

**JORNADA DE PRESENTACIÓ DE RESULTATS DELS PROJECTES DE MILLORA DE LA DOCÈNCIA****ELABORACIÓ DE MATERIAL DOCENT AVANÇAT PER A
L'ENSENYAMENT DE L'ESTRUCTURA METÀL·LICA**

Miquel Casafont, Miquel Ferrer, Frederic Marimon, José Maria Fornons

***Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona***

Miquel.casafont@upc.edu

Tipus d'ajut rebut:UPC2003-2004

Resum

El Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria està elaborant un material docent per a l'ensenyament pràctic de l'estructura metàl·lica, que està compostat de tres parts principals: un llibre en format paper amb exemples de càlcul i informació d'aplicació pràctica, un programari d'anàlisi i comprovació d'estructures i uns models gràfics en format electrònic d'un conjunt d'estructures reals construïdes recentment. En aquesta presentació s'inclou una explicació general sobre el projecte complert i sobre l'experiència en l'ús dels models d'estructures exemple en classes amb alumnes amb nivells de coneixements diferents. S'ha comprovat que aquests models son una eina docent potent que es pot fer servir com a material per a l'aprenentatge individual i com a material audiovisual en classes expositives convencionals.

Paraules clau

Material multimèdia, estructura metàl·lica, eurocodi.

EL PROJECTE**1. Introducció**

Durant més de deu anys el Departament de Resistència de Materials i Estructures a l'Enginyeria de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona ha estat fent divulgació i ensenyament de les noves normatives europees de disseny i càlcul d'estructures, principalment de la part que fa referència a les estructures d'acer: l' "Eurocodi 3" [1]. Aquesta tasca ha estat realitzada, sobretot, pel professor Frederic Marimon en cursos portats a terme a l'Institut Català de Tecnologia, a la Fundació Politècnica de Catalunya i a la mateixa escola d'enginyeria industrial.

La idea de desenvolupar el material docent que es presenta sorgeix de la voluntat de materialitzar d'alguna forma els coneixements tècnics i didàctics adquirits durant tots aquests anys d'ensenyament de la matèria, de forma que el producte final fos una eina útil per al seu aprenentatge i complementària del material disponible en aquests moments.

Des del principi es va descartar l'opció de desenvolupar un llibre teòric convencional sobre el disseny d'estructures metàl·liques segons Eurocodis, degut a la gran quantitat de llibres de qualitat d'aquest tipus existents [2-17]. Així que es va optar per elaborar un llibre d'exemples de disseny i càlcul d'estructures, dels quals n'existeixen molts menys [18-22], que permetés ensenyar i aprendre els procediments i fórmules de les normes des d'un punt de vista pràctic, perquè aquests no acostumen a ser d'aplicació fàcil i immediata.

Un dels requisits que havia d'acomplir el material que s'estava plantejant era que els exemples proposats fossin el màxim de realistes possibles, intentant evitar els casos senzills d'aplicació mimètica de la teoria, tal i com succeeix actualment en molts llibres. Per aquesta raó, es va decidir treure els exemples d'estructures reals construïdes recentment. Per fer-ho encara més realista es va pensar en incloure en el llibre els dibuixos d'aquestes estructures, però no en format paper, sinó, i aquesta és una de les principals innovacions del projecte, en format electrònic.

Una empresa dedicada a comercialitzar un programa informàtic de CAD per estructura metàl·lica ha donat permís per incloure en el projecte un "visor" de dibuixos en 3D. Aquesta eina dona la possibilitat a l'usuari moure's per l'interior de l'estructura i anar observant diferents detalls, com ara el tipus de perfils o les unions, així com també l'estructura completa (Figures 1 i 2). Per tant, la persona que consulti el llibre podrà visualitzar aquell element estructural que està calculant.

A banda d'aquest "visor", també s'adjuntaran amb el llibre diferents programes de càlcul desenvolupats al Departament i un petit promptuari d'estructures d'utilitat professional. D'aquesta manera, s'acabarà generant una eina d'aprenentatge multimèdia que inclourà el material imprès, el programari de càlcul i el "visor" de models tridimensionals d'estructures amb un conjunt d'exemples reals.

