

Proyecto de Innovación Docente



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar

**INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS
EXPERIMENTALES Y VIRTUALES PARA EL
APRENDIZAJE DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO DE LOS MATERIALES**

Autor: Raúl Muñoz Sánchez

Salamanca, junio de 2023

Índice

1	INTRODUCCIÓN	3
1.1	Descripción del proyecto.....	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Contexto académico	4
1.3.1	Complementos de Ingeniería Mecánica	4
1.3.2	Ingeniería de Materiales.....	5
2	EJECUCIÓN DEL PROYECTO	7
2.1	Prácticas de laboratorio.....	7
2.1.1	Ensayos estáticos.....	7
2.1.2	Ensayos de fatiga.....	9
2.2	Prácticas en el aula de informática	9
3	TAREAS PROPUESTAS Y RESULTADOS.....	10
3.1	Tarea 1.....	10
3.2	Tarea 2.....	11
4	CONCLUSIONES	13
5	BIBLIOGRAFÍA	14

1 INTRODUCCIÓN

En esta memoria se resumen los resultados más relevantes del proyecto de innovación docente *Integración de técnicas experimentales y virtuales para el aprendizaje del comportamiento mecánico de los materiales*, presentado en la convocatoria 2022-2023 de la Universidad de Salamanca.

1.1 Descripción del proyecto

El conocimiento del comportamiento mecánico de los materiales es un aspecto fundamental en la formación del alumnado de Ingeniería Mecánica, ya que permite predecir el fallo de los elementos mecánicos y optimizar el peso de las estructuras, lo cual redundaría en un menor consumo de combustible y en una mayor sostenibilidad. Para ello, es importante que aprendan a distinguir entre dos importantes conceptos: cargas estáticas (por ejemplo, el peso de un puente) y cargas de fatiga (vibración que provocan los camiones al pasar por el puente).

El enfoque tradicional consiste en estudiar de forma separada (incluso en asignaturas diferentes) estos dos conceptos, lo que dificulta su comprensión. En el mejor de los casos, el estudio teórico del comportamiento frente a cargas estáticas se acompaña de prácticas de laboratorio, pero no es habitual realizar prácticas de fatiga, por falta de medios.

En este proyecto, gracias a la reciente adquisición de equipamiento didáctico de ensayos de fatiga, proponemos realizar estos dos experimentos en una misma asignatura, lo que ayudará notablemente a los estudiantes a comprender las diferencias entre este tipo de acciones.

Por otro lado, las herramientas de simulación (de uso habitual en la industria) también se enseñan en asignaturas diferentes, con un enfoque eminentemente matemático, lo que, en ocasiones, desanima al alumnado. En este proyecto, se pretende aplicar el uso de herramientas de simulación a la comprensión del comportamiento de materiales. Esto permitirá a los estudiantes reproducir las observaciones experimentales, así como proponer modificaciones y mejoras que alarguen la vida de las piezas o reduzcan su peso.

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este proyecto de innovación docente es conseguir que los estudiantes profundicen en la comprensión del comportamiento mecánico de los materiales a través una nueva estrategia que integra dos metodologías: los ensayos experimentales en el laboratorio y el uso de herramientas informáticas de simulación.

Para la consecución de este objetivo, el proyecto se ha estructurado en 2 fases que se describirán más adelante:

- Ensayos experimentales
- Simulaciones

1.3 Contexto académico

El trabajo se ha desarrollado dentro del Máster Universitario en Ingeniería Industrial y del Grado en Ingeniería Mecánica que se imparten en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar, perteneciente a la Universidad de Salamanca.

El proyecto integra dos asignaturas: Complementos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Materiales, cuyos contenidos más importantes se describen a continuación.

1.3.1 Complementos de Ingeniería Mecánica

La asignatura Complementos de Ingeniería Mecánica, con un carga lectiva de 6 ECTS y con 7 estudiantes matriculados, tiene por objetivo proporcionar a los estudiantes los conocimientos básicos de Mecánica de Sólidos Deformables frente a cargas estáticas y de fatiga.

