



## Guía docente

### 250703 - 250703 - Estructuras de Materiales Compuestos

Última modificación: 28/03/2024

**Unidad responsable:** Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona  
**Unidad que imparte:** 751 - DECA - Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

**Titulación:** MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DEL TERRENO (Plan 2015). (Asignatura optativa).  
MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y DE LA CONSTRUCCIÓN (Plan 2015).  
(Asignatura optativa).

**Curso:** 2023      **Créditos ECTS:** 5.0      **Idiomas:** Castellano

#### PROFESORADO

---

**Profesorado responsable:** LUCIA GRATIELA BARBU

**Otros:** LUCIA GRATIELA BARBU, JAVIER MARTINEZ GARCIA, PABLO LEONEL SIERRA HERMOSID

#### METODOLOGÍAS DOCENTES

---

Esta asignatura se desarrolla en 12 clases de 3 horas cada una. Cada clase tendrá aproximadamente 1:30 horas dedicadas al dictado teórico de la misma i 0:30 de discusión y consultas. Así mismo, se dedicaran 11 horas al desarrollo de trabajos/problemas de aplicación de algunos temas de la asignatura, y 8 horas a evaluación de trabajos.

Se utiliza material de apoyo en formato de plan docente detallado mediante el campus virtual ATENEA: contenidos, programación de actividades de evaluación y de aprendizaje dirigido y bibliografía.

Aunque la mayoría de las sesiones se impartirán en el idioma indicado en la guía, puede que las sesiones en las que se cuente con el apoyo de otros expertos invitados puntualmente se lleven a cabo en otro idioma.

#### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

---

Asignatura para conocer el comportamiento y el cálculo de estructuras de materiales compuestos

Capacidad para concebir y calcular estructuras construidas con materiales compuestos. Capacidad para interpretar resultados procedentes de programas de elementos finitos apropiados para el análisis no-lineal de estructuras de compuestos

Introducción, definición y utilización de algunos materiales compuestos. Anisotropía del material. Teoría de mezclas: Deslizamiento fibra matriz (DFM). Delaminación de compuestos laminados. Teoría de homogeneización. Pandeo inelástico en compuestos reforzados. Estructuras de fuselaje y alas de avión en materiales compuestos y mixtas (aluminio-compuesto). Reparación y refuerzo de estructuras con materiales compuestos

El objetivo de ésta asignatura es conseguir que el estudiante adquiera una amplia información acerca del comportamiento y cálculo de estructuras construidas en materiales compuestos. Asimismo, se espera que estos estudios le permitan interpretar resultados procedentes de programas de elementos finitos apropiados para el análisis no-lineal de estructuras de compuestos. Se aborda el estudio de esta asignatura bajo el supuesto que las estructuras podrán alcanzar un comportamiento no-lineal cinemático y/o constitutivo.

Para analizar numéricamente el comportamiento de las estructuras, se estudiará dos teorías básicas: 1) La "teoría de mezclas" y sus diversas evoluciones y 2) la "teoría de homogeneización" y sus diversas formas. También se recordará algunos modelos constitutivos no lineales para representar el comportamiento de cada sustancia básica.

Atención: En esta asignatura no se imparten contenidos relacionados con la Ingeniería Sísmica.



## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo mediano	9,8	7.83
Horas aprendizaje autónomo	80,0	63.95
Horas grupo grande	25,5	20.38
Horas grupo pequeño	9,8	7.83

**Dedicación total:** 125.1 h

## CONTENIDOS

### Introducción, definición y utilización de algunos materiales compuestos

**Descripción:**

Utilización de los materiales compuestos: en la industria del automóvil, en la industria aeronáutica, en la industria naval, en la ingeniería civil. Propiedades de los Compuestos. Características alcanzables. Clasificación de los materiales compuestos. Clasificación según su topología. Clasificación según sus componentes. Clasificación estructural.

