

22-23

MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL

GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



AMPLIACIÓN DE ESTRUCTURAS

CÓDIGO 28806042

UNED

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN	
REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA	
EQUIPO DOCENTE	
HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE	
COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE	
RESULTADOS DE APRENDIZAJE	
CONTENIDOS	
METODOLOGÍA	
SISTEMA DE EVALUACIÓN	
BIBLIOGRAFÍA BÁSICA	
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	
RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA	

Nombre de la asignatura	AMPLIACIÓN DE ESTRUCTURAS
Código	28806042
Curso académico	2022/2023
Título en que se imparte	MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
Tipo	CONTENIDOS
Nº ETCS	5
Horas	125.0
Periodo	SEMESTRE 2
Idiomas en que se imparte	CASTELLANO

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

La dificultad para encontrar soluciones cerradas a las ecuaciones diferenciales que definen el comportamiento de los medios continuos y la aparición del ordenador, provocaron un espectacular desarrollo de los métodos de búsqueda de soluciones aproximadas, entre los que hay que destacar el Método de los Elementos Finitos (MEF).

Partiendo de un planteamiento general, aunque sin profundizar en el cuerpo matemático que sobre el tema se ha establecido con el tiempo, en esta asignatura se pretende abordar el M.E.F., tratándose exhaustivamente el elemento barra, lo que además sirve para introducir con suficiente detalle las principales ideas y pormenores del método.

Tras comprender el método y los detalles de su formulación general, aunque mediante su aplicación a un tipo estructural concreto, se presenta el MEF de forma general, como un procedimiento para obtener soluciones aproximadas de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Como ejemplo, se particulariza el planteamiento a problemas de campos y de elasticidad lineal. Además se aborda la aplicación del MEF al caso de placas, por su interés concreto como elemento estructural, y con objeto de poner de manifiesto, por ejemplo, la dificultad que en placas delgadas supone satisfacer la exigencia de la continuidad entre elementos o el bloqueo de la solución en el caso de placas gruesas.

En esta asignatura se estudia la metodología de cálculo estructural más actual, generalizada y utilizada en muchas ramas de la ingeniería. Se aborda la aplicación del método en elasticidad y diversas tipologías estructurales, algunas como las placas que no suelen estudiarse en un curso básico de Análisis de Estructuras, pero también se realiza un planteamiento general del método con aplicaciones a problemas de potencial.

Para su adecuado seguimiento es necesario poseer un sólido conocimiento de las materias básicas de un grado en ingeniería, y fundamentalmente de Teoría de Estructuras, ya que se hace un planteamiento inicial aplicado al cálculo estructural. El contenido permite conocer los fundamentos de los programas que actualmente se utilizan para el análisis estructural en todas las empresas de un amplio abanico de sectores, como el aeronáutico, del automóvil, mecánico en general o de construcción. Pero incluso, al tratarse también los aspectos más matemáticos del método, no habrá muchas dificultades para asimilar fácilmente su aplicación a problemas de otras disciplinas como electricidad, termodinámica, fluidos, etc, cuya industria asociada también utiliza ampliamente este tipo de metodología.

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Para afrontar el estudio de la asignatura es necesario partir de unos conocimientos adquiridos con anterioridad en otras disciplinas y que se concretan en diferentes asignaturas de Física, Mecánica, Matemáticas, Elasticidad y Resistencia de Materiales y fundamentalmente Análisis de Estructuras, materia que es imprescindible haber cursado para iniciar el estudio de la asignatura.

EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos
Correo Electrónico
Teléfono
Facultad
Departamento

ANGEL MUELAS RODRIGUEZ
amuelas@ind.uned.es
91398-7613
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y FABRICACIÓN

Nombre y Apellidos
Correo Electrónico
Teléfono
Facultad
Departamento

EDUARDO SALETE CASINO (Coordinador de asignatura)
esalete@ind.uned.es
91398-9474
ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES
INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y FABRICACIÓN

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Horario de atención al estudiante:

Lunes de 16:30h a 20:30h. Juan del Rosal,14, 28040, Madrid, Despacho 3 (Edificio de CC de la Educación).

Tel.: 91 398 9474

Email: esalete@ind.uned.es

Aula virtual.

