

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN EN MATERIALES NO CONVENCIONALES SOMETIDOS A ENSAYO DE TRACCIÓN

Mechanical characterization and comparative analysis of stress-strain curves in non-conventional materials subjected to tensile testing

Álvaro Mauricio Bonilla Cufiño^a, Camilo Sarmiento Fautoque^b

^a Mecatrónica Comprometida con el Agro – MECA, Uniagraria, bonilla.alvaro1@uniagraria.edu.co

^b Mecatrónica Comprometida con el Agro – MECA, Uniagraria, sarmiento.camilo1@uniagraria.edu.co

Recibido: 13 de mayo 2026. Aceptado: 28 de julio 2026. Publicado: 28 de septiembre 2026.

Resumen— En este estudio se analiza el comportamiento mecánico de materiales no convencionales mediante ensayos de tracción, con base en la obtención de curvas esfuerzo-deformación. Se evaluaron probetas elaboradas con cáscara de huevo, fibra de tela de yute y aserrín de madera, utilizando una máquina universal de ensayos para registrar los datos necesarios. A partir de estos resultados, se determinaron parámetros relevantes como el módulo de elasticidad, el esfuerzo máximo y la deformación al fallo, considerando tanto valores ingenieriles como reales. Los resultados evidencian diferencias significativas entre los materiales analizados. La cáscara de huevo presentó el mayor módulo de elasticidad y la menor deformación, indicando un comportamiento rígido. La fibra de yute mostró la mayor resistencia al esfuerzo, junto con una capacidad de deformación intermedia, lo que sugiere un comportamiento resistente. Por su parte, el aserrín de madera evidenció la mayor deformación y la menor resistencia, caracterizándose como un material más maleable. Estos hallazgos permiten establecer criterios para la selección de materiales alternativos según los requerimientos específicos de aplicación, destacando el potencial de los materiales no convencionales en el desarrollo de soluciones sostenibles y de bajo costo en ingeniería.

Palabras clave— Materiales no convencionales, biomateriales, ensayo de tracción, módulo de Young, comportamiento mecánico, curvas esfuerzo-deformación.

Abstract— This study analyzes the mechanical behavior of non-conventional materials through tensile testing, based on the development of stress-strain curves. Specimens made from eggshells, jute fabric fiber, and wood sawdust were evaluated using a universal testing machine to obtain the required data. From these results, key parameters such as Young's modulus, maximum stress, and strain at failure were determined, considering both engineering and true values. The results show significant differences among the materials analyzed. Eggshell exhibited the highest modulus of elasticity and the lowest deformation, indicating rigid behavior. Jute fiber demonstrated the highest stress resistance along with moderate deformation capacity, suggesting strong and resistant behavior. In contrast, wood sawdust presented the highest deformation and the lowest resistance, characterizing it as a more ductile material. These findings provide criteria for the selection of alternative materials according to specific application requirements, highlighting the potential of non-conventional materials as sustainable and low-cost solutions in engineering.

Keywords— non-conventional materials, biomaterials, tensile test, Young's modulus, mechanical behavior, stress-strain curves.

I. INTRODUCCIÓN

La Curva de Esfuerzo-Deformación se genera a partir de los datos recolectados por la maquina universal, con este grafico que forma un tipo de curva. Para tener una mejor interpretación del grafico se tienen en cuenta los conceptos de:

- **Esfuerzo:** En el comportamiento mecánico, el esfuerzo es conocido como las fuerzas que se ejercen en lo largo de una superficie, como lo pueden ser cargas, tracciones y presiones.

