



Universidad Nacional de Salta  
**FACULTAD DE INGENIERIA**

Avda. Bolivia 5150 -- 4400 SALTA  
T.E. (0387) 4255420 -- FAX (54-0387) 4255351  
REPUBLICA ARGENTINA  
E-mail: [unsaing@unsa.edu.ar](mailto:unsaing@unsa.edu.ar)

Salta, 04 de Agosto de 2009

480/09

Expte. N° 14.202/09

VISTO:

Las actuaciones por las cuales la Ing. Susana Beatriz Gea solicita autorización para la realización del Curso de Postgrado **Estructuras de Materiales Compuestos** a cargo del Prof. Dr. Sergio Horacio Oller Martínez; y

CONSIDERANDO:

Que el citado curso de postgrado tiene una duración de sesenta (60) horas, y se realizará en el mes de agosto del corriente año;

Que adjunto se detalla fines y objetivos, programa del curso, bibliografía, metodología, sistema de evaluación, conocimientos previos necesarios, profesionales a los que está dirigido y propuesta de arancel;

Que asimismo se informa que el curso es **no arancelado** para los docentes de nuestra Facultad y alumnos de la carrera de Doctorado en Ingeniería de esta Unidad Académica, y que lo recaudado en concepto de arancel será utilizado para los laboratorios de Ingeniería Civil a través del ICMASa;

Que la Escuela de Ingeniería Civil y la Escuela de Postgrado de la Facultad recomiendan hacer lugar a lo solicitado;

Que éste Cuerpo Colegiado se constituye en Comisión para analizar el pedido y aconseja:

- Autorizar el dictado del curso de postgrado **Estructuras de Materiales Compuestos** a cargo del Prof. Dr. Sergio Horacio Oller Martínez, a desarrollarse en el mes de Agosto de 2009.
- Fijar el siguiente arancel:
  - Docentes de otras Facultades de la Universidad Nacional de Salta: \$ 200
  - Otros profesionales: \$300.


POR ELLO y en uso de las atribuciones que le son propias,

EL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
(En su IX sesión ordinaria del 8 de Julio de 2009)

RESUELVE

ARTICULO 1°.- Autorizar el dictado del Curso de Postgrado **arancelado ESTRUCTURAS DE MATERIALES COMPUESTOS**, a cargo del Prof. Dr. Sergio Horacio OLLER MARTÍNEZ, a desarrollarse en el presente mes de Agosto de 2009, con el programa organizativo que se adjunta como **ANEXO I** de la presente resolución y que se identificará con el Ordinal N° 10/09.

ARTICULO 2°.- Hágase saber, comuníquese a Secretaría de Facultad, a la Ing. Susana Beatriz GEA y por su intermedio al Dr. Sergio Horacio OLLER MARTINEZ, a la Escuela de Postgrado de la Facultad, a la Escuela de Ingeniería Civil, por el Departamento de Cómputos difúndase en correo electrónico a la comunidad universitaria y en página web de la Facultad y siga por las Direcciones Administrativa Económica y Académica al Departamento Presupuesto y Rendiciones de Cuentas, a la División Personal y al Departamento Docencia respectivamente, para su toma de razón y demás efectos.  
AM/sia

  
Dra. MARIA ALEJANDRA BERTUZZI  
SECRETARIA  
FACULTAD DE INGENIERIA

  
Ing. JORGE FELIX ALMAZAN  
DECANO  
FACULTAD DE INGENIERIA



**1) Nombre del Curso: ESTRUCTURAS DE MATERIALES COMPUESTOS**

**2) Fines y Objetivos que se desea alcanzar:**

El objetivo de esta 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.

**3) Programa del Curso:**

**I. Introducción , definición y utilización de algunos materiales compuestos**

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.

**II. Conceptos Básicos para el estudio de las estructuras de materiales compuestos**

**a. Mecánica de Medios Continuos**

- Tensores de tensión, deformación e invariantes,
- Bases de la modelización constitutiva: Cinemática, leyes de la termodinámica. Ecuación de Equilibrio.

**b. Comportamiento Constitutivo**

- Elasticidad (Cauchy), Hipersensibilidad (Green), Elasticidad no Lineal, Hipoelasticidad: Formulación Hipoelástica.
- Plasticidad, Viscoplasticidad, Daño o degradación de rigidez, Plasticidad con grandes deformaciones.
- Concepto de disipación limitada y energía de fractura.

**c. Tratamiento Numérico de Problemas No-Lineales. Implementación Computacional - M.E.F.**

- Concepto de fuerza residual
- Procedimiento para la solución del sistema de ecuaciones no lineales:
  - Técnicas iterativas del tipo Newton-Raphson
  - Técnicas de aceleración de convergencia
  - Técnicas de control de respuesta
- Condición de equilibrio global
- Criterios de convergencia
- Estructura de un programa no lineal de elementos finitos

**III. Anisotropía del material**

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.



