

Diseño y construcción de prototipo de bajo coste para ensayo de tracción de polímeros

Design and construction of a low-cost prototype for polymer tensile testing

Virna Montenegro¹, Aristides Gil¹, Jesús Campos¹, Jorge Frago¹, Nacari Marín^{1*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, Facultad de Ingeniería Mecánica, Panamá

Fecha de recepción: 5 de diciembre de 2022. Fecha de aceptación: 1 de noviembre de 2023.

*Autor de correspondencia: nacari.marin@utp.ac.pa

Resumen. Durante el estudio y desarrollo de nuevos materiales, se llevan a cabo diferentes pruebas y ensayos con el objetivo de determinar sus propiedades y características particulares. En el caso de los materiales poliméricos, uno de los ensayos más importantes es el de tensión o tracción, ya que con éstos se determina la resistencia a la rotura y el comportamiento del material cuando se encuentra sometido a fuerzas externas. Esta investigación se ha centrado en el diseño y prototipo de un dispositivo en cual se puedan efectuar pruebas de tensión a espécimen de un nuevo material que se encuentre en estudio, específicamente bioplásticos. Para la prueba del prototipo en su fase inicial se emplearon probetas de propileno (Ziploc) y de material biopolimérico a base de almidón de maíz. La carga que soporta el espécimen se registró con una galga extensiométrica y la elongación fue medida con un Vernier o Pie de Rey. A partir de este estudio en su fase inicial se pudo obtener un prototipo funcional para realizar ensayos de tracción, así como la definición de la metodología de uso para realizar cada ensayo.

Palabras clave. Bioplástico, deformación, dispositivo, elongación, ensayo de tensión, ensayo de tracción, galga extensiométrica, microcontrolador, polímero.

Abstract. During the study and development of new materials, different tests and trials are carried out to determine their particular properties and characteristics. In the case of polymeric materials, one of the most important tests is the tensile test, since these tests determine the breaking strength and the behavior of the material when it is subjected to external forces. This research, it has been focused on the design and prototype of a device in which tension tests can be performed on specimens of a new material under study, specifically bioplastics. To test the prototype in its initial phase, propylene (Ziploc) and corn starch-based biopolymeric material specimens were used. The load supported by the specimen is recorded with a strain gauge and the elongation is measured with a Vernier. From this study in its initial phase, it was possible to obtain a functional prototype to perform the tensile tests and to define the methodology of use to perform each test.

Keywords. Bioplastic, deformation, device, elongation, tensile test, tensile test, strain gauge, microcontroller, biopolymer.

1. Introducción

Actualmente, la sociedad científica se encuentra en el desarrollo de materiales que cumplan con determinadas funciones, por lo que se requiere caracterizarlos para así poder determinar sus propiedades [1]. Sin embargo, la limitante con las que se encuentra los investigadores a nivel académico y de iniciación científica es el alto costo y poca disponibilidad de estos dispositivos, así como la especificidad del material estudiado, lo que crea la necesidad del desarrollo de dispositivos tecnológicos que se adapten a las condiciones del material estudiado [2].

El ensayo de tracción es una prueba muy común para determinar la resistencia a la tensión de un material. Esta

somete la probeta construida bajo norma según el tipo de material a una carga axial. La carga se va aumentando hasta provocarle la ruptura [3].

Los ensayos de tracción registran datos de carga y elongación que soporta el material estudiado. Con esta información se puede generar los datos de esfuerzo y deformación para finalmente obtener una gráfica esfuerzo versus deformación. Esta gráfica es evaluada para así determinar la propiedad de tracción del material [4].

La carga aplicada es registrada con galgas extensiométricas que emite señales. Estas son captadas por una tarjeta de adquisición de datos (ADQ) para así poder transformar esa

señal en lectura de la carga última antes de la ruptura. La sujeción del espécimen al dispositivo se realiza con mordazas en los extremos. La función de ellas es sujetar la probeta de manera fija de un lado y del otro realizar el desplazamiento longitudinal para así determinar la elongación que sufre al aplicarle la carga [5].

