

# ELABORACIÓN DE SOFTWARE PARA LA SUPERVISIÓN IN SITU DE EJERCICIOS PRÁCTICOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS CON ENUNCIADO PERSONALIZADO

**Suárez Medina, Javier, Granados Romera, Juan José,  
Chamorro Alfonso, Carlos**

Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica  
E.T.S. de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos  
Universidad de Granada  
Edificio Politécnico, Campus Fuentenueva s/n, 18071, Granada

e-mail: fjsuarez@ugr.es, web: <http://meih.ugr.es/>

e-mail: jjgr@ugr.es, web: <http://meih.ugr.es/>

e-mail: cchamorro@ugr.es, web: <http://meih.ugr.es/>

**Resumen.** *La ponencia que se presenta, expone la experiencia de los autores en el desarrollo de las clases de la asignatura ESTRUCTURAS II de la ETS de Arquitectura de la Universidad de Granada, consistente en el desarrollo de ejercicios prácticos semanales con enunciado personalizado para cada alumno, previa elaboración de software que permite la supervisión y corrección in situ de los mismos.*

*El objetivo de esta metodología docente, es la mejora de los tradicionalmente muy bajos índices de rendimiento académico en las asignaturas de Análisis de Estructuras, en las escuelas de ingeniería y arquitectura, propiciando la participación activa del alumnado en el desarrollo de las clases mediante el planteamiento y resolución de ejercicios prácticos de enunciado personalizado.*

*Mediante la elaboración por el profesor de programas de ordenador que ejecutan los algoritmos de resolución de los ejercicios previamente seleccionados, es posible la supervisión y evaluación in situ de los mismos, planteados con enunciados personalizados y resueltos en clase por cada alumno bajo la dirección del profesor. La metodología docente que se presenta, propicia la participación activa del alumno en el desarrollo de las clases prácticas, y permite la evaluación continua de su trabajo.*

**Palabras clave:** Estructuras, Software, Matricial.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se expone la experiencia de los autores en el desarrollo de las clases prácticas de análisis de estructuras, en la asignatura ESTRUCTURAS II de la ETS de Arquitectura de la Universidad de Granada, consistente en el desarrollo de ejercicios prácticos semanales con enunciados personalizados para cada alumno, previa elaboración de software que permite la supervisión y corrección in situ de los mismos. El objetivo de la metodología docente que se presenta, es la mejora de los tradicionalmente muy bajos

índices de rendimiento académico, en las asignaturas de Análisis de Estructuras de las escuelas de ingeniería y arquitectura, propiciando la participación activa del alumnado en el desarrollo de las clases mediante el planteamiento y resolución de ejercicios prácticos semanales de enunciado personalizado.

## 2. ANTECEDENTES

El cálculo y análisis de estructuras constituye una de las disciplinas básicas en las carreras de ingeniería y arquitectura. El objetivo de las asignaturas de estructuras, es conseguir que el alumno, a partir de la comprensión de los fundamentos teóricos del comportamiento mecánico de los materiales, asimile una serie de metodologías para el dimensionamiento práctico de elementos estructurales reales.

La enseñanza tradicional del cálculo de estructuras consiste en la resolución por parte del profesor de una serie de ejercicios prácticos, previamente seleccionados para que recojan los aspectos conceptuales más relevantes del comportamiento estructural.

La resolución completa de un ejercicio de estructuras, aún tratándose de ejemplos sencillos, es un proceso de larga duración, con múltiples fases susceptibles de producir pequeños errores de cálculo, que impiden alcanzar el final del ejercicio y comprobar la bondad del planteamiento inicial mediante la autocomprobación del equilibrio de las reacciones de apoyo.

El alumno transcribe la resolución de cada ejercicio práctico desarrollada por el profesor en la pizarra, y la archiva hasta el momento de su estudio, con la inevitable tendencia a hacer un ejercicio de memorización de casos resueltos, lo que dificulta la asimilación de los conceptos, con el agravante añadido de que, habitualmente, los apuntes del propio alumno contienen múltiples errores de transcripción.

