



Determinación del módulo tangencial en probetas recubiertas con polipirrol

Torsion tests on polypyrrole-coated specimens: an approach to its mechanical characterization

-  Christopher René Torres San Miguel¹
 Juan Carlos Axayácatl Morales Guadarrama²
 Carlos Alberto Espinoza Garcés^{1*}

¹ Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

² Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México, México

* cespinozag0700@alumno.ipn.mx

02

¿CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO?

C. R. Torres San Miguel, C. A. A. Morales Guadarrama y C. A. Espinoza Garcés, "Determinación del módulo tangencial en probetas recubiertas con polipirrol," *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, vol. 8, no. 15, pp.18-31, 2025.



Resumen

El novedoso uso de polímeros conductores, como el polipirrol (PPy), en aplicaciones médicas representa una solución alternativa para escenarios donde la funcionalidad motora y sensorial del cuerpo humano se ve comprometida. Sus propiedades mecánicas están condicionadas por la metodología de síntesis empleada para obtener el polímero. Estudios muestran una variación del módulo elástico que va desde 96 kPa mediante síntesis química hasta 2.41 MPa mediante electropolimerización. La presente desarrolla un enfoque para la caracterización de las propiedades mecánicas del

polipirrol generado por síntesis química. Se ensayaron bajo torsión muestras de PLA recubiertas con PPy y se comparó su comportamiento con el de probetas de ácido poliláctico (PLA) sin modificar. Los diagramas de tensión-deformación de ambos conjuntos de muestras fueron similares. Si bien los valores del módulo tangencial del PLA puro (340 MPa) y el recubierto con PPy (288 MPa) denotan una clara diferencia, la variación se atribuye a factores como el bajo espesor del recubrimiento y las holguras en el área transversal de las muestras de PLA impresas en 3D.

Palabras clave: ASTM E143, módulo de elasticidad transversal, polipirrol, propiedades mecánicas, síntesis química, torsión.

Abstract

The innovative use of conductive polymers, such as polypyrrole (PPy), in medical applications represents an alternative solution for scenarios where the motor and sensory functionality of the human body is compromised. Their mechanical properties are determined by the synthesis methodology utilized to obtain the polymer. Studies show a variation in the elastic modulus ranging from 96 kPa through chemical synthesis up to 2.41 kPa through electropolymerization. This study develops an approach for characterizing the mechanical properties of polypyrrole generated by chemical

synthesis. Polylactic acid (PLA) samples coated with PPy were tested under torsion, and their behavior was compared with that of unmodified PLA specimens. The stress-strain diagrams of both sets of samples were similar. Although the values of the shear modulus for pure PLA (340 MPa) and PPy-coated PLA (288 MPa) show a clear difference, the variation is attributed to factors such as the low thickness of the coating and the porosity in the cross-sectional area of the 3D-printed PLA samples.

Keywords: ASTM E143, transverse elastic modulus, polypyrrole, mechanical properties, chemical synthesis, torsion.



Introducción

El polipirrol (PPy) es un polímero de alta conductividad cuyas propiedades se aprovechan en la fabricación de sensores, supercapacitores y baterías [1]. Debido a su capacidad de actuar como ion selectivo de membranas, así como su fácil síntesis y biocompatibilidad, es una gran alternativa en aplicaciones biomédicas, como ingeniería de tejidos o biosensores [3]. Las películas delgadas de polipirrol polimerizado por plasma pueden emplearse como elemento de andamiaje en lesiones de médula espinal, con el objetivo de evaluar la reconexión neuronal y la recuperación de funciones motoras y sensoriales [2].

Las técnicas empleadas para la síntesis de polipirrol (PPy) se agrupan en dos categorías: los métodos físicos, como la erosión láser pulsada y la deposición por vapor en vacío; y, los químicos, entre los que destacan la reducción química, la electropolimerización y la microemulsión [4]. Si bien la electropolimerización es la vía más común debido a que facilita el control sobre el espesor del material, hay un método alternativo por plasma que puede, además, aumentar la pureza y el control sobre la dependencia eléctrica, la termodinámica y la condición de las especies químicas, aunque no clarifica del todo la cinética de la reacción [5].