**Dedicación:** 4h 48m

Grupo grande/Teoría: 2h

Aprendizaje autónomo: 2h 48m

### Método del Elemento Finito

**Descripción:**

MEF elástico lineal

Tipos de no-linealidad

Resolución de sistemas no-lineales

**Dedicación:** 7h 11m

Grupo grande/Teoría: 3h

Aprendizaje autónomo: 4h 11m

### No-linealidad geométrica

**Descripción:**

Clasificación

Superficie de fluencia

Evolución de la superficie

**Dedicación:** 7h 11m

Grupo grande/Teoría: 3h

Aprendizaje autónomo: 4h 11m



### Teoría de Mezclas

**Descripción:**

\* Teoría de mezclas clásica. Modificación teoría clásica. Modelo serie-paralelo. Teoría de mezclas generalizada. Teoría de mezclas clásica formulada en grandes deformaciones. Teoría de mezclas generalizada formulada en grandes deformaciones. Modificación de la teoría de mezclas para refuerzo de corta longitud. Ecuación constitutiva del material compuesto. Comparación "Micromodelo" vs. "Teoría de Mezclas" con anisotropía en grandes deformaciones. Aplicación a diversos problemas ingenieriles

\* Teoría de mezclas clásica. Modificación teoría clásica. Modelo serie-paralelo. Teoría de mezclas generalizada. Teoría de mezclas clásica formulada en grandes deformaciones. Teoría de mezclas generalizada formulada en grandes deformaciones. Modificación de la teoría de mezclas para refuerzo de corta longitud. Ecuación constitutiva del material compuesto. Comparación "Micromodelo" vs. "Teoría de Mezclas" con anisotropía en grandes deformaciones. Aplicación a diversos problemas ingenieriles

**Dedicación:** 14h 23m

Grupo grande/Teoría: 2h 30m

Grupo mediano/Prácticas: 1h 30m

Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

Aprendizaje autónomo: 8h 23m

### Anisotropía del material

**Descripción:**

Generalidades sobre la formulación anisótropa. Definición general explícita de un criterio de fluencia ortótropo en la configuración referencial. Definición general implícita de un criterio ortótropo en la configuración referencial. Anisotropía en la configuración actualizada.

Generalidades sobre la formulación anisótropa. Definición general explícita de un criterio de fluencia ortótropo en la configuración referencial. Definición general implícita de un criterio ortótropo en la configuración referencial. Anisotropía en la configuración actualizada.

**Dedicación:** 9h 36m

Grupo grande/Teoría: 2h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Grupo pequeño/Laboratorio: 1h

Aprendizaje autónomo: 5h 36m

### Deslizamiento fibra-matriz

**Descripción:**

Distribución de tensiones a lo largo de la fibra de refuerzo. Interacción entre grietas y fibras. Modelos constitutivos para materiales compuestos con "DFM". Implementación. Formulación Lagrangeana "Total" y "Actualizada". Implementación de la teoría de mezclas y anisotropía en el contexto del "MEF". Fenómeno "DFM": Micromodelo y Teoría de mezclas con anisotropía. Deslizamiento fibra matriz (DFM) (1,5 Clase)

**Dedicación:** 4h 48m

Grupo grande/Teoría: 1h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 2h 48m

### Delaminación de materiales compuestos laminados

**Descripción:**

Identificación del fenómeno. Definición de la formulación. Acoplamiento con la formulación de la teoría de mezclas en pequeñas y grandes deformaciones.

Delaminación de compuestos laminados (1,5 Clase)

**Dedicación:** 4h 48m

Grupo grande/Teoría: 1h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 2h 48m

### Pandeo inelástico en compuestos reforzados

**Descripción:**

Introducción. Descripción del fenómeno. Carga crítica de Euler. Modelo de Rosen. Modelos micro-mecánicos. Formulación en elementos finitos. Formulación simplificada. Modelos de daño mecánico. Modelo de pérdida de rigidez por pandeo de los compuestos con fibras largas. Definición general para compuestos reforzados con fibras. Definición de la variable de pérdida de rigidez por pandeo: Participación de la fibra, Participación de la matriz. Disipación de energía.

