

Guia docent

240ICE33 - 240ICE33 - Anàlisi Estructural Avançat

Última modificació: 11/01/2021

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
Unitat que imparteix: 737 - RMEE - Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria.
Titulació: MÀSTER UNIVERSITARI EN ENGINYERIA INDUSTRIAL (Pla 2014). (Assignatura optativa).
Curs: 2020 **Crèdits ECTS:** 4.5 **Idiomes:** Anglès, Català

PROFESSORAT

Professorat responsable: MIGUEL CASAFONT RIBERA
Altres: Casafont Ribera, Miguel
Ferrer Ballester, Miquel

CAPACITATS PRÈVIES

Coneixements bàsics de Mecànica dels Medis Continus, Resistència de Materials i Teoria d'Estructures.

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:

CEECONS3. Aplicar l'anàlisi estructural i la modelització i simulació numèrica d'estructures davant sol·licitacions estàtiques i dinàmiques. (Competència específica associada a l'especialitat en Construcció i estructures).
CEMEI19. Coneixements i capacitats per al càlcul i disseny d'infraestructures.

METODOLOGIES DOCENTS

1. CLASSE DE TEORIA I PROBLEMES. Classes expositives i participatives. Classe magistral de continguts teòrics per part del professor, combinada amb resolució de problemes per part de l'estudiantat. Aquests problemes es resolen en grup. En alguns casos s'autoavaluen i en altres es lliuren al professor, que revisa i corregeix. Aquests problemes no es tenen en compte en el sistema de qualificació.
2. LLIURABLES. Aprenentatge autònom. Realització d'anàlisis mitjançant un programari comercial d'elements finits relacionades amb temes molt específics de la matèria que es va treballant durant el curs. Es planteja la realització d'aproximadament 10 lliurables.
3. TREBALLS DE CURS. Aprenentatge autònom i cooperatiu. Resolució de 4 problemes en equips de 3 estudiants. L'abast d'aquests problemes serà ampli i comportarà l'aplicació de diferents metodologies d'anàlisi, tant d'aplicació manual com computacional. Els problemes es lliuren en diferents moments al llarg del curs.

OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

Objectius generals:

1. Proporcionar conceptes bàsics sobre no linealitat geomètrica, no linealitat material i dinàmica estructural.
2. Presentar diferents metodologies per a la solució de problemes de no linealitat geomètrica, no linealitat material i dinàmica estructural.
3. Aprofundir en la teoria i l'ús pràctic del mètode dels elements finits.

Objectius específics:

En finalitzar l'assignatura l'estudiant a de ser capaç de:

1. Estar en disposició d'explicar els tipus bàsics d'inestabilitats que afecten a les estructures.
2. Per al cas de peces prismàtiques sotmeses a compressió, determinar la càrrega elàstica crítica de vinclament per flexió, torsió i flexo-torsió. Per a peces sotmeses a flexió, determinar el moment elàstic crític de bolcada lateral.
3. Identificar les longituds crítiques de vinclament per a cada tipus d'inestabilitat en funció de les condicions d'enllaç.
4. Poder raonar per què es necessari realitzar una anàlisi geomètrica no lineal en una estructura que pateix grans desplaçaments.
5. Identificar las situacions en que una anàlisi d'aquest tipus és rellevant.
6. Realitzar anàlisis en segon ordre mitjançant el mètode dels elements finits considerant la matriu de rigidesa geomètrica.
7. Realitzar anàlisis de modes de vinclament d'estructures de barres mitjançant el mètode dels elements finits.
8. Capaç d'interpretar els resultats d'una anàlisi no lineal i d'una anàlisi de modes de vinclament.
9. Conèixer les tècniques numèriques bàsiques de solució de sistemes d'equacions no lineals, i utilitzar-les en l'anàlisi no lineal d'estructures mitjançant el mètode dels elements finits.
10. Estar en disposició d'entendre fàcilment l'algoritme d'implementació de l'element finit barra co-rotacional.
11. Identificar i resoldre problemes típics de falta de convergència en anàlisis no lineals de sistemes estructurals compostos per peces prismàtiques.
12. Fer servir convenientment diferents tipus d'imperficcions geomètriques en l'anàlisi d'estructures.
13. Poder descriure el fenomen de l'abonyegament local de plaques.
14. Realitzar una anàlisi lineal de plaques mitjançant el mètode dels elements finits i interpretar-ne correctament els resultats.
15. Càlcul la tensió crítica d'abonyegament local per a diferents condicions d'enllaç.
16. Raonar el per què de la capacitat post-crítica de plaques.
17. Conèixer els factors bàsics que intervenen en l'anàlisi plàstica d'estructures.
18. Identificar els avantatges i els inconvenients dels diferents tipus clàssics d'anàlisi plàstica.
19. Realitzar anàlisis plàstiques mitjançant el mètode dels elements finits.
20. Identificar i caracteritzar les sol·licitacions en funció del seu caire dinàmic.
21. Identificar la vulnerabilitat dinàmica d'una estructura vers les sol·licitacions i avaluar la necessitat d'un estudi dinàmic del seu comportament.
22. Descriure els fenòmens estructurals dinàmics, identificar els tipus de resposta i aplicar el tipus d'anàlisi adequat.
23. Analitzar els modes i freqüències pròpies de vibració lliure d'una estructura.
24. Analitzar la resposta estacionària lineal-elàstica d'una estructura en front d'una sol·licitació harmònica.
25. Analitzar la resposta transitòria, lineal o no-lineal, d'una estructura en front de sol·licitacions qualsevols, com ara, explosions, xocs, ruptures, etc.
26. Analitzar el comportament d'una estructura en front d'una acció sísmica mitjançant espectres de resposta elàstica.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup petit	13,5	12.00
Hores grup gran	27,0	24.00
Hores aprenentatge autònom	72,0	64.00