Su símbolo es la letra griega sigma, “ σ ” y una de sus unidades usadas es N/m^2 y su fórmula es:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Donde A es el área de la sección transversal en metros cuadrados y F es la fuerza en Newtons [2]

- **Deformación:** La deformación es el cambio, en la forma de un cuerpo a causa de un esfuerzo, o en otras palabras el cambio de forma representa el movimiento de las partículas por las cuales este compuesto. La deformación normalmente se encuentra representada con la letra griega épsilon “ ϵ ” y su fórmula es:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Donde Δl representa la elongación, y l_0 representa el valor inicial de la distancia [2]

- **Esfuerzo y deformación real:** Las definiciones matemáticas anteriores hacen referencia a una los valores de esfuerzo y deformación ingenieril. Cuando se somete a una carga un cuerpo, el área transversal tiende a reducirse, ante esto los valores de esfuerzo y deformación cambian, y se les conoce como valores reales, para los cuales las fórmulas son:

$$\sigma = \frac{F}{A_i} \quad (3)$$

Para esfuerzo, el cambio de la fórmula es, que no se va a dividir sobre un área transversal fija A , y se pasa a dividir por el área transversal instantánea A_i

Para la deformación real, se representa con la letra e , lo cual representa la suma de la diferencial del incremento a lo largo, con respecto al valor inmediatamente anterior de lo largo, este término se puede acomodar como una integral. [2]

$$e = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) \quad (4)$$

A partir de estas definiciones se entiende que la curva de

esfuerzo deformación hace referencia a, que tanto cambia la forma de un cuerpo, respecto a las fuerzas aplicadas en un área específica.

Al momento de generar la curva de esfuerzo deformación, se puede seccionar en diferentes puntos para interpretar lo que sucede en ese momento.

- **Zona elástica:** En esta zona, si se llega a retirar la carga del material, el material será capaz de volver a su forma normal, casi siempre representa una relación lineal, y esta relación se conoce como módulo de Young, o módulo de elasticidad [3]
- **Módulo de elasticidad:** También conocido como el módulo de Young, es la pendiente que presenta la zona elástica en la curva. Se representa con la letra E y su fórmula es:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

Con este valor se puede determinar el coeficiente elástico, lo cual permite saber si el material presenta características flexibles o elásticas, o características rígidas. [2]

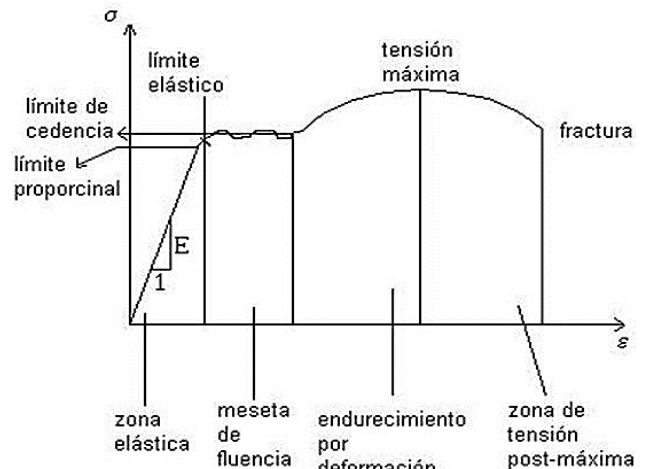


Fig. 1. Curva esfuerzo-deformación ideal [3].

- **Límite elástico:** A partir de este punto el material deja de tener un comportamiento elástico y empieza el comportamiento plástico, en el cual el material ya no vuelve a su forma original
- **Meseta de fluencia:** En esta región el material se comporta de forma plástica, teniendo una deformación con una tensión constante o fluctuando entre un valor promedio llamado límite de cedencia. [3]
- **Límite de cedencia:** Este es el promedio de la meseta de fluencia y también es el punto de inicio donde el material empieza a aumentar la tensión.
- **Endurecimiento por deformación:** En esta zona el material continúa deformándose mientras aumenta la tensión, hasta el punto de tensión máxima. [3]

- **Tensión máxima:** Este es el punto máximo de tensión, a partir de este punto la tensión se reduce.
- **Zona de tensión post-máxima:** En esta zona se va reduciendo la tensión hasta el punto de fractura, en el cual el material falla.[3]

II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

A. Materiales y preparación

- **Cascara de huevo:** Se utiliza la cascara de huevo por ser un material base fácil de obtener, además de que al usar este material se reducen los desechos de cocina.



