

Diseño y Desarrollo de un Prototipo de Máquina Universal para Pruebas Mecánicas de Tensión en Biopolímeros

C. A. Dávalos Saucedo^{#1}, G. Rossi Márquez^{#2}, M. J. Briones Reyes^{#3}

[#]Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Academia de Investigación, Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México.

¹cristian.davalos@lagos.tecmm.edu.mx ²giovanna.rossi@lagos.tecmm.edu.mx ,

³manuel.briones@lagos.tecmm.edu.mx

Resumen—En este artículo, se describe el diseño y desarrollo de un prototipo de máquina universal para realizar pruebas mecánicas de tensión en biopolímeros. Los biopolímeros son materiales poliméricos derivados de fuentes naturales y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la industria de los alimentos y de empaques. Las características de las propiedades mecánicas de los biopolímeros, como su resistencia a la tracción, es fundamental para conocer su comportamiento en diferentes condiciones de carga principalmente. El diseño de la máquina se basó en las normas establecidas por la ASTM Internacional y se realizaron pruebas preliminares en muestras de biopolímeros para evaluar la funcionalidad y la precisión de la máquina. Los resultados de las pruebas demostraron la capacidad de la máquina para aplicar cargas controladas y medir la relación esfuerzo-deformación en las muestras de biopolímeros. Este estudio es importante porque establece los cimientos para futuras investigaciones sobre el desarrollo de equipo de laboratorio asequible para la medición de propiedades mecánicas de biopolímeros y su aplicación en diferentes sectores industriales.

Palabras clave— Máquina Universal, Biopolímeros, Pruebas Mecánicas, Tensión.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de materiales plásticos está ampliamente difundido a nivel mundial, pero tienen el problema de no ser biodegradables y, por lo tanto, tienen un fuerte impacto ambiental. En los últimos años, se ha reportado un incremento en el desarrollo de películas biodegradables, que puedan ser producidas de manera sustentable y que no sean obtenidos de derivados de petróleo como el plástico [1]. Estos biomateriales pueden ser preparados a partir de proteínas, carbohidratos o una mezcla de ellos, facilitando su diseño y producción con base al tipo de alimento o producto para el que van a ser realizados [2-4].

Los biopolímeros han ganado atención considerable en los últimos años debido a su origen renovable y su potencial para reemplazar materiales poliméricos tradicionales derivados del petróleo. Estos materiales poliméricos derivados de fuentes naturales ofrecen una serie de ventajas, como una menor huella ambiental y una mayor biodegradabilidad. Sin embargo, la comprensión de las propiedades mecánicas de los biopolímeros es esencial para garantizar su adecuado rendimiento en aplicaciones específicas. Una de las

principales pruebas mecánicas para determinar la factibilidad de uso de un biopolímero es la resistencia. Esta propiedad determina la capacidad de un material para soportar una carga aplicada sin romperse o deformarse excesivamente [5]. Para llevar a cabo pruebas precisas de resistencia a la tracción, es necesario contar con una máquina universal capaz de aplicar cargas controladas y medir las deformaciones en las muestras de biopolímeros.

En este artículo, presentamos el diseño y las pruebas preliminares de una máquina universal para pruebas mecánicas de tensión en biopolímeros. El diseño de la máquina se basó en las normas establecidas por la ASTM Internacional para garantizar la consistencia y la comparabilidad de los resultados obtenidos. Además, se realizaron pruebas preliminares en muestras de biopolímeros para evaluar la funcionalidad y la precisión de la máquina.

II. DISEÑO DE LA MÁQUINA

El diseño de la máquina universal para pruebas mecánicas de tensión en biopolímeros se basó en los estándares de la ASTM Internacional, en particular la norma ASTM D882 que establece los procedimientos para la prueba de resistencia a la tracción en películas delgadas [6], específicamente para probar plásticos de menos de 1 mm de espesor y se puede usar para probar cualquier tipo de muestra de plástico dentro de este rango de espesor definido. La máquina consta de 3 partes esenciales:

1. Diseño mecánico: se diseñaron (Fusion 360 y CURA) e imprimieron (Ender3 v2) en Acido Poliláctico (PLA) 2 mordazas para sujetar las muestras de biopolímeros considerando las medidas de las probetas según lo establecido en la norma ASTM. A las mordazas se les adhirieron superficies antideslizantes y se utilizaron pernos de ajuste para la sujeción de la muestra. Una de ellas (Fig. 3) se diseñó para estar sujeta a una plataforma con husillo de bolas de 200 mm accionada por un motor a pasos (Fig. 1), mientras que la segunda (Fig. 2) se fija y sujeta a la celda de carga.