La mayoría de las investigaciones acerca del PPy se centran en la caracterización morfológica de la macromolécula y sus propiedades mecánicas; por ejemplo, se han registrado incrementos en la rigidez estructural de poliglicerol dopadas con PPy, donde la aproximación mecánica del módulo de elasticidad fue de aproximadamente 96 kPa [6]. Por otro lado, los resultados respecto a la medición del módulo de elasticidad en materiales compuestos en función de la proporcionalidad de la masa del monómero de pirrol oscilan de 1.41 a 2.73 GPa [7]. Asimismo, se ha observado que las propiedades mecánicas de películas de PPy sintetizadas por electropolimerización varían en diferentes solventes: el módulo de elasticidad puede alcanzar valores de 2.41 kPa al utilizar soluciones de agua y etilenglicol, así como soluciones acuosas de acetonitrilo y etilenglicol [8]. No obstante cada estudio mencionado se centra en PPy electropolimerizado, y hasta el momento se han reportado pocos ensayos mecánicos de nanoindentación [9] para la caracterización de películas de PPy sintetizadas por plasma.

En ese sentido, se propone un método indirecto para calcular los esfuerzos y el módulo tangencial del PPy. Para tal fin, se imprimieron en 3D probetas en ácido poliláctico (PLA); tras lo cual, se recubrieron con una capa de polipirrol sintetizado por reducción química y se les realizaron ensayos de torsión acorde a la normativa ASTM E143 [11]. También se efectuaron pruebas a un conjunto de muestras de control sin recubrimiento polimérico. A partir de la comparación de los diagramas esfuerzo-de-

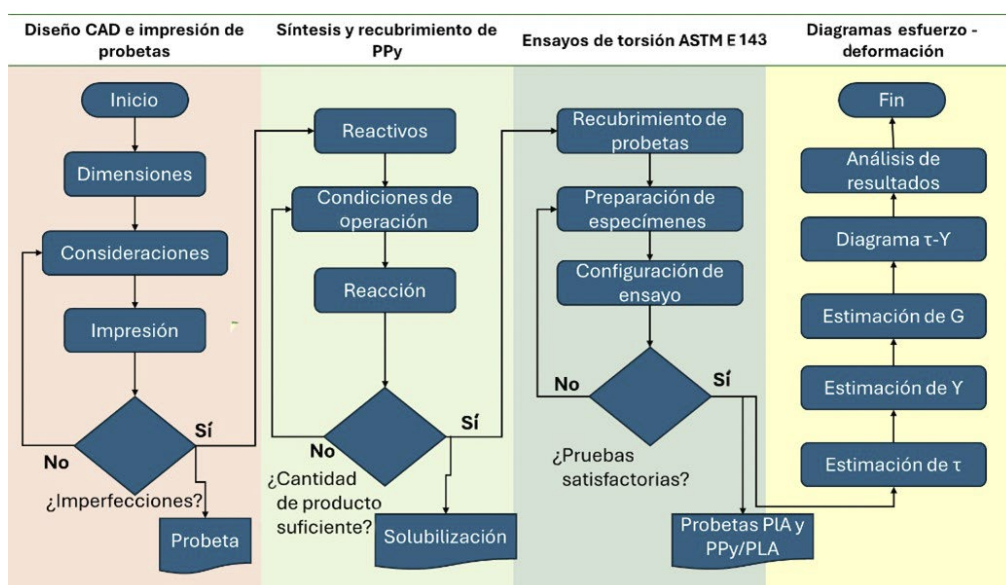


formación resultantes de los ensayos, se cuantificaron las características mecánicas del polipirrol con base en su efecto sobre el comportamiento del PLA.

Materiales y métodos

Se desarrolló un diseño experimental para determinar el módulo tangencial de probetas de PLA recubiertas con polipirrol. Con el objetivo de evaluar las diferencias en las propiedades físicas atribuibles a dicho polímero, se llevaron a cabo ensayos de torsión sobre muestras de material con y sin recubrimiento de PPy. Los procesos involucrados en cada etapa de la experimentación se describen de manera general en el diagrama de flujo de la Figura 1. En seguida, se detalla cada paso en las secciones subsecuentes.

FIGURA 1.
Diagrama de flujo de las etapas experimentales.
Fuente: elaboración propia.



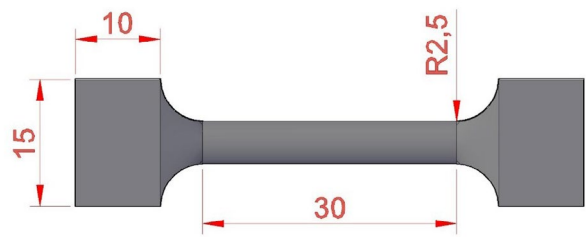
Diseño CAD e impresión de probetas

Se siguieron las indicaciones para la caracterización de especímenes establecidas en el método de prueba estándar para ensayos de torsión ASTM E143. La norma estipula que los materiales deben estar libres de imperfecciones, como fisuras o ci-zalladuras, deben tener forma cilíndrica y mantener un radio constante y una longitud de, al menos, dos veces el diámetro. Como adición, el diseño de las muestras evaluadas incorpora un cabezal de sujeción compatible con ambas mordazas de la máquina en la cual se desarrollaron los ensayos. De ese modo, las probetas se sujetan por los extremos en las terminales del equipo y el ensayo de torsión se enfoca en la sección cilíndrica. Cada una está constituida en por partes, el segmento cilíndrico: cuyo diámetro es de 5 mm y su longitud de 30 mm, y los segmentos de mordaza, los

cuales poseen una geometría rectangular de 15 mm de largo por 10 mm de ancho y 5 mm de espesor (Figura 2).