Fig. 2. Probeta de cascara de huevo. Fuente: Propia

Tipo de probeta: 1, Norma ASTM D638
 Área transversal: 91mm²
 Área transversal luego del encuellamiento: 84mm²
 Cantidad de probetas: 3

Proceso de fabricación: Se tritura completamente la cascara de huevo. Con el resultado de la trituración se realiza un tamizaje fino, conservando el material tamizado. Se realiza una mezcla con resina epoxica hasta formar una masa uniforme, se deposita en un molde engrasado con la forma final de la probeta y se realiza proceso de secado ambiente por 3 días dentro del molde y 2 días fuera del molde.

- **Fibra de tela de yute:** Se obtiene a partir de las fibras de los costales que normalmente son utilizados para la recolección de café, o almacenamiento de granos y concentrados



Fig. 3. Probeta de fibra de yute. Fuente: Propia

Tipo de probeta: 1, Norma ASTM D638
 Área transversal: 112mm²
 Área transversal luego del encuellamiento: 104mm²
 Cantidad de probetas: 3

Proceso de fabricación: Se extrae de un costal de yute varias fibras propias del material, estas fibras se acomodan en el molde con la forma correspondiente a la probeta de forma axial respecto al eje en el cual se

realizará la tensión, posterior a eso se aglomera con resina epoxica, con un proceso de secado ambiente por 5 días dentro del molde y 3 días fuera del molde.

- **Aserrín de madera:** A partir del aserrín obtenido por el corte de la madera se mezcla con un aglomerante, en este caso pegante de madera para darle forma a la probeta.



Fig. 4. Probeta de aserrín de madera. Fuente: Propia

Tipo de probeta: 1, Norma ASTM D638
 Área transversal: 71.5mm²
 Área transversal luego del encuellamiento: 66mm²
 Cantidad de probetas: 3

Proceso de fabricación: A partir de los residuos de procesos de carpintería se realiza la recolección del aserrín para posterior a eso realizar la aglomeración con pegamento para madera, para a partir de la mezcla de aserrín con pegamento depositarla en un molde con la forma de la probeta, realizando proceso de secado ambiente por 2 días dentro del molde y 1 día fuera del molde.

B. Ensayo de tracción y condiciones experimentales

- **Maquina universal:** por medio de esta máquina se ejercerá el esfuerzo de tensión a las probetas y genera tanto un archivo de datos para generar una gráfica de esfuerzo-deformación, y también tiene la capacidad de generar esta grafica.



Fig. 5. Electronic Universal Testing Machine WDW-10E [1].

A partir de la página web del fabricante se obtienen las siguientes especificaciones [1]:

Tabla 1.

Especificaciones de la maquina según el fabricante [1].

Especificación	WDW-E10
Capacidad (kN)	10
Rigidez del marco de carga (kN/mm)	80
Rango de carga	0.4% ~100% de la carga máxima
Precisión de la carga de prueba	≤±0.5%

Espacios de prueba	Espacio de prueba tanto individual como doble
Precisión tornillos de bola	16mic/300mm nivel E
Precisión del valor de indicación de la carga de prueba	$\pm 1\%$ (nivel de precisión $\pm 0,5\%$)
Resolución de carga	1/200000 de la fuerza de carga máxima
Alcance de la medida de deformación (Extensómetro normal)	2%~100% FN
Indicación de precisión de la deformación (Extensómetro normal)	Dentro $\pm 1\%$ del valor de la indicación
Alcance de la medida de deformación (Extensómetro de alta deformación)	10mm~800mm
Indicación de precisión de la deformación (Extensómetro de alta deformación)	Dentro $\pm 1\%$ del valor de la indicación
Resolución de la carrera transversal	0.001mm
Alcance de ajuste de la velocidad de prueba bajo el modo de control de carga	0.005~5% FN/S
Precisión de la velocidad de prueba bajo el modo de control de carga	Velocidad de Prueba $< 0.05\%$ FN/s, dentro $\pm 2\%$ del valor preestablecido; Velocidad de prueba $\geq 0.05\%$ FN/s, dentro $\pm 0,5\%$ de 1 valor preestablecido;
Alcance de ajuste de la tasa de deformación	0.005~5% FN/S
Precisión de la tasa de deformación	Velocidad de Prueba $< 0.05\%$ FN/s, dentro $\pm 2\%$ del valor preestablecido; Velocidad de prueba $\geq 0.05\%$ FN/s, dentro $\pm 0,5\%$ de 1 valor preestablecido;
Alcance de ajuste de la velocidad de carrera	0.005mm/min 500mm/min
Alcance de la deformación de carga consistente y control de desplazamiento	0.5%-100% FN/s
Precisión de la deformación de carga consistente y control de desplazamiento	Valor preestablecido $\geq 10\%$ FN, dentro $\pm 0,1\%$ del valor preestablecido;
Longitud del espacio de prueba (mm)	800
Ancho del espacio de prueba (mm)	370
Dimensión (mm)	686x525x1880
Peso (kg)	250
Fuente de alimentación	AC220V $\pm 10\%$, 50/60Hz
Poder	0.75