Dedicació total: 112.5 h

CONTINGUTS

Introducció a la no linealitat geomètrica i de material.

Descripció:

Introducció a la no linealitat geomètrica. Mètode d'anàlisi incremental. Tipus d'inestabilitats. Introducció a la no linealitat material. No validesa del principi de superposició.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Explicar els tipus bàsics d'inestabilitats que afecten a les estructures.
- Poder raonar per què és necessari realitzar una anàlisi geomètrica no lineal en una estructura que pateix grans desplaçaments.

Activitats vinculades:

Lliurable 1: Anàlisi geomètrica no lineal incremental d'una estructura simple.

Dedicació: 2h 45m

Grup gran/Teoria: 2h

Aprenentatge autònom: 0h 45m

Vinclament a flexió de barres

Descripció:

Càrrega crítica de vinclament d'Euler. Càrrega crítica de vinclament de columnes amb diferents condicions d'enllaç de tipus teòric. Efecte d'imperficcions geomètriques inicials de tipus prefletxa. Factor d'amplificació no lineal d'una prefletxa inicial. Factor d'amplificació de moment flector.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Per al cas de peces prismàtiques sotmeses a compressió, determinar la càrrega elàstica crítica de vinclament per flexió.
- Identificar les longituds crítiques de vinclament per a cada tipus d'inestabilitat en funció de les condicions d'enllaç.

Dedicació: 3h

Grup gran/Teoria: 3h

Matriu de rigidesa geomètrica. Càrrega elàstica crítica d'una estructura.

Descripció:

Matriu de rigidesa lineal de l'element barra 2D (Recordatori). Constants elàstiques de la barra recta sota l'efecte d'esforç normal. Matriu de rigidesa general de l'element barra. Matriu de rigidesa geomètrica de l'element barra. Anàlisi d'una estructura aplicant la matriu de rigidesa geomètrica. Càrrega elàstica crítica d'una estructura.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Identificar les situacions en que és pertinent realitzar una anàlisi no lineal geomètrica.
- Realitzar anàlisis en segon ordre mitjançant el mètode dels elements finits considerant la matriu de rigidesa geomètrica.
- Realitzar anàlisis de modes de vinclament d'estructures de barres mitjançant el mètode dels elements finits.
- Interpretar els resultats d'una anàlisi geomètrica no lineal i d'una anàlisi de modes de vinclament.

Activitats vinculades:

- Lliurable 2: Anàlisi geomètrica no lineal d'una columna mitjançant la matriu de rigidesa geomètrica.
- Lliurable 3: Anàlisi lineal de vinclament d'una columna.
- Lliurable 4: Anàlisi lineal de vinclament d'un pòrtic.

PRIMER TREBALL DE CURS: Anàlisi geomètrica no lineal d'una estructura mitjançant diferents mètodes de càlcul manual i de simulació.

Dedicació: 5h 15m

Grup gran/Teoria: 3h

Aprenentatge autònom: 2h 15m

Anàlisi geomètricament no lineal mitjançant mètodes d'actualització de geometria

Descripció:

Matriu de rigidesa tangent. Concepte de força interna. Mètodes de solució de sistemes d'equacions no lineals. Anàlisi geomètrica no lineal mitjançant el mètode co-rotacional. Imperfeccions a considerar a l'anàlisi d'estructures d'acer.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Interpretar els resultats d'una anàlisi no lineal.
- Conèixer les tècniques numèriques bàsiques de solució de sistemes d'equacions no lineals, i utilitzar-les en l'anàlisi no lineal d'estructures mitjançant el mètode dels elements finits.
- Estar en disposició d'entendre fàcilment l'algoritme d'implementació de l'element finit barra co-rotacional.
- Identificar i resoldre problemes típics de falta de convergència en anàlisis no lineals de sistemes estructurals compostos per peces prismàtiques.
- Fer servir convenientment diferents tipus d'imperfeccions geomètriques en l'anàlisi d'estructures.