Pandeo inelástico en compuestos reforzados (1,5 Clase)

**Dedicación:** 4h 48m

Grupo grande/Teoría: 1h

Grupo mediano/Prácticas: 1h

Aprendizaje autónomo: 2h 48m

### Teoría de Homogeneización

**Descripción:**

Introducción y estado del conocimiento. Métodos de Promedios. Teoría de expansión asintótica. Extensión del "Método de los Promedios" y del "Método de Expansión Asintótica" al problema no lineal. Otros temas relacionados con la homogeneización. Condiciones de contorno y su implementación. Solución en dos escalas del problema elástico. Cuestionamientos a la teoría de homogeneización y utilización de Métodos adaptativos y "multi-grid". Homogeneización mediante el Método de Elementos Finitos Voronoi. Teoría de homogeneización basada en la "Periodicidad Local". Conceptos sobre la estructura periódica. Periodicidad local de las variables. Efecto del campo de desplazamientos periódico. Homogeneización del tensor de deformaciones. La tensión homogeneizada y la ecuación de equilibrio. Fundamentos del problema elástico en la Micro-Macro escalas. Acoplamiento Micro-Macro estructural. Influencia de los efectos locales. Aplicación a diversos problemas: laminados reforzados, mampostería, etc. Teoría de homogeneización (2,0 Clase)

**Dedicación:** 13h 12m

Grupo grande/Teoría: 3h 30m

Grupo mediano/Prácticas: 2h

Aprendizaje autónomo: 7h 42m

### Reparación y refuerzo de estructuras con materiales compuestos

**Descripción:**

Introducción. Posibles soluciones para refuerzos de estructuras de vigas y pórticos de hormigón. Reparación y eficacia de las posibles soluciones. Cálculo y evaluación de los refuerzos y reparaciones.

Teoría y Ejemplos

**Dedicación:** 4h 48m

Grupo grande/Teoría: 2h

Aprendizaje autónomo: 2h 48m



### Fatiga en Materiales Compuestos

**Descripción:**

Introducción, modelización de la fatiga, ejemplos

**Dedicación:** 3h 35m

Grupo grande/Teoría: 1h 30m

Aprendizaje autónomo: 2h 05m

### Ejercicio de EF no lineal

**Descripción:**

Se utiliza software desarrollado en el Departamento

**Dedicación:** 28h 47m

Grupo pequeño/Laboratorio: 12h

Aprendizaje autónomo: 16h 47m

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

La calificación de la asignatura se obtiene a partir de las calificaciones de evaluación continuada y trabajos prácticos evaluables en cada uno de los temas.

La calificación de la asignatura resulta de la media de las notas de los trabajos presentados.

Los trabajos se realizarán utilizando herramientas informáticas como MathCad y/o Matlab y/o Elementos Finitos mediante programas que se proveerá a los alumnos

## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Si no se realiza algún trabajo práctico o de evaluación continua en el periodo programado, se considerará como puntuación cero.

## BIBLIOGRAFÍA

**Básica:**

- Oller, S. Numerical simulation of mechanical behavior of composite materials [en línea]. Barcelona: International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE) : Springer, 2014 [Consulta: 20/04/2020]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-04933-5>. ISBN 9783319049328.
- Jones, Robert M. Mechanics of composite materials. 2nd ed. New York, NY: Taylor & Francis, cop. 1999. ISBN 9781560327127.
- Christensen, Richard M. Mechanics of composite materials. Nova York: Dover, cop. 2005. ISBN 048644239X.
- Barbero, Ever J. Introduction to composite materials design [en línea]. 2nd ed. Boca Raton: Taylor & Francis, cop. 2011 [Consulta: 18/02/2021]. Disponible a: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=1446773>. ISBN 9781420079159.
- Tsai, Stephen W; Hahn, H. Thomas. Introduction to composite materials. Westport: Technomic Publishing, cop. 1980. ISBN 0877622884.
- Mallick, P.K. Fiber-reinforced composites : materials, manufacturing, and design. 3th ed. New York [etc.]: CRC, 2008. ISBN 9780849342059.
- Chawla, Krishan Kumar. Composite materials : science and engineering. 3rd ed. New York [etc.]: Springer, 2012. ISBN 9780387743646.

**Complementaria:**

- Miravete, A. [et al.]. Materiales Compuestos [en línea]. Zaragoza: Antonio Miravete De Marco, 2000 [Consulta: 20/01/2021]. Disponible a: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=3429381>. ISBN 8492134976.
- Sanchez-Palencia E., Zaoui A. Homogenization Techniques for Composite Media. Spring-Verlag, 1987.