#### IV. Teoría de mezclas

Teoría de mezclas clásicas. 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.

##### a. Deslizamiento fibra matriz (DFM)

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 contextos del "MEF", Fenómeno "DFM": Micromodelo y Teoría de mezclas con anisotropía.

##### b. Delaminación de compuestos laminados

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

#### V. Teoría de homogeneización

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 "multigrid". 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.

#### VI. Pandeo inelástico en compuestos reforzados

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.

#### VII. Reparación y refuerzo de estructuras con materiales compuestos

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.

#### Bibliografía:

- Oller S. (2003). Simulación numérica del comportamiento mecánico de los materiales compuestos. CIMNE.



- Malvern, L. (1969). Introduction to the mechanics of continuous medium. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Lubliner, J. (1990). Plasticity theory. MacMillan, New York. - Maugin, G.A.(1992). The thermomechanics of plasticity and fracture. Cambridge University Press.
- Eduardo Car (2000). Modelo Constitutivo para el Estudio del Comportamiento Mecánico de los Materiales Compuestos. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Fernando Zalamea (2001). Modelización de Compuestos Mediante la Teoría de Homogeneización. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Fernando Rastellini (2006). Modelación Numérica de la No-Linealidad Constitutiva de Laminados Compuestos. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Miravete A. (2000). Materiales Compuestos. Vol. 1 y Vol 2. Director de la obra: Antonio Miravete.
- Trusdell, C. and Toupin, R. (1960). The classical Field Theories. Handbuch der Physik III/I. Springer Verlag, Berlín.
- Sanchez-Palencia E. (1987). Boundary Layers and Edge Effects in Composites Homogenization Techniques for Composite Media. Ed. E. Sanchez-Palencia and A. Zaoui. Spring-Verlag. Berlin.
- 10 Suquet P. M. (1987). Elements of homogenization for inelastic solid mechanics. Homogenization Techniques for Composite Media. Ed. E. Sanchez-Palencia and A. Zaoui. Spring-Verlag. Berlin.
- Xavier Martínez (2008). Micro-Mechanical Simulation of Composite Materials Using the Serial/Parallel Mixing Theory. PhD Thesis. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.

**3.1) Distribución Horaria:** A coordinar con los asistentes.

**3.2) Cantidad Total de Horas:** Sesenta (60).

### **3.3) Metodología**

Este Curso se dictará en cincuenta y siete (57) horas de clases presenciales teóricas y prácticas, en días y horas que se acuerden con los interesados en asistir al mismo. Se destinarán tres (3) horas al examen final escrito.

### **3.4) Sistema de Evaluación**

Se deberá asistir a un mínimo de un 80% de las clases teóricas y prácticas. Se extenderá **Certificado de aprobación** a quienes cumplan con los requisitos de asistencia, trabajo práctico y aprueben la Evaluación Final escrita.

**Constancias de Asistencia** (acorde al Art. 11 de Res. N° 640-CS-08) - Reglamento de Cursos de Postgrado:

“Los asistentes al curso que no hayan aprobado o rendido la evaluación podrán solicitar una constancia...”.

Se extenderá **dicha constancia** a quienes cumplan con una asistencia mínima de 80% de las clases teóricas y prácticas.

**3.5) Lugar y Fecha de realización:** Agosto de 2009, en fecha a convenir con los asistentes.





4) **Conocimientos Previos Necesarios:** Mecánica de medios continuos y técnicas numéricas.

5) **Profesionales a los que está dirigido el curso:** Ingenieros alumnos de doctorado, docentes y profesionales. No se aceptan alumnos avanzados de carreras de grado.

6) **Director responsable del curso:** Prof. Dr. Sergio OLLER MARTÍNEZ  
**Coordinadora:** Ing. Susana Beatriz GEA

7) **Detalle Analítico de Erogaciones:**

Los gastos de traslado Barcelona-Salta-Barcelona y manutención del Profesor Oller Martínez, son afrontados por el Proyecto AECID A/017127/08 (UNSa, Argentina - UPC, España). El dinero recaudado en concepto de inscripción será utilizado para los laboratorios de Ingeniería Civil a través del ICMASa.

**Arancel:**

Docentes de la Facultad de Ingeniería de la UNSa.: .....	S/C
Alumnos de Postgrado de la UNSa.: .....	S/C
Docentes de otras Facultades de la Universidad Nacional de Salta: .....	\$ 200
Otros Profesionales:.....	\$ 300

*[Handwritten signatures and initials]*