El aprendizaje de la mecánica de las estructuras debe de realizarse mediante el planteamiento por el propio alumno de una secuencia de esquemas de esfuerzos equilibrados, de tal forma que si los sucesivos planteamientos se han hecho de forma correcta, se llega al resultado correcto, evitando la tendencia del alumno a recurrir a la memorización de los procesos desarrollados por el profesor, normalmente con abundantes errores en la transcripción de los mismos.

La evaluación del alumno se hace mediante la realización de un examen, consistente en la resolución completa de varios ejercicios prácticos. Debido a que son ejercicios largos, es alta la probabilidad de cometer pequeños errores de cálculo, que impiden alcanzar el final del ejercicio en condiciones de autocomprobación de equilibrio de reacciones, dificultando la detección por parte de profesor, de errores en los conceptos de comportamiento estructural.

La consecuencia de la metodología tradicional descrita son los valores, tradicionalmente muy bajos, de los índices de rendimiento académico. Más del 50% de los alumnos matriculados ni siquiera se presenta al examen.

## 3. METODOLOGÍA PROPUESTA

Mediante la elaboración por el profesor de programas de ordenador que ejecutan los algoritmos de resolución de los ejercicios prácticos previamente seleccionados, es posible la supervisión y evaluación in situ de los mismos, planteados con enunciados personalizados y resueltos en clase semanalmente por cada alumno bajo la dirección del profesor. La metodología docente que se propone, propicia la participación activa del alumno en el desarrollo de las clases prácticas, y permite la evaluación continua de su trabajo.

Las clases de la semana se agrupan en dos bloques, bloque teórico (20%) durante el cual se exponen los conceptos y desarrollos teóricos necesarios, y bloque práctico (80%), dedicado a la resolución de ejercicios prácticos.

El ejercicio práctico semanal, es planteado por el profesor en la pizarra, estableciendo los datos del problema de forma personalizada para cada alumno; por ejemplo, el valor de la carga aplicada en el nudo B es igual, en toneladas, a 10 por el último dígito significativo del DNI.

El profesor expone un esquema del proceso de resolución del ejercicio. El alumno, de forma individual o en grupos de dos o tres, desarrolla el ejercicio práctico, con la tutoría y asistencia permanente del profesor, el cual, con la ayuda de un ordenador portátil, y con programas de ordenador desarrollados expresamente, puede ir comprobando en el momento, la bondad de los resultados parciales obtenidos por cada alumno. Como cada alumno trabaja con datos personalizados, si quiere llegar al final, no le queda otro camino que involucrarse de lleno en la comprensión del proceso de resolución.

En la última media hora de clase, se recoge el ejercicio práctico, y una vez recogido, el profesor expone en la pizarra la resolución completa del mismo, estableciéndose un auténtico debate espontáneo con alta participación del alumnado (no en vano durante varias horas ha estado concentrado en el mismo), sobre el proceso de resolución.

Durante la semana, y con la ayuda de los programas de ordenador desarrollados, el profesor puede supervisar y corregir el ejercicio personalizado y resuelto por cada alumno, comunicándole los resultados y devolviéndole el ejercicio en la semana siguiente. La evaluación de las prácticas semanales se adjunta a la evaluación del examen final para formar la nota final.

Con la metodología propuesta se consigue una mayor participación del alumno en clase y por lo tanto en el desarrollo del curso, y en consecuencia se mejora notablemente el rendimiento académico.

#### **4. EJEMPLO DE PRÁCTICA CON ENUNCIADO PERSONALIZADO**

A continuación varias imágenes generadas por el software de resolución de un problema concreto.

