

- i. Contar con una tarjeta de presencia que funcione como llave de acceso para operar la computadora.
- ii. Incluir un termostato para ajustar parámetros de temperatura a las soluciones.
- iii. Poder ajustar los parámetros iniciales (ciclos, velocidad, tiempo de inmersión) de acuerdo con las condiciones específicas para el desarrollo de la película delgada.

La construcción del equipo se divide en dos áreas: el área de control y el área de trabajo. En la Figura 3 se observa el prototipo y sus áreas.

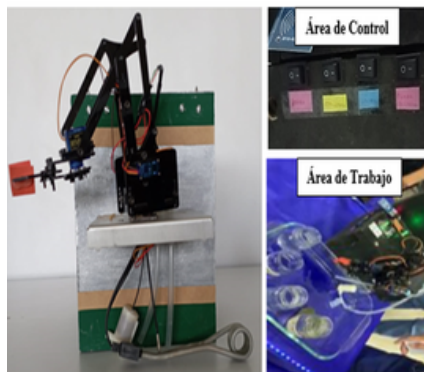
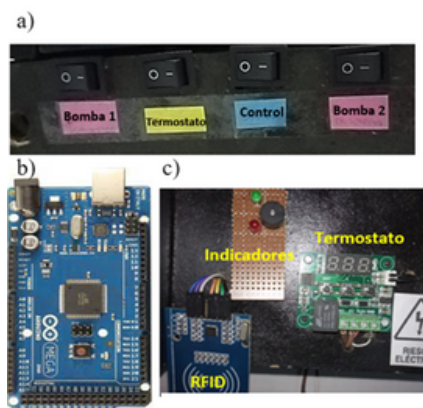


Figura 3 Prototipo automatizado.



## Área de control

En el área de control, se ensambló una base de madera aglomerada en la cual se colocó la fuente de alimentación 110V CA, un termostato digital tipo W1219, la alimentación para las dos bombas de agua, la resistencia y el controlador Arduino Mega. En el área de control se encuentran los interruptores de encendido - apagado que activan todo lo ya mencionado. En la Figura 4 se observa lo siguiente: Interruptor de bomba 1 (llenado de agua del recipiente), interruptor de termostato, interruptor del control de acceso (tarjeta-llave) y el interruptor de bomba 2 (extracción del agua del recipiente).



**Figura 4** a) Interruptores de funcionamiento del prototipo, b) elemento interno del área de control (Arduino mega) y c) elementos externos.

## Área de trabajo

Por otro lado, el área de trabajo incluye el brazo robótico de acrílico de medidas: base 10x15 cm, altura: 14 cm, carga: 60 gr, alcance máximo: 24 cm y apertura de la pinza: 5 cm, 4 servos sg90 y un contenedor de agua con una resistencia de calentamiento modelo 1556 para controlar la temperatura de las soluciones químicas. En la Figura 5 se observa una imagen del a) brazo y del b) contenedor con la resistencia.



**Figura 5** a) Brazo robótico y b) contenedor y resistencia.

## Funcionamiento del prototipo

El funcionamiento de este prototipo se describe a continuación:

1. Se debe encender la bomba 1, para llenar el recipiente hasta un nivel de agua deseado, después se apaga la bomba 1.
2. Se coloca la resistencia en el recipiente, para comenzar a elevar la temperatura del agua del contenedor (<80°C).
3. Se enciende el termostato y el control para monitorear los niveles de temperatura del agua a las condiciones deseadas y dar acceso al proceso SILAR por medio de la tarjeta (llave de acceso).
4. Inicia el proceso SILAR, el brazo comienza a sumergir el sustrato por las soluciones químicas la cantidad de veces que se le programe. Es necesario ajustar los parámetros iniciales desde el código fuente antes de comenzar con este proceso.
5. Se apagan los interruptores: control, termostato y bomba 2.

## Tarjeta de Acceso al proceso SILAR

El prototipo, se activa mediante una tarjeta la cual trae un código que se puede configurar para dar o negar acceso al funcionamiento del prototipo. Esto se pensó, con el objetivo de poder proteger tanto el equipo como a las personas que lo operan y así evitar accidentes. Cuando la tarjeta se acerca al módulo RFID, si el código es correcto manda una señal auditiva y enciende un led verde hasta terminar el proceso SILAR. En caso contrario, si el código no está registrado manda una señal visual (enciende el led rojo) y una señal auditiva por medio de un buzzer, la cual seguirá activa hasta que se logre pensar un código de acceso correcto (Ver Figura 6).

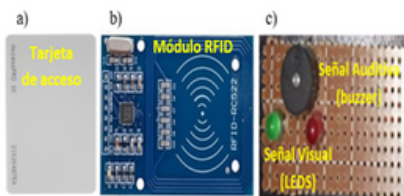


Figura 6 a) Tarjeta de acceso, b) Módulo RIFD de tarjeta y c) indicadores visuales (LEDs) y auditivo (buzzer).

### Programación del brazo para automatizar el proceso SILAR

La programación del brazo robótico se llevó a cabo mediante la plataforma de Arduino. En la Figura 7 se muestra el diagrama de flujo utilizado para escribir las líneas de código de la programación del proceso SILAR.



Figura 7 Diagrama de flujo proceso SILAR.

Con este diagrama de flujo se muestra de forma clara las instrucciones de programación para que el prototipo comience a realizar la tarea asignada. Si la tarjeta sensada tiene el código correcto entonces el prototipo comienza con el proceso SILAR en caso contrario, el sistema no arrancará y pedirá nuevamente el código de acceso correcto para iniciar.

En la Figura 8 se observa el código de programación de los grados de libertad definidos para el funcionamiento automático del brazo robótico, así como la indicación de los tiempos de inmersión y reposo del sustrato entre cada solución.

```

myServo3.write(ang--);
delay(50);
}
delay(3000); // mover a condiciones deseadas tiempo sumergido

//BRAZO
for(ang=70; ang<140; ang++)
{
myServo2.write(ang++);
delay(50);
}
delay(3000); // mover a condiciones deseadas tiempo de reposo

//BRAZO
for(ang=140; ang>70; ang--)
{
myServo2.write(ang--);
delay(50);
}
delay(5000);

//ANTEBRAZO
for(ang=100; ang<177; ang++)
{
myServo3.write(ang++);
delay(50);
}
  
```

Figura 8 Código de programación del brazo robótico.

### Deposición de películas delgadas PbS

Para evaluar el funcionamiento del prototipo propuesto, se depositaron películas de PbS sobre sustratos de vidrio de dimensiones 25.4 x 76.2 mm con la configuración presentada en la Figura 2, donde el sustrato se sumergió secuencialmente en cuatro vasos para cada ciclo en la dirección indicada.

Antes de cada depósito, los sustratos se limpiaron con una solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (1:1). En esta solución, los sustratos se sumergieron y se agitaron durante 5 min. Después, los sustratos se enjuagaron con agua desionizada y con alcohol isopropílico. La solución precursora catiónica (Pb<sup>2+</sup>) se preparó usando acetato de plomo (II) 0.1 M (Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>), y trietanolamina 0.2 M (C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>NO<sub>3</sub>), en una proporción de 1:2; la solución aniónica (S<sub>2</sub><sup>-</sup>) se preparó con tioacetamida 0.1 M (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NS). El tiempo de inmersión fue de 1 min en la solución catiónica y aniónica, respectivamente, el tiempo de enjuague en agua desionizada fue de 5 s y la velocidad de inmersión fue de 60 cm/min.

El número de ciclos de deposición utilizado fue de 15 y 45 para estudiar el funcionamiento del prototipo y la evolución del crecimiento de las películas sobre los sustratos, para estas pruebas las películas se realizaron a temperatura ambiente (Judita & Sigita, 2002).