FIGURA 2.
Dimensiones de las probetas de PLA.

Fuente: elaboración propia.



Las propiedades mecánicas generales del PLA están descritas en la Tabla 1. La configuración de la impresión 3D incluye tres parámetros principales: el porcentaje de relleno en la probeta, la textura del acabado y la inclusión (o exclusión) de soportes de impresión; cada uno influye directamente en la calidad y el tiempo de impresión, así como en la medición de los esfuerzos tangenciales. Para efectos del estudio se estableció un 100 % de relleno en las probetas y dos escenarios posibles: el primero sin recubrimiento de PPy ni soportes de impresión; el segundo con recubrimiento y soportes (Figura 3). La cantidad de especímenes por bloque de prueba fue de seis probetas, para dar un total de 12 ensayos.

TABLA 1.
Propiedades mecánicas del PLA [10].

Fuente: elaboración propia.

PROPIEDAD	
Densidad	1.2 [g/cm³]
Último esfuerzo	27 [MPa]
Deformación Máxima	200 %
E	3000 [MPa]

FIGURA 3.
Probetas de PLA:
a) sin recubrimiento de PPy
b) con recubrimiento de PPy.

Fuente: elaboración propia.



a)



b)



Síntesis y recubrimiento de PPy

El polipirrol para los ensayos de torsión se sintetizó con la metodología de polimerización química. La síntesis considera como puntos de partida:

- Reactivos: monómero de pirrol al 98 % de pureza y persulfato de amonio al 98 % como agente oxidante.
- Condiciones de operación de la reacción: 22 °C y agitación constante.

El procedimiento se llevó a cabo en un vaso de precipitados, mezclando en proporciones equimolares el monómero de pirrol y el agente oxidante (0.1 M) en 100 ml de agua destilada a baja temperatura para regular la reacción exotérmica. Después, se mantuvo la mezcla en agitación constante en una balanza magnética durante cuatro horas, tras las cuales el producto condensado se lavó con etanol. La Figura 4 ilustra de manera general el proceso.

FIGURA 4.

Síntesis química del PPy:

- reacción de polimerización
- filtración
- PPy.

Fuente: elaboración propia.



a)



b)



c)

A la postre, se solubilizó el polímero a fin de nebulizarlo y aplicarlo por aerografía a las probetas de PLA. Cabe señalar que en esta etapa se desestimó el espesor de la película de PPy depositada. Por tal motivo, dicha variable fue descartada en el análisis de los ensayos. Esta limitación se asumió con el objetivo de examinar, de manera preliminar, la variación experimental en la estimación del módulo tangencial en presencia del recubrimiento polimérico.

Ensayos de torsión ASTM E143 y resultados

La ASTM E143 contempla cinco pasos para realizar una prueba exitosa. El primero consiste en la medición de la probeta de ensayo para garantizar que la sección transversal de estudio se mantenga geométricamente constante, sin variaciones en el diámetro. El segundo atañe a la alineación de la probeta con la máquina de



ensayos, de manera que esté apropiadamente centrada. El tercero refiere a la programación del torque y ángulo de giro aplicados, los cuales deben registrarse constantemente. El cuarto hace alusión a la velocidad de ensayo, la cual debe mantenerse lo bastante alta para ser legible. El paso final apunta al registro de la variación de temperatura durante el ensayo.

Al respecto, la caracterización de las propiedades mecánicas del PPy por medio de la superposición de diagramas esfuerzo-deformación en pruebas de torsión representa una solución suplementaria ante la escasez de macromodelos o la baja productividad del material en cuestión. Dado que el espesor del recubrimiento puede alterar significativamente el comportamiento de la probeta de PLA durante el ensayo a torsión, existe la posibilidad de establecer las bases para valorar las propiedades del material de recubrimiento.