L'objectiu final és intentar proporcionar una quantitat suficient de recursos perquè l'usuari pugui assolir un coneixement pràctic de l'estructura metàl·lica, presentant-ho tot sota la perspectiva de les noves normatives europees.

Cal remarcar que el material docent elaborat no es preveu que condicioni el nivell que el professor vol donar a les seves classes. Tal i com es comenta més extensament en un apartat posterior, ja s'han fet servir part dels recursos generats en el projecte en classes amb diferent grau de



Fig. 1. Model d'estructura completa tal i com es veu mitjançant el "visor".

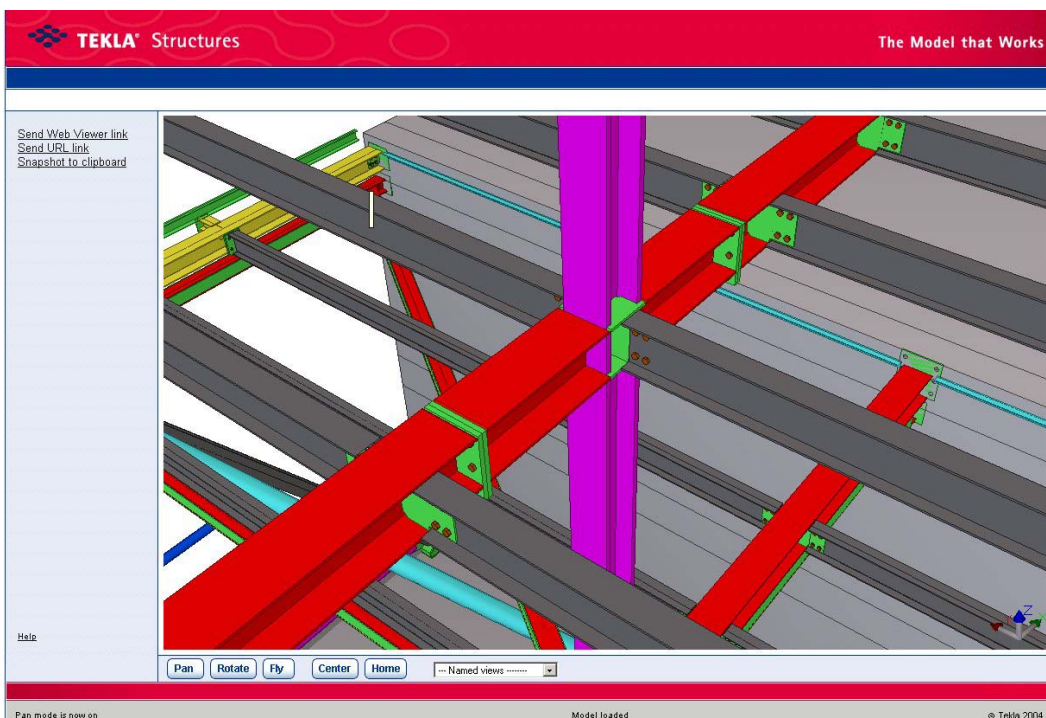


Fig. 2. Visualització del detall d'una estructura.

Centre	Titulació	Assignatures	Crèdits	Departament
ETSEIB	Enginyer Industrial	Teoria d'Estructures i Construccions Industrials	6	737 - 706
		Estructures Metàl·liques	6	737
ETSEIT	Enginyer Industrial	Teoria d'Estructures i Construccions Industrials	6	737 - 706
		Estructures Metàl·liques	6	737
ETSAB	Arquitectura	Estructures Metàl·liques i Mixtes	6	716
ETSAV	Arquitectura	Estructures Metàl·liques	4,5	716
		Construcció d'Estructures Metàl·liques	3	704
ETSECCPB	Enginyer de Camins	Estructures Metàl·liques	7,5	706
		Estructures Metàl·liques II	4,5	706
EUPVG	Enginyer Tècnic Industrial	Estructures	9	737
EUETIB	Enginyer Tècnic Industrial	Tipologia i disseny estructural	6	737
EPSEB	Arquitectura Tècnica	Estructures II	4,5	705
FPC	Àrea Enginyeria Civil i Tecnologia de la Construcció	Curs de postgrau: Càlcul i disseny d'estructures metàl·liques segons Eurocodi-3 (100 hores)		
	Àrea d'Arquitectura	Programa de postgrau: Estructures Metàl·liques (240 hores)		

Taula 1. Aplicabilitat del material docent a la UPC.

coneixements sobre estructures metàl·liques. L'ús del nou material en aquestes classes ha estat satisfactori.

