

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

Unitat responsable:	250 - ETSECCPB - Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona		
Unitat que imparteix:	751 - DECA - Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental		
Curs:	2015		
Titulació:	MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA DE CAMINS, CANALS I PORTS (Pla 2012). (Unitat docent Obligatòria)		
Crèdits ECTS:	9	Idiomes docència:	Anglès

### Professorat

Responsable:	ANTONIO HUERTA CEREZUELA
Altres:	ANTONIO HUERTA CEREZUELA, JOEL MONTOY ALBAREDA, ESTHER SALA LARDIES, JOSE SARRATE RAMOS

### Horari d'atenció

Horari: S'anunciarà a l'inici del curs.

### Competències de la titulació a les quals contribueix l'assignatura

#### Específiques:

8198. Capacitat per abordar i resoldre problemes matemàtics avançats d'enginyeria, des del plantejament del problema fins al desenvolupament de la formulació i la seva implementació en un programa d'ordinador. En particular, capacitat per formular, programar i aplicar models analítics i numèrics avançats de càlcul al projecte, planificació i gestió, així com capacitat per a la interpretació dels resultats obtinguts, en el context de l'enginyeria civil.

### Metodologies docents

El curs consisteix en: quinze setmanes de docència presencial, el treball a realitzar i auto-aprenentatge. A més de les 6 hores per setmana a l'aula, s'han de dedicar 9 hores cada la setmana, de mitjana, al treball personal (auto-aprenentatge).

Almenys la meitat de les hores de classe es dediquen a treballar en petits grups (treballs dirigits a l'aula informàtica, exercicis a l'aula convencional, etc)

### Objectius d'aprenentatge de l'assignatura

Coneixement d'equacions diferencial en derivades parcials de la física matemàtica. Capacitat per a l'anàlisi i la resolució dels problemes matemàtics plantejats en enginyeria que envolten aquests conceptes. Capacitat per formular, programar i aplicar models analítics i numèrics de càlcul al projecte, planificació i gestió. Capacitat per interpretar els resultats proporcionats pels models en el context de l'enginyeria.

Relacionar les equacions diferencials en derivades parcials amb problemes d'enginyeria en el medi continu. Programar solucions complexes mitjançant software bàsic i obtenció de solucions numèriques. Desenvolupar solucions analítiques a problemes complexos de contorn i valor inicial en varies dimensions i amb condicions geomètriques senzilles que permetin realitzar una anàlisi d'aquestes solucions, incloent un estudi paramètric. Utilitzar un programa d'anàlisi numèric per realitzar un anàlisi de sensibilitat d'un problema en el que es resolgui una equació diferencial ordinària. Resoldre un problema de contorn en medi continu mitjançant una equació diferencial en derivades parcials partint del

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

plantejament de les mateixes fins a la seva solució numèrica per DF o EF.  
Resoldre problemes de modelització en enginyeria mitjançant tècniques numèriques.

Teorema de la divergència, teorema de Green i teorema de Stokes. Coneixements d'equacions diferencials en derivades parcials; existència i unicitat de solucions, estabilitat. Tipus d'equacions, solucions analítiques en casos particulars d'especial interès en enginyeria. Història dels models numèrics i la seva aplicació a les obres d'enginyeria. Coneixements de modelització numèrica en enginyeria. Coneixements sobre emmagatzemant de números, algoritmes i anàlisi d'errors. Coneixements de mètodes numèrics per a la determinació de zeros de funcions. Coneixements per a la solució de sistemes d'equacions mitjançant mètodes numèrics directes i interactius bàsics. Coneixements de mètodes numèrics per a la solució de sistemes no lineals d'equacions. Problemes d'autovalors. Aproximació funcional. Coneixements per a la integració numèrica mitjançant quadratures. Coneixements per a la solució d'equacions en derivades parcials: diferències finites i elements finits.