La expresión matemática por la cual se estima el esfuerzo angular está descrita por la Ecuación 1:

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (1)$$

Donde:

τ esfuerzo cortante (Pa)

T torque (N • m)

r radio de la probeta (m)

J momento polar de inercia (m⁴)

A su vez, la deformación unitaria angular se rige por la Ecuación 2:

$$\gamma = \frac{r\theta}{L} \quad (2)$$

Donde:

γ deformación unitaria angular (adim)

r radio de la probeta (m)

θ ángulo de giro (rad)

L longitud de la probeta (m)

En últimas, el módulo de elasticidad tangencial se estima en función del área de la sección transversal, la longitud y el comportamiento sobre la zona elástica del diagrama esfuerzo-deformación (Ecuación 3).

$$G = \frac{TL}{J\theta} \quad (3)$$



Donde:

G módulo tangencial del material

T torque aplicado en la probeta ($N \cdot m$)

L longitud de la probeta (m)

J momento polar de inercia (m^4)

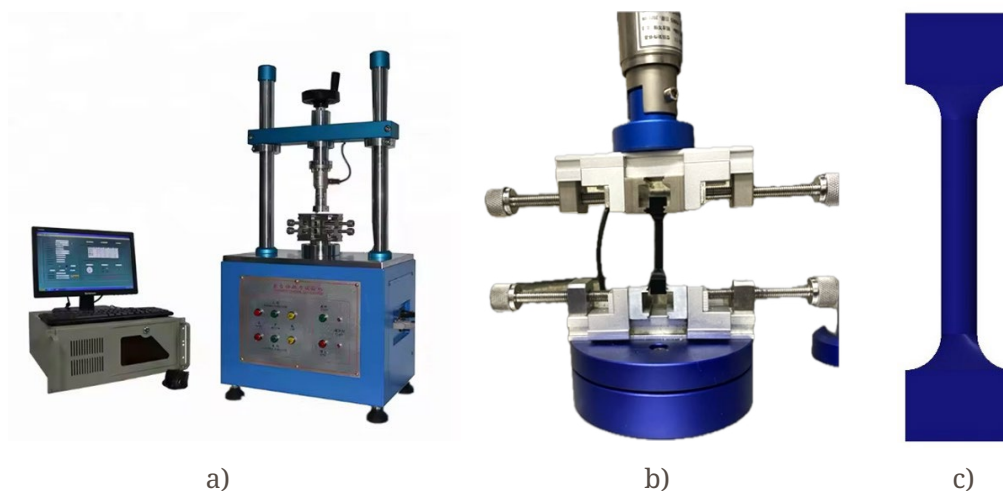
θ ángulo de giro (rads)

Como siguiente paso, se superpusieron los diagramas esfuerzo-deformación para determinar si existen diferencias significativas en las propiedades mecánicas de ambos materiales. Las pruebas se realizaron en una máquina de torsión modelo NG-203 de la marca Guangdong, cuyas características principales integran un máximo par de $500 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$, con rango de velocidad angular de 6 a $1500^\circ/\text{min}$ a una resolución de 0.1° (Figura 5). Se consideró el comportamiento ideal del material: isotrópico, homogéneo y lineal; asimismo, se definió una velocidad de giro de $100^\circ/\text{min}$ para el ensayo.

FIGURA 5.

Equipamiento para ensayos a torsión:
a) equipo de torsión
b) montaje de probeta
c) probeta de PLA.

Fuente:
elaboración propia.

