

---

## Análisis Estructural en Vigas de Acero al Carbono, Aluminio y, Cobre. Estudio Basado en Simulación de Elementos Finitos

### Structural Analysis of Carbon Steel, Aluminum, and Copper Beams. A Finite Element Simulation-based study

DOI: <https://doi.org/10.17981/bilo.7.2.2025.02>

Fecha de recepción: 19/07/2025. Fecha de publicación: 23/07/2025

**Espinoza-Leal, Nahomi; Troncoso-Palacio, Alexander**

Autor de correspondencia: [nhmi1e8leal@gmail.com](mailto:nhmi1e8leal@gmail.com)

---

#### Resumen

En el presente estudio se realiza un análisis comparativo del comportamiento estructural de tres materiales de ingeniería —Acero Carbono Fundido, Aleación de Aluminio 6061-T6 y, Cobre Puro— bajo condiciones de carga estática. Empleando métodos numéricos basados en Simulación de Eventos Finitos. Se cuantificaron y analizaron tres parámetros mecánicos clave: la Deformación unitaria, el Desplazamiento total y la Tensión equivalente, según el criterio de Von Mises. Los resultados evidencian que el acero carbono fundido exhibe el rendimiento estructural más favorable, manifestando una elevada rigidez y resistencia frente a la deformación bajo la acción de la carga aplicada. Este análisis aporta una fundamentación técnica sólida para la selección óptima de materiales en el diseño y desarrollo de componentes en sectores como la ingeniería civil, mecánica y de manufactura avanzada.

**Palabras Clave.** Análisis Estructural, Deformación de Metales, Materiales Metálicos, Método de Elementos Finitos, Selección de Materiales.

#### Abstract

This study presents a comparative analysis of the structural behavior of three engineering materials— Cast Carbon Steel, 6061-T6 Aluminum Alloy, and Pure Copper—under static loading conditions. Utilizing numerical methods based on Finite Element Method. Three key mechanical parameters were quantified and analyzed: strain, total displacement, and equivalent stress according to the Von Mises criterion. The results indicate that cast carbon steel exhibits the most favorable structural performance, demonstrating high stiffness and resistance to deformation under the applied load. This analysis provides a robust technical foundation for the optimal selection of materials in the design and development of components across civil, mechanical, and advanced manufacturing engineering sectors.

**Keywords.** Finite Element Method, Metal Deformation, Metallic Materials, Materials Selection, Structural Analysis.

---

#### Introducción

En el diseño estructural, la correcta selección del material de una viga es fundamental para garantizar su desempeño mecánico bajo cargas. Uno de los parámetros más importantes a considerar son la deflexión, el desplazamiento y tensión, ya que influyen directamente en la integridad y funcionalidad

de la estructura [1]. Diferentes materiales, aun con geometría y carga idénticas, presentan respuestas mecánicas variables debido a sus propiedades elásticas y resistencia a la deformación.

La presente investigación tiene como objetivo comparar estos parámetros usando su valor máximo que se genera en vigas simplemente apoyadas al aplicar una carga puntual centrada, utilizando tres materiales comúnmente empleados en estructuras: acero, aluminio y cobre. Para ello, se recurre a la simulación computacional mediante el método de elementos finitos (FEM) [2], aprovechando las capacidades del software SolidWorks Simulation para analizar el comportamiento estructural sin necesidad de pruebas físicas.

Este análisis permitirá establecer cuál material resulta más eficiente estructuralmente en términos de resistencia a la deformación en configuraciones estándar, aportando información útil para decisiones de diseño en proyectos de ingeniería civil, mecánica o manufactura.

## Estado del arte

En los últimos años, el análisis estructural mediante simulación por elementos finitos (FEM) ha ganado relevancia como método predictivo eficiente para la evaluación del comportamiento mecánico de materiales bajo carga [4]. Esta técnica permite optimizar el diseño estructural sin recurrir a ensayos destructivos, especialmente en aplicaciones donde la precisión en la predicción de deformaciones y tensiones es crítica.

Diversos estudios recientes han comparado el desempeño de materiales metálicos como el acero, el aluminio y el cobre en estructuras sometidas a flexión. Se ha demostrado que el acero ofrece menor deflexión debido a su mayor módulo de elasticidad, mientras que el aluminio, pese a su bajo peso, presenta mayor desplazamiento ante la misma carga [5]. El cobre, aunque menos utilizado en estructuras resistentes, ha sido evaluado por su comportamiento plástico y su facilidad de deformación en configuraciones mecánicas específicas [6].

Investigaciones desarrolladas entre 2021 y 2024 han validado el uso de software comercial como SolidWorks Simulation, para modelar vigas simplemente apoyadas bajo carga puntual. Estas simulaciones han demostrado ser consistentes con modelos teóricos de deformación y tensión, siendo útiles como herramientas para la selección comparativa de materiales en ingeniería estructural [7].

Además, los criterios de selección de materiales en función de su desempeño estructural han sido reforzados con técnicas computacionales que permiten analizar simultáneamente parámetros como la deformación unitaria, el desplazamiento total y la tensión equivalente de von Mises, aportando una visión integral del rendimiento mecánico de cada material [8].

## Metodología

La investigación se desarrolló en siete etapas principales, como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1. Cada paso se enfoca en la construcción, configuración, simulación y análisis de vigas con diferentes propiedades mecánicas, bajo condiciones de carga y apoyo constantes. El procedimiento se llevó a cabo siguiendo las siguientes etapas:

1. **Diseño de la geometría de la viga:**

Se modeló una viga prismática de 300 mm de longitud, 30 mm de altura y 10 mm de ancho, en SolidWorks CAD.

Esta geometría (Figura 2) fue utilizada sin cambios para todas las simulaciones.

2. **Asignación del tipo de apoyo y carga:**

Se configuró un sistema de **apoyos simples** (tipo pin y rodillo), y se aplicó una **carga puntual** de 1000 N al centro de la viga (posición simétrica), simulando condiciones estándar de carga (**Figura 3**).

3. **Definición del material:**

Se seleccionaron tres materiales:

- Acero estructural (Figura 4)
- Aluminio 6061-T6 (Figura 8)
- Cobre puro (Figura 12)

Sus propiedades elásticas fueron definidas según biblioteca de materiales de SolidWorks.[3]

4. **Configuración del mallado (Figura 3):**

Se utilizó un mallado automático con elementos sólidos tetraédricos, con refinamiento medio. Para todas las simulaciones se mantuvo el mismo tipo y tamaño de elementos.