**ETS de ARQUITECTURA. ESTRUCTURAS II. Grupo C. CA 2008/09 Ejercicio práctico nº 5**

APELLIDOS: \_\_\_\_\_ NOMBRE: \_\_\_\_\_ D.N.I.: \_\_\_\_\_

**En la estructura representada en la figura (emparrillado) las barras AB y BC están sometidas a una carga uniformemente repartida de  $q$  Tn/ml. Mediante análisis matricial calcular el movimiento del nudo B, el esfuerzo del tirante BD y las reacciones en los apoyos.**

**Características de las barras AB y CD:**

$E = 2 \cdot 10^6$  Tn/m<sup>2</sup>

$\nu = 0,15$

Sección: { canto 50 cm  
ancho 30 cm

**Características del tirante BD :**

$E = 2 \times 10^7$  Tn/m<sup>2</sup>

$\Omega = 10$  cm<sup>2</sup>

**q: 10 x última cifra significativa DNI**

**M: penúltima cifra significativa del DNI**

**L: antepenúltima cifra significativa del DNI**

Figura 1. Enunciado personalizado del ejercicio práctico

Características de las barras:

Barras	Ancho (m)	Canto (m)	Area (m <sup>2</sup> )	L (m)	E (Kp/cm <sup>2</sup> )	E (Tn/m <sup>2</sup> )	Iz (m <sup>4</sup> )	J (m <sup>4</sup> )	EAL (Tn/m)	Elz (Tnm <sup>2</sup> )	Elz/L (Tnm)	Elz/L <sup>2</sup> (Tn)	Elz/L <sup>3</sup> (Tn)
a	0,35	0,5	0,175	4	200000	2000000	0,0036	0,00543	87500	7291,6667	1822,9167	455,729167	113,9322917
b	0,35	0,5	0,175	4	200000	2000000	0,0036	0,00543	87500	7291,6667	1822,9167	455,729167	113,9322917

Barras	2Elz/L (Tnm)	4Elz/L (Tnm)	6Elz/L <sup>2</sup> (Tn)	12Elz/L <sup>3</sup> (Tn)
a	3645,8333	7291,6667	2734,375	1367,1875
b	3645,8333	7291,6667	2734,375	1367,1875

Barras	E (Tn/m <sup>2</sup> )	$\nu$	G (Tn/m <sup>2</sup> )	GJ/L (Tnm)
a	2000000	0,15	869565,22	1180,93
b	2000000	0,15	869565,22	1180,93

Características del tirante:

Longitud (m)	5
E (Tn/m <sup>2</sup> )	20000000
Area (m <sup>2</sup> )	0,0012

Carga uniforme en barras (Tn/ml):

Barra a:

8

Barra b:

8

Matriz de rigidez de la barra a:

1180,93	0	0	-1180,93	0	0
0	1367,1875	2734,375	0	-1367,1875	2734,375
0	2734,375	7291,666667	0	-2734,375	3645,833
-1180,93	0	0	1180,93	0	0
0	-1367,1875	-2734,375	0	1367,1875	-2734,38
0	2734,375	3645,833333	0	-2734,375	7291,667

Matriz de rigidez de la barra b:

1180,93	0	0	-1180,93	0	0
0	1367,1875	2734,375	0	-1367,1875	2734,375
0	2734,375	7291,666667	0	-2734,375	3645,833
-1180,93	0	0	1180,93	0	0
0	-1367,1875	-2734,375	0	1367,1875	-2734,38
0	2734,375	3645,833333	0	-2734,375	7291,667