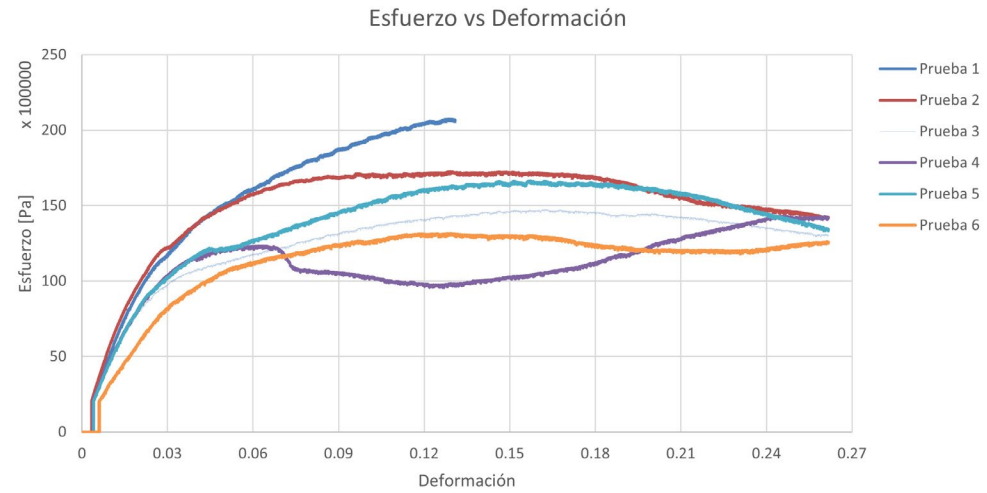


Resultados y discusión

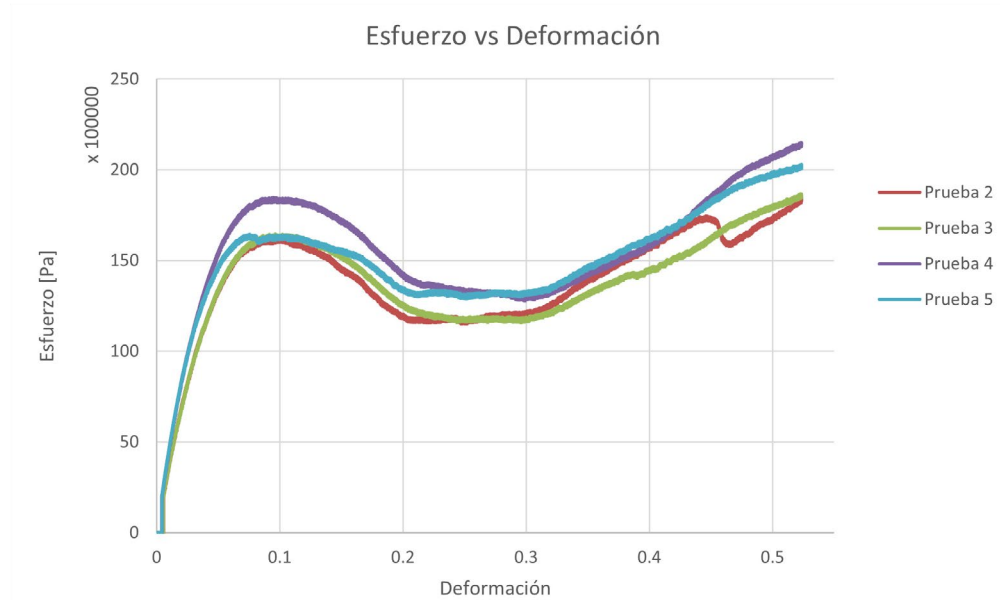
El diseño experimental de las pruebas constó de dos bloques de seis probetas cada uno, los cuales se sometieron a ensayos de torsión. El primer bloque contenía muestras de PLA puro; el segundo bloque, con recubrimiento de PPy. Los diagramas esfuerzo-deformación correspondientes a cada conjunto de pruebas están ilustrados en la Figura 6.



FIGURA 6.
Diagramas
esfuerzo-deformación:
a) PLA
b) PLA/PPy.
Fuente:
elaboración propia.



a)



b)

En los diagramas es posible identificar las intersecciones de esfuerzo y deformación donde el comportamiento de las probetas deja de ser lineal. Este argumento será clave para la estimación de los módulos de elasticidad tangencial del PLA puro y el recubierto con PPy. Asimismo, los valores característicos de los límites de proporcionalidad (LP), el valor máximo del módulo de elasticidad (VEM) y el valor máximo de deformación (VMD) para cada bloque de pruebas están descritos en la Tabla 2.

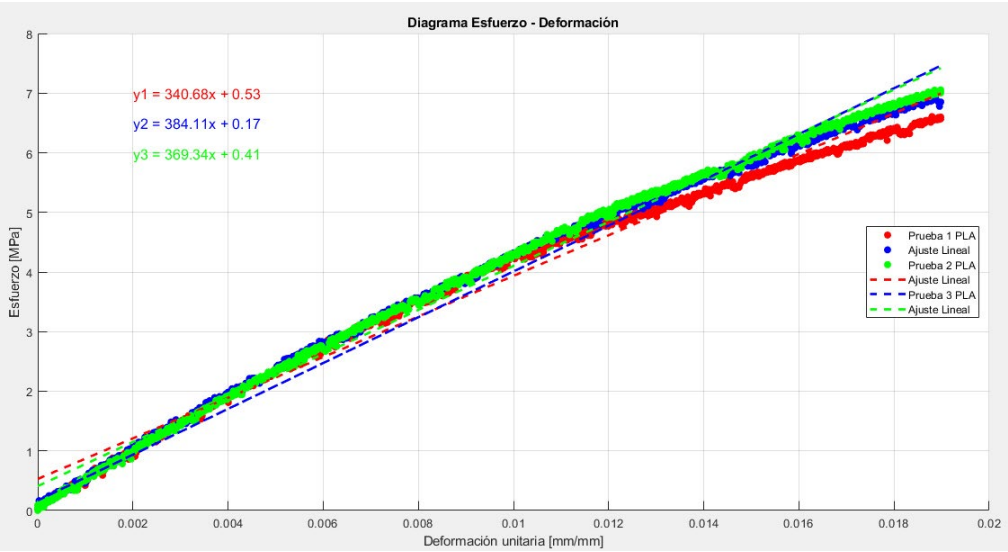


TABLA 2.
Valores de los límites de proporcionalidad (LP), módulo de elasticidad (VEM) y deformación (VMD) de los bloques de prueba.
Fuente: elaboración propia.