5. **Simulación y resolución**

Se utilizó el módulo de **Análisis Estático** de SolidWorks Simulation. Se realizaron tres corridas independientes, variando únicamente el material.

6. **Extracción y comparación de resultados**

Para cada caso

- Acero estructural (Figuras 5,6,7)
- Aluminio 6061-T6 (Figura 9,10,11)
- Cobre puro (Figura 13,14,15)

Posteriormente, se generó la **curva de deformación** para análisis comparativo.

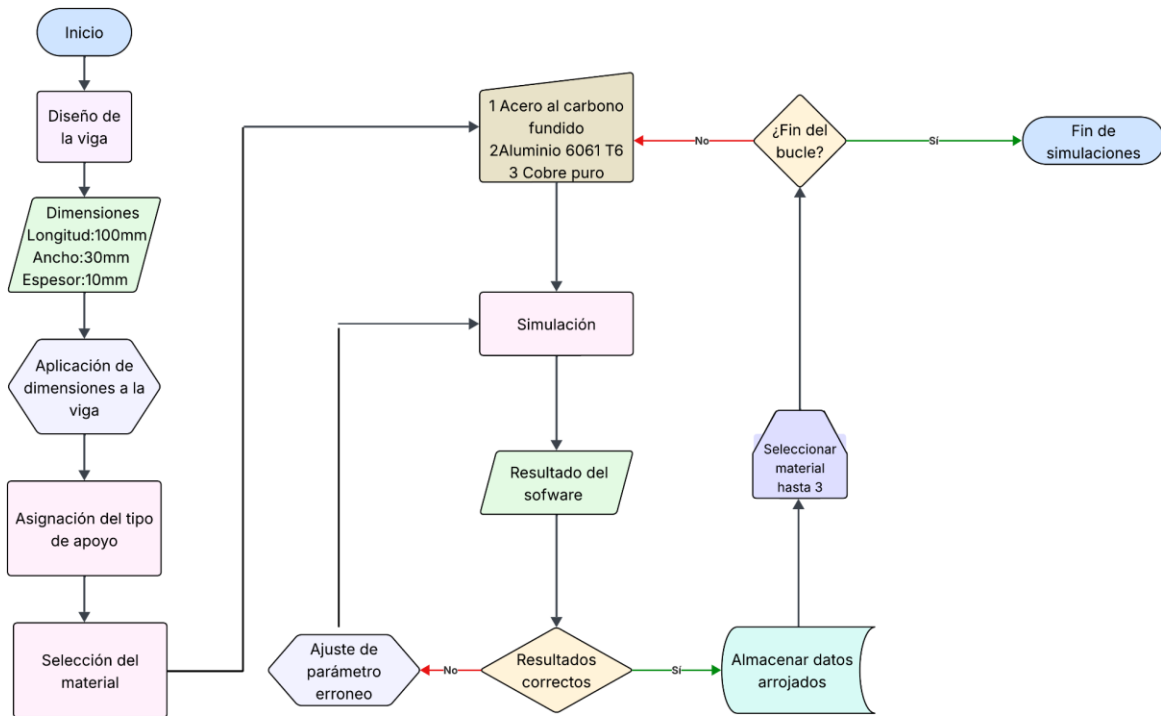


Figura 1. Diagrama metodológico para simulación

## Desarrollo

A partir de la metodología descrita, se procedió al desarrollo de las simulaciones para evaluar el comportamiento estructural de tres materiales distintos bajo las mismas condiciones de carga. En la Figura 1 se resume el diagrama metodológico general que guía todo el proceso.

El modelo base corresponde a una viga prismática con dimensiones de 300 mm de longitud, 30 mm de altura y 10 mm de ancho, diseñada en SolidWorks CAD (Figura 2). Esta geometría se mantuvo constante para las tres simulaciones a fin de asegurar la validez comparativa de los resultados.

La configuración de carga consistió en una fuerza puntual de 1000 N aplicada en el centro de la viga, con apoyos tipo pin y rodillo. Además, se empleó un mallado automático con elementos tetraédricos y refinamiento medio. Esta configuración se muestra en la Figura 3.

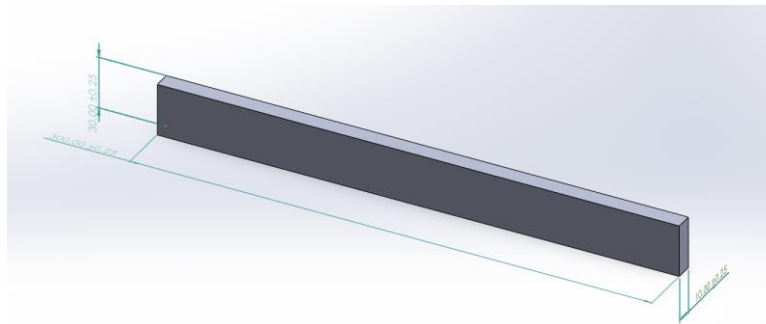


Figura 2. Viga con sus dimensiones correspondientes en milímetros

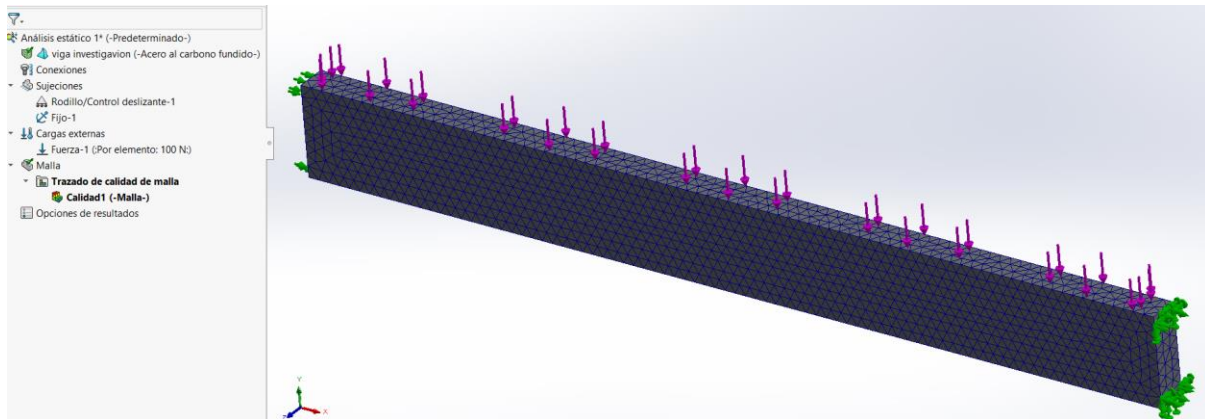


Figura 3. Asignación del tipo de apoyo, carga y mallado

### Primera simulación: Acero estructural

Para la primera corrida, se seleccionó el material **acero estructural**, como se aprecia en la **Figura 4**. Los resultados obtenidos incluyen:

- Tensiones equivalentes de von Mises (**Figura 5**)
- Desplazamiento total en el punto de apoyo de rodillo (**Figura 6**)
- Deformación unitaria distribuida a lo largo de la viga (**Figura 7**)

El acero presentó un comportamiento estructural favorable, con desplazamientos mínimos y distribución de tensiones uniforme, lo que refleja su alta rigidez.

