

# REFUERZO DEL APRENDIZAJE MEDIANTE PRÁCTICAS DE ORDENADOR EN TEORÍA DE ESTRUCTURAS

Santamaría Manrique, Javier<sup>1</sup>, Oyarzabal de Celis, Olatz

1: Departamento de Ingeniería Mecánica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao  
Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea  
Alda. Urquijo s/n 48013  
e-mail: javier.santamaria@ehu.es, olatz.oyarzabal@ehu.es

**Resumen.** *El objetivo de este trabajo es describir la experiencia que se ha realizado en la asignatura optativa de 5º curso “Análisis y Diseño de Sistemas Estructurales” de Ingeniería Industrial en relación a la introducción como parte de la asignatura de unas prácticas de ordenador utilizando el software comercial de cálculo de estructuras TRICALC. El programa utilizado es muy utilizado en las empresas del entorno dedicadas al sector, lo que posibilita no solo que se adquieran conocimientos prácticos relativos al cálculo de estructuras sino que el alumnado se familiarice de una manera realista con el proceso del diseño estructural. En el trabajo se describe cómo se llevan a cabo las clases prácticas y qué tipo de ejercicios son propuestos para su resolución. El sistema de evaluación propuesto consigue una asistencia a las prácticas de prácticamente el 100% de los matriculados, aun no siendo obligatorias, y un gran interés en su seguimiento. La experiencia ha demostrado que a pesar de ser estudiados en teoría, conceptos como arriostramientos, longitudes de pandeo, uniones articuladas, etc. son verdaderamente entendidos durante la realización de la práctica. Las encuestas de evaluación muestran una satisfacción muy grande del alumnado con el desarrollo actual de la asignatura.*

**Palabras clave:** Prácticas de ordenador, Teoría de Estructuras

## 1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan la metodología y los resultados obtenidos en los últimos años en una asignatura de Ingeniería Industrial especialidad mecánica, a la hora de introducir unas prácticas de ordenador complementarias a las clases teóricas y prácticas de aula. El enfoque ha sido desde el principio no solo ayudar a preparar a los alumnos de cara a un posible futuro profesional en el campo del cálculo de estructuras, familiarizándolos con las herramientas de trabajo normalmente empleadas en la práctica, sino también la utilización de los ejercicios prácticos como apoyo necesario para reforzar y comprender conceptos estructurales explicados en teoría que de otra manera la experiencia ha demostrado que no son correctamente entendidos por los alumnos. En el trabajo se describe primeramente la asignatura y el programa informático, y a continuación se explica cómo se llevan a cabo las clases prácticas y el novedoso sistema de evaluación utilizado. Finalmente se exponen las conclusiones relativas a la asistencia, satisfacción del alumnado y porcentajes de aprobados.

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ASIGNATURA

La asignatura *Análisis y Diseño de Sistemas Estructurales* se imparte como asignatura optativa en la titulación de Ingeniería Industrial en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao. Forma parte de la intensificación en *Ingeniería Mecánica* y en ellas se aplican los conceptos teóricos aprendidos en *Resistencia de Materiales* al cálculo de estructuras. La matriculación está aproximadamente todos los años en torno a los 30-40 alumnos, la mayoría de los cuales se matriculan también en el resto de asignaturas de la intensificación. La asignatura se divide en dos partes: una está dedicada al estudio y cálculo de elementos y sistemas estructurales metálicos, con un enfoque práctico y orientado a la utilización de programas informáticos. Se tratan diversos temas relativos al análisis estructural, entre los que se encuentran morfología de las estructuras, cálculo de secciones metálicas, estudio del pandeo en barras y modelización de estructuras en programas de ordenador. En la otra parte se analiza el comportamiento de perfiles de pared delgada, muy utilizados en estructuras metálicas y con características especiales respecto a tensiones tangenciales y a su rigidez. En relación con la primera parte, se ha introducido como complemento necesario a la asignatura unas prácticas de ordenador con el objetivo claro de que el alumnado tome contacto con la modelización y análisis realista de estructuras en las empresas, y tome conciencia por sí mismo de los problemas prácticos que siempre aparecen cuando se modeliza una estructura por ordenador.

## 3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

El Software utilizado en las prácticas es el programa TRICALC (Tricalc). Se trata de un software típico de cálculo de estructuras mediante el método de la rigidez, utilizando nudos y elementos barra (aunque también dispone de módulos más avanzados de cálculo de forjados, muros o losas de cimentación por ejemplo). Este programa es muy conocido y utilizado en las empresas de ingeniería que se dedican al cálculo estructural, por lo que aparte de reforzar los conceptos teóricos se consigue además que el alumnado se familiarice de una manera realista con el proceso del diseño estructural. En la elección de este programa respecto a otros se han tenido en cuenta los siguientes factores:

- El programa es utilizado en la práctica por las empresas profesionales. El alumno se familiariza con la forma de trabajar profesional en el cálculo estructural.
- La *interface* de usuario está muy elaborada y es muy intuitiva, con lo que se facilita su utilización por primera vez por parte del alumno y no hay que emplear mucho tiempo en explicar la entrada y salida de datos.
- Existen bases de datos completas con los perfiles más utilizados, y tanto los cálculos resistentes como las combinaciones de carga son fácilmente inspeccionados y se corresponden con la normativa actual, explicada en las clases teóricas.
- La empresa desarrolladora del software pone a disposición de los estudiantes de asignaturas relacionadas con el cálculo de estructuras, una versión completa y gratis para su descarga en su página web (Tricalc 2), que se puede utilizar sin restricciones durante todo el curso. Además, una versión de prueba con funcionalidades reducidas se puede descargar de forma inmediata por cualquier persona.

