

## DISEÑO MECÁNICO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS: GUÍA DOCENTE

### 1. Introducción

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es una potente, rápida y versátil herramienta para el análisis y diseño de sistemas mecánicos. Como herramienta de análisis, permite calcular la respuesta de un determinado sistema con unas condiciones de contorno y cargas dadas; como herramienta de diseño, permite evaluar la influencia que tienen en él parámetros de diseño como la geometría, el material, la naturaleza de las cargas, etcétera.

Este curso explica el Método de Elementos Finitos como herramienta de análisis estático. Se explican los fundamentos teóricos del Método, pero con un enfoque eminentemente práctico, ya que más allá de tratarse de un método numérico (y que como tal podría explicarse desde un punto de vista puramente matemático), este curso está dirigido a futuros ingenieros mecánicos que tendrán que utilizar un software con este método para analizar y diseñar piezas reales de la manera más eficiente posible, tomando las decisiones de modelado correctas para cada caso.

### 2. Autores del curso

Este curso ha sido desarrollado por Mikel Abasolo Bilbao, Ibai Coria Martínez e Iker Heras Miguel, profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica de la EHU/UPV en la Escuela de Ingeniería de Bilbao, que desarrollan su actividad docente e investigadora en el ámbito del análisis y diseño de elementos mecánicos mediante herramientas como el Método de Elementos Finitos.

### 3. Personas destinatarias y prerequisites

Al ser el Método de Elementos Finitos el principal método de análisis mecánico estructural, este curso está destinado al alumnado de Grado de Ingeniería Mecánica, o del Grado de Ingeniería de Tecnologías Industriales especializados en Mecánica.

Para la comprensión y aplicación práctica de las teorías y metodologías presentadas, es indispensable que el destinatario cuente con conocimientos previos adquiridos de Mecánica, Elasticidad y Resistencia de Materiales, y Diseño de Máquinas, así como nociones básicas de Cinemática y Dinámica de Máquinas.

### 4. Objetivo

Tal y como se ha especificado en la Introducción, el curso tiene por objeto proporcionar al alumnado material de autoaprendizaje que le permita adquirir las competencias específicas del curso de *Diseño Mecánico mediante Elementos Finitos*.

Por un lado, el curso aporta los conceptos teóricos fundamentales de Método de Elementos Finitos. Más allá de explicar la base matemática del Método, se hará especial hincapié en aquellas ideas que permitan al alumnado tomar decisiones de modelado para analizar el comportamiento mecánico con buen criterio, de la forma más eficiente posible, es decir maximizando la relación precisión/coste. En este sentido, mediante las prácticas de ordenador el alumnado aplicará estos conocimientos a varios casos prácticos de complejidad creciente, utilizando un software comercial muy extendido.

En definitiva, el objetivo principal del curso es dar a conocer el Método de Elementos Finitos como herramienta principal de análisis y diseño mecánico en la actualidad, es decir desde el enfoque de aplicabilidad de un alumnado con perfil de Ingeniero Mecánico o afín.

## 5. Competencias

Las competencias que se pretenden adquirir mediante el estudio del curso de *Diseño Mecánico mediante Elementos Finitos* son las siguientes:

- Aplicar comprensivamente los fundamentos de los sistemas estructurales, de elasticidad, de resistencia de materiales, de la ingeniería térmica, del diseño de máquinas, de cinemática y dinámica de mecanismos, de las máquinas hidráulicas así como los conceptos gráficos fundamentales para el desarrollo profesional en el ámbito de la ingeniería mecánica.
- Resolver los problemas que plantea el análisis del sólido deformable, los sistemas estructurales y el diseño de máquinas mediante el análisis cualitativo y cuantitativo, el planteamiento de hipótesis y la propuesta de soluciones.
- Realizar trabajos e informes escritos y orales: expresar adecuadamente los conocimientos teóricos, métodos de resolución, resultados y aspectos relacionados con el equilibrio del sólido deformable, los sistemas estructurales y el diseño de máquinas utilizando el vocabulario, formas de representación y terminología específicos.
- Formular ideas, debatir y tomar decisiones en los trabajos realizados en grupo en el ámbito de las disciplinas propias de la ingeniería mecánica.
- Desarrollar diseños y proyectos en el ámbito de las construcciones industriales y el diseño de máquinas, así como realizar mediciones, cálculos, estudios, informes y otros trabajos análogos, relacionados con situaciones problemáticas que puedan plantearse en el ámbito de la especialidad.
- Aplicar la legislación, especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento en el ámbito de la ingeniería mecánica.

## 6. Descripción del curso

El curso pretende ofrecer herramientas para adquirir las competencias descritas, en el ámbito del análisis y diseño mecánico mediante el Método de Elementos Finitos. El equipo docente está formado por tres profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPV/EHU, que no sólo imparten docencia de Grado y Máster en este campo de conocimiento, sino que en sus líneas de investigación utilizan asiduamente este método.

El programa y contenidos del curso se detalla en el siguiente apartado. Se estima una dedicación total de 90 horas para el curso divididos en 15 semanas (6 horas/semana), con la distribución temporal propuesta en el cronograma que se proporciona en un apartado posterior.

## 7. Programa y contenidos del curso

Los contenidos teórico-prácticos abordados en *Diseño Mecánico mediante Elementos Finitos* se dividen en los siguientes temas:

- Tema 1: Introducción.

Se introduce el Método de Elementos Finitos como herramienta de análisis mecánico y comparándolo con otros métodos alternativos (tradicionales y experimentales), describiendo su base intuitiva y los diferentes módulos de un programa de Elementos Finitos.

□ *Tema 2: Fundamentos matemáticos*

Se detallan los fundamentos matemáticos del Método: se explican las funciones de interpolación como concepto básico del método, así como las coordenadas naturales y los elementos patrón. Adicionalmente, se comparan las características de los elementos finitos de primer orden con los de segundo orden.

□ *Tema 3: Matriz de rigidez*

Se deduce la fórmula de cálculo de la matriz de rigidez de un elemento finito mediante el teorema de trabajos virtuales, combinando conceptos de Elasticidad y Resistencia de Materiales con las funciones de interpolación explicadas en el tema anterior. Se muestra el cálculo de la matriz de rigidez de varios tipos de elemento finito. A partir de ello, se explica el cálculo de la matriz de rigidez del modelo de Elementos Finitos y la definición e introducción de las condiciones de contorno para resolver la ecuación característica de equilibrio estático.

□ *Tema 4: Análisis de modelos bidimensionales*

Se explican los tipos de análisis bidimensional: tensión plana, deformación plana y axisimetría. Se explican las condiciones de ligadura que debe cumplir un modelo bidimensional, y las características de los tipos de elementos finitos para análisis bidimensionales. Finalmente, se describe el análisis bidimensional de una pieza por Elementos Finitos como ejemplo ilustrativo de los conceptos explicados.

□ *Tema 5: Análisis de modelos tridimensionales*

Cuando la pieza no trabaja en tensión plana, deformación plana o axisimetría, es necesario recurrir a un análisis tridimensional. Tras explicar las desventajas que entraña un análisis tridimensional con respecto a uno bidimensional, se describen las características de los elementos tridimensionales, así como los elementos cáscara, que son elementos bidimensionales con la capacidad de trabajar también fuera del plano.

□ *Tema 6: Análisis estático no lineal*

El sexto tema introduce el análisis estático no lineal para sistemas en los que la rigidez varía con la carga. Se explican las causas más habituales de no linealidad (material, contacto y grandes deformaciones) con sus correspondientes características, y discutiendo sobre la necesidad, ventajas y desventajas un análisis no lineal frente a uno lineal.

□ *Tema 7: Análisis modal*

En este tema se describe cómo realizar un análisis modal mediante Elementos Finitos. No sólo eso, se explica además la base teórica del análisis modal y su utilidad en el diseño de sistemas estructurales que trabajan bajo cargas variables. También se justifica por qué en diseño mecánico generalmente sólo interesan los modos más bajos, y cómo debe ser la malla para calcularlos.

□ *Tema 8: Introducción al análisis a fatiga*

Se trata de un breve tema en el que se presenta un sencillo ejemplo para describir cómo hacer un análisis de fatiga mediante el módulo básico de Fatiga de Ansys.

## 8. Metodología para el estudio

Este curso cuenta con varios tipos de material docente:

- Material de estudio sobre cada uno de los 8 temas enumerados en el apartado anterior, para que el alumnado adquiera los conocimientos teóricos correspondientes al Método de Elementos Finitos. Muchos de estos conceptos vienen ilustrados con imágenes obtenidas por los autores con el software comercial de Elementos Finitos Ansys, para el cual disponen de licencia.
- Lecturas recomendadas y otros recursos, donde se enlazan una serie de videos que permiten reforzar los contenidos adquiridos con el Material de estudio, y profundizar en ellos, tanto en el aspecto teórico del propio Método como en su aplicación para el análisis de distintos casos mediante un software comercial.
- Prácticas, ejercicios y actividades, donde se dispone de una serie de prácticas de ordenador desarrolladas por los autores con el software comercial de Elementos Finitos Ansys Classic, para el cual disponen de licencia. En ellos se aplica lo estudiado en varios casos prácticos de dificultad gradualmente creciente. Las prácticas están resueltas paso a paso a modo de tutorial, para posibilitar el autoaprendizaje.
- Autoevaluación, con varios test con preguntas de cada uno de los temas, para que el alumnado pueda evaluarse de los de conocimientos adquiridos, y asimilar los más importantes.
- Bibliografía, tanto básica como de profundización, sobre el Método de Elementos Finitos como herramienta de análisis y diseño mecánico.

De esta forma, se recomienda que el alumno lea y estudie en primer lugar el material de estudio de cada tema. Para comprobar si ha entendido y asimilado correctamente los principales conceptos, a continuación debería realizar los tests de autoevaluación correspondientes. A medida que se avanza en el estudio de cada tema, las prácticas de ordenador servirán para aplicar el Método en diferentes casos prácticos con un software comercial muy empleado en diseño mecánico. Se recomienda que estas tres tareas se compaginen según el cronograma propuesto en el siguiente apartado.

Por último, los videos y la bibliografía de profundización permitirán al alumnado complementar y profundizar en el Método de Elementos Finitos, tanto a nivel teórico como práctico.

## 9. Cronograma

	Semanas (dedicación propuesta de 6h/semana)														
Material de estudio y Test de autoevaluación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Tema 1: Introducción.</i>															



Tema 2: Fundamentos matemáticos																		
Tema 3: Matriz de rigidez																		
Tema 4: Análisis de modelos bidimensionales																		
Tema 5: Análisis de modelos tridimensionales																		
Tema 6: Análisis estático no lineal																		
Tema 7: Análisis modal																		
Tema 8: Introducción al análisis a fatiga																		
<b>Práctica de ordenador</b>																		
Práctica 1																		
Práctica 2																		
Práctica 3																		
Práctica 4																		
Práctica 5																		
Práctica 6																		
Práctica 7																		
Práctica 8																		
Práctica 9																		
Práctica 10																		