A més, aquesta flexibilitat pel que fa al nivell permet que l'aplicabilitat de la proposta dins els programes docents de la UPC sigui força gran. La Taula 1 mostra una relació d'assignatures de diferents titulacions on seria possible fer servir la totalitat o parts del projecte realitzat.

El contingut de la resta d'aquesta presentació es centra en explicar més detalladament el conjunt del projecte i a mostrar les parts que ja estant gairebé totalment desenvolupades, que són: el "visor" amb els exemples i el programari de càlcul. Després s'explicarà com ha anat l'aplicació d'aquest material a les classes i, finalment, s'inclou un apartat de conclusions.

2. Descripció del projecte

2.1. Descripció de les parts del projecte.

El material docent elaborat està compost de les tres parts principals següents:

a) Material imprès. Un recull seleccionat de problemes resolts amb criteris pedagògics de dificultat creixent inspirats en casos reals. El material té el seu origen en l'experiència docent i professional dels autors. La solució dels problemes es farà d'acord amb les noves normatives europees, bàsicament l' "Eurocodi 3". En aquests moments aquesta normativa encara no ha estat aprovada i, de fet, les últimes versions del seu esborrany presenten canvis força significatius respecte a les propostes que hi havien quan es va començar el present projecte docent. Aquesta és la raó principal per la qual encara no s'ha desenvolupat totalment aquesta part del material. Quan la normativa estigui definitivament aprovada, s'acabarà de portar a terme.

També es preveu incloure un conjunt de taules de predimensionament de peces estructurals i medis d'unió, particularment útils en la pràctica de l'exercici professional i, per tant, coherents amb la metodologia docent proposada. Finalment, hi haurà un recull de recursos externs: referències bibliogràfiques (convencionals i fàcilment assequibles), normatives europees i internacionals, i adreces internet (recursos i programari lliure).

b) Programari. Es preveu fer una reestructuració del programari actual disponible al departament, força bo, però dispers i incoherent, com a conseqüència del llenguatge emprat i la forma de fer de cada autor. També, s'han d'actualitzar i ampliar la capacitat d'alguns dels programes. Es preveu fer una integració de totes les eines en una suite única per a l'anàlisi global d'estructures (1er i 2on ordre) i la comprovació dels seus elements.

c) "Visor" i exemples d'estructures reals. Es pretén permetre la visualització de l'enunciat de cada problema dins el context general de l'estructura. L'usuari del material docent podrà navegar tridimensionalment dins de l'estructura i podrà comprovar com l'enunciat del problema queda condicionat per l'entorn.

La informació proporcionada per aquest material pot ser aprofitada de forma extraordinària per un observador encuriós, o per un professor que l'utilitzi per les seves classes per ampliar els coneixements dels seus alumnes mitjançant unes visites de camp de tipus virtual dins la mateixa aula.

Amb tot aquest material tan el professor a la classe, com l'alumne treballant individualment, es trobaran en una situació i amb unes eines semblants a les que té el professional del disseny d'estructures en la seva rutina laboral. Per una banda, tindrà el problema real a resoldre, l'estructura que pot visitar amb "visor", i per l'altra, els recursos que necessita per solucionar-lo: les taules, el programari de càlcul, les referències a les normatives, ... La idea és ensenyar i aprendre treballant.

2.2. Programari i "visor" d'exemples d'estructures.

La principal eina informàtica que es lliurarà amb el llibre és un programari d'anàlisi d'estructures anomenat "Estruwin". La primera versió d'aquest