Actualmente, el Campus Central de la Universidad Tecnológica de Panamá cuenta con un laboratorio de ensayos de materiales (LEM) donde se realizan pruebas físicas y mecánicas a distintos materiales entre ellos polímeros naturales como madera, *plywood* y bambú [6]. El equipo que se utiliza en el laboratorio es la máquina de tensión Shimadzu AGS-J. La celda que recibe los datos de carga es tipo 1 (1%) y el límite inicial de carga que puede ser aplicada en las probetas es de 5 kN. La aplicación de la carga al espécimen se puede realizar sin la necesidad de tener un computador para iniciar la prueba [4].

El objetivo de esta investigación es proponer un prototipo funcional de bajo costo para prueba de tensión donde se pueden ensayar específicamente materiales biopolímeros. La idea nace de la investigación titulada “Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados”, específicamente en la prueba de tensión casera con la que se realiza la resistencia a la tracción del material investigado.

2. Diseño y metodología

2.1 Diseño de estructura

Las dimensiones con las que se diseña el dispositivo para prueba de tensión en bioplásticos se fundamentan en el tamaño de la probeta que se encuentra normalizada por la ASTM D 638-14 [7], específicamente Tipo IV. También se hace referencia el prototipo casero que utilizan en la investigación “Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados”, ya que cuenta con los principios que se deben considerar al realizar pruebas de resistencia a estos materiales [8].

El dispositivo debe ser capaz de aplicarle la fuerza a la probeta de manera constante hasta provocar la ruptura y así evaluar la resistencia a la tracción con que cuenta el material.

En cuanto a la sujeción de las probetas en el sistema deben ser de manera que el material no se deslice al realizar la prueba y no debe provocarle daños a la probeta.

La lectura de fuerza aplicada y la elongación que sufre la probeta se debe registrar en tiempo real, y así generar los datos de la gráfica de esfuerzo versus deformación.

2.2 Construcción de la estructura

Se utilizó un tubo cuadrado de acero de 1 pulgada, 1 platina de acero de 1 pulgada, tuerca de rosca fina, tornillo de rosca fina con diámetro de $\frac{7}{16}$ pulgadas y 8 pulgadas de longitud de rosca, perilla, dos arandelas de $\frac{1}{4}$ pulgadas de diámetro.

La figura 1 muestra el proceso utilizado para la construcción del dispositivo. Se comienza por la medición de los tramos del material, para luego realizar corte con la cortadora circular (es importante considerar el espesor del material que se va a cortar para escoger el disco de corte). Se realiza el mecanizado de las piezas que lo requieren, dando uso del torno paralelo, para ello, se debe configurar los parámetros de máquina pertinentes para realizar centrado, cilindrado y roscado. También se deben taladrar orificios en algunas piezas, para ello se utiliza el taladro de banco y brocas.

Por último, ya con todas las piezas que componen la estructura se procede a ensamblar con soldadura de arco eléctrico. La soldadora se debe regular según el amperaje requerido para el tipo de material y el electrodo. En cuanto a las características del electrodo se escoge con el tipo y espesor de material.



Figura 1. Procesos de construcción del dispositivo.

2.3 Circuito de lectura de la carga

Materiales: galga extensiométrica 10 kg, módulo HX711, Arduino Mega, cables de electrónica.

El circuito se encarga de recolectar los datos de cargas en tiempo real cuando se realiza el ensayo de tensión a la probeta de estudio. Debe contar con una comunicación directa con la celda de carga para conocer la fuerza aplicada a la probeta hasta provocar la ruptura.

Se toma en consideración los conceptos generales de equipo de tensión para polímeros como lo es la máquina Shimadzu AGS-J [4]. Esta máquina adquiere los datos en tiempo real de la celda de carga, registrando los datos de carga a medida que se le aplica la fuerza a la probeta.