Tipo de máquina	Tipo de Piso
-----------------	--------------

Fuente: Propia

Para garantizar la repetibilidad y estandarización de esta práctica, junto a sus resultados, se utilizó como norma a seguir la ASTM D638, “*Estándar test Method for tensile properties of plastics*”.

Se selecciono esta norma a causa de la naturaleza de los materiales a utilizar, al ser diversos materiales alternativos, de origen natural como es el caso de la cascara de huevo y el aserrín de madera, o derivados de algún producto natural como lo es la fibra del yute, se prefirió usar esta norma enfocada en plásticos como guía para el diseño y ejecución de cada prueba frente a una norma diseñada para metales.

A causa de esto se realizó con la probeta tipo I, por ser esta una de las enfocadas a materiales rígidos y semi rígidos, esto dando los parámetros con bajo los cuales se diseñó la forma de cada una de las probetas.

De esta misma forma se obtuvo el valor de velocidad para la ejecución de la prueba, siendo de 5mm/min, dada esta velocidad por el tipo de probeta, mas no directamente por el material utilizado [4].

Siguiendo la norma ASTM 638, se realiza la prueba a una temperatura ambiente, siguiendo los valores de velocidad de aplicación de la carga (5mm/min) y se recopila todos los datos detectados por la máquina, luego de eso se realiza el tratamiento de los datos para la creación, análisis y comparativa de la curva y los datos recolectados de cada material.

Conociendo el área transversal de cada probeta, antes y después del encuellamiento, conjunto a los valores que registro la maquina universal se puede generar la curva esfuerzo-deformación.

Se realizará la reducción del área transversal a partir del momento en el cual se evidencia una reducción del área, o en su defecto a partir de la primera tercera parte de los datos registrados.

- **Cascara de huevo:** Se realiza el tratamiento de los datos registrados por la maquina y se realiza la corrección de la pendiente de la zona elástica, obteniendo al mismo tiempo el valor del módulo de Young para este material.

Tabla 2.
Valor del módulo de Young de la cascara de huevo.

Pendiente (m)	4,730101938
Suma Deformación	Suma esfuerzo
0,0137	0,065934066
0,0287	0,285714286
0,0463	0,43956044
0,0637	0,637362637
0,0775	0,769230769
0,095	1,010989011
0,1112	1,076923077
0,1262	1,164835165

0,1437	1,208791209
0,1587	1,230769231
0,1762	1,318681319
0,1912	1,340659341
0,2062	1,494505495
0,225	1,626373626

Fuente: Propia

Posterior a esto se realiza la búsqueda del valor máximo para el esfuerzo y la deformación de este material tanto en los valores ingenieril como valores reales.

Tabla 3.

Datos significativos cascara de huevo.

Cantidad de datos	227
Inicio encuellamiento	76
Datos entre encuellamiento y fallo	151
Reducción del área por dato, al inicio del encuellamiento	4,62555E-08
Esfuerzo maximo (i) Pa	7,4285
Esfuerzo maximo (r) Pa	7,9168
Deformación máxima (i) mm	3,5812
Deformación máxima (r) mm	3,5812
Módulo de elasticidad	4,730101938

Fuente: Propia

Se registra la cantidad de datos tomada por la máquina, el momento del inicio del encuellamiento y cuanto es la reducción del área por el encuellamiento, se registran el esfuerzo y la deformación máximos siendo los valores marcados con i, para los valores ingenieril, y los valores marcados con r, para los valores reales.