Objectius desitjats de l'aprenentatge:

- 1 .- Demostrar coneixement i comprensió de: els fonaments del comportament i l'aproximació numèrica d'equacions diferencials; aproximació funcional; error de truncament i errors de les solucions, l'estabilitat, consistència i convergència, mètodes directes i iteratius per a sistemes d'equacions lineals i problemes de valors propis.
- 2 .- Demostrar la capacitat de (pensament): entendre i formular els procediments bàsics numèrics i resoldre problemes il·lustratius, identificar els mètodes apropiats per al problema corresponent.
- 3 .- Demostrar la capacitat de (habilitats pràctiques): comprendre les conseqüències pràctiques de la conducta dels mètodes numèrics i les solucions; lògicament formular mètodes numèrics per a la solució per ordinador amb un llenguatge de programació (Matlab o Octave).
- 4 .- Demostrar la capacitat de (competències clau): estudiar de forma independent, emprar els recursos de la biblioteca, fer servir d'un ordinador personal per a la programació bàsica, prendre apunts de manera eficient i administrar el temps de treball.

### Hores totals de dedicació de l'estudiantat

Dedicació total: 225h	Grup gran/Teoria:	27h	12.00%
	Grup mitjà/Pràctiques:	9h	4.00%
	Grup petit/Laboratori:	42h 01,8m	18.68%
	Activitats dirigides:	2h 58,2m	1.32%
	Aprenentatge autònom:	144h	64.00%

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

### Continguts

<p>1.- Introducció a la modelització, a la programació i als errors</p>	<p>Dedicació: 14h 23m Grup petit/Laboratori: 6h Aprentatge autònom: 8h 23m</p>
<p>Descripció: Introducció a la programació en MATLAB o OCTAVE. Concepte i definicions d'error (absolut, relatiu, arrodoniment, truncament, xifres significatives) i la seva propagació.</p> <p>Objectius específics: Ser capaç de desenvolupar programes senzills en MATLAB o OCTAVE Conèixer la representació de nombres enters i reals en un ordinador. Conèixer el concepte i definicions d'error i entendre com aquests afecten al càlcul numèric.</p>	
<p>2.- Introducció al MEF</p>	<p>Dedicació: 19h 12m Grup gran/Teoria: 2h Grup mitjà/Pràctiques: 2h Grup petit/Laboratori: 4h Aprentatge autònom: 11h 12m</p>
<p>Descripció: Problemes d'equilibri (mecànica de sòlids, sòls ...), d'evolució (dinàmica estructural, calor, consolidació, trànsit, contaminants ...) i de valors propis (vibracions estructurals, acústica ...).</p> <p>Classificació matemàtica i física d'EDPs Obtenció de la forma feble: pel problema mecànic (principi dels treballs virtuals) i pel problema de Laplace (residus ponderats) Interpolació seccional Discretització de la forma feble Càlcul d'integrals Matrius elementals i ensamblat Resolució d'un problema d'equilibri mitjançant el MEF.</p> <p>Objectius específics: Conèixer, saber plantejar i analitzar diversos problemes d'enginyeria que requereixen la solució de problemes d'EDPs. Identificar i classificar les EDPs de segon ordre, des d'un punt de vista matemàtic i físic. Entendre el significat de les condicions de contorn.</p> <p>Entendre la utilització del MEF com a eina per resoldre problemes d'enginyeria. Ser capaç de determinar la forma feble per a un problema el·líptic amb condicions de Dirichlet, Neumann o Robin. Poder descriure els diferents aspectes numèrics del MEF: discretització / aproximació, integració, ensamblat, resolució d'equacions, ... Ser capaç d'obtenir la forma feble d'un problema d'equilibri. Ser capaç d'utilitzar el MEF per resoldre problemes d'equilibri.</p>	