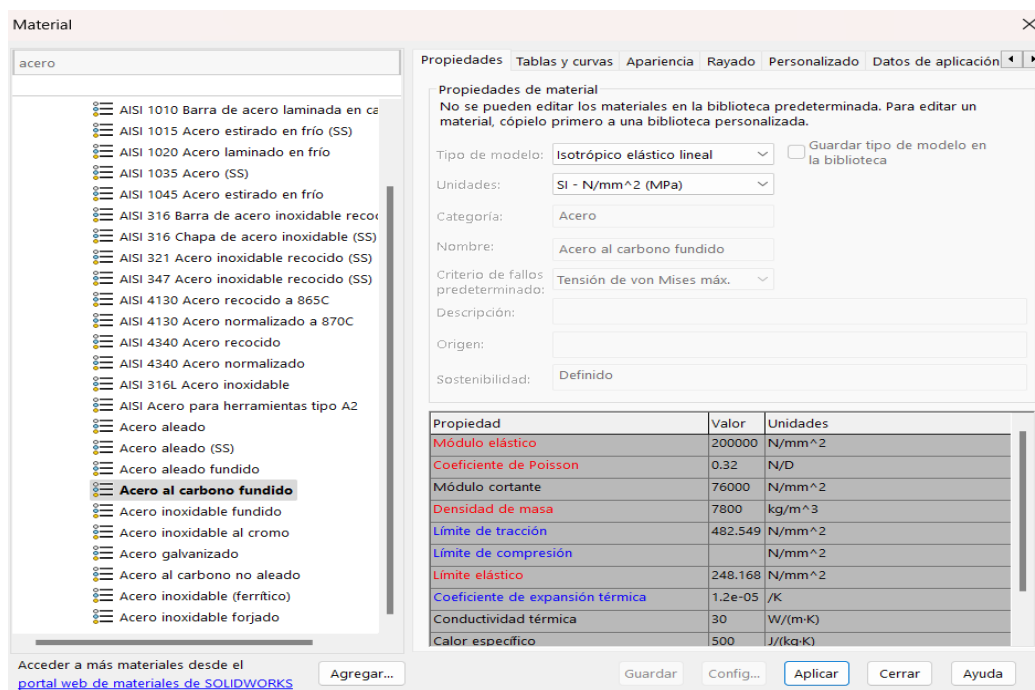


Figura 4. Selección de material para primer análisis, acero estructural

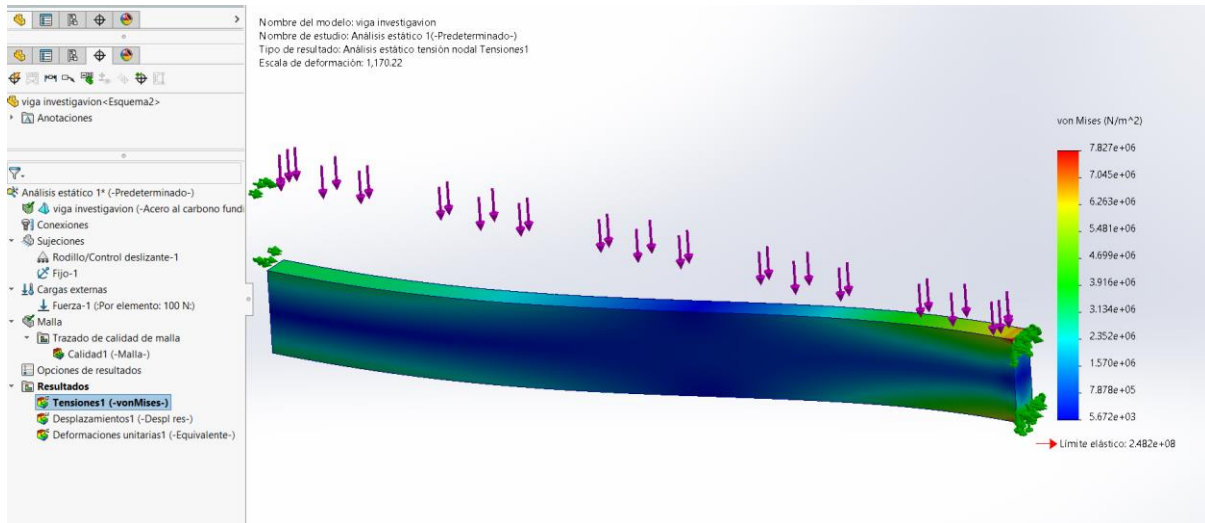


Figura 5. Datos de tensiones.

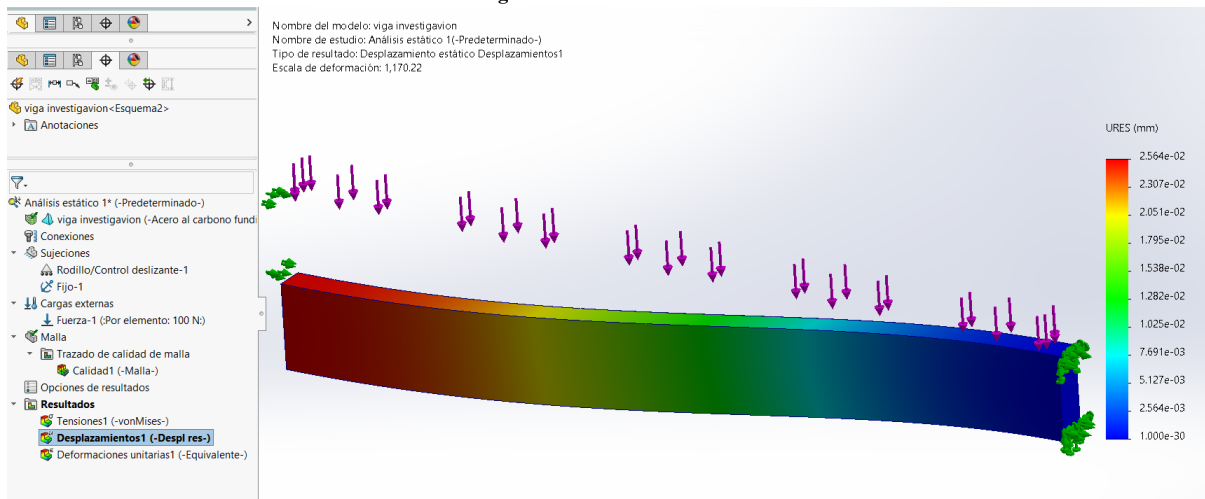


Figura 6. Datos de desplazamiento (soporte de rodillo).