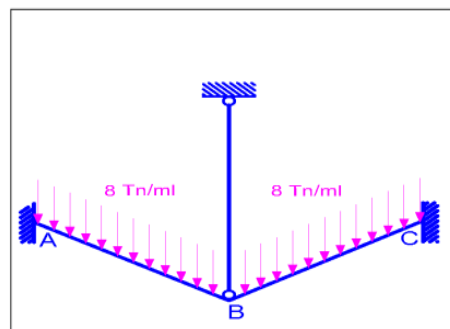


Figura 2. Características de los elementos estructurales

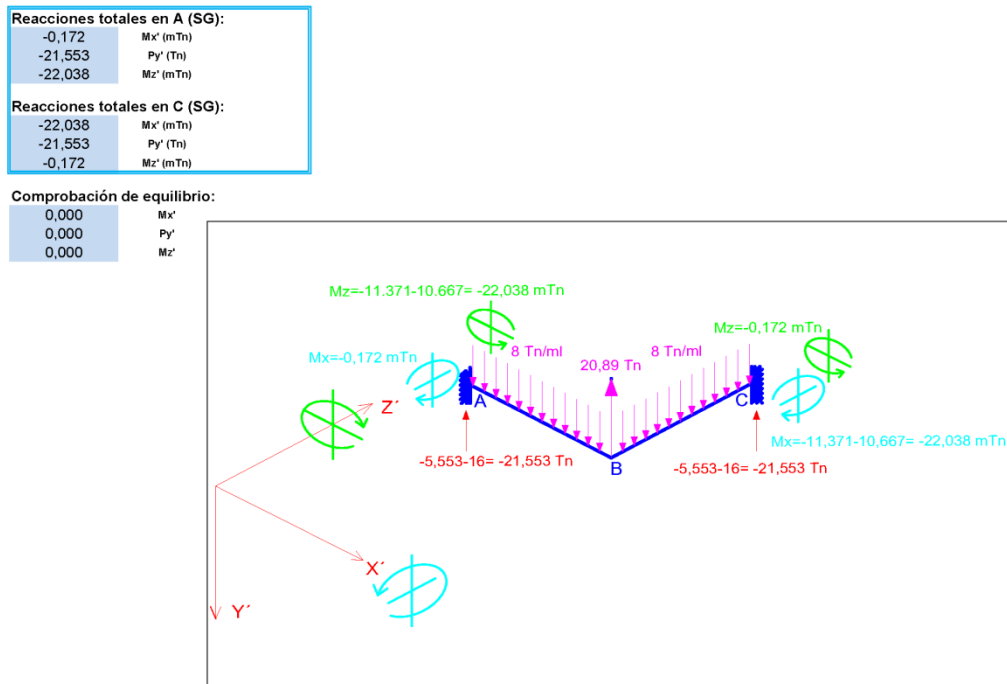


Figura 3. Resultado numérico del ejercicio

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evalúa la eficacia de la metodología docente propuesta, contrastando, relativos a cursos académicos sucesivos, los siguientes parámetros docentes: nº de alumnos matriculados en la asignatura, nº de alumnos que ha realizado la totalidad de las prácticas de estructuras correspondientes al curso académico, nº de alumnos que ha realizado un porcentaje elevado de las prácticas de estructuras correspondientes al curso académico, resultados de la evaluación de las prácticas realizadas, nº de alumnos que se presentan al examen final, nº de alumnos que han aprobado el examen, y correlación entre los alumnos que han aprobado el examen, y los alumnos que han realizado las prácticas correspondientes al curso académico

Como consecuencia de la aplicación de la metodología docente propuesta, se producen unos altos índices de asistencia a clase, así como un alto número de solicitudes de cambio de grupo de alumnos que han sido distribuidos por el Centro en grupos, en los que aún no se ha puesto en marcha el sistema propuesto.

Se incluyen a continuación los resultados obtenidos en los cursos 2007/08, 2008/09 y 2009/10, en la asignatura ESTRUCTURAS II grupo C de la ETS de Arquitectura de la Universidad de Granada, que ponen de manifiesto la eficacia de la metodología docente propuesta en el presente PID, al establecerse una fuerte correlación entre los alumnos aprobados y aquellos que han realizado un alto porcentaje de las prácticas propuestas.