### Caracterización de la película

Las películas de PbS se caracterizaron por difracción de rayos X en un rango  $2\theta$  desde  $10^\circ$  a  $80^\circ$ , con un paso de  $0.06^\circ$ . El equipo es de la marca Rigaku/Miniflex 600, operado en modo detector scan a 40 kV, con una fuente de radiación de la lámpara Cu-Ka1, de longitud de onda igual 1,540 Angstroms.

### 3. RESULTADOS

Se construyó un prototipo que cumple con los requerimientos propuestos inicialmente. Las pruebas de laboratorio monitorean el comportamiento del prototipo en funcionamiento y también demuestran el crecimiento de la película delgada sobre el sustrato, el cual fue analizado mediante la técnica de difracción de rayos X.

Se hicieron pruebas para determinar el tiempo en el que el contenedor de agua tarda en alcanzar su temperatura máxima ( $80^\circ\text{C}$ ), la Tabla 1 muestra información de pruebas independientes, así como las temperaturas alcanzadas.

Tabla 1. Monitoreo de temperatura en el contenedor.

Prueba	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )	Tiempo (min)
1	35	11.9
2	35	11.6
3	40	13
4	40	12.7
5	50	16
6	50	16.3
7	60	20
8	60	19.8
9	80	26
10	80	26.2

De esta tabla se puede observar que las temperaturas registradas son constantes con respecto al tiempo. También se detectó que por encima de los  $40^\circ\text{C}$  ya no sería recomendable desarrollar las películas delgadas en este dispositivo, ya que las soluciones químicas podrían empezar a expedir gases tóxicos que pudieran dañar el prototipo o incluso ser perjudiciales a la salud del usuario, sin embargo, esto dependerá del tipo de precursor químico que se utilice para realizar el proceso SILAR.

La Figura 9 muestra los difractogramas de rayos X de las películas de PbS preparadas con diferentes ciclos de deposición. La escala y los difractogramas es una adaptación para observar los picos, pero no pretende comparar las respectivas intensidades de los picos. De acuerdo con la ficha cristalografica PDF 98-006-3095 para el PbS en fase cúbica, los picos ubicados en ángulos  $2\theta$  son:  $26.00^\circ$ ,  $30.12^\circ$ ,  $43.08^\circ$ ,  $50.96^\circ$ ,  $53.48^\circ$ ,  $62.00^\circ$ ,  $68.12^\circ$ ,  $70.96^\circ$  y  $79.00^\circ$  corresponden a los planos (111), (002), (022), (113), (222), (004), (133), (024) y (224).

En nuestras muestras se observan pequeños picos en  $26^\circ$ ,  $30^\circ$  y  $43^\circ$  aproximadamente, los cuales corresponden a los planos (111), (002) y (022) (Judita & Sigita, 2002; Haineng, Xin, & Fuqiang, 2019). También aparece una señal a  $18^\circ$  en la película desarrollada a 15 ciclos, pero esta puede atribuirse a la oxidación de PbS durante la deposición de la película o a los precursores que no reaccionaron. El comportamiento de los picos de difracción característicos se desarrolla a partir de los 45 ciclos de deposición, lo que comprueba que nuestro dispositivo SILAR puede obtener películas cristalinas de PbS sin calentamiento adicional. Esta es solo una prueba preliminar la cual se realizó con la intención de demostrar el funcionamiento del equipo. La composición química de las muestras se evaluará en un trabajo a futuro sobre las propiedades de las películas de PbS y sus posibles aplicaciones.

## 5. CONCLUSIONES

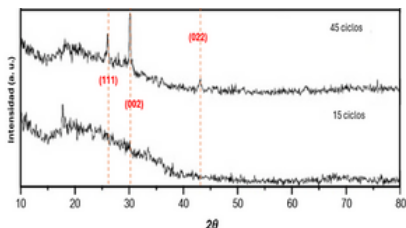


Figura 9 Difractogramas de las películas obtenidas a partir de 15 y 45 ciclos por el método SILAR.

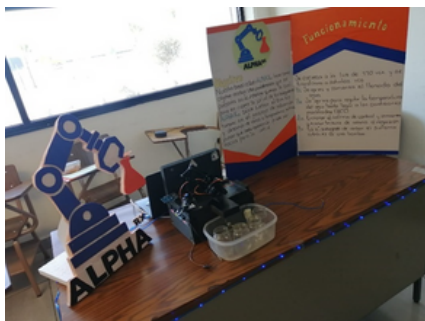
## 4. DISCUSIONES

De manera general, siempre que el dispositivo este encendido inicialmente, se detectará la temperatura ambiente al comenzar el ciclo SILAR, en caso de colocar la resistencia en el contenedor se puede incrementar la temperatura de los recipientes la cual será controlada por el termostato. Este paso es opcional ya que, se pueden desarrollar películas a temperatura ambiente. Para que nuestro dispositivo funcione correctamente es necesario que no se exceda su tiempo de trabajo el cual es de 90 minutos consecutivos, después de este tiempo es necesario dejarlo reposar 15 minutos antes de volverlo a utilizarlo ya que podría sobrecalentarse, afectando los circuitos internos del dispositivo. Las primeras pruebas realizadas nos permitieron monitorear las posiciones que ejecuta el brazo robótico para llevar a cabo el proceso SILAR. También se observó que, una vez colocado el sustrato en el gripper, éste se desplazaba de la posición inicial debido al movimiento, lo que provocaba un ligero rotamiento en el mismo. Este detalle se puede corregir utilizando ventosas en el gripper para adherir mejor el sustrato y evitar los desplazamientos ya que, es necesario mantener una posición uniforme durante todo el proceso SILAR para obtener películas delgadas homogéneas.

Como conclusiones se logró construir un prototipo automatizado para obtener películas delgadas mediante el método de Adsorción y Reacción Sucesiva de Capa Iónica (SILAR). Este dispositivo permite controlar los parámetros iniciales del proceso, como el tiempo de inmersión, la velocidad y el número de ciclos. La temperatura de trabajo se puede ajustar en las soluciones con precursores químicos, pero es necesario considerar que a temperaturas superiores a 40°C si estos precursores son tóxicos o corrosivos, podrían dañar los componentes del prototipo, por lo que se recomienda trabajar a bajas temperaturas. También se logró obtener películas delgadas de PbS las cuales fueron sintetizadas a temperatura ambiente y siguiendo la secuencia del proceso SILAR ya descrita. Estas películas coinciden con la ficha cristalográfica PDF 98-006-3095 para el PbS en fase cúbica. Por otro lado, es importante resaltar que nuestro prototipo es seguro para el usuario ya que su área de trabajo se activa mediante la tarjeta de acceso lo cual da mayor control sobre las personas que quieran manipularlo. Es necesario tener en cuenta su tiempo de trabajo para que pueda funcionar correctamente y las películas se puedan obtener en condiciones óptimas. Como trabajo futuro se pretende realizar un sistema hermético con el fin de controlar las características y propiedades de películas delgadas. También está previsto añadir una rejilla con un filtro de extracción en caso de aumentar las temperaturas de las soluciones químicas para no dañar el prototipo. Otro punto de mejora es agregar un horno resistivo para secar las películas.

## 6. ANEXOS

Este trabajo fue presentado en la semana tecnológica de nuestra Universidad bajo el nombre de ALPHARX, generando gran interés por parte de los compañeros de los primeros cuatrimestres de mecatrónica, así como también de otras carreras.