Activitats vinculades:

- Lliurable 5: Anàlisi geomètrica no lineal d'una barra que experimenta una inestabilitat tipus snap-trough.
- Lliurable 6: Anàlisi geomètrica no lineal d'una barra que experimenta vinclament per flexió.
- Lliurable 7: Anàlisi geomètrica no lineal d'un pòrtic amb diferents tipus d'imperfeccions geomètriques.

SEGON TREBALL DE CURS: Anàlisi geomètrica no lineal d'una estructura que experimenta grans desplaçaments fent ús de diferents metodologies de solució.

Dedicació: 6h 45m

Grup gran/Teoria: 4h 30m

Aprenentatge autònom: 2h 15m

Vinclament per flexió, torsió i flexo-torsió de columnes, i bolcada lateral de bigues.

Descripció:

Torsió no uniforme. Equacions de govern d'una barra 3D. Tipus de vinclament d'una columna: flexió, torsió i flexo-torsió. Bolcada lateral d'una biga. Determinació de les diferents càrregues elàstiques de vinclament, i del moment elàstic de bolcada lateral.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Determinar la càrrega elàstica crítica de vinclament per flexió, torsió i flexo-torsió. Per a peces sotmeses a flexió, determinar el moment elàstic crític de bolcada lateral.

Activitats vinculades:

Lliurable 8: Anàlisi lineal de vinclament d'una peça que experimenta vinclament per flexió i torsió mitjançant un model d'elements finits làmina

Dedicació: 5h 15m

Grup gran/Teoria: 4h 30m

Aprenentatge autònom: 0h 45m

Introducció a la no linealitat material.

Descripció:

Fonaments de no linealitat material. Plasticitat. Metodologies clàssiques d'anàlisi plàstica de sistemes de peces prismàtiques.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Conèixer els factors bàsics que intervenen en l'anàlisi plàstica d'estructures.
- Identificar els avantatges i els inconvenients dels diferents tipus clàssics d'anàlisi plàstica.
- Realitzar anàlisis plàstiques mitjançant el mètode dels elements finits.

Activitats vinculades:

- Lliurable 10: Anàlisi plàstica d'una peça prismàtica sotmesa a flexió.
- Lliurable 11: Anàlisi plàstica d'una placa sotmesa a compressió.
- Lliurable 12: Anàlisi plàstica d'una perfil d'acer sotmès a compressió.

Dedicació: 4h 15m

Grup gran/Teoria: 2h

Aprenentatge autònom: 2h 15m

Teoria de plaques. Abonyegament local de plaques.

Descripció:

Element finit placa i element finit làmina. Equació de govern d'una placa amb càrregues transversals i de membrana. Tensió elàstica d'abonyegament d'una placa. Reserva post-crítica de plaques.

Objectius específics:

L'estudiant ha de ser capaç de:

- Realitzar una anàlisi lineal de plaques mitjançant el mètode dels elements finits i interpretar-ne correctament els resultats.
- Poder descriure el fenomen de l'abonyegament local de plaques.
- Calcular la tensió crítica d'abonyegament local d'una placa amb diferents condicions d'enllaç.
- Raonar el per què de la capacitat post-crítica de plaques.

Activitats vinculades:

Lliurable 13: Anàlisi lineal de vinclament d'una placa sotmesa a compressió.

Lliurable 14: Anàlisi lineal i geomètricament no lineal d'una placa sotmesa a compressió.

TERCER TREBALL DE CURS: Anàlisi geomètrica i material no lineal d'un perfil metàl·lic mitjançant un model d'elements finits làmina.

Dedicació: 4h 30m

Grup gran/Teoria: 3h

Aprenentatge autònom: 1h 30m

Introducció a la dinàmica estructural

Descripció:

Vulnerabilitat. Tipus de sol·licitacions. Classificació. Tipus de resposta dinàmica. Ressonància. Aeroelasticitat. Tipus d'anàlisi dinàmica. Hipòtesis bàsiques i limitacions.

Dedicació: 1h 30m

Grup gran/Teoria: 1h 30m

Oscil·lacions lliures. Anàlisi Modal.

Descripció:

Sistemes d'1 grau de llibertat sense/amb esmorteïment. Sistemes de n graus de llibertat. Modes i freqüències pròpies de vibració.

Activitats vinculades:

Lliurable 15: Determinació analítica i mitjançant el MEF dels modes i freqüències pròpies d'una estructura de dues plantes amb esmorteïment i efectes geomètrics de segon ordre.