2.4 Metodología de uso

Pasos de uso del equipo se toman de referencia de la Norma ASTM D638-14:

- Realizar la medición del espesor de la probeta a ensayar, se debe realizar con un micrómetro.
- Sujetar la probeta al sistema. El ajuste debe ser suficiente para evitar el deslizamiento, pero no hasta provocar aplastamiento.
- Tensionar la probeta.
- Aplicarle la fuerza de manera constante hasta provocar la ruptura de la probeta.
- Medir la elongación que sufre la probeta a lo largo de la aplicación de la fuerza.

3. Resultados

3.1 Diseño de estructura

El diseño estructural cumple con los requisitos de diseño, ya que las distancias establecidas tienen suficiente holgura para ensayar las probetas de bioplástico, específicamente tipo IV según la norma ASTM 638-14. En la figura 2 se observa el diseño.

La estructura se compone de una base y un arco cuadrado. Para la aplicación de la carga a la probeta se utiliza un tornillo de rosca fina, ya que este tipo de rosca brinda un desplazamiento de menor paso, por ende, se hace de manera constante y en menor tiempo. Este se ubica en el centro del arco donde se taladra un orificio y se coloca el mismo.

En la sujeción de las probetas se diseñan mordazas que puedan ser ajustables para espesores menores 0.55 pulgadas.

Por último, en el diseño se propone la medición de la elongación que sufre la probeta con el pie de rey (Vernier). Para el espesor de las probetas se realizan tres mediciones en tres puntos diferentes y luego se saca el promedio, esto debido a que las probetas no son de espesor uniforme.

3.2 Construcción de la estructura

Es un dispositivo de bajo coste debido que el material utilizado fue adquirido de trabajos previos en el Taller de Producción del Centro Regional de Azuero de la Universidad Tecnológica de Panamá.

Tomando en cuenta los fundamentos para el uso de herramientas del taller de mecánica en el siguiente apartado se describe los pasos de construcción: primero se miden cinco tramos de 13 pulgadas y 10 pulgadas de longitud en el tubo cuadrado. Se cortan con el disco de corte para aceros y en los extremos se le hace corte de 45° esto para preparar el material para unir con soldadura. En el torno paralelo se mecaniza el tornillo de rosca fina con diámetro de $\frac{7}{16}$ pulgadas y la longitud de rosca de 8 pulgadas.

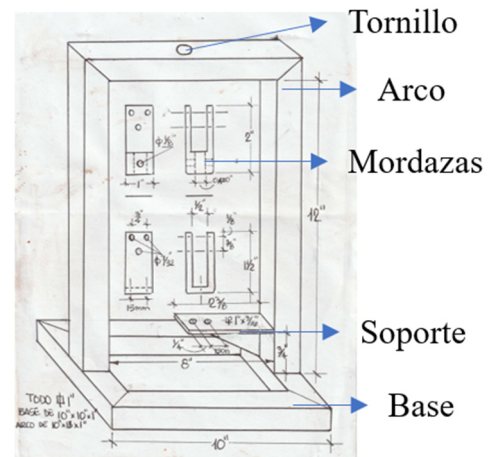


Figura 2. Diseño de dispositivo de tensión.

Para los parámetros de construcción se colocan 18 hilos por pulgada. Seguido, se construyen las mordazas con la platina que tienen forma de “U” con medidas de 1 pulgada x 2 pulgadas, la separación donde se coloca la probeta es de $\frac{1}{2}$ pulgadas. Se deben taladrar dos orificios con diámetro $\frac{1}{8}$ pulgadas en uno lado de las platinas y dos con diámetro de $\frac{7}{32}$ pulgadas en la parte inferior. A las mordazas también se le realizan cortes superficiales esto para mejorar el agarre.