Nº de alumnos que han realizado más del 80% de las prácticas	7	100%
Aprobados en Junio	7	100%
Aprobados en Septiembre	0	0%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	7	100%

Nº de alumnos que han realizado más del 70% de las prácticas	28	100%
Aprobados en Junio	17	61%
Aprobados en Septiembre	4	14%
Aprobados en Diciembre	2	7%
Aprobados	23	82%
Nº de alumnos que han realizado más del 50% de las prácticas	53	100%
Aprobados en Junio	27	51%
Aprobados en Septiembre	7	13%
Aprobados en Diciembre	2	4%
Aprobados	36	68%
Nº de alumnos que han realizado más del 10% de las prácticas	82	100%
Aprobados en Junio	27	33%
Aprobados en Septiembre	10	12%
Aprobados en Diciembre	2	2%
Aprobados	39	48%
Nº de alumnos que han realizado menos del 10% de las prácticas	74	100%
Aprobados en Junio	2	3%
Aprobados en Septiembre	3	4%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	5	7%

Tabla 1. Resultados correspondientes al curso académico 2007/2008.

Nº de alumnos que han realizado más del 80% de las prácticas	17	100%
Aprobados en Junio	11	65%
Aprobados en Septiembre	4	24%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	15	88%
Nº de alumnos que han realizado más del 70% de las prácticas	13	100%
Aprobados en Junio	8	62%
Aprobados en Septiembre	3	23%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	11	85%
Nº de alumnos que han realizado más del 50% de las prácticas	21	100%
Aprobados en Junio	5	24%
Aprobados en Septiembre	4	19%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	9	43%
Nº de alumnos que han realizado más del 10% de las prácticas	55	100%
Aprobados en Junio	2	4%

Aprobados en Septiembre	9	16%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	11	20%
Nº de alumnos que han realizado menos del 10% de las prácticas	37	100%
Aprobados en Junio	0	0%
Aprobados en Septiembre	0	0%
Aprobados en Diciembre	4	11%
Aprobados	4	11%

Tabla 2. Resultados correspondientes al curso académico 2008/2009.

Nº de alumnos que han realizado más del 80% de las prácticas	19	100%
Aprobados en Junio	10	53%
Aprobados en Septiembre	4	21%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	14	74%
Nº de alumnos que han realizado más del 70% de las prácticas	20	100%
Aprobados en Junio	8	40%
Aprobados en Septiembre	7	35%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	15	75%
Nº de alumnos que han realizado más del 50% de las prácticas	23	100%
Aprobados en Junio	2	9%
Aprobados en Septiembre	5	22%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	7	30%
Nº de alumnos que han realizado más del 10% de las prácticas	57	100%
Aprobados en Junio	1	2%
Aprobados en Septiembre	3	5%
Aprobados en Diciembre	0	0%
Aprobados	4	7%
Nº de alumnos que han realizado menos del 10% de las prácticas	32	100%
Aprobados en Junio	0	0%
Aprobados en Septiembre	1	3%
Aprobados en Diciembre	8	25%
Aprobados	9	28%

Tabla 3. Resultados correspondientes al curso académico 2008/2009.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados incluidos en el apartado anterior, correspondientes a tres cursos consecutivos y a la asignatura ESTRUCTURAS II grupo C de la ETS de Arquitectura

de la Universidad de Granada, ponen de manifiesto la eficacia de la metodología docente expuesta, al establecerse una fuerte correlación entre los alumnos aprobados y aquellos que han realizado un alto porcentaje de las prácticas propuestas.

El Proyecto de Innovación Docente que se presenta genera un instrumento que permite al profesor la evaluación continua del esfuerzo académico realizado por el alumno, lo que supone un importante incentivo para que el estudiante no abandone el curso de la asignatura, disminuyendo los altos índices actuales de alumnos no presentados y haciendo más eficaz el aprendizaje y obtención de las habilidades necesarias para desempeñar las futuras competencias.

## **REFERENCIAS**

Armenakas, A. E. (1991). *Modem Structural Analysis*, McGraw-Hill, ISBN: 0070023484.

McGuire-Gallagher (1983), *Matrix Structural Analysis*, John Wiley & Sons Inc., ISBN: 0471055352.

Rubinstein, M. F. (1967), *Matrix Computer Analysis of Structures*, Prentice-Hall, ISBN: 0135654815