En la Figura 1 se resumen las unidades didácticas en las que está estructurada la asignatura. Como se puede observar, se incluyen conceptos relacionados con otras asignaturas, como Ingeniería de Materiales.

<p>Unidad didáctica 1. Fundamentos del diseño mecánico (10 horas)</p> <p>Tema 1: Conceptos básicos de Elasticidad</p> <p>Tema 2: Repaso de Resistencia de materiales</p> <p>Tema 3: Materiales</p> <p>Unidad didáctica 2. Diseño frente a cargas estáticas (20 horas)</p> <p>Tema 1. Concentraciones de tensiones</p> <p>Tema 2. Criterios de fallo estático</p> <p>Tema 3. Aplicación al diseño de elementos de máquinas</p> <p>Tema 4. Contacto entre sólidos deformables</p> <p>Unidad didáctica 3. Diseño frente a cargas de fatiga (30 horas)</p> <p>Tema 1. Tipos de cargas</p> <p>Tema 2. Fenómeno de fatiga</p> <p>Tema 3. Factores de Marin</p> <p>Tema 4. Teorías de fallo por fatiga con tensión media</p> <p>Tema 5. Acumulación de daño por fatiga</p>
--

Figura 1. Programación docente de la asignatura Complementos de Ingeniería Mecánica

1.3.2 Ingeniería de Materiales

La asignatura Ingeniería de Materiales, con 21 estudiantes matriculados y 6 ECTS, es de carácter obligatorio y se imparte en el tercer curso del Grado en Ingeniería Mecánica.

Los contenidos de la asignatura se resumen en la Figura 2. Se puede observar que uno de sus objetivos es presentar a los estudiantes los tipos de materiales más empleados en Ingeniería Mecánica, así como las técnicas de caracterización experimental y numérica que se emplean para determinar sus propiedades mecánicas

<p>Unidad didáctica 1. Introducción (8 horas)</p> <p>Tema 1: Historia de los materiales.</p> <p>Tema 2: Clasificación y propiedades de los materiales empleados en Ingeniería.</p> <p>Unidad didáctica 2. Propiedades mecánicas y su caracterización (20 horas)</p> <p>Tema 1. Propiedades mecánicas.</p> <p>Tema 2. Caracterización experimental.</p> <p>Tema 3. Leyes de comportamiento de los materiales.</p> <p>Unidad didáctica 3. Materiales metálicos y sus tratamientos (18 horas)</p> <p>Tema 1. Aleaciones de Fe-C.</p> <p>Tema 2. Tratamientos térmicos del acero.</p> <p>Tema 3. Tratamientos termoquímicos y superficiales del acero.</p> <p>Tema 4. Tratamientos mecánicos.</p> <p>Tema 5. Aleaciones ligeras.</p> <p>Unidad didáctica 4. Materiales compuestos (8 horas)</p> <p>Tema 1. Introducción a los materiales compuestos. Clasificación y características.</p> <p>Tema 2. Materiales compuestos de matriz polimérica.</p> <p>Tema 3. Técnicas de fabricación.</p> <p>Tema 4. Comportamiento mecánico de laminados.</p> <p>Unidad didáctica 5. Selección de materiales (6 horas)</p> <p>Tema 1. Identificación de los requerimientos de diseño.</p> <p>Tema 2. Casos prácticos.</p>
--

Figura 2. Programación docente de la asignatura Ingeniería de Materiales

2 EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Para la consecución de este proyecto, se han llevado a cabo dos tipos de actividades: ensayos en el laboratorio y simulaciones con el ordenador.

2.1 Prácticas de laboratorio

2.1.1 Ensayos estáticos.

Tal y como se observa en la Figura 4 y la Figura 5, los estudiantes han participado activamente en la caracterización de las propiedades mecánicas de distintos materiales. Para ello, se ha hecho uso del laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar. Ha sido necesario preparar previamente y de forma metódica las muestras a ensayar, definir un procedimiento de actuación, respetar unas normas de seguridad y, finalmente, ejecutar los ensayos y experimentar por sus propios medios qué le ocurre a ciertos materiales cuando se les somete a cargas de tipo industrial.

La exposición a maquinaria industrial de este tipo es otro aspecto fundamental en el aprendizaje de los estudiantes de esta especialidad, ya que les ha permitido experimentar la magnitud de las fuerzas que intervienen en los procesos industriales.



Figura 3. Muestra de aluminio ensayada a tracción

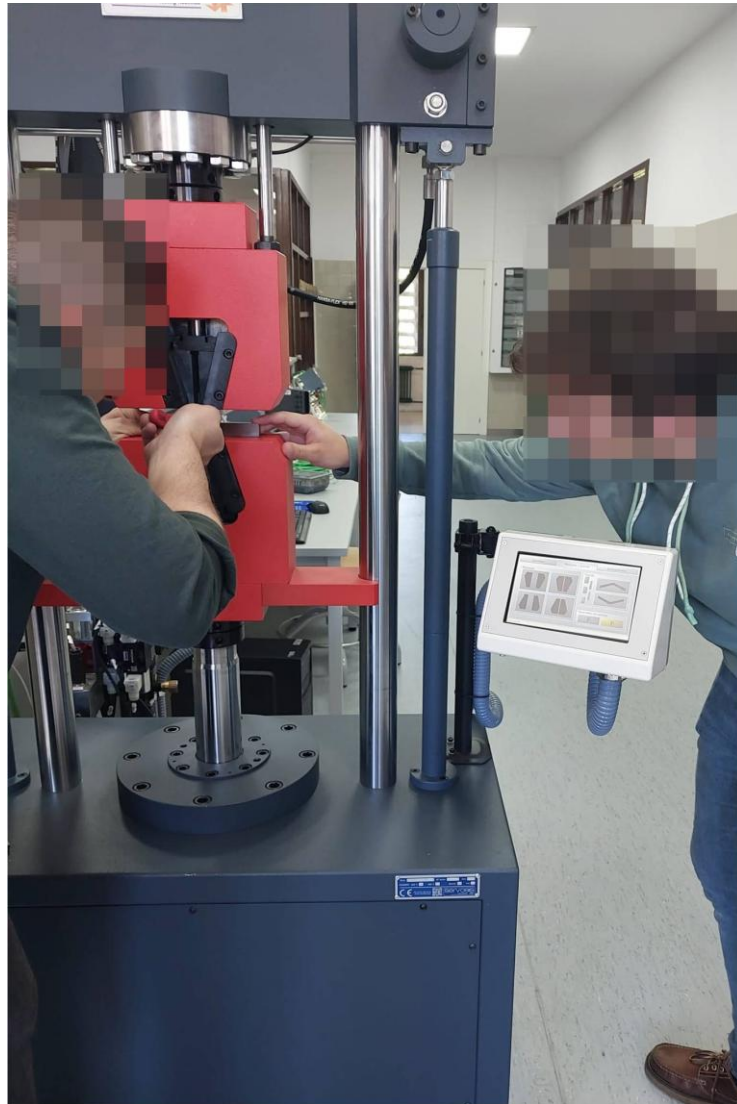


Figura 4. *Estudiantes colocando una probeta en la máquina de tracción de la ETS de Ingeniería Industrial de Béjar*

2.1.2 Ensayos de fatiga.

Para comprender las diferencias entre cargas estáticas y de fatiga, también se han llevado ensayos experimentales de fatiga mediante el equipo disponible para ello en la ETSII de Béjar. Uno de los resultados más interesantes de este ensayo es el aspecto de la superficie de la probeta, que presenta dos círculos concéntricos propios de la falla por fatiga de ciclo bajo.



Figura 5. *Superficie de fractura de una pieza de acero tras haber sido sometida a cargas de fatiga en la ETS de Ingeniería Industrial de Béjar (Salamanca)*

2.2 Prácticas en el aula de informática

Una vez ensayadas las probetas, los estudiantes han empleado los resultados obtenidos durante los ensayos de tracción para alimentar una serie de modelo virtuales con distintas geometrías y condiciones de contorno.

3 TAREAS PROPUESTAS Y RESULTADOS

Tras la realización de las prácticas presenciales, se le ha propuesto a los estudiantes la ejecución de dos tareas, que incluyen la redacción de sendos informes.

3.1 Tarea 1.

A partir de cualquiera de los dos archivo adjuntos, obtenidos durante un ensayo de tracción uniaxial en el que el alargamiento está expresado en mm y la fuerza en kN, determinar:

- *Módulo elástico del material*
- *Límite elástico*
- *Tensión de rotura o resistencia máxima del material*
- *Alargamiento que experimenta la probeta*
- *Ductilidad*
- *Dureza Brinell del material*
- *Tenacidad de fractura.*
- *Entregar por Studium un breve informe en el que se explique cómo se ha calculado cada parámetro (2 hojas como máximo).*
- *Entregar también una hoja de cálculo en la que se representen gráficamente las curvas fuerza-desplazamiento, tensión-deformación verdadera y tensión-deformación ingenieril. Usar esta misma hoja para calcular la tenacidad.*
- *Suponer que el diámetro de la probeta ensayada son 8 mm y su longitud inicial 100 mm.*

3.2 Tarea 2.

- Realizar la simulación por elementos finitos correspondiente a la práctica 1 y comparar el valor del desplazamiento vertical máximo (flecha) con los valores teóricos (fórmulas de Resistencia de Materiales). Repetir el ejercicio para un tamaño de elemento finito inferior y comentar los resultados.
- Repetir la práctica 1, pero con un comportamiento elastoplástico en vez de elástico. Definir un valor del límite elástico tal que permita que el material plastifique durante la simulación.
- Entregar por Studium un breve informe explicativo (1 ó 2 hojas como máximo) que incluya al menos lo siguiente:

En la Figura 6 y la Figura 7 se presentan dos muestras de los informes entregados por los estudiantes, correspondientes a las tareas 1 y 2.

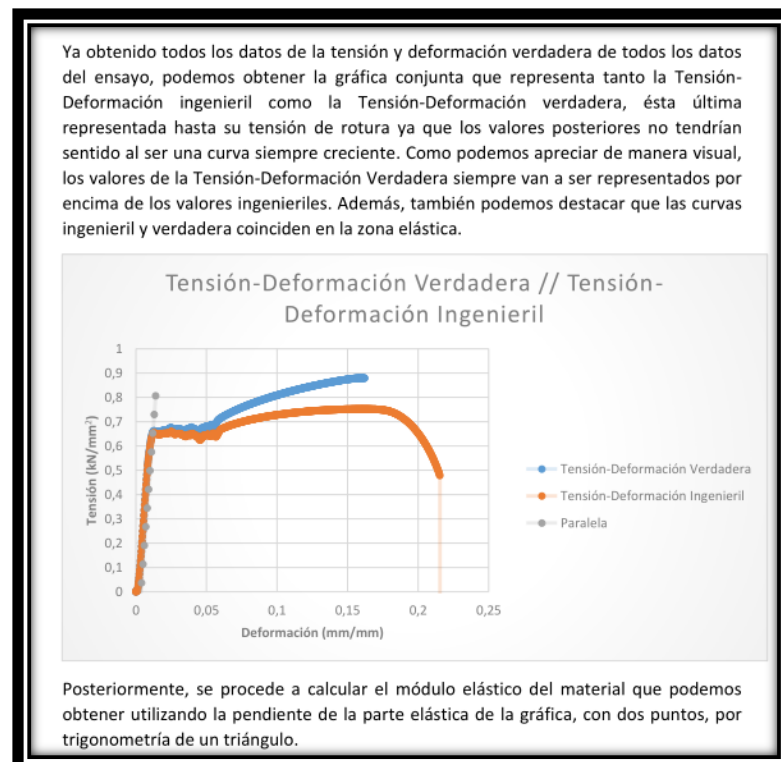


Figura 6. Extracto un informe de prácticas de laboratorio entregado por una estudiante de la asignatura Ingeniería de Materiales

En segundo lugar, con el mismo material que antes, es decir, elástico con módulo de Young 210 GPa y coeficiente de Poisson de 0.3. Pero, ahora, definiremos un elemento finito de 1 mm de anchura de cubo, por lo cual, dividiremos la pieza en un mayor número de elementos finitos y por lo tanto el resultado ha de ser más cercano al teórico, pero, en consecuencia, tendremos un mayor tiempo de cálculo del programa.

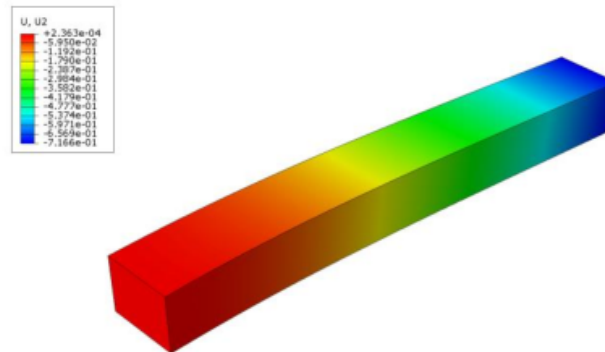
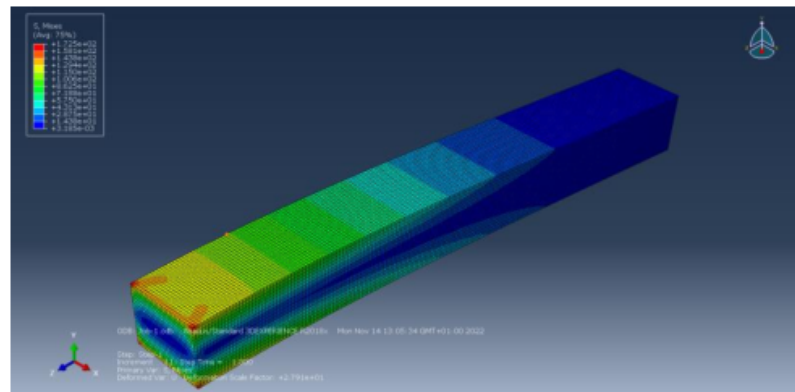


Ilustración 3 Viga con malla de 1 y elástico

$$\delta_{\max 2} = -0.7166 \text{ mm}$$

Finalmente, para este apartado, solo faltaría observar el estado tensional de la viga para en el siguiente apartado, poder poner un limite elástico inferior a la tensión máxima soportada en la viga, y que así plastifique, para ello seleccionaremos el valor de "S" y después "Misses"



$$\sigma_{\max} = 172,5 \text{ MPa}$$

Figura 7. Extracto del informe de prácticas de informática entregado por un estudiante de la asignatura Ingeniería de Materiales

4 CONCLUSIONES

Se ha presentado una metodología innovadora que integra dos prácticas de laboratorio experimentales (ensayos estáticos y de fatiga) junto con simulaciones por ordenador.

Se ha expuesto a los estudiantes a maquinaria industrial, y se ha potenciado el desarrollo de sus destrezas manuales, capacidad de planificación, competencias digitales propias de su especialidad, capacidad de síntesis y de estructurar la información y atención al detalle.

El desarrollo de este proyecto ha permitido una mejor asimilación de conceptos relacionados con el comportamiento de los materiales, tal y como han demostrado posteriormente durante los exámenes.

La falta de presupuesto ha impedido adquirir más probetas y de nuevos materiales. Aun así, la percepción general es que se ha mejorado la motivación del alumno y se ha potenciado su participación activa.

Esperamos poder darle continuidad a este proyecto en los próximos años mediante la integración de otros equipamientos disponibles en la Escuela, como el durómetro o el péndulo de Charpy.

5 BIBLIOGRAFÍA

Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2017). Mecánica de materiales. McGraw-Hill Education.

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2014). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. McGraw-Hill Education.

DeGarmo, E. P., Black, J. T., & Kohser, R. A. (2007). Materiales en ingeniería mecánica. Pearson Prentice Hall.

Norton, R. L. (2017). Análisis y diseño de sistemas mecánicos. Pearson.

Norton, R. L. (2010). Diseño de máquinas. McGraw-Hill Education.