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

Competencias Básicas:

CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación

CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio

CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios

CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones -y los conocimientos y

razones últimas que las sustentan- a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades

CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

Competencias Generales:

CG1 - Iniciativa y motivación

CG2 - Planificación y organización

CG3 - Manejo adecuado del tiempo

CG4 - Análisis y síntesis

CG5 - Aplicación de los conocimientos a la práctica

CG6 - Resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos

CG7 - Pensamiento creativo

CG8 - Razonamiento crítico

CG9 - Toma de decisiones

CG10 - Seguimiento, monitorización y evaluación del trabajo propio o de otros

CG11 - Aplicación de medidas de mejora

CG12 - Innovación

CG13 - Comunicación y expresión escrita

CG14 - Comunicación y expresión oral

CG15 - Comunicación y expresión en otras lenguas

CG16 - Comunicación y expresión matemática, científica y tecnológica

CG17 - Competencia en el uso de las TIC

CG18 - Competencia en la búsqueda de la información relevante

CG19 - Competencia en la gestión y organización de la información

CG20 - Competencia en la recolección de datos, el manejo de bases de datos y su presentación

CG21 - Habilidad para coordinarse con el trabajo de otros

CG22 - Habilidad para negociar de forma eficaz

CG23 - Habilidad para la mediación y resolución de conflictos

CG24 - Habilidad para coordinar grupos de trabajo

CG25 - Liderazgo

CG26 - Conocimiento y práctica de las reglas del trabajo académico

CG27 - Compromiso ético y ética profesional

CG28 - Conocimiento, respeto y fomento de los valores fundamentales de las sociedades democráticas

CG29 - Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de: métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecánica de medios continuos, mecánica de fluidos, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.

CG33 - Realizar la planificación estratégica y aplicarla a sistemas tanto constructivos como de producción, de calidad y de gestión medioambiental.

CG36 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

Competencias Específicas:

CE7 - Capacidad para diseñar sistemas electrónicos y de instrumentación industrial.

CE16 - Capacidad para la gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación tecnológica.

CE17 - Capacidad para el diseño, construcción y explotación de plantas industriales.

CE19 - Conocimientos y capacidades para el cálculo y diseño de estructuras.

CE23 - Conocimientos y capacidades para realizar certificaciones, auditorías, verificaciones, ensayos e informes.

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Como resultado del aprendizaje, el alumno deberá conocer y manejar con absoluta soltura los conceptos básicos del Método de los Elementos Finitos y su aplicación a problemas asociados a diversas tipologías estructurales, así como a problemas caracterizados por otros tipos de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, como por ejemplo las de Poisson, que se estudian explícitamente durante el curso. Debe pues ser capaz de realizar modelos estructurales que simulen de forma precisa el problema planteado, abordar su cálculo y, por último, hacer una interpretación crítica de los resultados obtenidos.

Al finalizar el curso, el alumno dispondrá de la base suficiente para comprender los elementos fundamentales de los grandes programas comerciales de cálculo estructural e incluso de propósito general, que actualmente tienen una amplia implantación en ingeniería.

Todo lo indicado se puede resumir:

- Capacidad para el cálculo y análisis de diferentes tipologías estructurales.
- Programación y uso de códigos de ordenador para el análisis estático y dinámico de estructuras.

CONTENIDOS

PROGRAMA DE AMPLIACIÓN DE ESTRUCTURAS

1. Introducción. Aproximación clásica.

1.1 Introducción.

1.2 Planteamiento del problema.

1.3 El Método Directo de Rigidez.

1.4 Formulación matricial.

2. Fundamentos: Formulaciones diferencial e integral. Aproximación. Elemento.

2.1 Introducción.

2.2 La ecuación de campo.

- 2.3 Formulación directa.
- 2.4 El Principio de los Trabajos Virtuales.
- 2.5 Formulación energética.
- 2.6 Equivalencia de las formulaciones.
- 2.7 Aproximación.
- 2.8 EL Método de Galerkin.
- 2.9 Funciones de pequeño soporte.
- 2.10 Idea de elemento. Funciones de forma.
- 2.11 Matriz de rigidez y vector de cargas global. Cálculo de desplazamientos.
- 2.12 Viga de Timoshenko.