Se realiza la gráfica correspondiente tanto de los valores ingenieriles como valores reales.

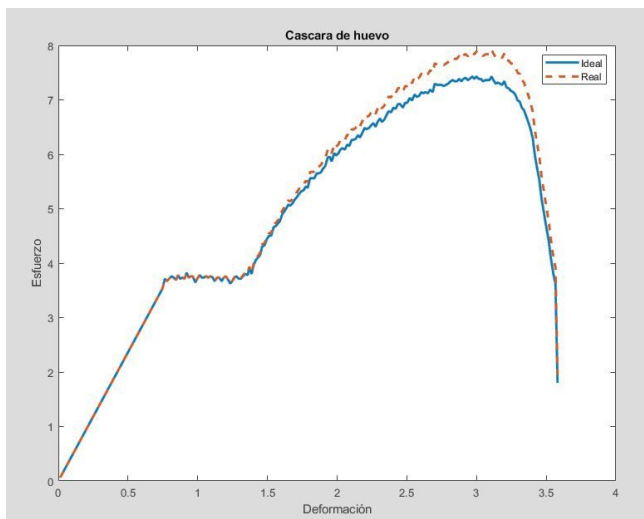


Fig. 6. Curva esfuerzo-deformación cascara de huevo. Fuente: Propia

- **Fibra de tela de yute:** Se realiza el tratamiento de los datos registrados por la maquina y se realiza la

corrección de la pendiente de la zona elástica, obteniendo al mismo tiempo el valor del módulo de Young para este material.

Tabla 4.

Valor del módulo de Young de fibra de tela de Yute.

Pendiente (m)	1,275941088
Suma Deformación	Suma esfuerzo
0,0125	0
0,0312	0,008928571
0,0437	0,008928571
0,0612	0,008928571
0,0775	0,008928571
0,0938	0,017857143
0,11	0,017857143
0,1237	0,026785714
0,1412	0,035714286
0,16	0,053571429
0,1737	0,089285714

Fuente: Propia

Posterior a esto se realiza la búsqueda del valor máximo para el esfuerzo y la deformación de este material tanto en los valores ingenieril como valores reales.

Tabla 5.

Datos significativos Fibra de tela de Yute.

Cantidad de datos	464
Inicio encuellamiento	155
Datos entre encuellamiento y fallo	309
Reducción del área por dato, al inicio del encuellamiento	2,58621E-08
Esfuerzo maximo (i) Pa	22,4732
Esfuerzo maximo (r) Pa	24,1959
Deformación máxima (i) mm	7,255
Deformación máxima (r) mm	7,255
Módulo de elasticidad	1,275941088

Fuente: Propia

Se registra la cantidad de datos tomada por la máquina, el momento del inicio del encuellamiento y cuanto es la reducción del área por el encuellamiento, se registran el esfuerzo y la deformación máximos siendo los valores marcados con i, para los valores ingenieril, y los valores marcados con r, para los valores reales.

Se realiza la gráfica correspondiente tanto de los valores ingenieriles como valores reales.

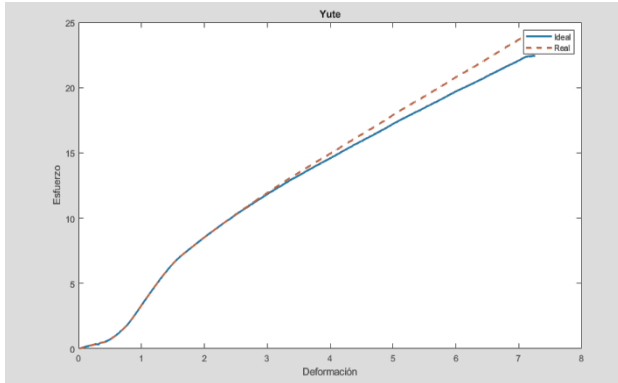


Fig. 7. Curva esfuerzo-deformación Fibra de tela de Yute. Fuente: Propia

- **Aserrín de madera:** Se realiza el tratamiento de los datos registrados por la maquina y se realiza la corrección de la pendiente de la zona elástica, obteniendo al mismo tiempo el valor del módulo de Young para este material.