BLOQUE DE PRUEBA	LP	VEM	VMD
	E (MPa)	E _{max} (MPa)	D _{max}
PLA	50-65	150-170	0.25
PLA / PPy SS SP	80-100	140-170	0.5

Para realizar la superposición de los diagramas de esfuerzo-deformación se tomaron en cuenta los ensayos que denotaban una similitud en el desarrollo. Sin embargo, ambos bloques (Figura 7) mostraron un comportamiento muy similar, en particular los primeros valores, los cuales representan la zona elástica del material. Las diferencias entre los diagramas esfuerzo-deformación, su regresión lineal y el valor del módulo tangencial estimado mediante la Ecuación 3 se debieron probablemente a la falta de relleno en las probetas de PLA y al espesor del recubrimiento en las probetas de PLA/PPy. Por otra parte, el módulo de elasticidad de ambos materiales se estimó analíticamente tomando pares de valores de carga-deformación angular (considerando el comportamiento elástico). La Tabla 3 agrupa los valores del módulo tangencial: los estimados con base en el diagrama esfuerzo-deformación contra los calculados de forma analítica. Se consideraron al menos tres ensayos en los que la repetitividad se asemeja, descartando aquellos cuyo valor de módulo de elasticidad no concordaban con la totalidad de pruebas.

FIGURA 7.
Esfuerzo-deformación de los bloques de prueba:
a) PLA
b) PPy.
Se muestran los ajustes lineales en la zona elástica.
Fuente: elaboración propia.



a)

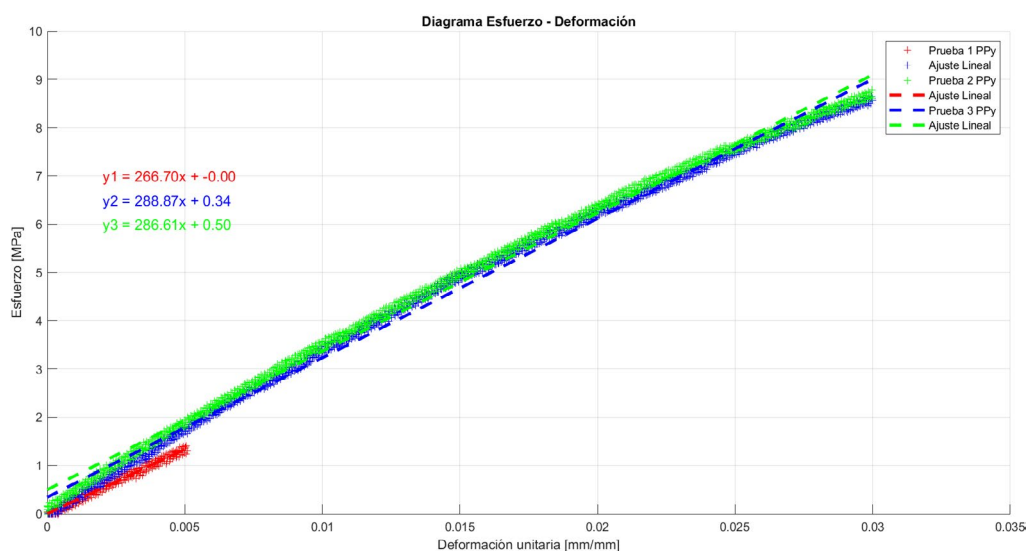


TABLA 3.
Módulo tangencial.
Estimación analítica vs gráfica.
Fuente:
elaboración propia.