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

<p>3.- Sistemes d'equacions lineals</p>	<p>Dedicació: 24h</p> <p>Grup gran/Teoria: 4h Grup mitjà/Pràctiques: 2h Grup petit/Laboratori: 4h Aprentatge autònom: 14h</p>
<p>Descripció:</p> <p>Classificació i definicions. Mètodes de factorització: Crout i Cholesky Mètodes iteratius: gradients conjugats (equivalència amb problema de minimització, màxim descens, gradients conjugats, algorisme, propietats)</p> <p>Problemes pràctics de sistemes d'equacions: emmagatzematge, nombre de condició, preconditionament Resolució de sistemes lineals utilitzant diferents mètodes i preconditionadors.</p> <p>Objectius específics:</p> <p>Conèixer la classificació dels mètodes de resolució de sistemes d'equacions lineals. Conèixer el rang d'aplicabilitat de cada mètode i els seus avantatges i inconvenients computacionals. Conèixer els detalls de l'anàlisi del mètode de gradients conjugats i poder implementar-lo correctament.</p> <p>Conèixer els aspectes pràctics fonamentals: renumeració, nombre de condició, preconditionadors, xifres significatives, criteris pràctics de convergència. Saber implementar els mètodes de resolució presentats. Saber identificar la influència pràctica del nombre de condició, preconditionadors ...</p>	
<p>4.- Zeros de funcions i sistemes no lineals</p>	<p>Dedicació: 9h 36m</p> <p>Grup gran/Teoria: 2h Grup mitjà/Pràctiques: 1h Grup petit/Laboratori: 1h Aprentatge autònom: 5h 36m</p>
<p>Descripció:</p> <p>Conceptes bàsics de mètodes iteratius: consistència, convergència lineal, superlineal o d'ordre p, velocitat de convergència, factor asimptòtic. Mètodes: de Newton, de la secant, de Whittaker. Introducció a la resolució de sistemes no lineals: iteració funcional, mètode d'iteració directa, mètode de Picard, mètode de Newton-Raphson.</p> <p>Problemes pràctics d'anàlisi de convergència i influència dels errors d'arrodoniment.</p> <p>Objectius específics:</p> <p>Entendre el funcionament dels mètodes iteratius diferenciant-los dels mètodes amb nombre finit d'operacions. Conèixer les propietats, avantatges i inconvenients dels esquemes iteratius usuals. Saber escollir en cada cas el mètode més adequat. Conèixer i comprendre les extensions bàsiques a sistemes d'equacions. Saber analitzar, representar i interpretar els resultats dels mètodes iteratius.</p>	

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

<p>Avaluació #1</p>	<p>Dedicació: 7h 11m Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 4h 11m</p>
<p>Descripció: Resolució de l'avaluació #1</p>	

<p>5.- Interpolació i aproximació</p>	<p>Dedicació: 14h 23m Grup gran/Teoria: 3h Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 8h 23m</p>
<p>Descripció: Plantejament general: tipus i criteris d'aproximació Interpolació polinòmica Mínims quadrats Aproximació seccional</p> <p>Analitzar una sèrie de dades, aproximar amb diverses metodologies i discutir els resultats.</p> <p>Objectius específics: Conèixer els criteris i tipus d'aproximació habituals i saber discutir els seus avantatges i inconvenients. Conèixer i saber utilitzar la interpolació de Lagrange així com l'error d'interpolació: reste de Lagrange. Entendre i saber desenvolupar el problema de mínims quadrats, saber deduir les equacions normals i entendre la propietat d'ortogonalitat. Conèixer i utilitzar la interpolació polinòmica seccional.</p> <p>Ser capaç d'usar i programar algunes funcions intrínseques per aproximar un conjunt de dades.</p>	

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

<p>6.- Integració numèrica</p>	<p>Dedicació: 16h 48m</p> <p>Grup gran/Teoria: 3h Grup mitjà/Pràctiques: 1h Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 9h 48m</p>
<p>Descripció:</p> <p>Plantejament general, exemple amb el mètode del trapezi Definició d'ordre d'una quadratura Classificació de quadratures Fórmules de Newton-Cotes Quadratures de Gauss Fórmules compostes Problemes pràctics d'integració: MEF Estudiar la convergència de les quadratures: - de Newton-Cotes i de Gauss-Legendre a mesura que es consideren més punts d'integració - de les quadratures compostes a mesura que augmenta el nombre d'interval·ls</p> <p>Objectius específics:</p> <p>Conèixer el concepte d'integració numèrica i ser capaç de determinar una quadratura per punts qualssevol. Conèixer la classificació de les diferents quadratures. Entendre les bases de les quadratures de Newton-Cotes i Gauss, saber utilitzar-les entenent el concepte d'ordre d'integració i cost computacional. Conèixer i saber emprar les quadratures compostes així com els seus avantatges i inconvenients. Saber aplicar tots els conceptes d'integració al cas del MEF. Entendre com es programa una quadratura numèrica Ser capaç de programar una quadratura composta</p>	
<p>Avaluació #2</p>	<p>Dedicació: 7h 11m</p> <p>Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 4h 11m</p>
<p>Descripció:</p> <p>Resolució de l'avaluació #2</p>	