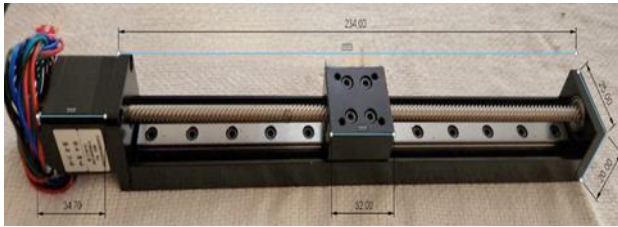


Fig. 1 Bastidor de aluminio anodizado modelo 28H30H0604A2 con plataforma, husillo y motor a pasos.

A continuación, se realizó el diseño e impresión de una base que permita dar estabilidad al prototipo (Fig. 4): La base fue diseñada para ser colocada con el bastidor de forma vertical y sujetar la celda de carga por el extremo contrario a la mordaza, permitiendo el correcto deslizamiento a través del eje.

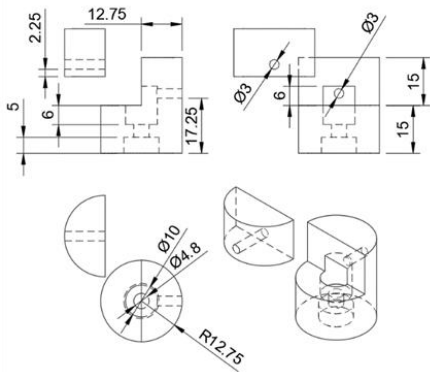


Fig. 2 Mordaza fija a celda de carga. Todas las medidas son en milímetros.

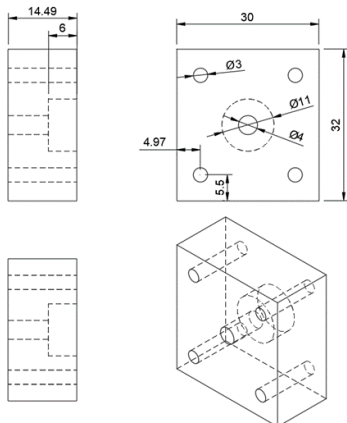


Fig. 3 Mordaza sujeta a plataforma móvil. Se requieren dos piezas iguales. Todas las medidas son en milímetros.

La base estará alojando los elementos de control por la parte posterior del diseño, para que pueda tener un arreglo

ordenado de las conexiones y alimentación de energía incluyendo los botones para acceder a las funciones previamente programadas.

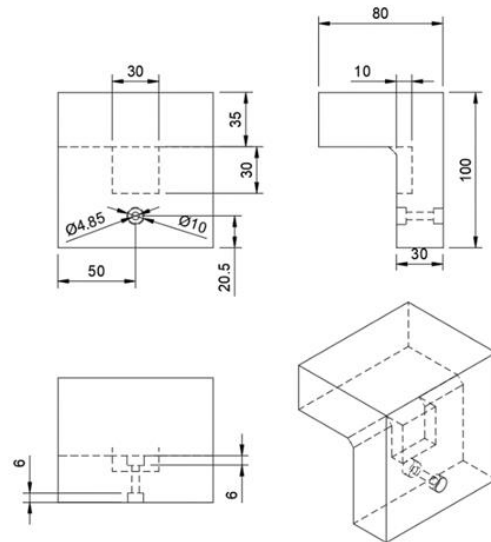


Fig. 4 Base para la máquina universal de pruebas. Todas las medidas son en milímetros.

2. Sistema electrónico: se utilizó una Raspberry Pi Pico W para el control de la máquina universal de pruebas. A este microcontrolador se le conectó un driver A4988 para el motor a pasos funcionando con pasos completos y un amplificador hx711 para la lectura de la celda de carga. Además, se incluyeron dos botones (continue y break) para controlar el flujo del proceso durante las pruebas. El diagrama electrónico completo se observa en la Fig. 5. Cabe destacar que se requiere de una fuente de alimentación de 5-9 v adicional para suministrar energía al motor a pasos.