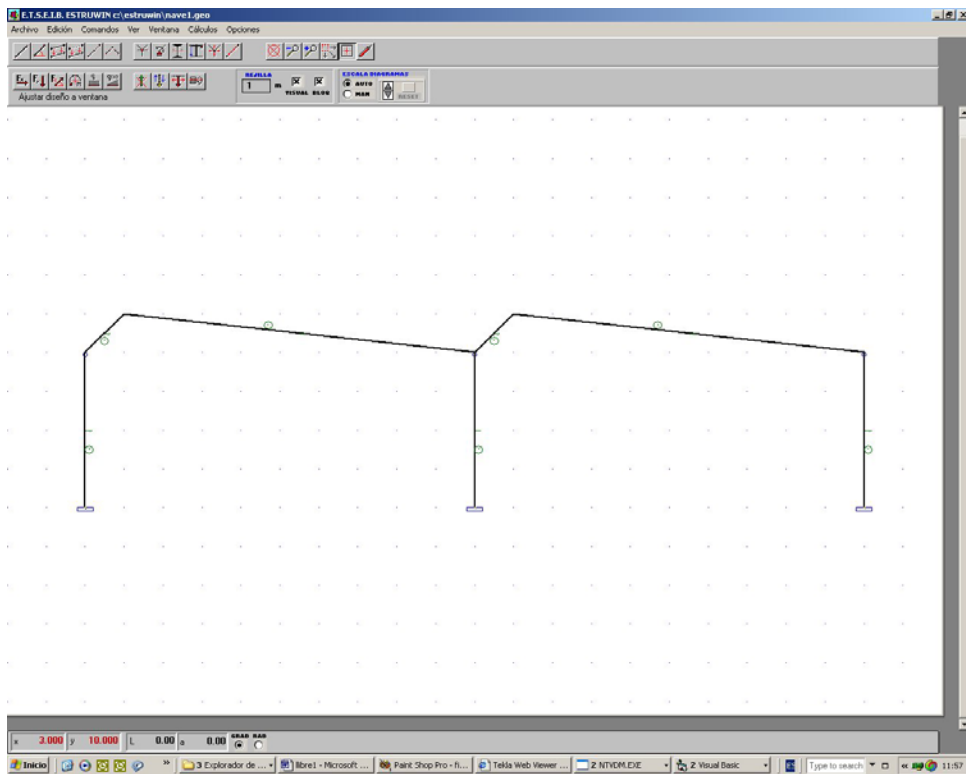


Fig. 3. Un model d'estructura en l'antiga versió d'ESTRUWIN.

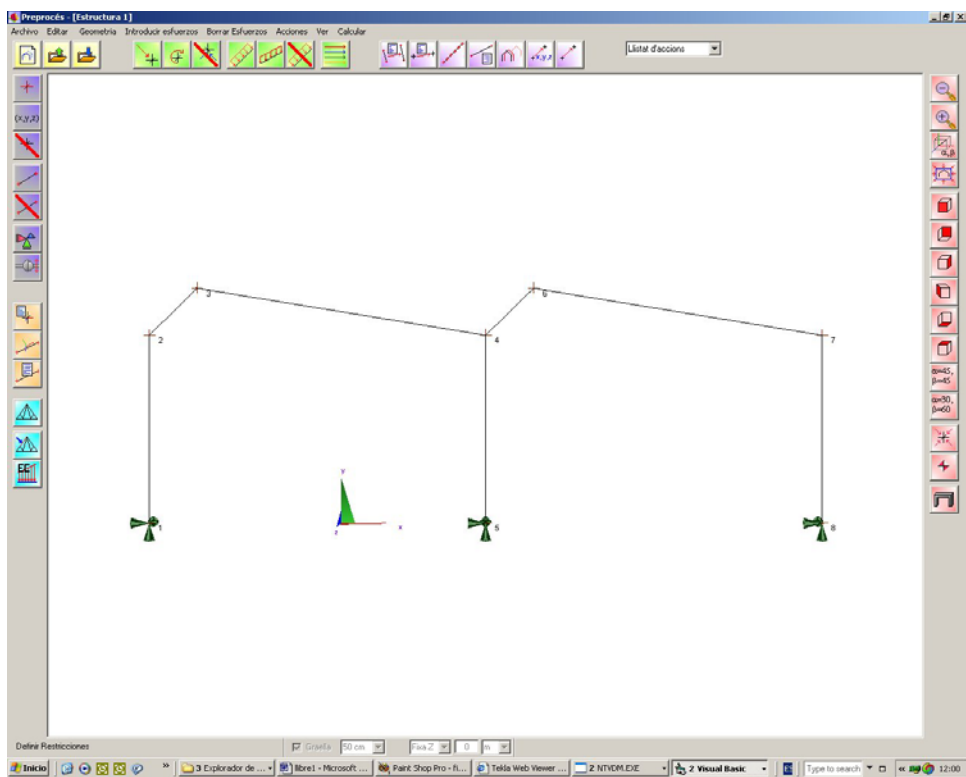


Fig. 4. Un model d'estructura en la nova versió d'ESTRUWIN.