El soporte donde se coloca la galga extensiométrica se construye de platina de acero de 1 pulgada x $2\frac{3}{8}$ pulgadas, en ella se taladrar dos orificios de $\frac{7}{32}$ pulgadas a $\frac{1}{4}$ pulgadas del borde.

Por último, al tubo que va en la parte superior del arco se le realiza un taladrado de $\frac{7}{16}$ pulgadas de diámetro, este orificio aloja el tornillo.

Para la soldadura se comienza colocando los tramos de tubo en escuadra hasta formar el cuadrado. Luego, se colocan puntos de soldadura en las uniones. De la misma manera se ensambla el arco, teniendo cuidado y procurando quede en ángulo de 90° con respecto a la base. Seguido, soldar el soporte de la galga $\frac{3}{4}$ de pulgada de la base.

Por último, se coloca el tornillo de rosca fina en el orificio del tubo del arco para generar el movimiento longitudinalmente hacia arriba o abajo. Para ello, se utiliza una perilla; y para que el movimiento se lo mas uniforme se le colocan dos arandelas estas como separadores entre piezas.

El extremo del tornillo se coloca la mordaza móvil. Y la mordaza fija se atornilla a la galga. Estas se ajustan al tamaño de la probeta con los prisioneros (figura 3). Se deben ajustar de manera uniforme para evitar que quede con una mala sujeción.

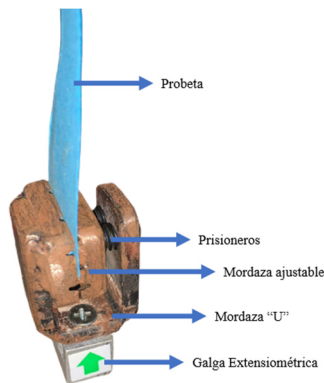


Figura 3. Mordazas de sujeción para probetas.

Finalmente se construye el prototipo funcional que realiza pruebas a bioplásticos con longitud de 4.72 pulgadas y espesores menores de 0.55 pulgadas. El dispositivo cuenta con el recorrido de 7.87 pulgadas de desplazamiento longitudinalmente hacia arriba (figura 4).



Figura 4. (1) Longitud mínima 3.54 pulgadas, (2) Longitud máxima 7.87 pulgadas.

3.3 Circuito de lectura de carga

Para la lectura de la carga que soporta la probeta que se ensaya se necesita de un circuito que pueda adquirir estos datos por medio de la celda de carga. Para ello se da uso de un microcontrolador Arduino que en conjunto con el módulo HX711 y la galga extensiométrica pueden registrar el peso en gramos que soporta la probeta justo antes de su ruptura.

El diagrama del circuito se toma de referencia del canal Idrek [9] donde explica el armado del circuito para una pesa con microcontrolador Arduino (figura 5). Para los códigos que se deben enviar al microcontrolador se utiliza la librería HX711 de Arduino.

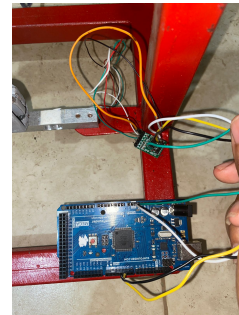


Figura 5. Circuito de conexión de la galga extensiométrica.

La conexión de la galga extensiométrica y el módulo HX711 de la siguiente manera: cable negro con E-, cable blanco con A-, cable verde con A+, cable rojo con E+. Y la conexión del módulo HX711 y el Arduino Mega es: VCC del módulo al 5V del Arduino, GND del módulo a GND de Arduino, DT del módulo al puerto 5 de Arduino y por último SCX del módulo al puerto 4 de Arduino.