## 7. REFERENCIAS

A. Adutharajan, N. R. (2023). Recent advances and challenges associated with thin film coatings of cutting tools: a critical review. *The International Journal of Surface Engineering and Coatings*, 101(4). doi:10.1080/00202967.2022.2082154

Abass A. Faremi, A. T. (2022). Engineering of window layer cadmium sulphide and zinc sulphide thin films for solar cell applications. *Results in Engineering*, 16. doi:10.1016/j.rineng.2022.100622

Haineng, B., Xin, L., & Fuqiang, G. &. (2019). Comparative study on the growth mechanism of multishape PbS via hydro-and solvothermal methods. *Optical Materials Express*, 9(2), 932-943. doi:10.1364/OME.9.000932

Judita, P., & Sigitas, T. &. (2002). Growth of PbS thin films on silicon substrate by SILAR technique. *Thin solids films*(403), 457-461. doi:10.1016/S0040-6090(01)01662-5

Sucheta Sengupta, R. A. (2023). A review on chemical bath deposition of metal chalcogenide thin films for heterojunction solar cells. *Journal of Materials Research*, 38. doi:10.1557/s43578-022-00539-9

Woo García, R. &. (2022). Automated instrument for the deposition of thin films using successive ionic layer adsorption and reaction. *Processes*, 10. doi:10.3390/pr10030492

## Trituración Criogénica De Neumáticos Usados Por Crio Fractura

**Saldaña Acosta Jorge Miguel**  
3010jmsa@gmail.com

### 1. INTRODUCCIÓN

Gestionar adecuadamente los residuos sólidos representa un gran reto para la sociedad. El desecho de neumáticos en desuso, sin tener un plan de manejo especial adecuado para su disposición final, causa un impacto negativo sobre la salud del hombre y el ambiente. Actualmente la disposición terminal de la mayoría (91 %) de este residuo es su confinamiento en grandes tiraderos al aire libre lo que genera riesgo de incendio y desarrollo de fauna nociva. Sin embargo, bajo un enfoque de economía circular este tipo de residuo conserva cierto valor económico y al ser incorporado a nuevos ciclos productivos se considera un recurso. (Pérez y Saiz, 2018)

En la presente investigación se describe un proceso de trituración sencillo y económico, que posibilita la utilización del caucho fragmentado en algunos procesos productivos, como la fabricación de postes para cerca, topes para estacionamiento, impermeabilizantes, tapetes anti impacto, tabiques de construcción. (Hoyos et. al. 2021)

Antecedentes. - Hoy en día la legislación en materia ambiental ha establecido reglas y exigencias cada vez más estrictas a usuarios, fabricantes y comercializadores, promoviendo así la búsqueda de alternativas para el reúso de los residuos de caucho. (Sánchez- Juan, 2012., Guevara et. al.,2020).

La persistente discusión sobre el impacto de las diversas actividades del hombre sobre el entorno ha sucedido por años, y en la actualidad no se puede dejar de lado los efectos causados a los sistemas ambientales que soportan el desarrollo y crecimiento económico y cultural de la sociedad. Ello ha generado la necesidad de gestionar el crecimiento económico previniendo y/o minimizando al máximo los impactos sobre los recursos naturales y el ambiente, y así conservar sus funciones, para garantizar a las generaciones futuras la satisfacción de sus requerimientos. (Guevara, et.al., 2020, Vizuet, et. al., 2023).

Así la economía circular propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza de manera sostenible las materias primas y la energía, siendo su objetivo la eficiencia del uso de los recursos y minimización de la generación de residuos. Ello además establece un compromiso para la humanidad en cuanto a desarrollar todas sus actividades de manera sostenible (Pérez y Saiz, 2018, SEMARNAT, 2011., Vizuet, et. al., 2023). Dadas las características fisicoquímicas del caucho los procesos de reciclado de estos residuos es un verdadero reto tecnológico; puede realizarse por trituración mecánica, métodos químicos, pirolisis o recuperación energética. Todos ellos deberán alcanzar tasas de recuperación compatibles con las necesidades actuales de mitigación del impacto ambiental (Pérez y Saiz, 2018)

Lograr estos objetivos demanda generar estrategias de gestión ambiental encaminadas a resolver, disminuir y/o prevenir los problemas de índole ambiental, poniendo en práctica el uso de nuevas tecnologías y medidas realmente eficaces.

Aproximadamente cada año a nivel mundial se generan 17 millones de toneladas de neumáticos de deshecho, de los cuales entre 7 y 9 millones de toneladas son de caucho.

Los neumáticos de deshecho (NDD), representan un grave problema de salud humana y ambiental que año tras año se incrementa, ya que contamina el suelo, el agua y el aire; además pueden convertirse en hábitat para fauna nociva como insectos vectores de enfermedades, ratas y/o cucarachas; aunado a esto está el riesgo potencial de incendio muy difícil de controlar, con generación de gases altamente tóxicos (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, y COV's, dioxinas, furanos, Bifenilos policlorados, Ar, Cd, Zn, Hg, Cr y Va, Hidrocarburos aromáticos Polinucleares) (Leung et. al, 2002., Tu interfaz de negocios, 2013).

Sin embargo, se ha comprobado por estudios de laboratorio que los neumáticos en desuso pueden ser aprovechados como combustible sólido alternativo entre un 10 y 20 % de la demanda calórica total en hornos bien diseñados, equipados con precipitadores electrostáticos o filtros de tela.

El reaprovechamiento energético es la mejor opción para disponer de los miles de toneladas de neumáticos que anualmente son desechados puesto que su implementación técnica sería factible de realizar; en general el uso de neumáticos de desecho como combustible en hornos cementeros reduce la producción de óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre, ya que tienen un menor contenido de estos elementos.

Las aplicaciones deben buscar generar productos con mayor valor agregado y hacerlos más atractivos económicamente, con mayor posibilidad de comercialización y así aumentar los volúmenes de empleo, resultando en una disminución del impacto ambiental.

En la cadena del ciclo de vida de un producto, tiene gran importancia considerar que se hará con éste una vez que haya cumplido la función principal para la que fue generado, es decir tener alternativas para que al final de su ciclo de vida útil sea posible reintegrarlo a otro ciclo productivo o bien a los ciclos de la naturaleza. En particular el tema de las llantas en México por lo general son desechadas inadecuadamente en tiraderos clandestinos, basureros, baldíos o en cementerios de llantas.

Actualmente se desechan 40 millones de llantas al año en el país; solo el 12 % se recicla o reutiliza y el 91 % termina en tiraderos clandestinos (Morales, 2023; Pagaza, 2014; Tu INTERFAZ de negocios, 2013) por lo que hay un inventario de aproximadamente 300 millones de llantas desechadas que constituyen un serio problema que requiere una pronta atención; sin embargo, así mismo representan un recurso que puede incorporarse a un nuevo ciclo productivo desaprovechado.

Los principales cementerios de llantas se encuentran en el cerro del centinela en Mexicali, Baja California; el ejido Lázaro Cárdenas en Tijuana, Baja California Sur; Nogales, Sonora; Ciudad Juárez, Chihuahua; Matamoros y Reynosa, Tamaulipas y en el bordo de Xochiaca, Distrito Federal (Tu interfaz de negocios, 2013).

En la actualidad un gran número de productos y desechos son susceptibles de reciclarse, entre ellos se encuentran los neumáticos usados. Empresarios ingeniosos y preocupados por el medio ambiente están transformando uno de los desechos más comunes y más difícil de deshacerse (se estima que 1,500 millones de llantas se desechan todos los años en el mundo) en productos realmente atractivos y super fuertes. En Kenya la sandalia ekala a un costo de 2 a 5 dólares el par; zapatos hechos de neumáticos son comercializados por internet Apocalyps Labotek hace laminados para piso; Trisol, Granutec, HM Energy México Impermeabilizantes, pisos, y sustituto de diésel (Meza – Rodríguez, 2018).