programari fou desenvolupada l'any 1997 al Departament. Des d'aleshores s'ha fet servir amb èxit com a eina docent en l'assignatura obligatòria de Teoria d'Estructures i Construccions Industrials de les titulacions d'enginyeria industrial i química, així com també, en altres assignatures de la intensificació d'estructures i construcció. Les claus de la seu bon resultat a nivell docent han estat que es tracta de programari lliure i la seva fàcil utilització.

Amb motiu del projecte que es presenta, s'ha fet una nova versió d'aquest programari d'anàlisi, que de moment s'anomena "Estruwin'04". La nova eina millora a l'anterior en determinats punts del procés d'introducció del model de l'estructura i en el fet de que ara permetrà portar a terme anàlisis de sistemes tridimensionals. A més, tan en el preprocés com en el postprocés s'han inclòs algunes funcions que poden facilitar la comprovació de les estructures seguint els Eurocodis, com ara una que calcula automàticament totes les hipòtesis de càrrega que cal verificar segons aquestes normatives.

En aquests moments el programari està a pràcticament enllestit. Les figures 3 i 4 mostren dues sessions de treball, de l'antiga i la nova versió, respectivament. Queda pendent acabar la part de l'anàlisi en 2on ordre, que permetrà aplicar les opcions de càlcul més modernes i efectives que proposa "Eurocodi 3".

Estruwin anirà acompanyat d'altres eines informàtiques desenvolupades al Departament, procurant mantenir la coherència formal del conjunt del programari.

Per altra banda, hi ha una part del material docent del projecte que ja s'ha desenvolupat totalment, es tracta del "visor" i els exemples d'estructures reals en format electrònic. En total s'ha recopilat i revisat informació de nou estructures diferents. Els models d'estructura escollits són representatius de les tipologies habituals en la construcció metàl·lica, principalment de les utilitzades en la construcció industrial:

1. Nau industrial simple amb coberta a dues aigües i pont grua construïda amb perfils laminats en calent.
2. Naus industrials adossades amb pont grua construïda amb perfils laminats en calent.
3. Nau industrial construïda a base de pòrtics amb bigues en gelosia compostes per perfils laminats en calent (figura 5).
4. Nau industrial construïda amb gelosies de perfils tubulars conformats en fred.
5. Edifici d'oficines construït a base de perfils laminats en calent.