PRÀCTICA experimental consistent en la determinació de les freqüències pròpies d'un sistema de dos graus de llibertat.

Dedicació: 3h 30m

Grup gran/Teoria: 3h

Aprenentatge autònom: 0h 30m

Sol·licitacions harmòniques. Anàlisi de resposta harmònica.

Descripció:

Sistemes d'1 grau de llibertat sense/amb esmorteïment. Concepte de ressonància. Factor dinàmic d'amplificació. Sistemes de n graus de llibertat. Mètode de superposició modal. Tipus i caracterització de l'esmorteïment en un sistema estructural. Moviment de la base. Transmissibilitat

Activitats vinculades:

QUART TREBALL DE CURS. Opció a) Anàlisi de la resposta harmònica d'una estructura de dues plantes sota l'acció d'una màquina rotatòria mitjançant el mètode de superposició modal. Resolució analítica manual i mitjançant programari d'elements finits.

Dedicació: 1h 30m

Grup gran/Teoria: 1h 30m

Sol·licitacions arbitràries. Anàlisi de transitoris.

Descripció:

Integral de Duhamel. Algorismes d'integració directa implícit i explícit. Paràmetres de Newmark.

Activitats vinculades:

QUART TREBALL DE CURS. Opció b) Anàlisi de la resposta d'una estructura de dues plantes a l'acció d'una ràfega de vent mitjançant integració directa. Resolució manual i mitjançant programari d'elements finits.

Dedicació: 1h 30m

Grup gran/Teoria: 1h 30m

Sismes. Anàlisi espectral.

Descripció:

Naturalesa dels moviments sísmics. Espectre de resposta elàstica. Diagrama tripartit. Espectres normatius de disseny. NCSE-02. Anàlisi espectral. Mètodes de combinació modal. Nocions de disseny sismo-resistent.

Dedicació: 1h 30m

Grup gran/Teoria: 1h 30m

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

$NF = 0.3 \cdot NLL + 0.4 \cdot NTC + 0.3 \cdot NE$, on:

NF és la nota final.

NLL nota dels lliurables.

NTC nota dels treballs de curs.

NE nota de l'examen final.

L'única nota reavaluable és la de l'examen final NE. Per tant, la nota de reavaluació serà:

$NFR = 0.3 \cdot NLL + 0.4 \cdot NTC + 0.3 \cdot NER$, on:

NFR és la nota final de reavaluació.

NER és la nota de l'examen de reavaluació.

NLL i NTC corresponen als mateixos valors que a l'anterior fórmula.

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

LLIURABLES. Realització d'exercicis d'aplicació del mètode dels elements finits relacionats amb els diferents temes del curs. Aquests exercicis es faran de forma autònoma i individual. S'utilitzarà un programa comercial d'anàlisi (ANSYS).

TREBALLS DE CURS. Els problemes es lliuren en diferents moments del curs, són corregits i avaluats pel professor i retornats a cada equip de treball. Al final de curs, cada alumne ha de defensar un dels treballs en una presentació oral.

EXAMEN FINAL L'examen final té dues parts: 1. Preguntes de teoria. En aquesta part de l'examen no es poden fer servir cap tipus de documentació. 2. Dos problemes. En aquesta part de l'examen l'estudiant pot portar tota la documentació que cregui convenient.

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- Prat, P. Ecuaciones constitutivas : Elasticidad y Plasticidad [en línia]. Barcelona: Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, 2006 [Consulta: 03/12/2015]. Disponible a : https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250131/2012/Elasticitat-Plasticitat.pdf.
- Paz, Mario. Dinámica estructural : teoría y cálculo. Barcelona: Reverté, 1992. ISBN 842914854X.
- Argüelles, R. Cálculo de estructuras. Madrid: Escuela técnica superior de ingenieros de montes, 1981-1986. ISBN 8460024105.
- Bazant Z.P., Cedolin L. Stability of structures : elastic, inelastic, fracture and damage theories [en línia]. Singapore: World Scientific Publishing, 2010 [Consulta: 27/05/2020]. Disponible a : <https://ebookcentral.proquest.com/lib/upcatalunya-ebooks/detail.action?docID=731131>. ISBN 9789814317030.
- Timoshenko, Stephen. Teoría de estabilidad elástica. Buenos Aires: Ediar, 1961.
- Fornons, José-María. El Método de los elementos finitos en la ingeniería de estructuras. Barcelona: Marcombo Boixareu, 1982. ISBN 8460026477.
- Trahair N.S. Flexural-torsional buckling of structures. London: E & F SPON, 1993. ISBN 0419181105.

RECURSOS

Material informàtic:

- ANSYS V10 EDUCATIONAL. Programari comercial d'anàlisi estructural. El subministrarà el professor.
- EW3D. Programa educacional d'anàlisi estructural. El subministrarà el professor