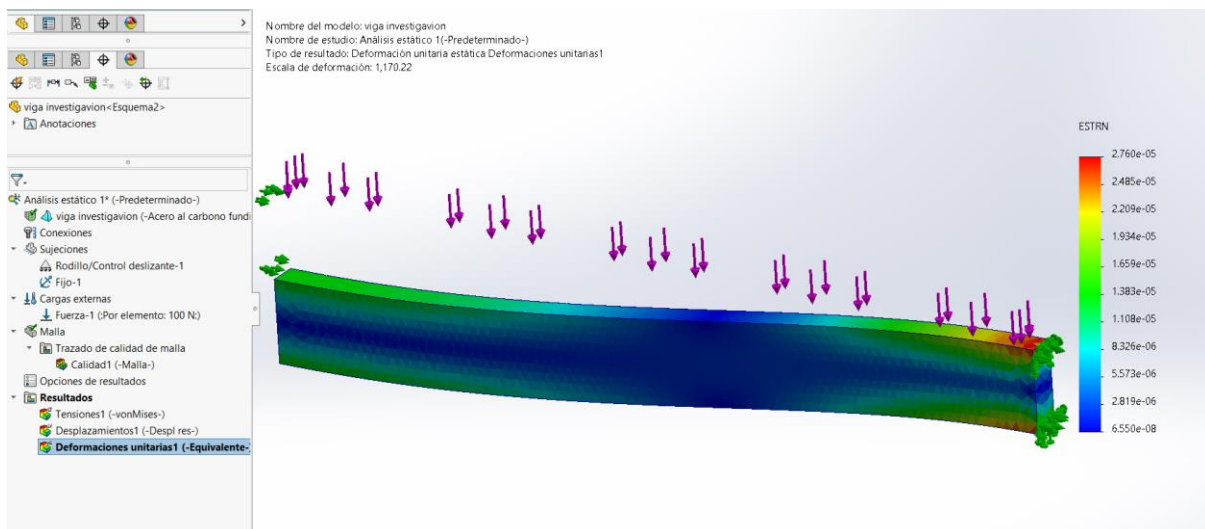


Figura 7. Datos de deformación.

### Segunda simulación: Aluminio 6061-T6

En la segunda simulación, se utilizó aluminio 6061-T6 como material estructural (Figura 8). Los resultados fueron los siguientes:

- Tensiones equivalentes de von Mises (Figura 9)
- Desplazamiento total en el apoyo de rodillo (Figura 10)
- Deformación unitaria (Figura 11)

En comparación con el acero, el aluminio mostró mayores desplazamientos y una ligera concentración de tensiones, indicando menor rigidez estructural pero aún un comportamiento aceptable dentro de límites operativos.