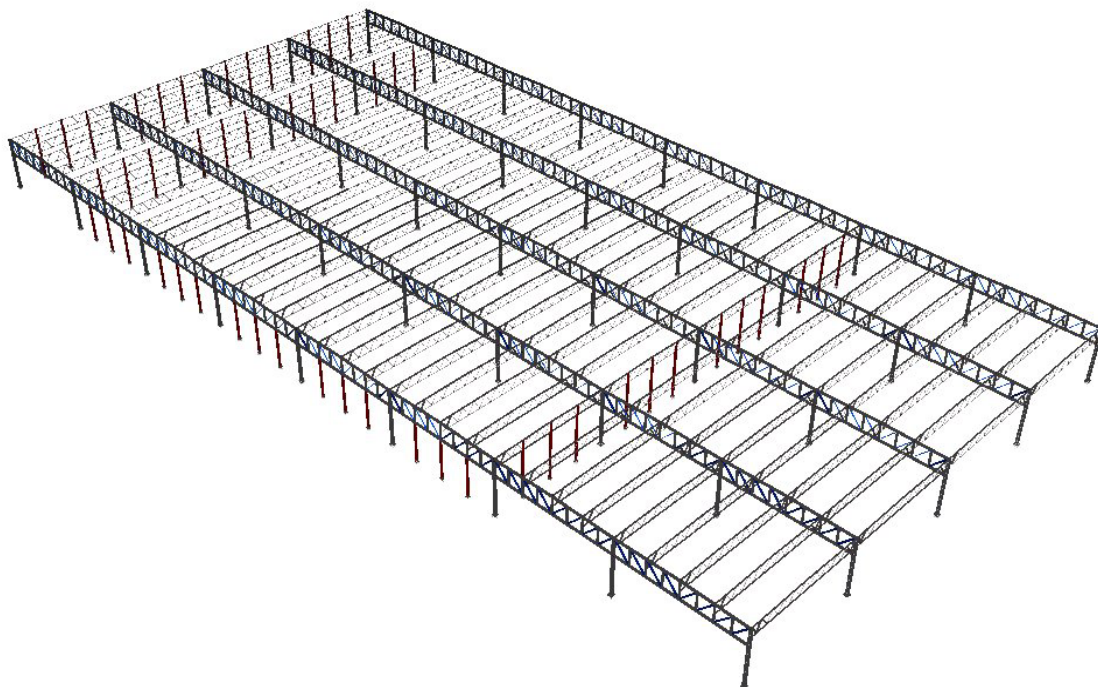


Fig. 5. Estructura a base de pòrtics amb bigues de gelosia.

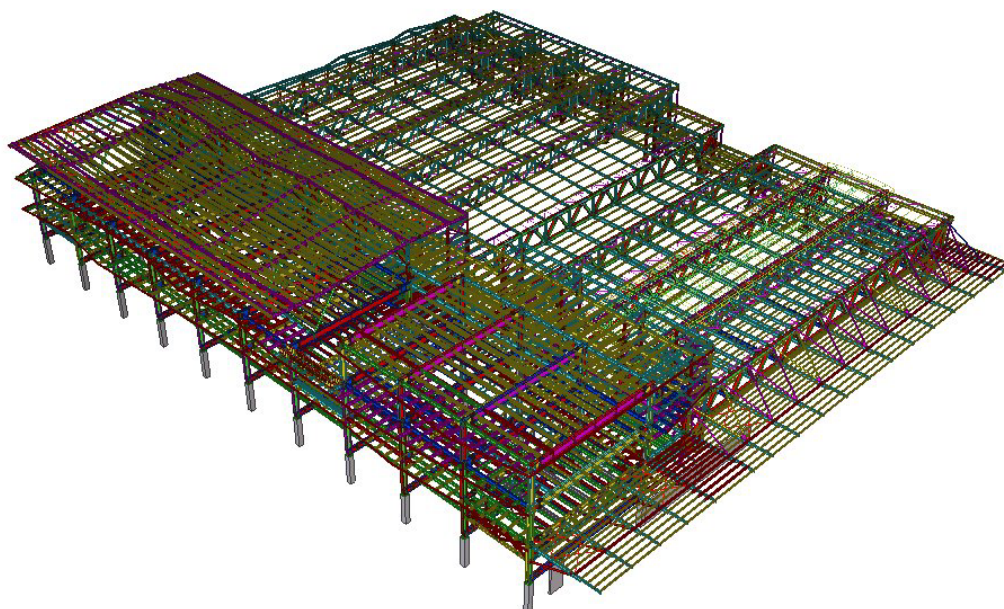


Fig. 6. Estructura del Centre Convencions Internacional de Barcelona.

6. Centre de convencions, congressos, fires o exposicions (Centre de Convencions Internacional de Barcelona, figura 6).

7. Edifici en alçada amb nucli de formigó armat i estructura metàl·lica penjant (Edifici del Consorci de la Zona Franca en la zona del Fòrum).

8. Edifici en alçada singular (Torre AGBAR).

9. Construcció singular (Nova torre de control de l'Aeroport de Barcelona).

Tots els exemples són reals i han estat construïts recentment. La informació sobre aquestes estructures va ser recollida per dos estudiants com a part del seu projecte fi de carrera [23], anant a consultar a empreses d'enginyeria, arquitectura i construcció d'estructures metàl·liques.

3. Resultats

El “visor” i els exemples, que es poden considerar les parts més innovadores del projecte, ja han estat utilitzats en activitats docents. En concret, s'han fet servir en tres cursos de característiques ben diferents:

1. Un curs d'inspectors de grau 3 de la Generalitat de Catalunya, amb assistents amb una formació molt variada i en molts casos amb un coneixement baix sobre estructures.