El empresario Andrés Gasca comenta que su empresa Trisol recicla llantas para transformarlas en materia prima, a través de un proceso 100 % mecánico para productos como impermeabilizantes, bloques de construcción, pistas para correr, canchas de pasto sintético, carreteras, caminos de acceso para comunidades rurales, sustituto del diesel, material para construcción, etc, (Meza-Rodríguez, 2018).

Es común que muchos de los neumáticos de desecho sean enterrados en el relleno sanitario en vez de ser triturados donde provocan una alteración del diseño del sitio ya que flotan debido al metano producido, también pueden contaminar el agua subterránea al incrementar la cantidad de lixiviados en el vertedero, otro problema que genera la acumulación de neumáticos en algún sitio es el riesgo de incendio como los ocurridos en Stanislaus, California en 1999 y el de Seseña Toledo, España ocurrido en 2016. (BBC News Mundo, 2016)

Los neumáticos triturados ya no representan riesgo de incendio ya que no acumulan metano; se han utilizado como relleno ligero en algunos rellenos sanitarios sustituyendo a la arena y roca a menor costo e igual desempeño, también se les aplica para pistas de carreras, superficies de juegos, asfalto para carreteras. Según datos del Consejo Empresarial Mundial para el desarrollo sostenible a nivel mundial se generan 1,000 millones de neumáticos al año y existen 4,000 millones de vertederos (Meza - Rodríguez, 2018). Algunos países tienen importantes tasas de recuperación (85 %) de NDD como EUA, Corea del Sur y algunos países europeos, pero en México solo se recicla el 10 % y el resto termina en vertederos, rellenos sanitarios, ríos, calles y baldíos de acuerdo a datos de la Secretaría de Medio Ambiente de México.

Empresas mexicanas como Trisol, Granutec y HM Energy México utilizan neumáticos como materia prima para fabricar diversos artículos (pisos, impermeabilizantes, combustible), reincorporando así a un nuevo ciclo productivo y sostenible estos residuos (Meza- Rodríguez, 2018).

La fabricación de neumáticos es un proceso complejo que incluye el consumo de materias primas procedentes de fuentes no renovables caucho sintético, acero, agua y requiere elevadas cantidades de energía para su fabricación (Sánchez-Juan, 2012). En el proceso se producen grandes cantidades de emisiones a la atmosfera (Sánchez-Juan, 2012)

Una vez que los neumáticos cumplen con su ciclo de vida útil pueden seguir una de tres vías principales: Reutilización, valorización material (negro de carbón, polvo, granulado de neumático o el neumático completo) y valorización energética (aprovecha su poder calórico [7,500 Kcal/Kg] al emplearlo como combustible en cementeras, calderas industriales y centrales térmicas).

Las tecnologías empleadas para la reutilización de las llantas en desuso son varias, tales como el recauchado donde se sustituye la banda de rodamiento al neumático fuera de uso; trituración mecánica uno de los principales procesos de tratamiento en el cuál se corta y fragmenta en trozos de diverso tamaño que posteriormente son triturados para obtener caucho granulado o en polvo a temperatura ambiente (mecánicamente) o por cristalizado e impacto (criogénico y húmedo). Otras tecnologías son la pirolisis, termólisis.

El material recuperado puede ser usado como componente de capas asfálticas de carreteras y calles, alfombras, losetas de goma, aislantes de vibración, suelos para atletismo, tapetes anti impacto, cables de freno, zapatos, sandalias, relleno para superficies deportivas.

Dow chemical comercializa aglomerantes de granulado de caucho reciclado (Voramer) para aislamiento acústico, losetas y reductores de vibración en transporte (alfombras para andenes). También se le está usando para generar balsas, barreras, muros, carpetas drenantes para vertederos; por pirolisis se obtiene 37 % de negro de humo, 12 % de acero y 63 % de una fase gaseosa a partir de 1 llanta en desuso (Sánchez- Juan, 2012).



La Asociación Civil Manejo Responsable de Llantas Usadas elaboró un plan de manejo de las llantas de desecho de autos y camiones (R-13 a R-24) de carga con el objetivo de reducir el impacto social, ambiental y económico que tienen estos residuos; dicho plan fue elaborado conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT 2011 (Asociación Manejo responsable de llantas usadas, 2022).

Rubén López Albarrán presidente de la Asociación Nacional de Distribuidores de Llantas y Plantas Renovadoras Andellac, menciona que del reciclaje se obtiene acero, hule y cuerda Nylon que posteriormente es reutilizado de distintas maneras en diferentes procesos. Víctor Pagaza dueño de Recubrimientos Ecológicos y Reciclados S.A. de C.V. recicla las llantas por crio fractura con Nitrógeno líquido (Soriano, 2012).

El flujo de llantas usadas que son exportadas desde California a Baja California, Baja California Sur y región parcial de Sonora es tan grande que las disposiciones inadecuadas de las llantas de desecho han generado pequeños y grandes tiraderos ubicados en zonas aledañas a Tijuana, playas de Rosarito, Ensenada, Tecate y Mexicali en Baja California, así como en San LUIS RÍO COLORADO, SONORA. (TU INTERFAZ de negocios, 2013).

## 2. METODOLOGÍA

En un contenedor de plástico se preparó un baño frigorífico con etanol y hielo seco (Figura 1), en el cuál fue introducido el material de caucho a cristalizar, el residuo se incubó por varios periodos de tiempo para establecer el tiempo necesario para tener una cristalización efectiva, pasado este tiempo con la ayuda de pinzas se tomaron trozos de caucho y se ubicaron en la base del impactador (Figura 3), la cual posee 9 proyecciones romas para puntualizar la fuerza del impacto sobre el material a fragmentar, inmediatamente se dejó deslizar en caída libre, a través del carril guía, una masa de 5 Kg desde una altura de 1.20 m. con una fuerza de impacto de 29 Nw. Como prueba preliminar de una de las posibles aplicaciones del caucho triturado se fabricaron ladrillos de 8.25 cm x 5 cm x 1 cm con una mezcla de caucho y cemento en una proporción de 50 % y una vez fraguado se le

realizaron algunas pruebas para evaluar sus propiedades mecánicas.

a) Resistencia a la compresión simple. - Esta prueba es muy importante ya que la función principal es soportar esfuerzos de compresión en una construcción, ésta se realizó de acuerdo a la norma oficial NOM-C-036-ONNCCCE-2003

b) Prueba de Impermeabilidad. - se depositaron 5 gotas de agua destilada en puntos independientes sobre la superficie de un ladrillo producido con cemento y caucho en una proporción del 50 % y bajo el microscopio estereoscópico se determinó el comportamiento de las gotas de agua.

c) Prueba de aislamiento térmico. - Se construyó una pared con los ladrillos obtenidos en un lado de esta pared se generó calentamiento con una plancha térmica (sitio caliente) y al otro lado (sitio frío) se ubicó un termómetro para evaluar la temperatura después de elevar la temperatura del sitio caliente hasta 140 °C.

d) Prueba de absorción de agua. - Se evaluó de acuerdo a la norma NMX-C-164-onnccce-2020, se determinó el peso seco de los ladrillos y posteriormente fueron sumergidos en un recipiente con agua por un período de 24 horas al término de este tiempo los ladrillos fueron secados con papel secante y se determinó el peso seco saturado.

## 3. RESULTADOS

Los residuos de caucho cristalizados e impactados generaron partículas pequeñas de diversos tamaños (1 a 9 mm) los cuales son ya susceptibles de aplicar en algún proceso de reciclaje como la fabricación de materiales de construcción, postes para cercas, mezclas para reparación de baches.