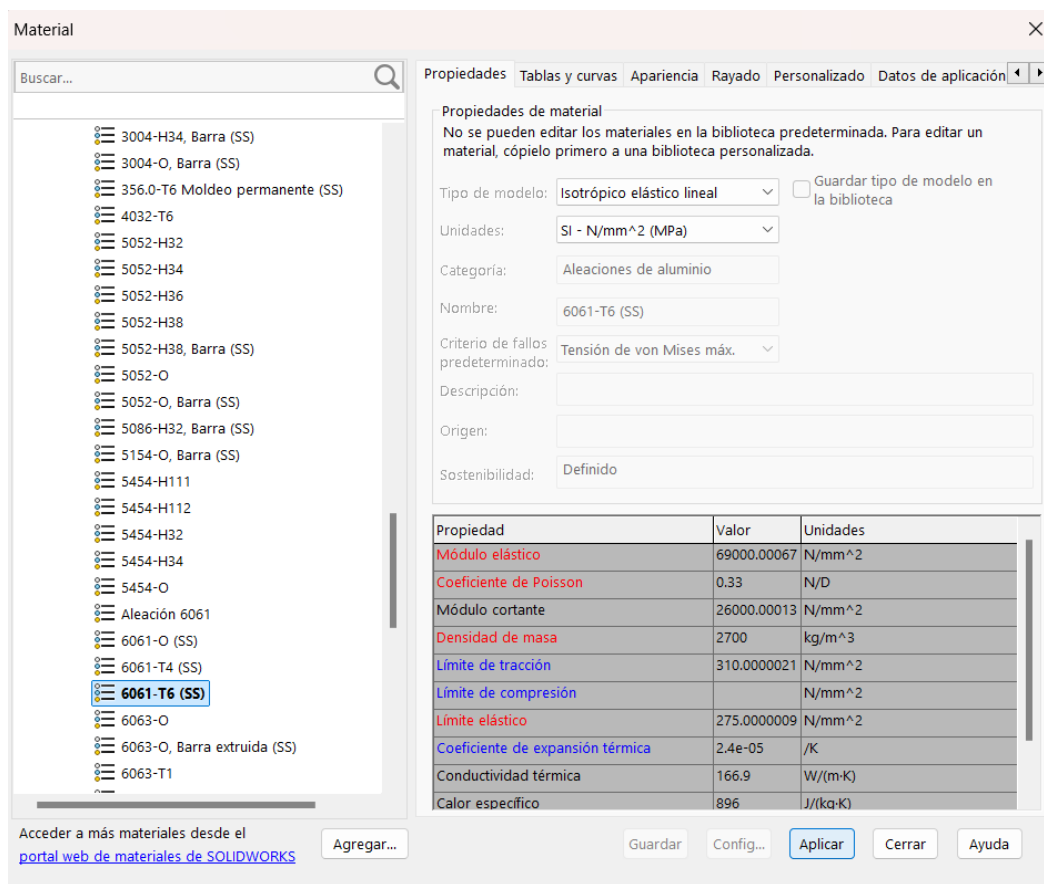


Figura 8. Selección del material para segundo análisis, aluminio 6061-T6

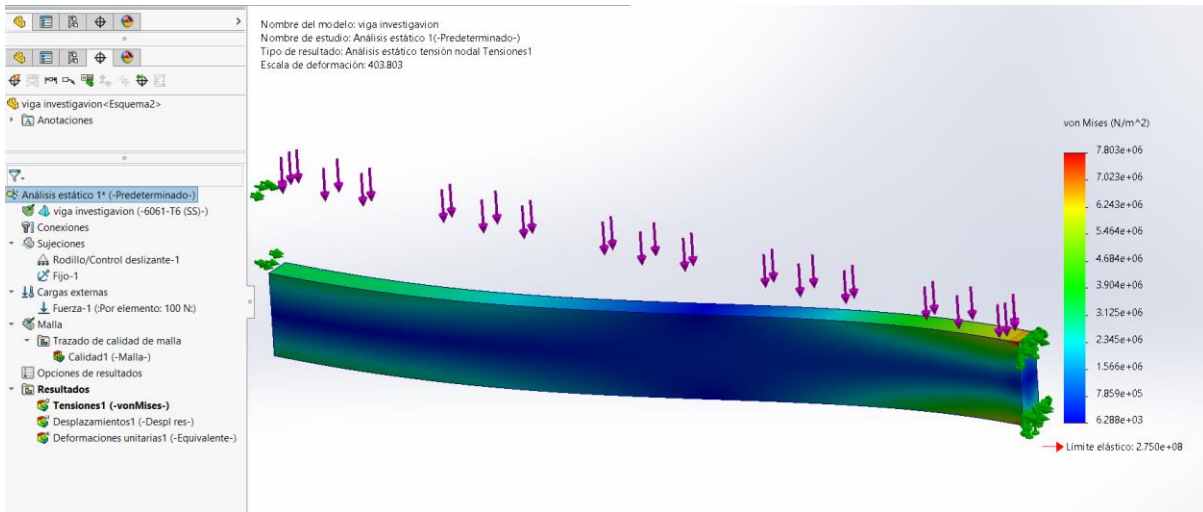


Figura 9. Datos de tensiones.

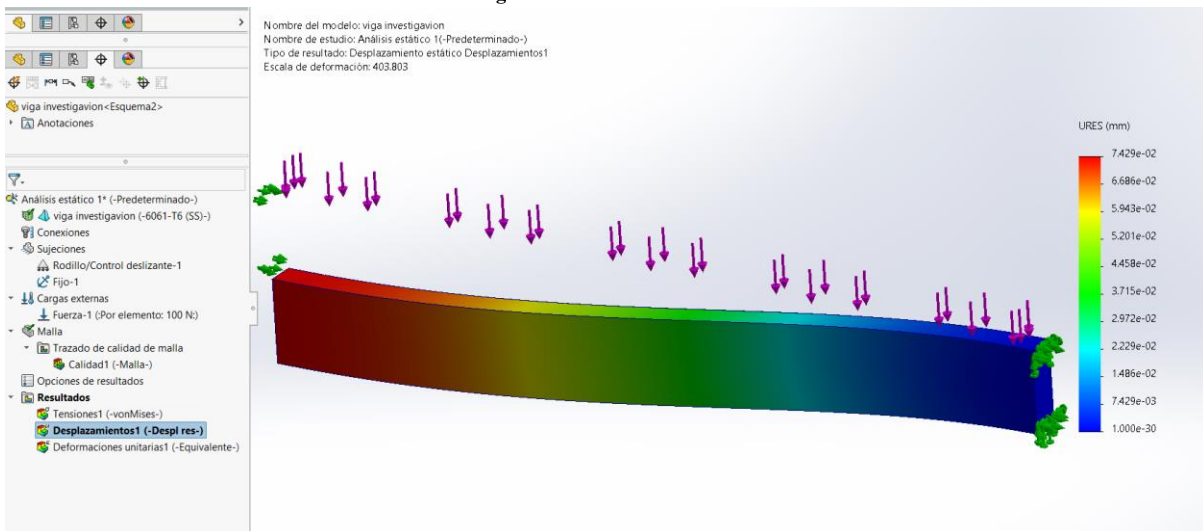


Figura 10. Datos de desplazamiento (soporte de rodillo).

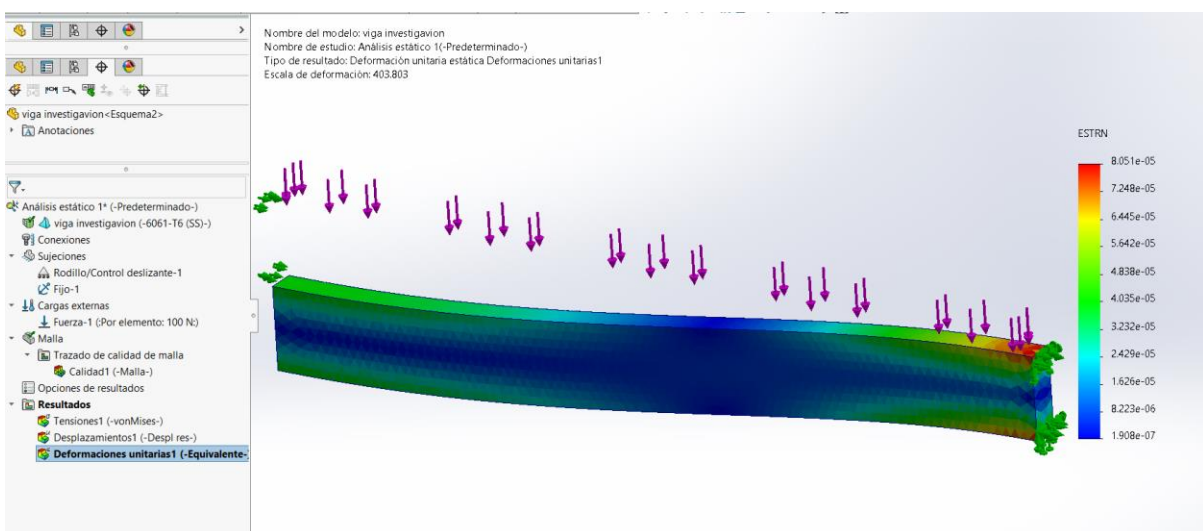


Figura 11. Datos de deformaciones.

### Tercera simulación: Cobre puro

Finalmente, se realizó una simulación utilizando cobre puro como material (Figura 12). Los resultados generados fueron:

- Tensiones de von Mises (Figura 13)
- Desplazamiento en el rodillo (Figura 14)
- Deformación unitaria (Figura 15)

El cobre presentó el mayor desplazamiento total y la mayor deformación entre los tres materiales, confirmando su menor módulo de elasticidad y su escasa eficiencia estructural frente a cargas puntuales.