	ESTIMACIÓN ANALÍTICA [MPa]	ESTIMACIÓN GRÁFICA [MPa]
PLA	517.6	340.68
	509.83	
	516.4	358.75
	516.9	
	523.12	369.36
	532.24	
PLA / PPy	337.53	288.65
	340	
	345.7	286.61
	346.72	
	352.14	269.74
	359.15	

Es importante reconocer que la caracterización de las propiedades mecánicas del PPy bajo estas condiciones de síntesis y metodología de recubrimiento no son óptimas. La adhesión superficial del PPy falla en brindar mayor resistencia ni debilita la probeta, debido a la prevalencia del PLA. En otras palabras, se requiere una mayor cantidad de recubrimiento polimérico para asegurar que los resultados de las pro-



betas PLA/PPy no reflejen el comportamiento del material de control. Por otra parte, si se asegurase un espesor constante de PPy a lo largo de la probeta, existe la posibilidad de que la separación entre las secciones elásticas de ambos diagramas de esfuerzo-deformación sea mayor. Asimismo, la influencia de un porcentaje menor de relleno tampoco fue significativa, ya que las propiedades del PLA imperan durante el estudio. No obstante, es posible que la metodología ofertada mejore si se incluyen parámetros alternativos en el diseño de la probeta que favorezcan la caracterización del polímero, tales como un acabado que beneficie la adherencia del polímero (por ejemplo, uno texturizado) o un relleno interno definido mediante un arreglo estructural.

Ahora bien, hay que destacar que la discordancia entre las pendientes de los diagramas esfuerzo-deformación podría deberse a las diferencias en la constitución interna de las probetas ensayadas. Pero también, la que existe entre las estimaciones analítica y gráfica del módulo tangencial se debe a que los datos en la zona elástica se procesan de manera diferente: el método analítico evalúa un punto de la zona elástica, mientras que la pendiente de ajuste del método gráfico se traza de acuerdo con el comportamiento global del ensayo. Además, se puede apreciar que la estimación analítica arroja valores más elevados, puesto que, entre más cerca al origen estén el par de valores de carga y deformación angular, el módulo tangencial tiende a incrementar. Este efecto prevalece en ambos bloques experimentales.

En [12] se realizaron también ensayos a tensión de probetas de PLA, y se registraron valores aproximados de 309 MPa para el módulo de elasticidad y de 113 MPa para el tangencial; sin embargo, este último fue estimado a partir de la relación del módulo de elasticidad y su coeficiente de Poisson. La discrepancia respecto a los valores reportados en esta investigación, aun bajo las mismas condiciones de isotropía, continuidad, homogeneidad y elasticidad, se debe a que la estimación analítica prescinde del comportamiento en la sección transversal de la probeta, solo considera el módulo de elasticidad.

Conclusiones

Debido a los resultados similares en los ensayos a torsión de las probetas de PLA puro respecto de las recubiertas con PPy, la metodología de caracterización mecánica del polipirrol fue subóptima. La estimación del módulo de elasticidad tangencial de ambos bloques de estudio omite una diferencia significativa; es decir, las probetas recubiertas con PPy exhibieron el mismo comportamiento que las probetas de control. No obstante, la dosis adherida a la superficie de las probetas fue ínfima para dimensionar su espesor en la parte longitudinal y menos aún para asegurar que se mantuviera constante. Además, dado el método de síntesis emplea-



do, se debe considerar que pueden aparecer impurezas en el material y que la concentración respecto a la masa total del recubrimiento podría ser insuficiente. Cabe resaltar, también, que el relleno y el acabado final de las probetas impresas pueden afectar las mediciones durante el estudio.

El análisis de la zona elástica en los diagramas esfuerzo-deformación de las probetas de PLA puras y con recubrimiento de PPy denota una clara diferencia visual entre las pendientes de los ensayos, pero este comportamiento puede atribuirse a la capacidad adhesiva del relleno en las probetas recubiertas; es decir, aunque el relleno sea total, la calidad de extrusión en ese segmento puede disminuir ligeramente. Asimismo, como se mencionó con anterioridad, la diferencia entre las estimaciones gráfica y analítica radica en que la regresión realiza un ajuste global de los datos, mientras que el cálculo analítico refleja una condición puntual. Por esta razón, el valor del módulo tangencial calculado analíticamente muestra un incremento a medida que el par de datos seleccionado para la estimación se aproxima al origen de la gráfica del ensayo.

En conclusión, la metodología de síntesis del polipirrol condiciona directamente las variaciones del módulo de elasticidad; en ese sentido, se sugiere como aproximación principal a esta investigación la polimerización por la vía de la síntesis química. El proceso es relativamente simple, aunque se debe tener particular cuidado de mantener constantes las condiciones operativas para tener una producción abundante y tan libre de impurezas como sea posible.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo brindado a lo largo de esta investigación. Asimismo, se extiende el reconocimiento a los profesores adscritos a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) y a la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) por su colaboración en el desarrollo experimental del proyecto. Por añadidura, se reconoce el respaldo académico del Instituto Politécnico Nacional (IPN) a través de los proyectos SIP 20250106 y SIP 20250288, así como la beca EDI, todos otorgados en el marco del SIP/IPN.