Estos fragmentos obtenidos pueden ser procesados en un molino para obtener caucho granulado o polvo para aplicarlo en la fabricación de tapetes anti impacto, alfombras para jardín de niños, impermeabilizantes.

Prueba de impermeabilidad, la gota de agua depositada sobre la superficie del ladrillo mantuvo un ángulo de 90 grados con respecto a su superficie (figura 5), lo que indica que la superficie es completamente impermeable.

En la prueba de resistencia a la compresión simple, los productos mostraron una alta resistencia a la compresión, con un valor de 9.3 Kg/cm<sup>2</sup>

En cuanto al aislamiento térmico los ladrillos mostraron un bajo índice de conductividad del calor ya que la temperatura solo se incrementó de 10 °C a 11.5 °C al lado frío en comparación al lado caliente que estuvo a 140 °C. (figuras 6,7 y 8).

La absorción de agua por parte de los ladrillos de prueba fue mínima (1.0 g del peso original), comparada con otros materiales de construcción como: el ladrillo blanco 20%, ladrillo de gres 2%, ladrillo de arcilla 12% y ladrillos cara vista comunes por arriba de 8%. (ver tabla # 1)

Tabla # 1 Valores de absorción de agua por algunos materiales de construcción

MATERIALES	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
Ladrillo Blanco	20
Ladrillo de Gres	2
Ladrillo de arcilla	12
Ladrillo cara vista	más de 8
<b>Ladrillo prueba</b>	<b>1.0</b>

Elaboración propia

#### 4. CONCLUSIONES

El enfriamiento en el baño a - 78 °C permitió cristalizar de manera eficiente el residuo de caucho como para poder romperlo como un material cristalino; los fragmentos obtenidos fueron de varios tamaños, sin embargo, lo suficiente pequeños (1 a 8 mm, principalmente) para poder aplicarlos en algún proceso productivo como la producción de losetas aislantes o ladrillos para construcción. (Figuras 1 - 4)

El proceso desarrollado en esta investigación tiene ciertas similitudes con el proceso de trituración crio mecánica que emplea el empresario Víctor Pagaza Melero solo que él emplea Nitrógeno líquido para cristalizar el residuo lo que incrementa en gran medida el costo de operación (Precio del Nitrógeno líquido \$ 295.00 por litro) y aquí se empleó una mezcla de hielo seco - etanol lo que disminuyó importantemente el costo del proceso (\$ 12 ¼ Kg de hielo seco y \$ 40.00 1 litro de etanol).

Esta tecnología es muy ambiciosa por su eficacia energética y económica.

Se desarrolló un proceso para obtener un nuevo material aislante ideal para las regiones más débiles económicamente; Al ser producido con material de desecho y sin gasto de energía, su precio al final es realmente bajo.

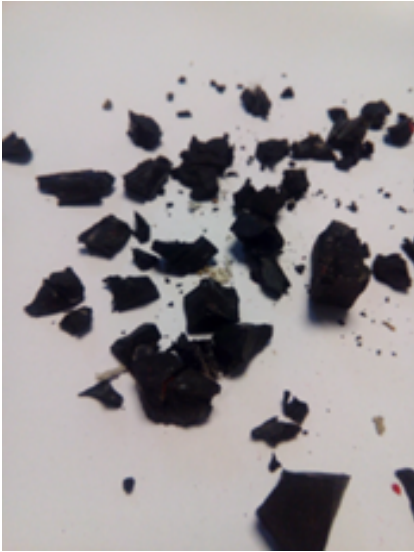
Los ladrillos obtenidos mostraron altas cualidades mecánicas y propiedades muy adecuadas como material de construcción.

La resistencia a la compresión del material de construcción alternativo obtenido fue alta, a pesar de sólo haber sido fraguado al sol.

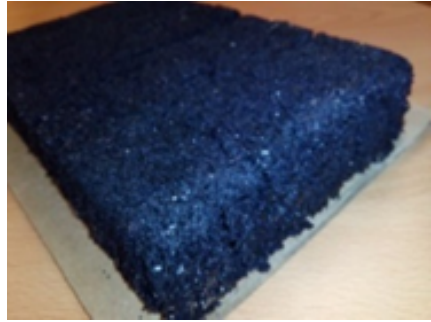
La densidad de estos materiales permite que puedan ser utilizados en sitios elevados, sin incrementar la cimentación; y los hace perfectamente manejables.



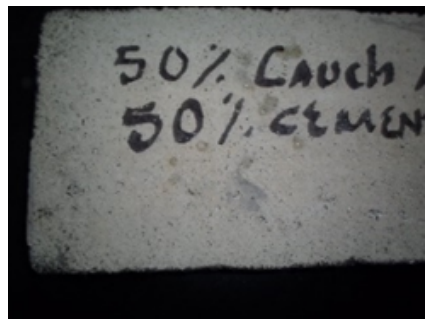
Figura 1 neumático en baño criogénico



**Figura 2** Fragmentos obtenidos



**Figura 4** Recubrimiento impermeable



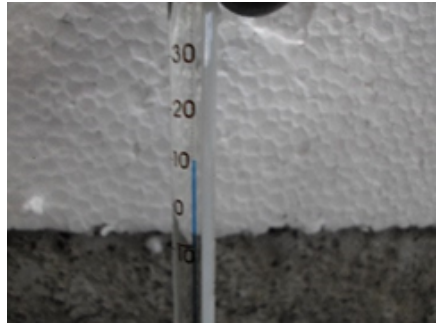
**Figura 5** Evidencia de Impermeabilidad



**Figura 3** Impactador después del impacto



**Figura 6** Aislamiento térmico



**Figura 8** sitio frío



**Figura 7** sitio caliente

## 5. REFERENCIAS

Asociación Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C. (2022) Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho; conforme a la NOM-161-SEMARNAT- 2011, 78 pp.

BBC News Mundo (13 de mayo de 2016), España: miles de personas evacuadas por incendio en el mayor vertedero de neumáticos de Europa.

Guevara, J., Tinoco, F., Delgado, E., y Calderón, J (2020) Rehúso pragmático de neumáticos en un proyecto educativo para alcanzar competencias del desarrollo sostenible. *Industrial Data* 23(2).

<https://tuinterfaz.mx/articulos/13/98/reciclaje-de-llantas-como-convertir-un-problema-ambiental-en-productos-con-valor-agregado/>  
<https://www.interempresas.net/Automocion/Articulos/110209-De-neumatico-a-combustible-y-energia-electrica.html>  
<http://www.sonoranbusinesssensor.com/2018/02/granute-invertira-25-mdp-en-una.html>  
<https://worldwidescience.org/topicpages/r/reciclado+para+barreras.html>  
<https://www.mexicohazalco.org/2014/11/empresa-mexicana-recicla-llantas-y-las-transforma-en-muebles/>