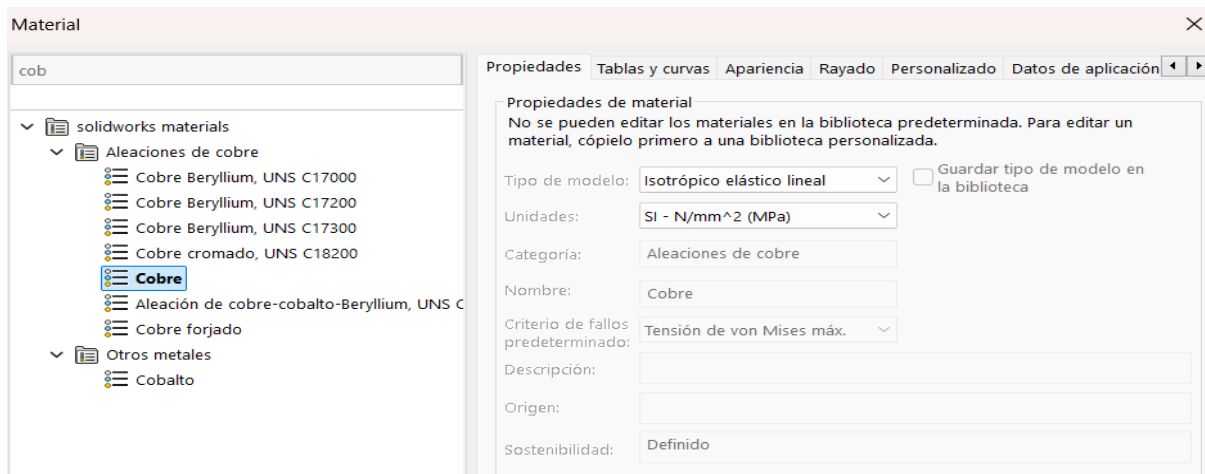


Figura 12. Selección de material para el tercer análisis, cobre puro.

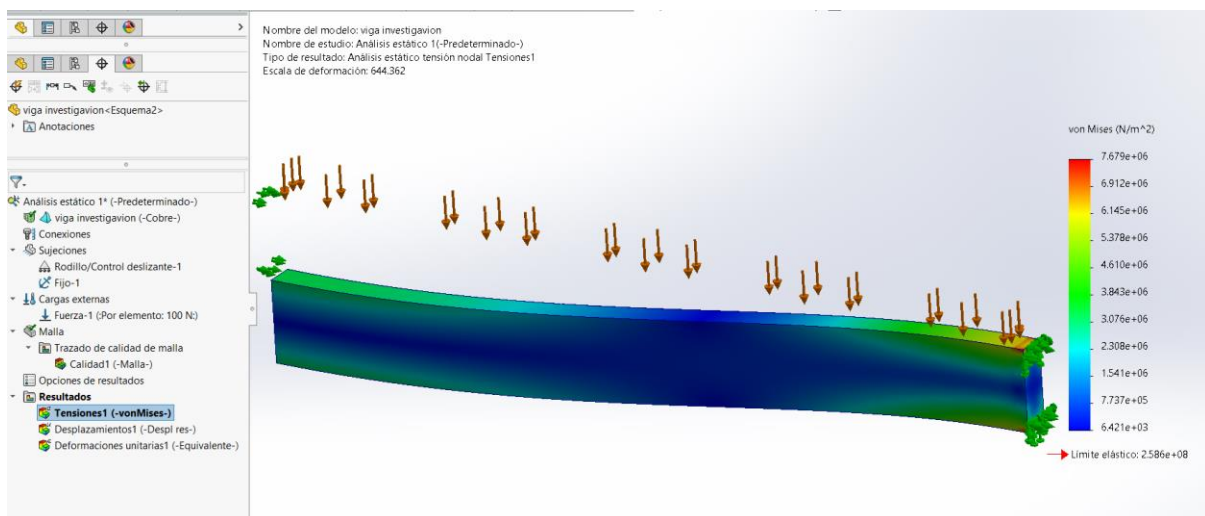


Figura 13. Datos de tensiones.

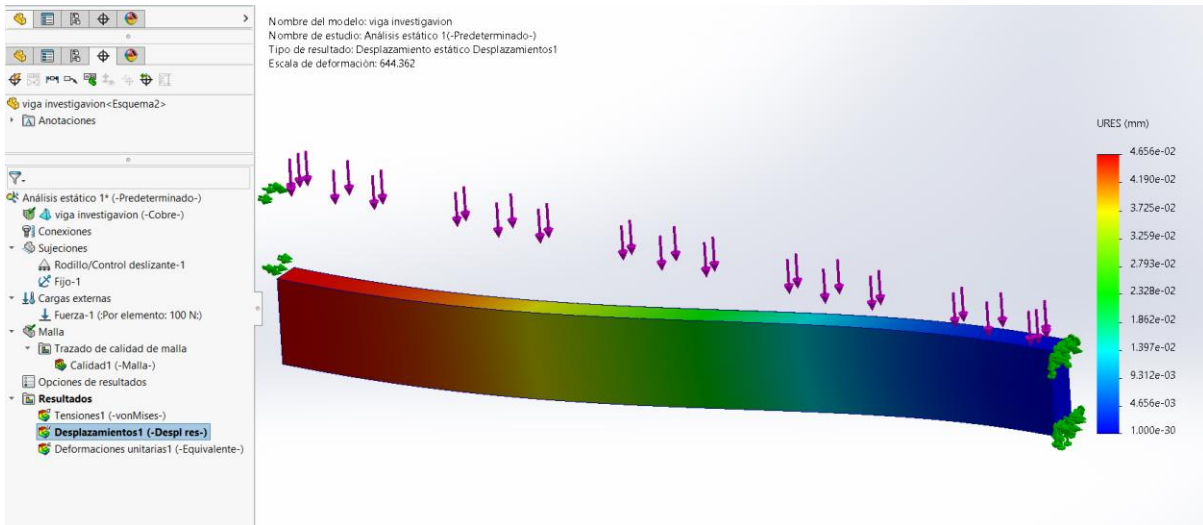


Figura 14. Datos de desplazamiento (Soporte de rodillo).