3. Sistematización. Método Directo de Rigidez.

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Sistemas de coordenadas.
- 3.3 Transformación de coordenadas. Rotación de ejes.
- 3.4 Ensamblaje de ecuaciones.
- 3.5 Imposición de las condiciones de contorno.
- 3.6 Cálculo de desplazamientos.
- 3.7 Cálculo de esfuerzos y reacciones.

4. Planteamiento general del MEF.

- 4.1 Introducción.
- 4.2 Planteamiento diferencial de un problema de valor en el contorno.
- 4.3 Planteamiento integral de un problema de valor en el contorno.
- 4.4 Idea de aproximación.
- 4.5 El Método de los Elementos Finitos.
- 4.6 Síntesis de las características globales. Aplicación de las condiciones de contorno esenciales.
- 4.7 Aplicación del MEF a problemas de elasticidad.
- 4.8 Problemas de campos en régimen permanente.
- 4.9 Convergencia.

5. Funciones de forma de Continuidad C_0 . Elementos isoparamétricos.

- 5.1 Introducción.
- 5.2 Coordenadas naturales.
- 5.3 Familias de funciones de forma de continuidad C_0 .
- 5.4 Transformaciones.
- 5.5 Elementos isoparamétricos. Integración numérica.

6. Placas delgadas según la teoría de Kirchhoff.

- 6.1 Introducción. Hipótesis de partida.

6.2 Planteamiento diferencial. Ecuación de campo. Definición de esfuerzos.

6.3 Planteamiento integral. Principio de los Trabajos Virtuales.

6.4 Discretización en elementos finitos.

6.5 Exigencia de continuidad C_1 .

6.6 Elementos placa no conformes.

6.7 Elementos placa conformes.

7. Placas Gruesas. Teoría de Reissner-Mindlin.

7.1 Introducción.

7.2 Planteamiento diferencial. Definición de esfuerzos.

7.3 Planteamiento integral.

7.4 Discretización por elementos finitos.

7.5 Bloqueo de la solución.

7.6 Elementos triangulares.

PRUEBAS DE AUTOEVALUACIÓN

Las PAs además de su interés para ayudar a la asimilación de los contenidos teóricos, como los ejemplos a los que nos hemos referido en el punto anterior, tienen la función de que el estudiante pueda autoevaluar su progreso en la adquisición de conocimientos. Este ejercicio le permitirá conocer sus problemas para la comprensión de los conceptos y le ayudará a concretar cuestiones a plantear al Profesor Tutor y/o al Equipo Docente, pudiendo solicitar la ampliación de la documentación con objeto de facilitar la comprensión de algún asunto concreto.

Como ya se ha indicado, sugerimos que estas PAs se realicen tras el estudio de la parte teórica a la que se refieren o al menos en la semana en la que aparecen ubicadas en el Plan de Trabajo. Para facilitar esta tarea, a continuación se enuncia cada uno de los problemas con una breve indicación, suficiente para que el estudiante los pueda ubicar dentro del cronograma.

Bloque 1º
PA 1.- Estructura de nudos articulados. Barra de sección variable. Caso con un incremento de temperatura.
PA 2.- Estructura de nudos articulados. Simetría. Caso con un incremento de temperatura.
PA 3.- Estructura de nudos articulados. Apoyos elásticos.
PA 4.- Estructura de nudos rígidos. Obtención de las matrices de rigidez.
PA 5.- Estructura de nudos rígidos. Empotramiento elástico. Descenso de un apoyo.
PA 6.- Emparrillado.

Bloque 2º
PA 7.- Tensión plana. Elemento triangular. Planteamiento de la ecuación matricial. PA 8.- Tensión plana. Elemento triangular. Obtención de tensiones. PA 9.- Tensión plana. Elemento triangular. Obtención del vector de cargas. PA 10.- Elemento isoparamétrico triangular. Formulación. PA 11.- Elemento isoparamétrico triangular. Vector de cargas. PA 12.- Formulación de un problema de torsión

Los problemas y ejercicios propuestos como PAs son de características similares a los que se pondrán en las Pruebas Personales. El tiempo estimado para la realización de cada PAs es variable y siempre se irá reduciendo a medida que el estudiante vaya adquiriendo soltura con el avance en el estudio de la asignatura y como referencia, éste variará entre una y dos horas.