La calibración de la galga se envía el código correspondiente a calibración que tiene la librería HX711, con una báscula en gramos se conoce el peso y ese se registra en el código para que tome calibración y así queda la galga extensiométrica calibrada. Luego de calibrar se utiliza el código de la pesa que en la librería aparece como `Read_1x_load_cell`, este código registra las lecturas en gramos que se le aplican a la galga extensiométrica para cada uno de los ensayos realizados. Los resultados se observan en el monitor serial. Para el circuito se obtuvieron resultados funcionales, ya que registran la carga que soporta la probeta justo antes de la ruptura.

3.4 Uso del dispositivo

Una vez calibrada la galga no se debe repetir este paso, siempre y cuando los registros se mantengan en un rango constante, de lo contrario realizar la calibración nuevamente.

El recorrido de la mordaza fija se hace de manera uniforme sin generarle fatiga a la probeta por algún movimiento brusco mientras se desplaza hacia arriba durante el ensayo, esto gracias al uso del tornillo de rosca fina y la barra guía que se desplaza junto al tornillo.

Al realizarle los ensayos a las probetas de plástico de propileno (Ziploc) en la figura 6 (a), se puede observar que la ruptura de la probeta sucede en la sección media donde la Norma D638-14 asigna que la probeta debe fallar [7]. Este tipo de material no requieren de recubrimiento en las mordazas.

Las probetas de almidón de maíz a ensayar para la investigación fueron fabricadas en base al procedimiento que realizan en la investigación de “Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados” [8]. Requieren de recubrimiento con lija grado 100 para mejorar la sujeción. En la figura 6 (b) se observa la probeta facturada.

Los datos para la gráfica luego de tener la carga que soporta y la elongación que sufre la probeta se procede al cálculo de la deformación se define como:

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (1)$$

Donde:

Δl es la diferencia entre la medida final menos la inicial.

l_0 corresponde a la medida inicial entre las marcas calibradas.

El esfuerzo (2) se define como:

$$S = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

Donde:

F corresponde a la carga que soporta la probeta.

A_0 es el área trasversal de la probeta antes del ensayo [10].



Figura 6. a. Probeta ensayada de plástico de propileno (Ziploc), b. Probeta ensayada de bioplástico de almidón de maíz.

Como se muestra en la figura 7 la elongación máxima que soporta la probeta de bioplástico de almidón de maíz es de 0.236 pulgadas justo antes de provocar la ruptura.

Para el plástico de propileno la elongación fue mucho mayor ya que su resistencia a la tracción es mayor registrando en el marco de prueba una elongación de 1.49 pulgadas justo antes de fractura. Se realizan cinco ensayos a probetas de este material (figura 7). Se observa un comportamiento que se repiten en las distintas probetas.

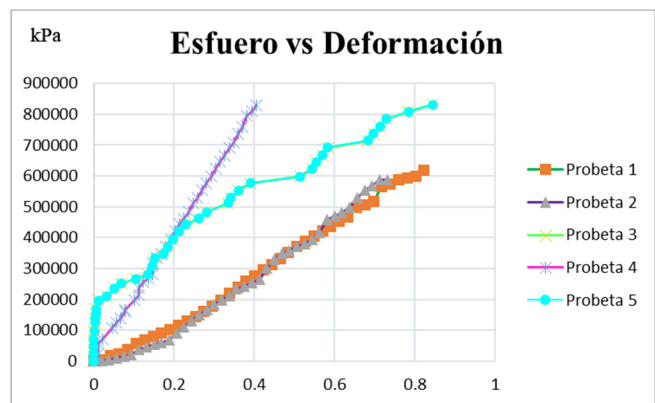


Figura 7. Curva de esfuerzo versus deformación de bioplástico de almidón de maíz.

La figura 8 muestra los resultados de los ensayos a las probetas de almidón donde el comportamiento se repite en tres probetas.