[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140806\\_vert\\_aut\\_usar\\_cauchos\\_reciclados\\_yv](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140806_vert_aut_usar_cauchos_reciclados_yv)  
<https://www.forbes.com.mx/este-emprendedor-mexicano-quiere-tus-llantas-ponchadas/>  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160513\\_espana\\_incendio\\_en\\_vertedero\\_neumaticos\\_aph](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160513_espana_incendio_en_vertedero_neumaticos_aph)  
[https://www.google.com/search?rlz=1C1AVNG\\_enMX694MX694&biw=1006&bih=419&ej=AQCIXfGyjdLmsAWh1reQDw&q=meza-rodriguez+2018+llantas+usadas&oq=meza-rodriguez+2018+llantas+usadas&gs\\_l=psy-ab.12...5982.19489..28747...0.2..0.248.3247.0j18j3.....0...1..gws-wiz.....0i71.MWDIKBkGng4&ved=0ahUKewixt-KQx-XkAhVSM6wKHSrDfiQ4dUDCAs](https://www.google.com/search?rlz=1C1AVNG_enMX694MX694&biw=1006&bih=419&ej=AQCIXfGyjdLmsAWh1reQDw&q=meza-rodriguez+2018+llantas+usadas&oq=meza-rodriguez+2018+llantas+usadas&gs_l=psy-ab.12...5982.19489..28747...0.2..0.248.3247.0j18j3.....0...1..gws-wiz.....0i71.MWDIKBkGng4&ved=0ahUKewixt-KQx-XkAhVSM6wKHSrDfiQ4dUDCAs)  
[https://www.google.com/search?rlz=1C1AVNG\\_enMX694MX694&biw=1006&bih=419&ej=AQCIXfGyjdLmsAWh1reQDw&q=Sanchez-juan+2012+llantas+usadas&oq=Sanchez-juan+2012+llantas+usadas&gs\\_l=psy-ab.12...1806.16626..18913...0.2..0.286.3171.0j16j3.....0...1..gws-wiz.....0i71.JHi1NLVSNw&ved=0ahUKewixt-KQx-XkAhVSM6wKHSrDfiQ4dUDCAs](https://www.google.com/search?rlz=1C1AVNG_enMX694MX694&biw=1006&bih=419&ej=AQCIXfGyjdLmsAWh1reQDw&q=Sanchez-juan+2012+llantas+usadas&oq=Sanchez-juan+2012+llantas+usadas&gs_l=psy-ab.12...1806.16626..18913...0.2..0.286.3171.0j16j3.....0...1..gws-wiz.....0i71.JHi1NLVSNw&ved=0ahUKewixt-KQx-XkAhVSM6wKHSrDfiQ4dUDCAs)  
<https://www.publimetro.com.mx/mx/noticias/2012/0ñp9/03/que-usos-se-les-da-llantas-reciclad.html>

Hoyos, L., Pulcon, K., and Muñoz, S. (2021), Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas una revisión literaria infraestructura vial, 23(41).44410

Leung, D. Y. C., Yin, Z. Lhao, B. Y., Xu, Y, Chen (2002), Pyrolysis of tire power: Influence of operation variables of the composition and yields of gaseous product. *Fuel Processing Technology*, 79, 141 – 155.

Meza Rodríguez, E. (3 de diciembre de 2018), Crean artículos sustentables con llantas usadas. *El Economista*

Morales Romero, E. (2023) Recolección, reutilización y reciclaje de llantas usadas. *Alianza Auto Motriz Revista digital especializada*, 524; 38 – 40.

Pérez Aparicio, R., y Saiz Rodríguez, L., (2018), Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en recurso. *Revista de plásticos modernos*, 115 (730), 11 – 18.

Raúl Macazaga, 2013, Jul – ago. 2013, Reciclaje de llantas: como convertir un problema ambiental en productos con valor agregado, *Tu INTERFAZ de negocios*, año 3, número 13.

Sánchez Juan, R., (2012), Segunda vida de los neumáticos usados. *Química viva*, 11(1) 24 – 39. SEMARNAT, (2011), NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo.

Vizuet Moreno, M.O., Miranda Campaña, A.E., Avilés Rivera, R.M. y Nole Salazar, M.J. (2023), Reutilización de neumáticos fuera de uso para reducir niveles de contaminación y su aprovechamiento en espacios recreacionales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1): 6746 – 6761.

## Interface De Anodo-Soportado/Electrolito (NiO-GDC) Para Aplicación A Pila De Combustible (SOFC)

**Sinuhe Costilla Aguilar**

scostilla@ute.edu.mx

**René Fabián Cienfuegos Paelas**

rene.cienfuegospl@uanl.edu.mx

### Resumen:

La interface entre materiales de ánodo-soportado (Oxido de Níquel (NiO)) y electrolito, (Ce<sub>0.9</sub>Gd<sub>0.1</sub>O<sub>1.95</sub> (GDC)) ha sido fabricado exitosamente mediante la técnica de colado por banda (tape-casting) para el ánodo y centrifugado (spin-coating) para el GDC. Se estableció que entre las relaciones de porcentaje en peso (50:50, 60:40 y 70:30 %Wt) entre NiO y GDC, la relación 60:40 %Wt, presento mejor distribución de ambos materiales. Se encontró mediante de microscopia electrónica de barrido (MEB) se requirió una temperatura de 800 °C, donde, no se observaron deslaminaciones y fracturas, comprobando que la interface de ánodo-soporte/GDC es viable para la construcción empleando dichas técnicas de revestimiento escalables a la industrial para aplicación de diferentes pilas de combustible de Hidrogeno (H<sub>2</sub>) como dispositivos energéticos para la generación de cero emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### 1.INTRODUCCIÓN

Actualmente, el desarrollo de grandes almacenamientos de energía, así como, convertidores de energía limpia ha sido un importante tema debido a las altas demandas energéticas en el mundo para los principales sectores (industriales, residenciales y automotriz). Además, el principal gas contaminante CO<sub>2</sub> ha ido en incremento, el cual, juega un importante rol en el cambio climático global [1].

Una alternativa energética son las celdas de combustible de oxido sólido (por sus siglas en inglés SOFC) que trabajan a temperatura intermedia (500-800 °C). Las SOFC tienen la versatilidad de convertir energía química directamente a energía eléctrica sin generar emisiones de CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, fabricar celdas SOFC con métodos de bajo costo y que operan a temperatura intermedia ha sido tema reciente de estudio. La SOFC se compone de tres materiales; ánodo donde se realiza

la oxidación del combustible, electrolito (conductor iónico) y cátodo que genera la reducción del oxígeno en iones de oxígeno (O<sub>2</sub><sup>-</sup>). En la manufactura de las celdas se conocen principalmente las celdas con configuración electrodo-soportado y electrolito-soportado, siendo el material soporte de mayor espesor. En este trabajo se ensambla la interface de ánodo-soportado para conseguir que el electrolito sea de menor espesor para generar menor resistencia de conducción de O<sub>2</sub><sup>-</sup> para producir mayor rapidez y flujo de los mismos para llegar al ánodo y crear buena oxidación del combustible. El electrolito GDC es un excelente conductor iónico a temperatura intermedia y ha sido empleado exitosamente con el ánodo composite NiO-GDC teniendo una buena compatibilidad química y térmica. El ánodo-soportado es elaborado por tape-casting. Así mismo, para el revestimiento del GDC se usó el spin-coating variando la cantidad, velocidad centrifuga y tiempo para conseguir espesores delgados. Ambas técnicas son sencillas, de bajo costo y escalable a la industria. Existe poca información para el ensamble de la interface de ánodo-soportado y electrolito por estas dos técnicas.

En esta investigación se encontró que ambas técnicas pueden ensamblar ambos materiales sin deslaminaciones o fracturas mediante el proceso sencillo.

## 2. ANTECEDENTES

La manufactura de las celdas va enfocada en cual tiene mejores beneficios en cuanto su densidad de potencia, técnicas de revestimiento de cada uno de los materiales (ánodo, electrolito y cátodo), que los mismo sean obtenidos en laboratorios por síntesis que produzcan materiales a escala nanométrica. Por otra parte, cuando se requiera ensamblar otra celda se requiere de interconectores de alguna aleación de acero con el fin de generar mayor densidad de potencia para la aplicación ya sea residencial, industria (sistemas estacionarios), unidades de potencia auxiliar (APU) y automotriz. Principalmente, se emplean dos tipos de celdas: tubulares y planares. Las celdas

tubo tubulares son más difíciles de manufacturar por su geometría las cuales las limitan por sus altos costos de producción comparadas con las celdas planares que son más fáciles de manufacturar [2-7]. Las celdas tipo planar constan ya sea de electrodo-soportado o electrolito-soportado. Una celda puede generar 1 V (voltaje) en circuito abierto, donde, el interconector ayuda a unir a otras celdas y generar mayor voltaje ya que proporcionan la conexión eléctrica entre el ánodo de una celda y el cátodo de la siguiente celda y ayudan a bloquear el contacto entre el combustible y oxígeno. Por otra parte, los materiales y los interconectores deben de presentar similares valores de coeficiente de expansión térmica (TEC, Thermal, Expansion Coefficient) para evitar degradación térmica entre los mismos (se sugiere que tengan alrededor de 10.5 x10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>). Así mismo, no se deben de generar reactividad química (fases secundarias) entre los materiales con el fin de decrementar las propiedades electroquímicas [8].