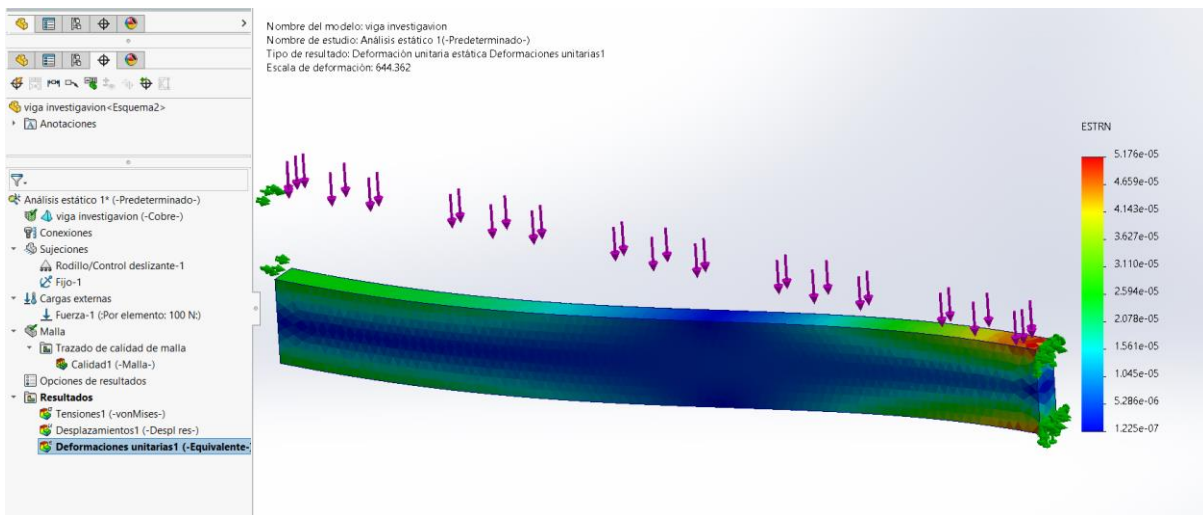


Figura 15. Datos de deformaciones.

## Resultados

Se presentan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas para cada uno de los tres materiales seleccionados: acero estructural, aluminio 6061-T6 y cobre puro. Los análisis se enfocaron en tres parámetros fundamentales para la evaluación estructural: la tensión equivalente de Von Mises, el desplazamiento total y la deformación unitaria.

Todas las simulaciones se realizaron bajo condiciones idénticas de carga, apoyo, geometría y configuración de malla, lo que garantiza una comparación objetiva entre los distintos materiales. El flujo del análisis seguido en esta etapa se presenta de manera esquemática en la **Figura 16**, proporcionando una visión general del proceso desde la ejecución hasta la interpretación de resultados.

Para cada viga analizada, se presentan los mapas de esfuerzo, desplazamiento y deformación, lo cual permite observar tanto el comportamiento global de la estructura como las zonas de mayor afectación. Esta información resulta clave para identificar el material con mejor desempeño estructural bajo carga puntual centrada.

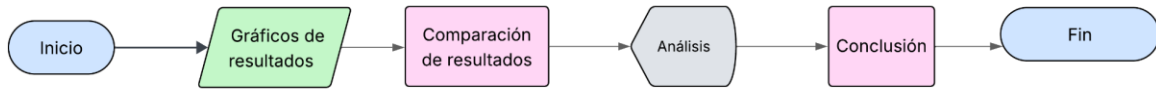


Figura 16. Flujograma para análisis de resultados.

En las figuras 17, 18, 19 se pueden observar las comparaciones realizadas entre las 3 simulaciones entre los parámetros de tensión, desplazamiento y deformación respectivamente, tomando como referencia el valor más alto de los mismos.

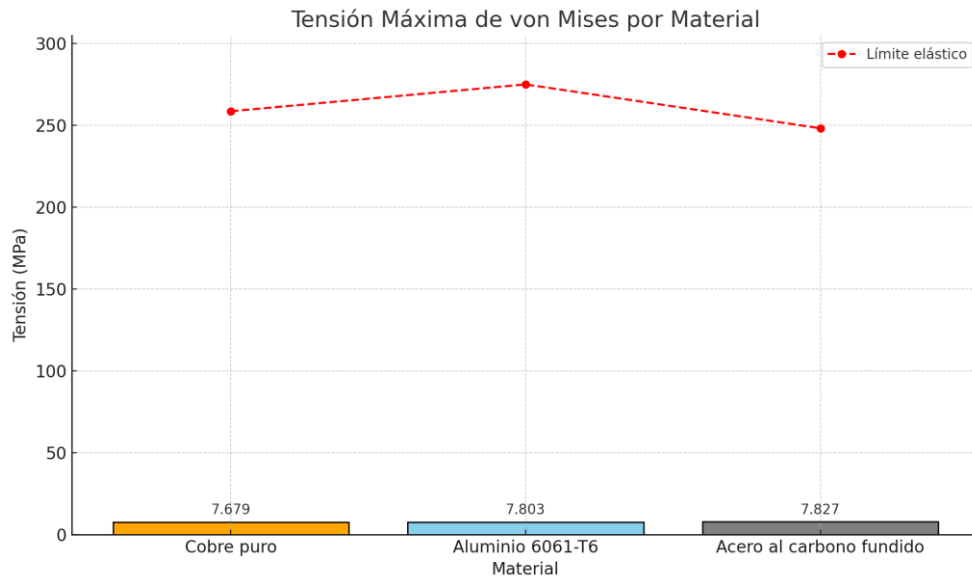


Figura 17. La gráfica muestra las tensiones máximas de von Mises para tres materiales: cobre puro, aluminio 6061-T6 y acero al carbono fundido. El cobre presentó el valor más bajo, mientras que el acero mostró la mayor tensión. Sin embargo, todos los materiales operan por debajo de sus respectivos límites elásticos, indicando un comportamiento seguro frente a la carga aplicada.