2. L'assignatura de “Teoria d'Estructures I” de la titulació d'Enginyeria Industrial. És una assignatura d'intensificació on els estudiants ja tenen uns coneixements bàsics sobre estructures, adquirits en una assignatura prèvia troncal de la titulació.

3. Curs de postgrau “Càlcul i disseny d'estructures metàl·liques segons Eurocodi-3” organitzat per la Fundació Politècnica de Catalunya, amb alumnes que acostumen a tenir una formació consolidada en el camp de les estructures, que en molts casos són professionals en aquest camp, i que volen aprofundir en el coneixement de la matèria.

En aquestes tres primeres aplicacions, el “visor” conjuntament amb els exemples han resultat ser una eina docent molt vàlida. Per una banda, van permetre explicar l'estructura bàsica d'una nau industrial a les persones amb pocs coneixements sobre la matèria; i, per l'altra, van permetre mostrar diferents solucions i detalls constructius en el curs que requereix uns continguts de nivell alt.

Com que encara no s'ha desenvolupat totalment el material previst en el projecte, no s'ha preparat cap acció per a la seva avaluació. De totes maneres, a la vista de com han anat aquestes primeres experiències d'aplicació, es creu que ja es poden remarcar quins són els seus punts forts: la bona qualitat dels dibuixos i el fet de que siguin tridimensionals facilita

molt l'explicació i la comprensió de les estructures; la classe expositiva es fa molt més atractiva; la possibilitat de navegar per l'interior de l'estructura incita a la inspecció curiosa i, per tant, a que l'usuari participi de forma activa en l'activitat d'aprenentatge; i, a més, el conjunt d'exemples escollits contenen un gran número de detalls constructius recollits de forma molt compacta (en el cas d'haver-ho elaborat en format paper hagués estat molt menys entenedor i manipulable). El fet de que els exemples són d'estructures reals i recents també dóna credibilitat i un atractiu addicional al material.

4. Conclusions

S'ha presentat un material docent concebut com una eina de suport a l'aprenentatge de l'estructura metàl·lica des d'un punt de vista pràctic. Aquest material inicialment es pensava com un llibre d'exemples de càlcul amb uns complements en forma de programari d'anàlisi i comprovació d'estructures, i de col·lecció de models gràfics d'exemples reals amb un "visor" per poder navegar pel seu interior.

De moment es pot dir que ja està completament desenvolupada la part dels exemples de les estructures reals i que, al final, aquests models han resultat ser una eina docent força potent, per ser utilitzada per professors en les seves classes expositives i per alumnes en el seu procés d'aprenentatge individual. El concepte de "visor" o navegador per models gràfics d'estructures supera totalment al dibuix clàssic o la fotografia, perquè permet tenir una gran quantitat d'informació en un format molt compacte, i perquè dóna la possibilitat d'inspecció personal de les estructures, induint a l'estudiant a adoptar una actitud activa davant dels exemples proposats.

El material presentat ha estat realitzat per un equip de persones relativament gran, que inclou professors i alumnes de l'Escola i, també, persones que treballen en empreses dedicades al disseny, càlcul i construcció d'estructures (veure següent apartat). Es vol apuntar aquí que l'experiència d'aquest treball en equip ha estat positiva i profitosa, i que ha estat gràcies a la participació de totes aquestes parts que el producte final és de bona qualitat.

5. Agraïments

Agrair a Daniel Porta i Xavier Vilatersana la feina de recopilació d'informació i revisió dels dibuixos de les estructures exemple, així com també esmentar a les empreses que han cedit aquesta informació i d'altre material utilitzat per a la realització del projecte:

1. Tallers metàl·lics i muntadors:

ELTE (Barcelona): torre Agbar (8), CCIB (6), edificació en alçada (7) i nau amb gelosies.

COMONOR (Lleó): nau a dues aigües amb pont grua (1), naus adossades (2) i edifici de dues plantes (3).

LAMA (Almeria): nau amb bigues de gelosia (4).

2. Oficines de càlcul:

BOMA, S.L. (Barcelona): torre Agbar (8), CCIB (6) i edificació en alçada (7).

MAP Arquitectos (Barcelona): torre Agbar (8), CCIB (6) i edificació en alçada (7).