En la última década, se han reportados varias investigaciones sobre la manufactura de las celdas proponiendo técnicas sencillas, de bajo costo y que fueran capaces de reproducir dimensiones grandes para cumplir los requisitos para aplicaciones industriales y alcancen grandes potencias de energía.

Garurav Chasta et al. [9] Reporta una interface del composite de NiO con itria estabilizado con zirconia (YSZ) como ánodo revestido mediante la técnica de spin-coating, así mismo emplearon el electrolito YSZ variando la cantidad del aglutinante etilcelulosa (EC) 3.5 a 6.5 Wt% donde a menor cantidad encuentra mejor distribución y revestimiento de los materiales, así mismo, a menor concentración de EC presenta mejores resultados de conductividad iónica donde varían entre 10<sup>-4</sup> a 10<sup>-5</sup> S/cm. Inyoung Jang et al [10] realizó la configuración de ánodo-soporte con el composite NiO-CeO<sub>2</sub> en relación en peso 6:4 empleando la técnica de tape-casting y después realizaron laminas para darles un tratamiento térmico de 200 °C para remover los solventes. Emplea un revestimiento de ánodo funcion layer (AFL) y después ensambla el electrolito GDC por dip-coating, por ultimo el catodo fue

un compuesto de La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Co<sub>0.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>3- $\delta$</sub>  y GDC (relacion en masa 1:1) revestido por screen-printing, esta configuración muestra una densidad de potencia de 0.662 W.

Una configuración empleando el GDC y el electrolito itria estabilizado a la circonia (YSZ) empleando el aglutinante etilcelulosa variando 2.8, 5.5 y 7.9 wt% en etanol mezclando en roll ball durante 12 h. El ánodo-soportado fue obtenido por presión uniaxial a 60 Mpa de la mezcla NiO y YSZ (materiales comerciales) y sinterizado a 1100 °C- 3 h seguido de un revestimiento de AFL con espesores de 10 micras mediante spin-coating a 3000 rpm por 30 s. Utilizan entre 1 a 3 ciclos de revestimientos de los electrolitos (YSZ y GDC) para después sinterizarlo a 1400 °C-3h. Para completar la celda, emplearon el compuesto La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Co<sub>0.2</sub>Fe<sub>0.8</sub>O<sub>3</sub> (LSCF)-GDC (polvos obtenidos de manera comercial) como cátodo en relación de peso 50:50 wt%, mediante la técnica de spin-coating. Reportan una densidad de potencia de 240 mW cm<sup>-1</sup> a 600 °C [11].

En el presente trabajo se elaboró un ánodo compuesto con una diferente formulación, así como el método de ensamble en láminas empleando la técnica de tape-casting variando la apertura del doctor blade para controlar el espesor del ánodo-soporte. El GDC se revestió por la técnica de spin-coating estableciendo el espesor mediante las rpm, cantidad de material de GDC. La síntesis del GDC ya se ha establecido previamente por el equipo de trabajo [12].

### 3. METODOLOGÍA

Se empleó el método sol-gel vía polimérica para sintetizar los polvos GDC. Los polvos se calcinaron a 800 °C- 1h. El polvo NiO fue obtenido de manera comercial. Para la mezcla del compuesto NiO-GDC, ambos polvos con relaciones de peso de 50:50, 60:40 y 70:30 (NiO-GDC) se empleando un molino de bolas de zirconia (10 mm de diámetro) a 350 rpm durante 2 horas con etanol para una buena homogenización. Las mezclas se llevaron a una estufa a 100 °C para eliminar el etanol. Para obtener las barbotinas se usaron aditivos tales como: terpineol, etilcelulosa, acetato de polivinilo (PVA) y solvente etanol para mezclar

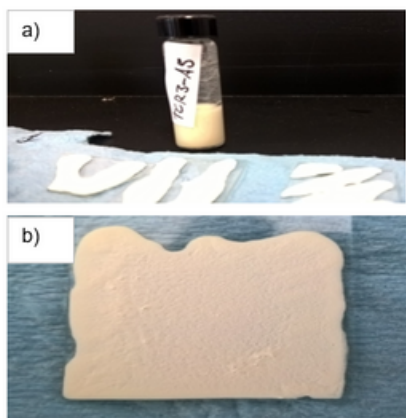
durante 20 horas en un roll ball-milling, después se mantuvieron en sacado por 5 horas. El equipo de tape-casting se varió la apertura de doctor Blade hasta 1 mm, donde se depositó la barbotina para obtener el revestimiento del compuesto. Después del secado se cortaron las láminas con dimensiones de 2 x2 cm para apilar hasta conseguir el espesor que presenta buena estabilidad mecánica. Posteriormente, se realizó una presión con una prensa uniaxial empleando 100 Mpa a 30 s, así obtener pastillas de 14 mm de diámetro. Las pastillas obtenidas fueron calcinadas a 1400 °C durante 2 horas. El revestimiento del GDC en la cara del ánodo-soportado para obtener la interface, el GDC fue mezclado con aditivos como etilcelulosa, terpineol y butanone (solvente) en diferentes cantidades. Se empleó velocidades entre 1000-3000 rpm. Después para obtener el revestimiento de GDC fue sinterizado a 1400 °C por 2 h para asegurar el GDC con buena densidad.

### 4. RESULTADOS

Para la barbotina del electrolito GDC previamente se obtuvieron revestimientos en sustratos de vidrio para establecer la mejor barbotina en función de la cantidad de material GDC. Como se puede

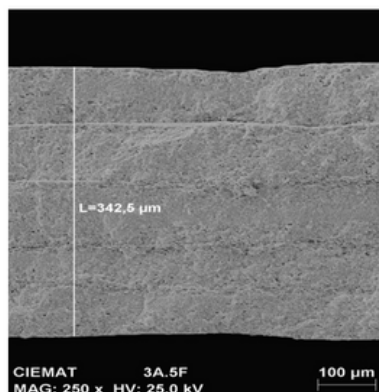
observar en la Figura 1, la formulación con menor cantidad de aditivos fue establecida por el efecto de generar porosidad en el revestimiento del GDC. En el cual, para la eliminación de los componentes orgánicos que componen cada aditivo se estableció una rampa de calentamiento lenta (2 °C/min) para evitar una rápida combustión que genera alguna fractura en el revestimiento del electrolito.





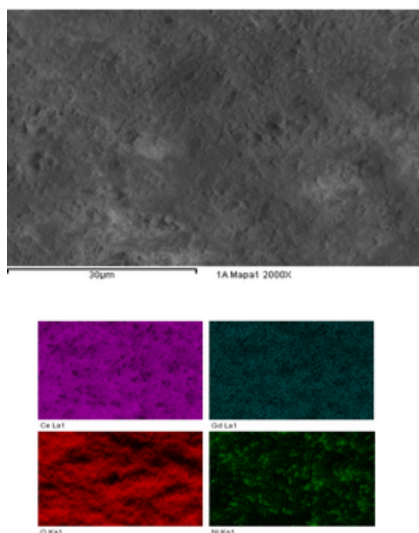
**Figura 1.** Revestimiento del electrolito en sustrato de vidrio, a) barbotina mezclada con aditivos y b) revestimiento del GDC estando bien adherida.