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

<p>7.- Modelització amb EDOs</p>	<p>Dedicació: 19h 12m</p> <p>Grup gran/Teoria: 3h</p> <p>Grup petit/Laboratori: 5h</p> <p>Aprenentatge autònom: 11h 12m</p>
<p>Descripció:</p> <p>Plantejament general: reducció a ordre un, problemes de valor inicial (PVI), de contorn (PC) o de valors propis, teorema d'existència i unicitat.</p> <p>Mètodes basats en l'aproximació de la derivada: Euler, Euler cap enrere.</p> <p>Error de truncament, consistència; error local i global, ordre, estabilitat absoluta.</p> <p>Mètodes de pas simple (Runge-Kutta): mètodes de segon i quart ordre.</p> <p>Mètodes de predicció-correcció.</p> <p>Modelització i resolució numèrica d'un problema d'enginyeria descrit mitjançant EDOs.</p> <p>Objectius específics:</p> <p>Entendre el concepte de Problema de Valor Inicial (PVI) ben plantejat.</p> <p>Saber identificar i classificar un problema d'EDOs (per a qualsevol ordre i dimensió)</p> <p>Ser capaç d'expressar una EDO d'alt ordre com un sistema d'EDOs de primer ordre.</p> <p>Saber determinar si es tracta d'un Problema de Valor Inicial (PVI) o un Problema de Contorn (PC).</p> <p>Entendre els conceptes de convergència, ordre de convergència i estabilitat absoluta.</p> <p>Coneixer les propietats bàsiques dels mètodes de Runge-Kutta. Entendre la seva forma general i ser capaç d'aplicar-los. Saber diferenciar els mètodes explícits, semi-implícits i implícits.</p> <p>Saber modelitzar un problema d'enginyeria com un sistema d'EDOs.</p> <p>Saber utilitzar una llibreria per resolució numèrica d'EDOs.</p>	

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

<p>8.- Modelització amb EDPs</p>	<p>Dedicació: 28h 47m</p> <p>Grup gran/Teoria: 6h Grup mitjà/Pràctiques: 2h Grup petit/Laboratori: 4h Aprentatge autònom: 16h 47m</p>
<p>Descripció:</p> <p>Mètode dels elements finits per problemes el·líptics: condicions de contorn, organització dels càlculs, conceptes de precisió i eficiència numèrica.</p> <p>Problemes dinàmics: matriu de massa, de rigidesa i d'amortiment; mètode de Newmark; conceptes d'estabilitat i precisió temporal</p> <p>Problemes hiperbòlics de dinàmica estructural</p> <p>Resolució d'un problema dinàmic.</p> <p>Objectius específics:</p> <p>Saber plantejar la forma adimensional dels problemes de valor inicial o de contorn (en particular "calor").</p> <p>Conèixer les bases del MEF: forma feble, condicions de contorn, integració, tipus de matrius, algorisme.</p> <p>Entendre els conceptes de precisió en MEF (el·líptica) i saber com identificar problemes i plantejar solucions.</p> <p>Saber plantejar un problema de dinàmica estructural amb el MEF.</p> <p>Entendre el concepte d'estabilitat (condicional i incondicional), diferenciar-lo del concepte de precisió temporal i saber distingir entre els mètodes explícits i implícits</p> <p>Conèixer les característiques fonamentals de la resolució de problemes dinàmics.</p> <p>Entendre la utilització del mètode de Newmark per la integració temporal de problemes dinàmics.</p> <p>Saber programar el mètode de Newmark i analitzar el seu comportament</p>	
<p>9.- Optimització i simulació</p>	<p>Dedicació: 14h 23m</p> <p>Grup gran/Teoria: 2h Grup mitjà/Pràctiques: 2h Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 8h 23m</p>
<p>Descripció:</p> <p>Optimització del disseny en funció del cost, problema de flux en medi porós amb permeabilitats definides com a variables aleatòries.</p> <p>Introducció a l'optimització</p> <p>Simulació basada en el mètode de Montecarlo.</p> <p>Treball dirigit: simulació</p> <p>Objectius específics:</p> <p>Conèixer i plantejar un problema complex que implica optimització i simulació.</p> <p>Conèixer, saber identificar, plantejar i classificar un problema d'optimització.</p> <p>Conèixer els fonaments del mètode de Montecarlo</p> <p>Saber aplicar els conceptes d'optimització i simulació a un problema concret.</p>	



## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

<p>Avaluació #3</p>	<p>Dedicació: 7h 11m Grup petit/Laboratori: 3h Aprentatge autònom: 4h 11m</p>
<p>Descripció: Resolució de l'avaluació #3</p>	
<p>Treball de curs</p>	<p>Dedicació: 4h 48m Grup petit/Laboratori: 2h Aprentatge autònom: 2h 48m</p>
<p>Descripció: Presentació i discussió del treball de curs Objectius específics: Saber presentar, analitzar i discutir críticament un problema complet de modelització numèrica</p>	

### Sistema de qualificació

- 1.- S'ha de lliurar el treball pràctic de curs en la data indicada per a poder ser avaluat.
- 2.- Els continguts de totes les avaluacions estaran d'acord amb tota la matèria impartida des de l'inici del curs.
- 3.- Els estudiants han d'assistir a les avaluacions proveïts d'una calculadora sense connexió a internet. No està permesa la utilització de telèfons mòbils, ordinadors, tauletes ni d'altres dispositius electrònics.
- 4.- A les avaluacions no està permesa la consulta d'apuntes, llibres de text, problemes resolts ni cap altre tipus de documentació.
- 5.- La deshonestat acadèmica serà severament castigada, d'acord amb la normativa acadèmica vigent.
- 6.- La qualificació final de l'assignatura s'obté a partir de les qualificacions de les diferents proves segons:  

$$\text{Nota} = \max[A^{(1/2)} * TC^{(1/5)} * E^{(1/5)} * TD^{(1/10)}, PC^{(4/5)} * TC^{(1/5)}]$$

on:

A és la mitjana aritmètica ponderada de les avaluacions: 25% la # 1 i 2, 50% la # 3.

TC és la mitjana aritmètica ponderada del treball de curs: 10% les fitxes de seguiment, 45% la realització i presentació del pòster, i 45% l'informe final del treball.

Durant el curs es realitzaran un seguit d'exercicis i treballs dirigits. Alguns d'ells es recolliran al final de la sessió i s'avaluaran. D'aquests, els millor avaluats (tres de cada quatre) s'utilitzaran per a calcular la mitjana aritmètica dels exercicis, E, i la mitjana aritmètica dels treballs dirigits, TD.

PC és la prova de conjunt.

## 250402 - MODELNUM - Modelització Numèrica

### Normes de realització de les activitats

Si no es realitza alguna de les activitats de laboratori o d'avaluació continuada en el període programat, es considerarà com a puntuació zero.

El lliurament del Treball de Curs és obligatori per poder ser avaluat, veure les normes de presentació a l'apartat "Activitats".

### Bibliografia

#### Bàsica:

Zienkiewicz, O.C.; Morgan, K. Finite elements and approximation. Mineola, NY: Dover, 1983. ISBN 9780486453019.

Quarteroni A.; Saleri, F.; Gervasio, P. Scientific computing with MATLAB and Octave. 3rd ed. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. ISBN 9783642124297.

#### Complementària:

Huerta, A.; Sarrate, J.; Rodríguez-Ferran, A.,. Métodos numéricos. Introducción, aplicaciones y programación. Edicions UPC, 2001 (Errores, Sistemas de ecuaciones).

Hoffman, J.D. Numerical methods for engineers and scientists. 2nd ed. rev. and exp. New York: Marcel Dekker, 1992. ISBN 0824704436.

Trefethen, L.N.; Bau III, D.. Numerical linear algebra. SIAM, 1997 (Systems of linear equations).

Shampine L.W.. Numerical solution of ordinary differential equations. Chapman & Hall, 1994 (Modeling with ODEs).

Stoer, J.; Bulirsch, R.. Introduction to numerical analysis. Springer-Verlag, 1980.

Recktenwald G.W.. Numerical methods with MATLAB. Implementations and Applications. Prentice Hall, 2000.