Tabla 6.
Valor del módulo de Young del aserrín de madera.

Pendiente (m)	0,095344083
Suma Deformación	Suma esfuerzo
0,0112	0,032967033
0,0262	0,032967033
0,0437	0,043956044
0,0575	0,054945055
0,0737	0,065934066
0,0912	0,065934066
0,105	0,076923077
0,1237	0,087912088
0,1388	0,087912088
0,155	0,098901099

Fuente: Propia

Posterior a esto se realiza la búsqueda del valor máximo para el esfuerzo y la deformación de este material tanto en los valores ingenieril como valores reales.

Tabla 7.
Datos significativos aserrín de madera.

Cantidad de datos	561
Inicio encuellamiento	187
Datos entre encuellamiento y fallo	374
Reducción del área por dato, al inicio del encuellamiento	1,87166E-08
Esfuerzo maximo (i) Pa	0,6263
Esfuerzo maximo (r) Pa	0,6758
Deformación máxima (i) mm	8,7137
Deformación máxima (r) mm	8,7137
Módulo de elasticidad	0,095344083

Fuente: Propia

Se registra la cantidad de datos tomada por la máquina, el momento del inicio del encuellamiento y cuanto es la reducción del área por el encuellamiento, se registran el esfuerzo y la deformación máximos siendo los valores

marcados con i, para los valores ingenieril, y los valores marcados con r, para los valores reales.

Se realiza la gráfica correspondiente tanto de los valores ingenieriles como valores reales.

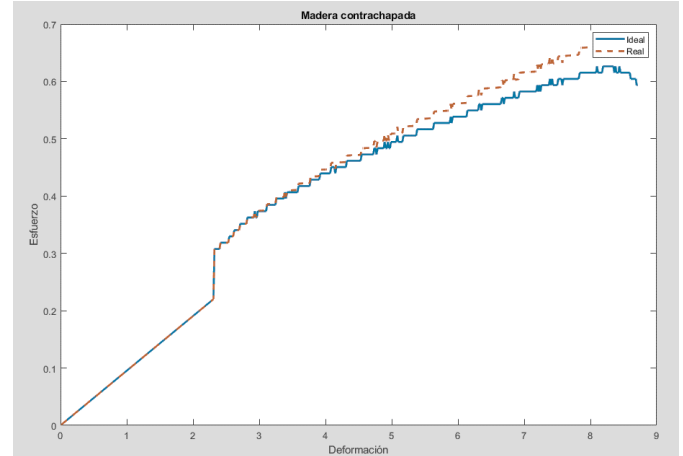


Fig. 8. Curva esfuerzo-deformación aserrín de madera. Fuente: Propia

Posterior a la realización de las gráficas se realizan dos más, una en la cual se comparan las tres curvas ingenieriles y otra en la cual se comparan las tres curvas reales.