Como se observa en la Figura 2, se consiguió ensamblar 5 laminas del material anodo-soportado presentando un espesor de 342.5  $\mu\text{m}$ , después de una calcinación de 1400  $^{\circ}\text{C}$  por 2 h, donde no se observaron grietas, así como deslaminaciones, comprobando una excelente adherencia entre las laminas, así como buena estabilidad mecánica. Esto demuestra que se puede apilar más laminas controlando la apertura del doctor blade y así incrementar el espesor del anodo-soporte. Además, se puede observar una homogenización de la mezcla de ambos materiales de NiO y GDC, presentando una buena distribución de cada material (ver Figura 3.) para poder generar buenas propiedades electroquímicas en la oxidación del combustible a analizar.

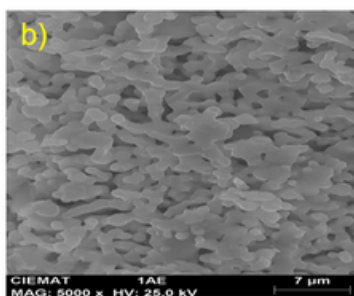
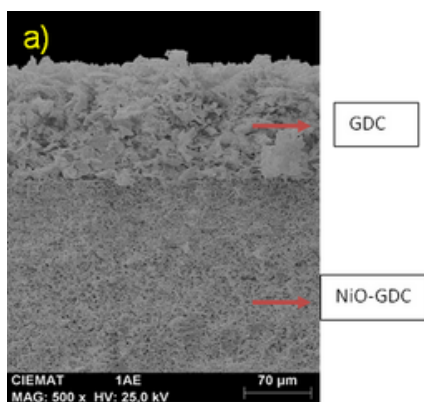
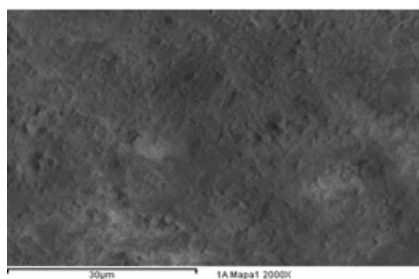


**Figura 2.** Micrografía de anodo-soportado con 5 laminas apiladas después de 1400  $^{\circ}\text{C}$ .

En la Figura 4, se puede observar el revestimiento del electrolito GDC para formar la interface ánodo-soporte/GDC. Se presenta una buena adherencia del material electrolito, donde, no se presentó fisuras o grietas después de haber sinterizado el material GDC a 1400  $^{\circ}\text{C}$ . La interconexión en la interface sugiere que se puede presentar un rápido flujo de iones de oxígeno del electrolito hacia el ánodo-soportado y contribución a la oxidación del combustible a emplear (principalmente Hidrogeno,  $\text{H}_2$ ). En la Figura 4-b, la superficie del electrolito se observa una buena densificación con granos interconectados, sin embargo, no es suficiente ya que aún se observan zonas con algunos poros, el cual, no es factible ya que puede presentar fugas del combustible, así como, generar alta resistencia en la conducción de iones de oxígeno. Por otra parte, las técnicas empleadas como tape-casting y spin coating se consiguió ensamblar ambos materiales para formar la interface, el cual, es reproducible para seguir la continuación de la optimización de esta configuración.



**Figura 3.** Morfología de la superficie del ánodo-soporte NiO-GDC y distribución de los elementos Ce, Gd, Ni y O, mediante microscopio electrónico de barrido con detector de energía dispersiva (EDX).



**Figura 4.** Micrografía mediante microscopio electrónico de barrido de la a) interface ánodo-soporte/GDC y b) superficie del electrolito GDC.

## 5. CONCLUSIONES

El material electrolito GDC fue sinterizado por el método sol-gel a 800 °C. El proceso de ensamble del ánodo-soportado y el electrolito GDC fue obtenida mediante la técnica de tape-casting y spin-coating, respectivamente. Ambas barbotinas del composite NiO-GDC y GDC fueron homogéneas siendo la mezcla 60:40 wt% que presento buena calidad en su revestimiento observada mediante EDX.

El revestimiento del electrolito GDC con una velocidad de 1300 rpm fue establecida para obtener un espesor uniforme, sin embargo, después de su sinterización se observaron zonas con porosidad, siendo efecto de fuga si se realizan pruebas electroquímicas. Para esto se sugiere realizar otro ciclo de revestimiento para cubrir las zonas porosas que dejo el primer ciclo del electrolito.

Las láminas del ando-soportado permitió controlar el espesor con una presión de 100 Mpa, ayudando la adherencia entre las láminas para su posterior calcinación.

Por otro lado, después de cada sinterización para el ánodo soporte (NiO-GDC) a 1400 °C y GDC no se observaron deslaminaciones, así como grietas, demostrando que las técnicas de revestimiento son factibles y reproducibles para la manufactura de interfaces de ánodo-soprtado y electrolito y escalables a nivel industrial.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Y Zheng, T Guo, Y Wu, et al. (2020) Int. J. Hydrog. Energy 45: 27764. Doi:10.1016/j.ijhydene.2020.07.151
- [2] MJE S.U. Costilla-Aguilar, R.F. Cienfuegos-Pelaes, J.A. Aguilar-Martinez (2021) Journal of Alloys and Compounds 862: 158025. Doi:doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.158025
- [3] FJA Loureiro, D Ramasamy, SM Mikhalev, AL Shaula, DA Macedo, DP Fagg (2021) Int. J. Hydrog. Energy 46: 13594. Doi:10.1016/j.ijhydene.2020.06.243
- [4] SM A. Mrozinski, J. Karczewski b, T. Miruszewski b, P. Jasinski (2019) Int. J. Hydrog. Energy 44: 1827. Doi:10.1016/j.ijhydene.2018.11.203
- [5] A Zarkov, A Stanulis, T Salkus, et al. (2016) Ceram. Int. 42: 3972. Doi:10.1016/j.ceramint.2015.11.066
- [6] S-F Wang, Y-F Hsu, M-S Huang, C-W Chang, S Cheng (2016) Solid State Ion. 296: 120. Doi:10.1016/j.ssi.2016.09.004
- [7] FM H. Zhao, C. Lalanne , J.-M. Bassat, S. Fourcade , J.-C. Grenier (2008) Solid State Ion. 179: 2000. Doi:10.1016/j.ssi.2008.06.019
- [8] J ALVARADO-FLORES (2013) Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 52. Doi:doi: 10.3989/cyv.252013
- [9] UB Gaurav Chasta, D. Suthar, Himanshu, R. Lamba, M.S. Dhaka (2023) Ceram. Int. 49. Doi:doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.09.109
- [10] I Jang, C Kim, S Kim, H Yoon (2017) Ceram. Int. 43: 9552. Doi:10.1016/j.ceramint.2017.04.070
- [11] HJ Kim, M Kim, KC Neoh, et al. (2016) J. Power Sources 327: 401. Doi:10.1016/j.jpowsour.2016.07.080
- [12] MIP-C S.U. Costilla-Aguilar, M.J. Escuderoe,R.F. Cienfuegos-Pelaesa, J.A. Aguilar-Martínez (2021) J. Alloy. Compd. 878. Doi:doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.160444



Síguenos

Teléfono: 81 5000 42 00

en nuestras redes sociales:



/UTEscobedo



@ut.escobedo



@SocialUTE



@UT.Escobedo



ut.escobedo

[www.ute.edu.mx](http://www.ute.edu.mx)