ACTIVIDADES OPTATIVAS NO EVALUABLES

Se dispone en el Aula Virtual de un programa de elementos finitos de propósito educativo realizado como Proyecto Fin de Carrera por D Daniel Herrero Adán y dirigido por D Juan José Benito. La Actividad optativa consistirá en la realización de ejercicios como usuario del Programa, que se irán añadiendo como ejemplos en el Aula Virtual y/o la incorporación de mejoras, ampliación de capacidades, etc, a dicho código. Por lo tanto el Programa se podrá usar:

1.- Como usuario. Se accede directamente al ejecutable en la carpeta "CÓDIGO ELFINO2 Ejecutable". Se ejecuta el "SETUP".

2.- Como programador. Se accede directamente al simbólico en la carpeta "CÓDIGO ELFINO2 Simbólico", y:

2.1.- Se descarga el documento.

2.2.- Se descarga el compilador de Visual Basic del enlace en internet de Visual Basic o Visual Studio versión Express (gratuito) de Microsoft.

2.3.- Una vez se tiene a disposición la carpeta del simbólico y el compilador, se ejecuta el documento "ELFINO_2.0_P5.sln" de dicha carpeta para acceder al código.

La documentación correspondiente se encuentra en el Aula Virtual, se podrá consultar, pero no se iniciará ninguna actividad sin haber hablado con el equipo docente de la asignatura.

La realización de esta Actividad optativa no tendrá ninguna influencia en la calificación final.

METODOLOGÍA

La metodología a seguir se basa en el trabajo desarrollado por el alumno, no sólo con el aprendizaje de la parte teórica de cada capítulo, sino con la puesta en práctica de dicho conocimiento resolviendo los problemas y ejercicios asociados.

Es por ello que deberá llevarse en paralelo el avance en el aprendizaje de los contenidos teóricos y su puesta en práctica, mediante la resolución de ejercicios diseñados a tal efecto. Una vez estudiado cada tema, se deben analizar los ejemplos resueltos así como realizar las Pruebas de Autoevaluación y las Pruebas de Evaluación a Distancia propuestas, si estas últimas se entregan en las fechas señaladas servirán como parte de la evaluación, y en cualquier caso, todos los alumnos podrán ver a posteriori las soluciones, que se proporcionarán en el aula virtual en fechas señaladas.

Esto supondrá: Trabajo con los materiales didácticos e interacción con el equipo docente 50%, trabajo autónomo 30%, evaluación 20%.

SISTEMA DE EVALUACIÓN

TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

Tipo de examen	Examen de desarrollo
Preguntas desarrollo	
Duración del examen	120 (minutos)
Material permitido en el examen	

Durante el examen, únicamente se podrá utilizar CALCULADORA DE CUALQUIER TIPO (solamente para realizar cálculos matemáticos como por ejemplo operaciones con matrices, estando totalmente prohibido el uso de programas de cálculo de estructuras) y material de dibujo.

Criterios de evaluación

Se indicará en el propio examen la valoración de cada problema o cuestión y será necesario para aprobar, alcanzar en cada uno de ellos un mínimo del 30 % de la puntuación asignada.

% del examen sobre la nota final	80
Nota del examen para aprobar sin PEC	5
Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC	10
Nota mínima en el examen para sumar la PEC	4
Comentarios y observaciones	

CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS

Requiere Presencialidad	Si
Descripción	

Las pruebas personales consistirán fundamentalmente de problemas, pudiéndose en algún caso complementar con alguna cuestión teórica o ejercicio de aplicación directa de la teoría y siempre será preciso justificar adecuadamente los resultados obtenidos.

Criterios de evaluación

Para la evaluación de estas pruebas se establecen diversos niveles de ejecución que variarán lógicamente con el ejercicio así como su valoración, pero de forma orientativa se considerara:

Planteamiento de la resolución. Siempre debe referirse de forma concreta al ejercicio propuesto sin añadir aspectos teóricos de carácter general. Así por ejemplo en un problema de cálculo matricial, se trataría del planteamiento formal de la matriz de rigidez de la estructura (indicando el tipo de elemento) y escritura de la ecuación matricial, detallando los vectores de carga y desplazamientos, es decir habiendo aplicado las condiciones de contorno y otros detalles del problema concreto (p.e. como se introducen apoyos no concordantes, elásticos, etc.).

Desarrollo, donde no es necesario pormenorizar las operaciones pero sí dejar indicados de forma clara los pasos realizados. En el ejemplo de un problema de cálculo matricial, deberían estar claras las matrices elementales en coordenadas locales, formalizar su paso a globales y sus valores, montaje de la matriz global y otros detalles.