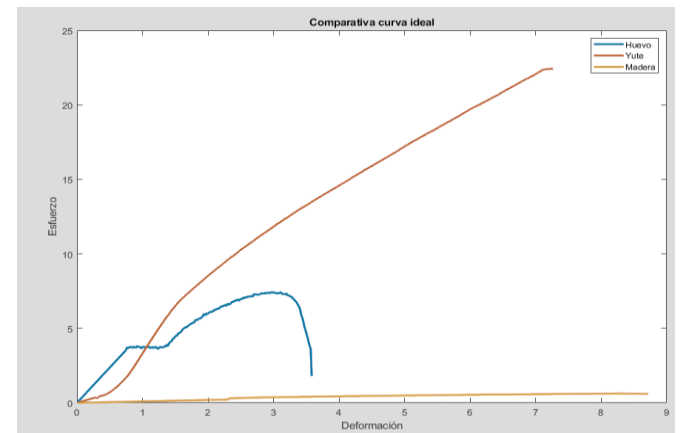


Fig. 9. Comparativas curvas ingenieril. Fuente: Propia

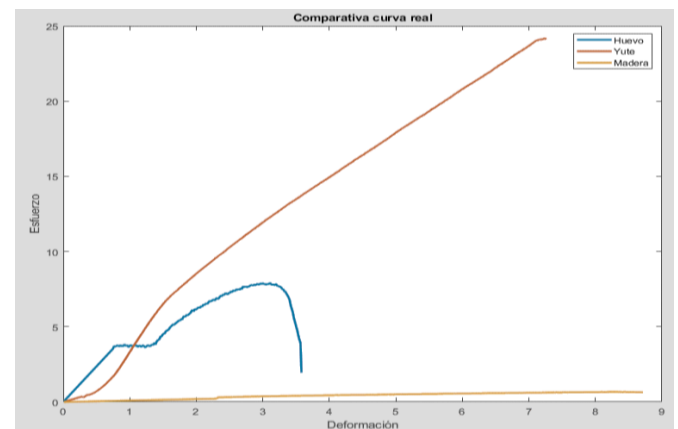


Fig. 10. Comparativas curvas reales. Fuente: Propia

Se realiza una tabla comparativa de los datos obtenidos por las tablas anteriores (tabla 8).

Tabla 8.
Comparativa de los datos obtenidos de los diversos materiales.

	Cascara de huevo	Yute	Aserrín de madera
Módulos de elasticidad	4,730101938	1,275941088	0,095344083
Esfuerzo máximo ingenieril (N/m)	7,428571429	22,47321429	0,626373626
Esfuerzo máximo real (N/m)	7,916834339	24,19590619	0,675860757
Deformación máxima ingenieril (mm)	3,5812	7,255	8,7137
Deformación máxima real (mm)	3,5812	7,255	8,7137

Fuente: Propia

III. CONCLUSIONES

Cascara de huevo:

- Fue el material con el mayor módulo de elasticidad de los tres, el primero en llegar al fallo y el que menos deformación presento antes del fallo, fue el segundo que más esfuerzo recibió.
- Presenta una mejor curva, contando con todas las fases antes del fallo.

Fibra de tela de yute:

- Fue el segundo material con mayor deformación de los tres, el que mayor esfuerzo soporto y el segundo en llegar al fallo.
- Presenta una curva sin meseta de fluencia visible, presento un fallo rápido posterior a llegar a su punto de esfuerzo máximo.
- Se plantea la hipótesis de que la razón por la que soporto tanto esfuerzo fue por sus porcentajes de aglomerante respecto a la fibra de yute.

Aserrín de madera:

- Fue el que menor esfuerzo soporto, el que tuvo menor módulo de elasticidad y el que mayor deformación presento.
- Presenta una curva con un límite elástico difícil de determinar, se presenta la posibilidad de que la probeta se hubiera deslizado de la mordaza de la maquina universal generando esa incongruencia.
- Se plantea que fue el que mayor deformación presento a causa de que era conformado por aserrín y aglomerante y no madera compacta.

Cascara de huevo vs Fibra de tela de yute vs aserrín de madera:

Los tres materiales presentan propiedades únicas, lo cual, según el requerimiento, pueden ser bastante factibles para su selección

- La cascara de huevo al presentar el mayor módulo de elasticidad y la menor deformación se puede usar cuando se requiera un material rígido.
- La fibra de tela de yute al presentar una de las mayores deformaciones, pero el mayor esfuerzo registrado se puede usar cuando se requiera un material resistente.
- El aserrín de madera al presentar la mayor deformación, con el menor módulo de elasticidad y menor tensión máxima registrada se puede utilizar cuando se requiera un material maleable.

Las diferentes características con las que cuenta cada uno de los materiales utilizados en las pruebas de tensión, deja una amplia

1. Referencias

- [1] TIME Group, “Electronic Universal Testing Machine WDW Series,” 2026. [Online]. Available: <https://www.tgindt.com/product/Electronic-Universal-Testing-Machine-WDW-Series-139.html>
- [2] J. L. González-Velázquez, *Mechanical Behavior and Fracture of Engineering Materials*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-29241-6.
- [3] Monografias.com, “Diagrama esfuerzo-deformación,” 2026. [Online]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2>
- [4] ASTM International, “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics,” 2014, *West Conshohocken, PA*.