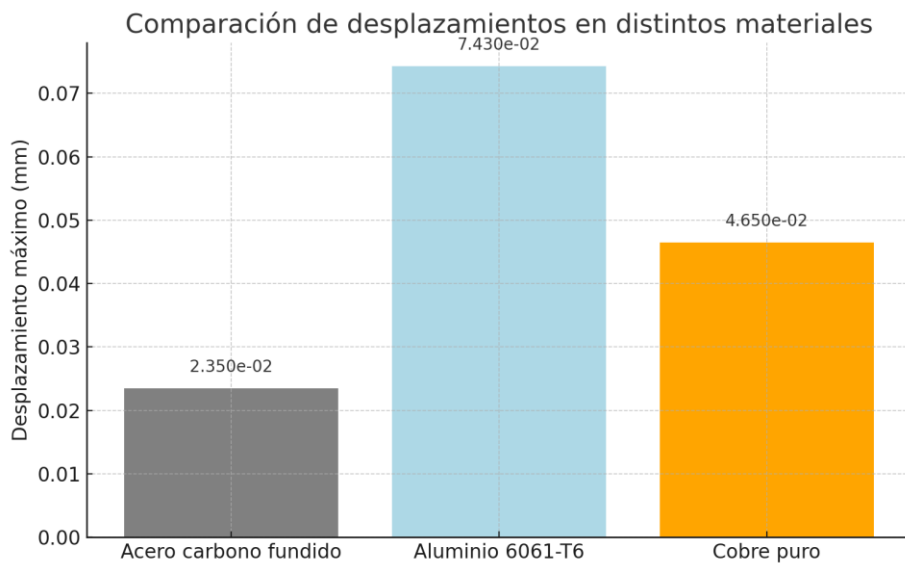


Figura 18. La gráfica muestra el desplazamiento máximo de cada una de las vigas. El acero presenta el menor desplazamiento, lo que indica mayor rigidez, mientras que el aluminio tiene el mayor, reflejando una mayor deformabilidad. El cobre se sitúa en un punto intermedio, lo que permite comparar el comportamiento estructural de los materiales ante la misma condición de carga.

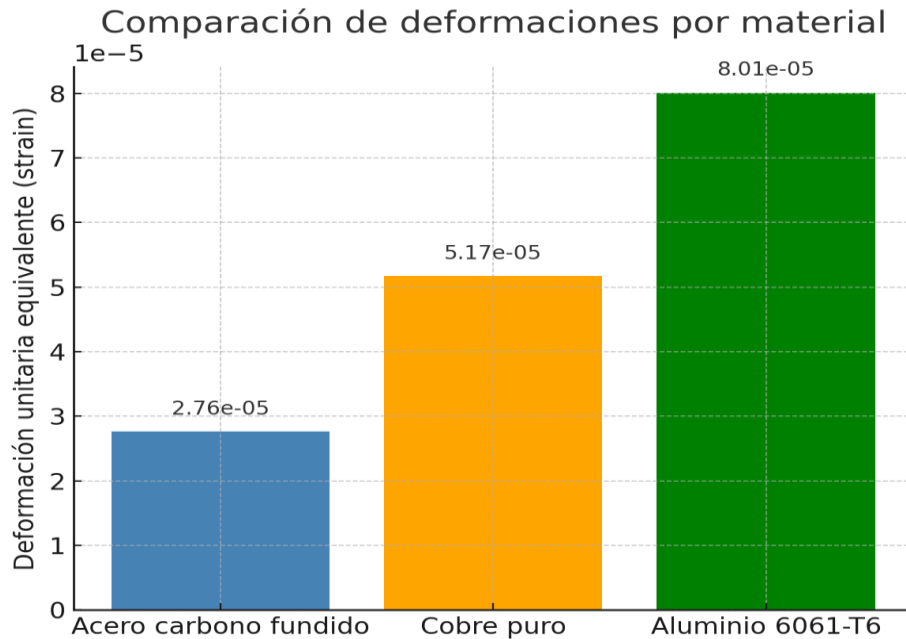


Figura 19. Esta gráfica compara las deformaciones unitarias equivalentes de cada viga. Los resultados muestran que el aluminio presenta la mayor deformación, seguido por el cobre, mientras que el acero exhibe la menor deformación, lo cual es consistente con sus propiedades mecánicas y su módulo de elasticidad. Esto permite evidenciar cómo la elección del material influye directamente en el comportamiento estructural ante esfuerzos similares.

En conjunto, los resultados obtenidos a partir de los parámetros analizados —deformación unitaria, desplazamiento total y tensión equivalente— permiten identificar diferencias significativas en el comportamiento mecánico de los materiales seleccionados bajo condiciones de carga similares. Las variaciones observadas entre el acero carbono fundido, el aluminio 6061-T6 y el cobre puro reflejan las particularidades de sus propiedades elásticas y resistencia mecánica, tal como se establece en estudios fundamentales sobre ciencia de materiales y diseño mecánico [9]–[12].

## Conclusiones

A partir del análisis comparativo de los tres materiales —acero carbono fundido, aluminio 6061-T6 y cobre puro— sometidos a condiciones de carga similares, se determinó que el acero presenta el mejor desempeño estructural en términos de resistencia a la deformación. Este material mostró menores niveles de desplazamiento, tensión equivalente y deformación unitaria, lo que indica una mayor rigidez y capacidad para mantener la integridad estructural bajo cargas estáticas [9], [11]. En contraste, el aluminio y el cobre, aunque más ligeros o conductivos, exhibieron mayores deformaciones, lo que los hace menos adecuados para aplicaciones donde la resistencia mecánica es prioritaria [10], [12]. Este resultado proporciona una base objetiva para la selección de materiales en proyectos de ingeniería civil, mecánica o de manufactura, donde la eficiencia estructural es un criterio clave de diseño [10], [11].

## **Referencias**

- [1] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials*, 10th ed., Pearson, 2016.
- [2] S. S. Rao, *The Finite Element Method in Engineering*, 6th ed., Elsevier, 2017.
- [3] MatWeb. <https://www.matweb.com>
- [4] Zhang, Y., & Huang, L. (2022). "Finite Element Analysis of Structural Materials under Static Loading Conditions". *Materials Today: Proceedings*, 60, 1015–1021.
- [5] Rojas, M. A., & Pérez, J. L. (2021). "Comparative Structural Analysis of Steel and Aluminum Beams under Static Loads". *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 44(3), 189–197.
- [6] Lin, D., & Martínez, A. (2023). "Mechanical Behavior of Copper-Based Beams: A Finite Element Study". *Engineering Structures and Materials*, 11(1), 74–82.
- [7] González, I., & Torres, L. (2020). "Validation of Finite Element Modeling for Beam Deflection Using SolidWorks Simulation". *Revista Técnica de Ingeniería*, 38(2), 45–52.
- [8] Singh, A., & Velázquez, R. (2024). "Multi-Parameter Evaluation of Metallic Beam Performance Using FEM". *International Journal of Engineering Science and Technology*, 16(1), 12–19.
- [9] W. D. Callister & D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 10th ed., Wiley, 2018.
- [10] M. F. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*, 5th ed., 2016.
- [11] R. G. Budynas & J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10th ed., 2015.
- [12] G. E. Dieter, *Mechanical Metallurgy*, 3rd ed., 1986.