Solución, cuya valoración variará mucho dependiendo del problema. En el ejemplo que se arrastra en estos comentarios, la solución más simple sería la obtención de desplazamientos, pero puede ampliarse a la obtención de reacciones, dibujar leyes de esfuerzos, etc., variando lógicamente su ponderación dentro del conjunto de la evaluación del problema. No obstante, un resultado concreto, un número final, que en principio no parecería ser muy valorable en el contexto de un examen donde no es difícil cometer alguna errata, puede tener una ponderación importante si, por ejemplo, es evidentemente absurdo.

Ponderación de la prueba presencial y/o
los trabajos en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)

¿Hay PEC?

Si, PEC no presencial

Descripción

Las pruebas de evaluación continua consistirán fundamentalmente de problemas, pudiéndose en algún caso complementar con alguna cuestión teórica o ejercicio de aplicación directa de la teoría y siempre será preciso justificar adecuadamente los resultados obtenidos.

Criterios de evaluación

Ponderación de la PEC en la nota final

Siempre que se obtenga en la Prueba Personal una calificación no inferior a 4, la PEC se considerará en la nota final con una ponderación del 20% y únicamente si aumenta su valor.

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

Las fechas de realización y entrega de las PEC se indicarán en el Aula Virtual.

OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s?

No

Descripción

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?

Si no se ha realizado PEC, la calificación final será la nota obtenida en la Prueba Presencial.

Si se han realizado todas las PEC:

$$\text{Nota Final} = 0.8 \text{ Nota PP} + 0.2 \text{ Nota PEC}$$

Nunca la nota final será inferior a la nota obtenida en la Prueba Presencial

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- ÁLVAREZ CABAL, R., BENITO MUÑOZ, J.J., UREÑA PRIETO, F., SALETE CASINO, E., ARANDA ORTEGA, E., Introducción al Método de los Elementos Finitos, Colección Máster, UNED. ISBN: 978-84-3626887-4. 2014.

Está publicada una versión en inglés del texto con ISBN: 978-84-3626888-1

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- ALARCÓN, E., ALVAREZ, R. y GÓMEZ LERA, M.a S. *Cálculo Matricial de Estructuras*, Reverte, 1986.
- BATHE, K. J., *Finite element procedures*, Prentice Hall, 1996.
- BATE, K. J., *Finite element procedures*. Pretice-Hill, 1996.
- BECKER E.B., CAREY G.F., ODEN J.T., *Finite elements. An introduction* (vol. I). Prentice-Hall, 1981.
- DOBLARÉ, M. GRACIA, L. *Análisis lineal de estructuras. El método de los elementos finitos* (Vol, I). Dpto.Ingeniería Mecánica. Universidad de Zaragoza. 1997.

HINTON, E. y OWEN, D. R.: *An introduction to finite element computations*. Pineridge Press, 1979.

HUGHES, T. V. R.: *Finite element method*. Prentice Hall, 1987.

OÑATE, E., *Cálculo de estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis elástico lineal*, C.I.M.N.E., 1995.

PILKEY, W. D., WUNDERLICH, W., *Mechanics of Structures variational and computational methods*, CRC Press Inc., 1994. REDDY, J. N. *Applied functional analysis and variational methods in engineering*. McGraw-Hill, 1986.

TIMOSHENKO, S. P., WOINOWSKY, KRIEGER, S.: *Teoría de placas y láminas*, Urmo, 1976

ZIENKIEWICZ, O. C. y TAYLOR, R. C.: *El método de los elementos finitos*. (vols. 1 y 2) (5.a edición), 2004.

Nota. Esta bibliografía debe entenderse como de consulta y únicamente en algún caso como alternativa. El alumno deberá ponerse en contacto con el equipo docente de la asignatura antes de su utilización.

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

Como complemento al apoyo, se dispone de una plataforma virtual en la que se publicará documentación complementaria de apoyo como la siguiente:

- Pruebas de autoevaluación: Ejercicios y problemas resueltos.
- Pruebas de evaluación a distancia.
- Novedades en bibliografía complementaria.
- Programas de Cálculo por elementos finitos ELFIN, E.T.S.I.I., UNED.

IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.