Fuentes de financiamiento

Proyecto SECTEI, número SECTEI/025/2024, “Desarrollo numérico experimental de lesión de médula espinal implantada con polímero derivado del pirrol mediante DTI y MRS en murinos”.



Referencias

- [1] D. Osorio Londoño, Y. Heras Romero, L. B. Tovar y Romo, R. Olayo González y A. Morales Guadarrama, "Improved Recovery of Complete Spinal Cord Transection by a Plasma-Modified Fibrillar Scaffold", *Polymers*, vol. 16, art. 1133, 2024, doi: 10.3390/polym16081133
- [2] Z. Morávková, O. Taboubi, I. M. Minisy y P. Bober, "The evolution of the molecular structure of polypyrrole during chemical polymerization", *Synthetic Metals*, vol. 271, art. 116608, 2021, doi: 10.1016/j.synthmet.2020.116608
- [3] Z. B. Huang, G. F. Yin, X. M. Liao y J. W. Gu, "Conducting polypyrrole in tissue engineering applications", *Frontiers of Materials Science*, vol. 8., pp. 39-45, 2014. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11706-014-0238-8#preview>
- [4] A. Muciño, "Introducción a los polímeros conductores ejemplos de aplicación", Tesis de licenciatura, ESIQIE, IPN, México, 2019. [En línea]. Disponible: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/27209>.
- [5] E. De la Cruz Reyes, "Síntesis de películas polipirrol-yodo por plasma polimerización para su posible aplicación a celdas solares orgánicas", Tesis de maestría, Tecnológico de Estudios Superiores de Metepec, México, 2020. [En línea]. Disponible: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/4025/1/Ernesto%20De%20la%20Cruz%20Reyes.pdf>
- [6] G. E. Martín Pat, N. Rodríguez Fuentes, J. M. Cervantes Uc, R. Rosales Ibáñez, H. J. Carrillo Escalante, A. F. Ku González, A. Ávila Ortega y F. Hernández Sánchez, "Effect of different exposure times on physicochemical, mechanical and biological properties of PGS scaffolds treated with plasma of iodine-doped polypyrrole", *Journal of Biomaterials Applications*, vol. 35, núm. 4-5, pp. 485-499, 2020, doi: 10.1177/0885328220941466
- [7] J. Pionteck, M. Omastová, P. Pötschke, F. Simon y I. Chodák, "Morphology, conductivity, and mechanical properties of polypyrrole-containing composites", *Journal of Macromolecular Science, Part B*, vol. 38, núm. 5-6, pp. 737-748, 1999, doi: 10.1080/00222349908248135
- [8] A. F. Díaz y B. Hall, "Mechanical Properties of Electrochemically Prepared Polypyrrole Films", *IBM Journal of Research and Development*, vol. 27, núm. 4, 1983, doi: 10.1147/rd.274.0342
- [9] J. C. de Oliveira, A. Airoudj, P. Kunemann, F. Bally-Le Gall y V. Roucoules, "Mechanical properties of plasma polymer films: a review", *SN Applied Sciences*, vol. 3, art. 656, 2021, doi: 10.1007/s42452-021-04655-9
- [10] Mexpolímeros, "PLA (Acido Poliláctico) - poliláctido-L-láctico (PLLA)". [mexpolimeros.com](https://www.mexpolimeros.com/pla.html). <https://www.mexpolimeros.com/pla.html> (Accedido el 13 de marzo de 2025).
- [11] Standard Test Method for Shear Modulus at Room Temperature, ASTM E143-13, ASTM International, West Conshohocken, PA, EUA, 2013.
- [12] G. Martínez Bordes y G. Serandour, "Andamios de PLA fabricados mediante técnicas de impresión 3D: metodología para desarrollar un modelo de comportamiento ortotrópico del material", *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 28, núm. 1, pp. 13-24, 2024, doi: 10.5944/ribim.28.1.41704



PERSPECTIVAS DE LA
CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

¿Quieres publicar en esta revista?

¿Dudas o sugerencias? Escríbenos a:

? perspectivasci@uaq.mx

REVISTA INCLUIDA EN:



VISITA NUESTRO



Escucha de la voz de
los autores, entrevistas
y comentarios
relacionados a sus
artículos.

Disponible en:

MÁS REVISTAS UAQ EN:



revistas.uaq.mx



ingenieria.uaq.mx

EDICIÓN CUIDADA, DISEÑADA
Y MAQUETADA POR

**DESPACHO DE
PUBLICACIONES**

Visítanos y conoce
las publicaciones que la
FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE QUERÉTARO
tiene para ti:



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA