

Desarrollo de un prototipo didáctico de prensa universal para pruebas de tensión en materiales plásticos

Carlos Julio Flórez-López¹

David Olarte-Mejía²

Richard Giovanni Moran-Perafán³

Resumen

A continuación, se describe el diseño y desarrollo de un prototipo didáctico de prensa universal capaz de realizar pruebas de tensión en materiales plásticos. El prototipo fue desarrollado para los laboratorios de la Universidad Mariana; posee una capacidad de carga máxima de 5 kN, consta de una estructura de acero rectangular de 500 mm de ancho y 700 mm de alto, un travesaño que se desliza verticalmente sobre dos guías de sección circular. El travesaño está acoplado a un tornillo de potencia cuya tuerca está fija al bastidor de la máquina. Este arreglo permite transformar la rotación de una manivela impulsada manualmente en un desplazamiento lineal controlado del travesaño. El prototipo posee una celda de carga tipo S, con una capacidad de 5kN y un sensor de desplazamiento formado por un potenciómetro lineal y un mecanismo de engranajes, los cuales permiten la medición en tiempo real de la fuerza aplicada a la probeta y el desplazamiento del travesaño, respectivamente. Los datos de los sensores son registrados y visualizados por medios electrónicos y con una interfaz amigable con el operador. Ensayos preliminares sugieren que el prototipo cumple satisfactoriamente los requerimientos y parámetros de diseño. Este proyecto contribuye a los procesos de investigación, trabajos de aula y análisis de nuevos materiales que realizan estudiantes y docentes de la Universidad Mariana.

Palabras clave: celda de carga; desplazamiento; materiales plásticos; prensa universal; prueba de tensión; ensayos mecánicos; diseño mecánico.

¹ Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

² Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

³ Doctor en Ingeniería. Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia.

Development of a didactic prototype of a universal press for stress tests on plastic materials

Abstract

Next, the design and development of a didactic prototype of a universal press are described, capable of carrying out stress tests on plastic materials. The prototype was developed for the laboratories of the Mariana University; it has a maximum load capacity of 5 kN; it consists of a rectangular steel structure 500 mm wide and 700 mm high and a crossbar that slides vertically on two guides of circular section, coupled to a power screw whose nut is fixed to the frame of the machine. This arrangement makes it possible to transform the rotation of a manually driven crank into a controlled linear displacement of the cross member. The prototype has a type S load cell, with a capacity of 5kN and a displacement sensor formed by a linear potentiometer and a gear mechanism, which allow real-time measurement of the force applied to the specimen and the displacement of the crossbar. Sensor data is recorded and viewed electronically and with a user-friendly interface. Preliminary tests suggest that the prototype satisfactorily meets the design requirements and parameters. This project contributes to the research processes, classroom work, and analysis of new materials carried out by students and teachers of the Mariana University.

Keywords: load cell; displacement; plastic materials; universal press; stress test; mechanical tests; mechanical design.

Desenvolvimento de um protótipo didático de uma prensa universal para testes de tensão em materiais plásticos

Resumo

A seguir, descreve-se o projeto e desenvolvimento de um protótipo didático de uma prensa universal, capaz de realizar testes de tensão em materiais plásticos. O protótipo foi desenvolvido para os laboratórios da Universidade Mariana; tem capacidade máxima de carga de 5 kN; é constituído por uma estrutura de aço retangular com 500 mm de largura e 700 mm de altura e uma barra transversal que desliza verticalmente sobre duas guias de seção circular, acoplada a um parafuso de potência cuja porca é fixada na estrutura da máquina. Esta disposição torna possível transformar a rotação de uma manivela acionada manualmente em um deslocamento linear controlado da travessa. O protótipo possui uma célula de carga tipo S, com capacidade de 5kN e um sensor de deslocamento formado por um potenciômetro linear e um mecanismo de engrenagem que permitem a medição em tempo real da força aplicada ao corpo de prova e do deslocamento da barra transversal. Os dados do sensor são registrados e visualizados eletronicamente e com uma interface amigável. Os testes preliminares sugerem que o protótipo atende satisfatoriamente aos requisitos e parâmetros do projeto. Este projeto contribui com os processos de pesquisa, trabalhos em sala de aula e análise de novos materiais realizados por alunos e professores da Universidade Mariana.

Palavras-chave: célula de carga; deslocamento; materiais plásticos; imprensa universal; teste de stress; testes mecânicos; design mecânico.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico actual se ha favorecido, en parte, por la creación de nuevos materiales (Jimenez, 2013), los cuales deben satisfacer requisitos como: bajo costo, ligereza, resistencia mecánica, rigidez, ductilidad, dureza, estabilidad química, entre otros. Particularmente, las propiedades mecánicas de los materiales se estudian a través de ensayos con diferentes tipos de carga; algunas veces estos ensayos pueden ser destructivos, como los de tensión, compresión, flexión, torsión, dureza, entre otros (Askeland y Phule, 2004).

Para realizar los ensayos mencionados, se requiere equipos especializados que permitan someter las muestras del material a los tipos de carga analizados y con la capacidad de medir y registrar con precisión la magnitud de las cargas y los desplazamientos. Generalmente, las prensas universales son los equipos más ampliamente usados para estos propósitos. Infortunadamente, no todas las instituciones cuentan con estos equipos especializados y que cumplan con los rangos de carga necesarios para cada tipo de material. Además, estos equipos no siempre están disponibles en el mercado local y deben importarse a altos costos, dependiendo además de la tecnología usada por el fabricante, que difícilmente puede sustituirse o actualizarse (Leyton et al., 2008).

En la Universidad Mariana se cuenta con una prensa universal para ensayos de elementos de acero y concreto, con una capacidad de 50 ton en tensión y 30 ton en compresión, que se usa para la docencia y la investigación. Sin embargo, cuando se quieren practicar pruebas en probetas plásticas o de madera, el equipo existente resulta sobredimensionado y la sensibilidad de las medidas no es satisfactoria. Por tal motivo, en este documento se describe el desarrollo de una prensa universal para ensayos de tensión en materiales plásticos, la cual tiene una capacidad máxima de 5 kN. El equipo desarrollado es una propuesta para suplir las necesidades experimentales del laboratorio de física y materiales de la Universidad Mariana. El diseño y construcción de este prototipo se enfocó en el uso de componentes mecánicos y electrónicos estandarizados disponibles en Colombia, procesos de fabricación comunes de taladrado, corte y soldadura y software de uso libre.

Métodos

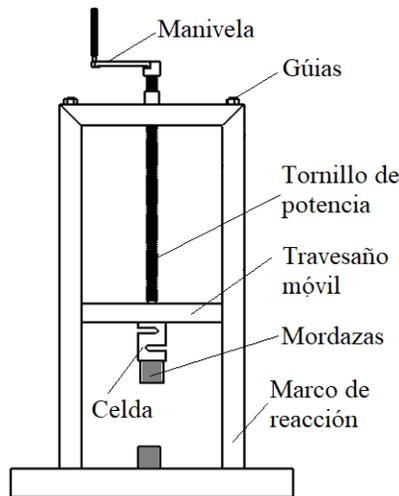
Para el desarrollo del prototipo se usó la metodología clásica del diseño mecánico, documentada por algunos autores (Leyton, y otros, 2008; Moran, Benitez, Silva y García, 2016). Por ejemplo, Durango et al. (2015) presentaron el diseño y construcción de un prototipo para ensayos de resistencia de materiales, donde utilizaron un diseño a doble columna, con un travesaño fijo y un actuador lineal que impartía el movimiento. Asimismo, Obando y Sepúlveda (2017) realizaron un diseño de una prensa universal para ensayos en plásticos, para ello tomaron la metodología de diseño presentada por Shigley (Budynas y Keith Nisbett, 2012), mediante la cual el diseño se desarrolló

en 5 fases: identificación de la necesidad, planteamiento de alternativas de solución, síntesis de la solución, diseño detallado y realización de pruebas.

Las prensas universales usualmente se construyen con marcos estructurales de una y dos columnas, y los tipos de accionamiento más comunes incluyen tornillos de potencia o actuadores hidráulicos. Teniendo en cuenta las restricciones de presupuesto, tiempo y funcionalidad, se realizó un diseño inicial con un marco estructural de dos columnas y con un accionamiento mecánico de tornillo de potencia como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Boceto del diseño preliminar



a. Cálculo, diseño y selección de elementos mecánicos y estructurales del prototipo

Se propuso realizar un diseño del prototipo que contribuya de manera efectiva y didáctica en la realización del ensayo de tensión en plásticos; para esto se planteó un diseño del marco y se verificaron que los perfiles elegidos y el material de la estructura cumplieran con los requisitos de resistencia y rigidez. Se utilizó la herramienta de simulación ANSYS 2019, donde se verificaron los esfuerzos equivalentes y deflexiones máximas del marco cuando la prensa sobrelleva la carga nominal de 5 kN. También se seleccionaron componentes comerciales mecánicos y electrónicos como tornillos, sensores y tarjetas electrónicas, cuyas referencias se presentarán posteriormente.

b. Cálculo del tornillo de potencia

Teniendo en cuenta la carga máxima, se realizaron los cálculos del tornillo de potencia con el procedimiento planteado por Shigley, (Budynas y Nisbett, 2012), dichos cálculos son resumidos en la sección de resultados.

c. Diseño de las mordazas de sujeción de la probeta para el ensayo de tensión

El diseño y la construcción de las mordazas se realizó teniendo en cuenta la máxima carga en tensión que se aplica a la probeta que es de 5 kN.

d. Sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos, que se utilizó para medir fuerza y desplazamiento, estuvo formado por un sensor de fuerza, un sensor de desplazamiento y una tarjeta Arduino UNO, la cual captura las señales análogas de los sensores, las transforma a señales digitales y las envía por un puerto USB a un computador provisto de una interfaz de usuario, diseñada y creada en el software NetBeans de Java. En esta interfaz se pueden ingresar los parámetros de ensayo como: nombre de la probeta, material, peso, área transversal y longitud inicial. La interfaz es capaz de mostrar en tiempo real la carga y el desplazamiento del travesaño, así como la curva de estas dos variables. Finalmente, estos datos pueden ser almacenados para su posterior uso.

e. Construcción y ensamblaje puesta a punto del prototipo

En la construcción del marco se usaron perfiles de acero estructural ASTM A-36 ($S_y = 280$ MPa), los cuales fueron maquinados con procesos comunes de manufactura como corte y soldadura. Se usaron algunos componentes comerciales como rodamientos y tornillería. El tornillo de potencia se hizo maquinar en un taller conforme a las dimensiones obtenidas en la fase de diseño. Además, se realizó la calibración de los sensores utilizando unos patrones de pesas de 10, 20 y 25 kg de capacidad. La interfaz se programó para mostrar los datos de carga en N y el desplazamiento en mm. Posteriormente se realizó el ensamblaje de todos los componentes correspondientes al prototipo.

f. Validación de prototipo

La validación de este prototipo se realizó haciendo ensayos mecánicos de tensión en materiales plásticos de uso común en la región: poliamidas y PET.

Resultados y Discusión

A. Cálculo, diseño y selección de elementos mecánicos y estructurales del prototipo

1) Capacidad de la máquina

Una vez propuesto el diseño del marco, este fue modelado en el programa ANSYS, donde se prescribió una carga de 5kN como la carga máxima esperada en el prototipo. Con este análisis se obtuvo un esfuerzo de von mises y un desplazamiento máximo de 66.6 MPa y 0.1 mm, respectivamente (ver Figuras

2 y 3), con lo cual se estima un factor de seguridad de 4.2 y una rigidez de 50 kN/mm, la cual es aceptable para equipos usados en el ensayo de plásticos o materiales de baja capacidad (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2007; Leyton et al., 2008; Obando y Sepulveda, 2017).

Figura 2

Esfuerzo máximo en el marco, sometido a la carga nominal de 5kN

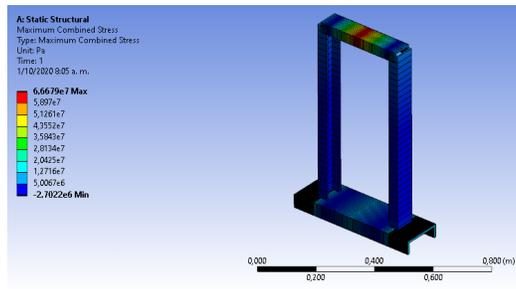
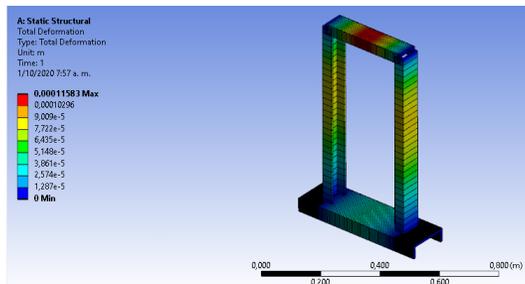


Figura 3

Desplazamiento máximo en el marco, sometido a la carga nominal de 5kN



Las dimensiones del prototipo se describen en la Tabla 1.

Tabla 1

Dimensiones del prototipo

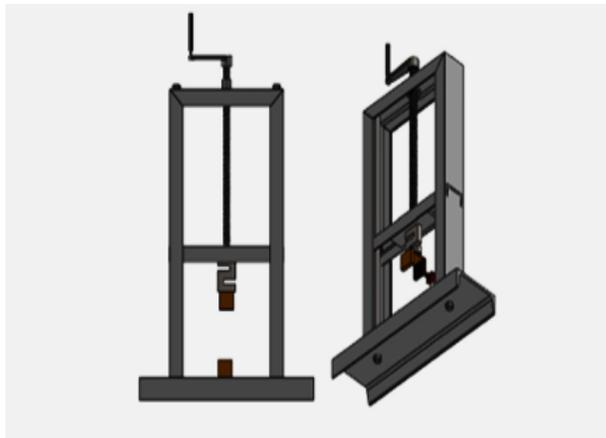
Dimensión	Valor
Altura total (mm)	700
Ancho total (mm)	500

Profundidad (mm)	100
Área de trabajo (mm ²)	250
Longitud de trabajo (mm)	400

Una vez consolidadas las dimensiones del prototipo, se realizó el diseño detallado con el programa SolidWorks (ver Figura 4), del cual se extrajeron los planos de fabricación para la construcción del prototipo.

Figura 4

Diseño final del prototipo



2) Tornillo de potencia

Con base en la carga máxima (5kN), diámetro exterior de 25.4 mm, paso de rosca de 5 mm, rosca de tipo cuadrada y un coeficiente de fricción con acero de 0.15, se calcularon los parámetros del tornillo con las fórmulas planteadas en Shigley (Budyns y Nisbett, 2012), los resultados se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

Resumen de cálculos del tornillo de potencia

Característica	Valor	Unidades
Altura del diente	2.54	mm
Diámetro medio	22.8	mm
Diámetro raíz	20.3	mm
Avance	5.0	mm

Torque de elevación	12.7	mm
Torque de bajada	4.4	mm
Eficiencia	32.0	%
Esfuerzo axial	15.4	MPa
Esfuerzo cortante	7.7	MPa

Con base en los cálculos presentados en la Tabla 2, se maquinó el tornillo y la tuerca. Es un AISI 1020, el cual no es un material indicado para una larga duración; sin embargo, para efectos de evaluación de este prototipo se consideró apropiado, sobre todo por su facilidad de maquinado y disponibilidad (ver Figuras 5 y 6).

Figura 5

Tornillo de potencia maquinado



Figura 6

Tuerca maquinada



3) Construcción de las mordazas de sujeción de la probeta del prototipo

Las mordazas se construyeron con un material AISI 1045, con doble tornillo de sujeción, como se muestra en la Figura 7.

Figura 7

Mordazas

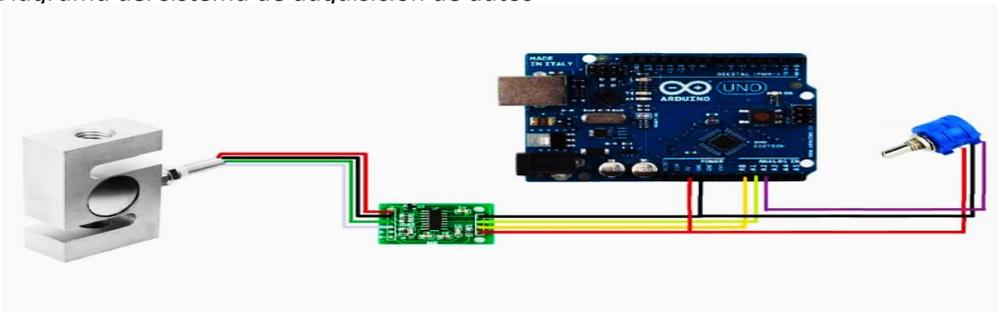


4) Sistema de adquisición de datos

Se implementó un sistema de adquisición de datos basado en una placa Arduino UNO y dos sensores, una celda de carga tipo S (Marca d&y y 5kN de rango) y un potenciómetro lineal multivariable de 20 kOhm, como se muestra en la Figura 8.

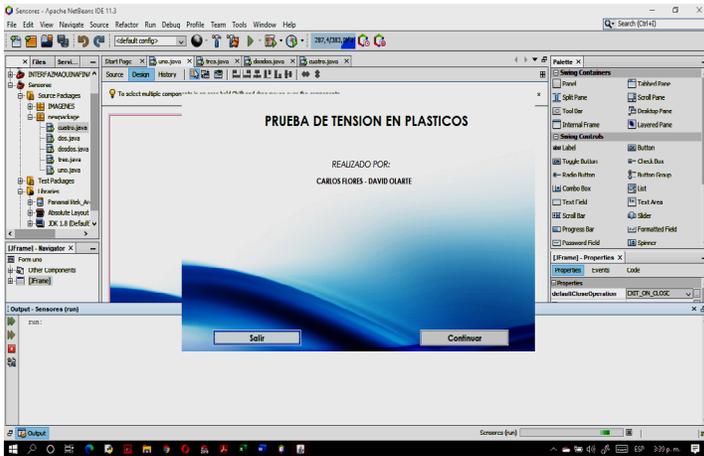
Figura 8

Diagrama del sistema de adquisición de datos



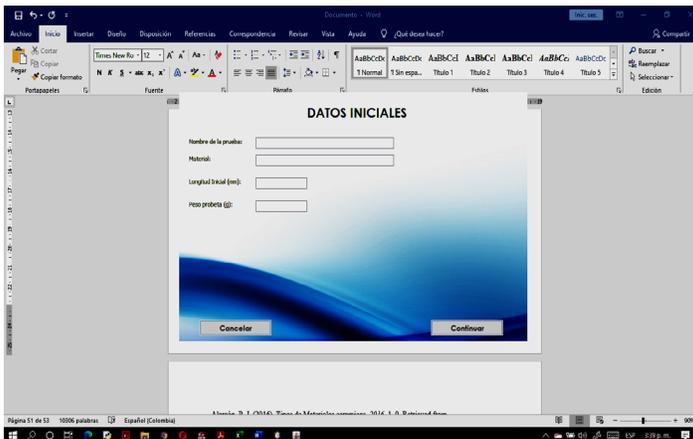
La interfaz gráfica implementada en JAVA se desarrolló con un entorno amigable con el usuario, en la cual se realiza la introducción al usuario, ingreso y procesamiento de datos y presentación de resultados. En una primera pantalla se muestra la presentación del proyecto y sus realizadores (ver Figura 9).

Figura 9
Primera pantalla presentación



En la segunda pantalla se debe ingresar datos importantes para identificar la probeta, el nombre del ensayo, datos físicos como longitud inicial y peso de la probeta (ver Figura 10).

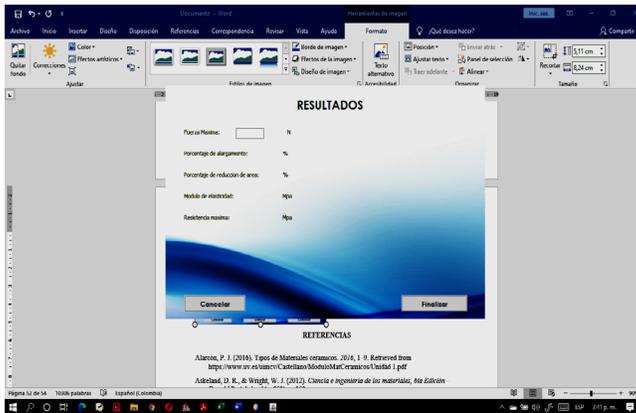
Figura 10
Segunda pantalla, ingreso de datos



En la tercera pantalla se hace la visualización de los datos que se obtienen en tiempo real a través del sistema de adquisición de datos (ver Figura 11).

Figura 11

Cuarta pantalla, resultados



5) Ensamblaje final del prototipo

En la Figura 12 se muestra el ensamblaje final del prototipo con todos los elementos adquiridos.

Figura 12

Prototipo construido



Conclusiones

El desarrollo del prototipo para pruebas de tensión cumple con los parámetros de diseño estructural y mecánico propuestos teóricamente. El prototipo fue construido de manera modular, por lo cual se pueden ajustar las partes de acuerdo a los requerimientos de las pruebas, por ejemplo, se pueden instalar diferentes tipos de mordazas para ensayos con materiales especializados o ubicar otros accesorios para ensayos de compresión y flexión.

La fabricación del prototipo se mantuvo dentro del presupuesto indicado (~300 USD), que lo hace un prototipo competitivo respecto a equipos comerciales que pueden costar en promedio alrededor de 40 000 USD (Obando y Sepúlveda, 2017).

En la validación se realizaron ensayos de tensión en películas y fibras de plástico, las evaluaciones preliminares sugieren que el prototipo cumple con los requisitos de rigidez, medición de carga y desplazamiento. El prototipo estará disponible para el uso académico y de investigación en el laboratorio de física.

Referencias

- Askeland, D. & Phule, P. (2004). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (4.^a ed.). International Thomson Editores
- Budynas, R. & Nisbett, J. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (J. Murrieta, Trad.; 9.^a ed.). McGraw-Hill Educación. (Trabajo original publicado en 2008).
- Durango, D., Herrera, E. y Otero, N. (2015). Diseño, construcción y validación del prototipo de una máquina para ensayos de resistencia de materiales. *Revista Ingeniería e Innovación*, 3(1), 16-27. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rri/article/view/857>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2007). Método de ensayo para determinar las propiedades de tensión en plásticos.
- Jimenez, A. (2013). Desarrollo tecnológico y su impacto en el proceso de globalización económica: *Retos y Vision General*, (1), 123-150.
- Leyton, A., Ballén, J., Moran, R., Casanova, F., Pinedo, C. y García, J. (2008). Desarrollo de una prensa para pruebas estáticas y dinámicas de elementos ortopédicos y tejidos biológicos. *Revista Ingeniería e Investigación*, 28(3), 132-137.
- Obando, S. y Sepúlveda, C. (2017). *Diseño y construcción de un equipo de ensayos de resistencias a la tensión de materiales, en la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño en 2017* (tesis de pregrado, Corporación Universitaria Autónoma de Nariño). Repositorio Institucional Aunar. <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/536>