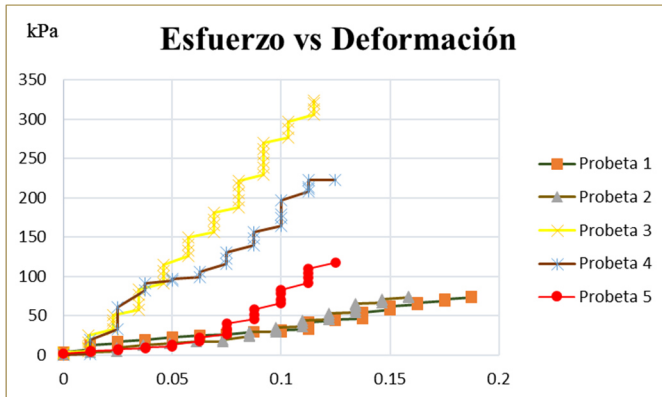


Figura 8. Curva de esfuerzo versus deformación de plástico de Propileno (Ziploc).

3.5 Costo de fabricación del dispositivo

El costo del equipo se muestra en la tabla 1. Se debe considerar que el acero y el tornillo de rosca fina para el prototipo se reutiliza de otro proyecto. Un equipo de tensión de laboratorio cuesta hasta diez mil USD [11].

Tabla 1. Costo de materiales de construcción del equipo

Materiales	Costos (USD)
Acero	9.50
Galga Extensiométrica	5.00
Módulo HX711	2.25
Arduino	15.00
Tornillo de rosca fina	3.75
Prisioneros	2.00
Total	37.50

4. Conclusiones

El diseño y construcción del prototipo de bajo costo para ensayos de tensión en materiales específicamente bioplásticos, es finalmente un dispositivo que puede ser utilizado para caracterizar materiales que se encuentren en investigación.

Se debe considerar que la manufactura de las probetas de bioplástico se realiza de manera casera y esto provoca la aparición de imperfecciones geométricas afectando la carga máxima que soporta el material.

Las guías que impiden el giro del tornillo de fuerza se deben ajustar para evitar cualquier movimiento indeseado cuando se realizan los ensayos.

AGRADECIMIENTOS

A Roberto Calderón, Edgar Vásquez, Thomas Rodríguez y Dr. Domingo Vega por la asesoría técnica.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] Sarah Gibben (16 Nov 2018). "Bioplástico en el mundo." National Geographic Society. Disponible: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2018/11/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-los-bioplasticos>. May. 29 2022, pp. 4-12.
- [2] E. J. H. N. E. O. Demóstenes J. Durango, diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales, Colombia, 2015, pp. 36-60.
- [3] Y. O. C. Bermúdez, de diseño de un sistema para la captura de datos y control de la máquina de ensayo en tensión f-104w mediante labview, Panamá, 2009, pp. 20-40.
- [4] U. T. d. Panamá, «Centro Experimental de Ingeniería,» 2022. Disponible: <https://cei.utp.ac.pa/servicios-laboratorio-de-ensayo-de-materiales>. [Último acceso: 1 junio 2022].
- [5] P. X. Idrovo, «Luis Miguel Quintanilla,» de Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de mecánica de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas, Cuenca, 2010, pp. 31-40.
- [6] Arduino, (Moreno, 2006). Disponible: <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/whats-arduino>. [Último acceso: 29 mayo 2022].
- [7] "ASTM Standards, Vol 17 11:33:13 D638-14." Test Method for Tensile Properties of Plastics1", pp. 4, Jan. 2018.
- [8] Rodríguez J. (2021). Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados. Universidad Tecnológica de Panamá.
- [9] I. Luuk, «circuitjournal,» 2021. [En línea]. Available: <https://circuitjournal.com/four-wire-load-cell-with-HX711>. [Último acceso: 25 mayo 2022].
- [10] W. J. Donald R. Akeland, «Prueba de tensión: uso del diagrama esfuerzo-deformación,» de Ciencia e ingeniería
- [11] Alibaba. "Equipos Universales de prueba de tensión" Alibaba.com. Disponible: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/WAW-600D-1600313688335.html?spm=a2700.7724857.0.0.5c164a320c1DZA>.