INDELCA (Barcelona): nau amb gelosies (3).

3. Software:

TEKLA Corporation (Finlàndia).

CONSTRUSOFT, S.L. (Barcelona).

Albert Jiménez.

5. Referències

[1] Eurocode 3: Design of Steel Structures. CEN European Committee for Standardisation.

[2] R.Argüelles Álvarez, R. Argüelles Bustillo, F.Arriaga Martitegui, J.R. Atienza Reales. Estructuras de acero (I i II). MBH Bellisco. Ediciones técnicas y científicas. 1999 (I) i 2001 (II).

[3] José Monfort Leonart. Estructuras metálicas para edificación. Tomo I i II. Según criterios del eurocódigo 3. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 2002.

[4] José Monfort Leonart. Estructuras mixtas para edificación. Según criterios del eurocódigo 4. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. 2002.

[5] Pierre Bourrier et Jacques Brozzetti. Construction métallique et mixte acier-béton. Calcul et dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4. Éditions Eyrolles 1996

[6] Jaime Marco García. Fundamentos para el cálculo y diseño de estructuras metálicas de acero laminado. Comportamiento del material y esfuerzos básicos. Aplicados al Eurocódigo 3, Normas AISC y Normativa española (EA95). McGraw-Hill 1997.

[7] Graham W. Owens, Peter R. Knowles. Steel Designer's Manual. The Steel Construction Institute. Oxford Blackwell scientific publications 1994.

[8] Manfred A.Hirt, Rolf Bez. Traité de Génie Civil. De l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Volume 10. Construction métallique Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement. Presses polytechniques et universitaires romandes.

[9] Manfred A.Hirt et Michel Crisinel. Traité de Génie Civil. De l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne. Volume 11. Charpentes métalliques. Conception et dimensionnement des halles et bâtiments. Presses polytechniques et universitaires romandes.

- [10] R.P.Johnson and D.Anderson. Designers' Handbook to Eurocode 4. Part 1.1: Design of composite steel and concrete structures. Editions Thomas Telford. 1993.
- [11] Jean Morel. Calcul des structures métalliques selon l'Eurocode 3. Ed. Eyrolles.
- [12] ICT. Instituto para la Construcción Tubular. Guía de Diseño Para estructuras en celosía resueltas con perfiles tubulares de acero. 2004.
- [13] Jose Javier G-Badell. Diseño y cálculo por ordenador de estructuras metálicas bajo windows. Bellisco Ediciones Técnicas y Científicas.1999.
- [14] M.Y.H. Bangash. Structural Detailing in Steel. Edition Thomas Telford.2000.
- [15] Francisco López Almansa. Inestabilidad de estructuras de acero. Fundació Politècnica de Catalunya. 2003.
- [16] T..J.MacGinley & T.C.Ang. Structural Steelwork. Design to Limit State Theory. Butterworth Heinemann. 1992.
- [17] J.Wardenier. Perfiles tubulares en aplicaciones estructurales. ICT. Instituto para la Construcción Tubular. 2002.
- [18] José Monfort Lleonart, José Luis Pardo Ros, Arianna Guardiola Villora. Problemas de estructuras metálicas. Según los criterios del eurocódigo 3. Editorial Universidad Politècnica de Valencia. 2002.
- [19] J.J.Benito Muñoz, R.Álvarez Cabal. Ejercicios de Estructuras Metálicas. Universidad Nacional de Educación a Distancia. 1995.
- [20] Rafael Martinez Lasheras. Ejercicios de Estructuras Metálicas. Conforme al EUROCÓDIGO 3. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Servicio de Publicaciones. Colección Escuelas.
- [21] Jaques Brozzetti, Manfred A.Hirt, Rolf Bez. Complément aux Traités de Genie Civil Construction métallique Exemples numériques adaptés aux Eurocodes. Presses Polytechniques et universitaires Romandes. 1995.
- [22] Ioanis Vayas, John Ermopoulos, George Ioannidis. Anwendungsbeispiele zum Eurocode 3. Ernst&John. 1998
- [23] Daniel Porta, Xavier Vilatersana, Recopilació, descripció estructural i disseny gràfic d'estructures metàl·liques per a l'elaboració de material docent multimèdia. Projecte de Fi de Carrera. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. 2005.