3. Código: Se optó por controlar la Raspberry Pi Pico W con micro Python, una versión ligera de Python3 que funciona con microcontroladores de diversas marcas y modelos. El diagrama de flujo del código se puede observar en la Fig. 6, donde el proceso se encarga de forma automática de guiar al usuario en el procedimiento para realizar la prueba, desde la configuración, tara, calibración y prueba mecánica. Durante la puesta en marcha, el código permite utilizar los datos calculados de calibración para la celda de carga, o calibrarla antes de iniciar la prueba.

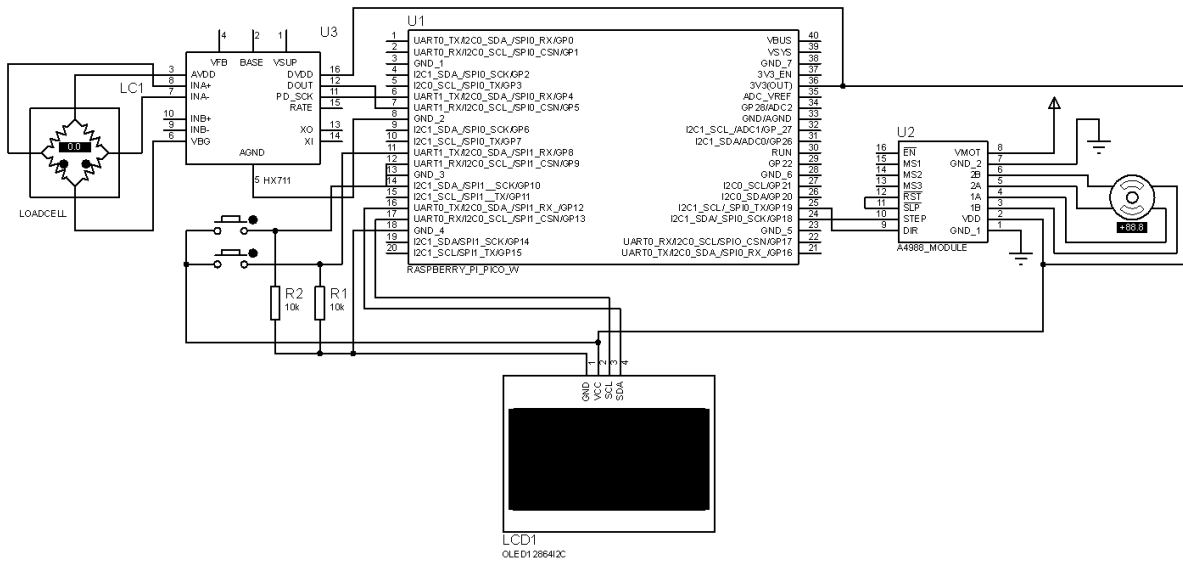


Fig. 5 Diagrama electrónico.

Además, almacena los resultados en el microcontrolador dentro de un archivo con nombre provisional aleatorio que se indica en la pantalla OLED. Los resultados almacenados contienen la información en formato json con unidades Newton (N) vs milímetros (mm). Estos datos pueden ser

graficados posteriormente con otro script creado en Python3 utilizando la biblioteca matplotlib, o en cualquier editor de hojas de cálculo haciendo la conversión del archivo json a csv.



Fig. 6 Diagrama de flujo de algoritmo de control para máquina universal de pruebas.

III. PRUEBAS PRELIMINARES

La calibración de la máquina universal se realizó con un dinamómetro con escala 0-250 gr con un error máximo de ± 1 gr. Los valores obtenidos fueron almacenados en memoria en el microcontrolador y son cargados de forma automática. No obstante, es posible utilizar una calibración personalizada si así se requiere. Durante las pruebas, se aplicó carga de tensión a velocidad constante, midiendo la carga en tiempo real.

Posteriormente, se realizaron pruebas preliminares en muestras de biopolímero comercial para uso en laboratorio (Parafilm) como demostración de principio y para evaluar la funcionalidad y pertinencia de la máquina (Fig. 7); las muestras se prepararon siguiendo lo indicado por la norma ASTM D882.

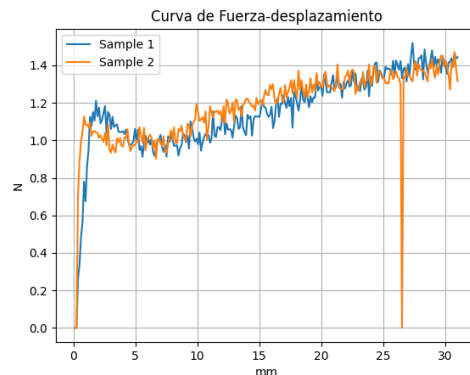


Fig. 7 Gráfica de fuerza-desplazamiento para muestras de plástico parafilm.

Además, se hicieron pruebas con películas comestibles con formulación a base de proteínas de suero con espesor de

46 $\mu\text{m} \pm 0.5$ cuyos resultados para dos muestras de 4x1 cm puede observarse en la Fig. 8.

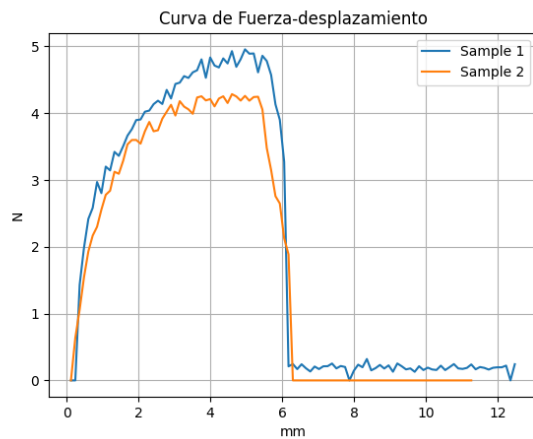


Fig. 8 Curva de fuerza-desplazamiento de películas comestibles de 4x1 cm.

Los resultados de las pruebas preliminares demostraron la capacidad de la máquina para aplicar cargas controladas y medir la fuerza aplicada en las muestras de biopolímeros con un error de ± 0.5 N.

IV. CONCLUSIÓN

En este artículo, presentamos el diseño y las pruebas preliminares de una máquina universal para pruebas mecánicas de tensión en biopolímeros. El diseño de la máquina se basó en las normas establecidas por la ASTM International para garantizar la consistencia y la repetibilidad con un bajo error de reproducibilidad en los resultados obtenidos.

Las pruebas preliminares demostraron la funcionalidad y pertinencia de la máquina en la aplicación de cargas controladas y la medición de desplazamientos en muestras de biopolímeros. Estos resultados son importantes para futuras investigaciones sobre las propiedades mecánicas de los biopolímeros y su aplicación en diferentes sectores industriales, como las industrias farmacéuticas, alimenticia, y el embalaje.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico José Mario Pasquel y Henríquez por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] C. Otoni, R. J. Avena Bustillos, H. M. Aceredo, M. V. Lorevice, M.R. Moura, L. H. Mattoso, and T.H. McHugh, "Recent advances on edible films based on fruits and vegetables—a review," *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 16(5), pp. 1151-1169, 2017. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>
- [2] S. Galus, and A. Lenart, "Optical, mechanical, and moisture sorption properties of whey protein edible films," *Journal of Food Process Engineering*, vol. 42(6), pp. e13245, 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13245>
- [3] D. Bernhardt, C. Pérez, E. Fissore, M. De'Nobili, and A. Rojas, "Pectin-based composite film: Effect of corn husk fiber concentration on their properties," *Carbohydrate Polymers.*, vol. 164, pp. 13–22, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.031>
- [4] H. Zhang, X. Li, and H. Kang, "Chitosan coatings incorporated with free or nano-encapsulated Paulownia Tomentosa essential oil to improve shelf-life of ready-to-cook pork chops," *LWT*, vol. 116, pp. 108580, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108580>
- [5] R. Dhawan, B. S. Bisht, R. Kumar, S. Kumari, and S. Dhawan, "Recycling of plastic waste into tiles with reduced flammability and improved tensile strength," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 124, pp. 299-307, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.018>
- [6] (2018) ASTM International website. [Online]. Available: <https://www.astm.org/d0882-18.html>
- [7] ASTM, "Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, ASTM D882-18," International, ASTM, 2018. [On line]. Available: <https://www.astm.org/d0882-18.html>
- [8] C. Pryor, "The Definitive Guide to ASTM D882 - Tensile Testing of Thin Plastic Film," INSTRON. [En línea]. Available: <https://www.instron.com/en/testing-solutions/astm-standards/astm-d882#:~:text=Specimens%20need%20to%20be%20between,for%20testing%20is%20250%20mm>