- El programa se caracteriza por la transparencia de los cálculos y por evitar su funcionamiento como “caja negra”, siendo posible examinar todos los pasos que se han efectuado hasta llegar a la solución planteada.
- Se pueden calcular estructuras en 2 o 3 dimensiones, integrando diferentes materiales así como tipos de cimentación y elementos superficiales en el mismo modelo.

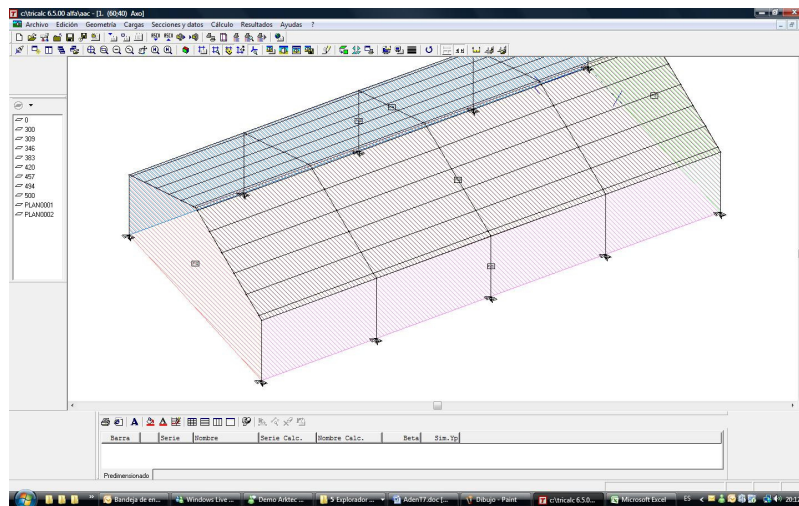


Figura 1. Ejemplo de estructura modelizada con el programa TRICALC

En las prácticas de esta asignatura se calculan los diagramas de esfuerzos de los elementos barra en estructuras bidimensionales y tridimensionales, y la resistencia de las secciones y barras de acero, incluyendo los efectos del pandeo.

#### 4. ORGANIZACIÓN DE LAS CLASES PRÁCTICAS

La clase se divide en varios grupos de prácticas, de tal forma que se intente no sobrepasar los 14 alumnos por grupo, tamaño con el que el enfoque de la práctica empieza a perder efectividad. En total son 4 clases prácticas de 2 horas de duración cada una. La última clase consiste en la realización de un ejercicio práctico de forma individual, que es objeto de evaluación.

Cada clase práctica se ha dividido en dos partes. En los primeros 45 minutos – 1 hora, el profesor explica los conceptos necesarios que se van a utilizar en la clase, y la forma de operar con el programa para modelizar los tipos de estructuras que se van a analizar. Los alumnos se disponen individualmente frente al ordenador, y van siguiendo a través del cañón de proyección la modelización del ejemplo hecho por el profesor al mismo tiempo que ellos lo modelizan en su puesto y se fijan en los comandos necesarios para su ejecución. También disponen de una pequeña ayuda impresa tanto de los comandos del programa como de los enunciados de los ejercicios.

En la segunda parte, los alumnos se juntan en parejas y el profesor les expone el enunciado de un ejercicio práctico relacionado con lo que se ha explicado en la parte anterior. Durante esa hora, cada pareja tiene que modelizar, calcular e interpretar los resultados del ejemplo propuesto, esta vez sin guía simultánea por parte del profesor, e intentar que los resultados finales al final de la clase coincidan con los correctos. Los ejercicios propuestos consisten en pórticos planos y estructuras tridimensionales modelizadas con elementos barra, para el análisis de esfuerzos, comprobación resistente

del acero, y optimización de secciones.

Durante esta segunda parte de la práctica los alumnos pueden pedir ayuda personal al profesor cuando sea necesario, bien porque no recuerdan la forma de introducir algún dato, bien porque no entienden los resultados que obtienen con el programa. En vista de la experiencia de estos años, se ha constatado que la resolución por parejas del ejercicio práctico propuesto incorpora varias ventajas: la práctica se hace más amena y satisfactoria para el alumno, se facilita que la mayor parte de ellos lleguen a la solución correcta en el plazo establecido, y posibilita el aprendizaje colaborativo.

## **5. AYUDA AL APRENDIZAJE**

Durante la realización de las prácticas los últimos años, se constata que hay determinados conceptos asociados a la modelización y el cálculo estructuras que son difíciles de asimilar por el alumnos en una clase teórica. A pesar de que la materia se ha explicado previamente, es en la segunda parte de la práctica cuando a los alumnos les asaltan dudas sobre la introducción correcta de los datos, la interpretación de los resultados y sobre todo la estimación de diversos parámetros como los coeficientes de pandeo. Además, el aprendizaje no se consigue de igual forma si el ejercicio es explicado por el profesor y seguido de forma simultánea por el alumno, es necesario dejar cierta libertad para que los conceptos problemáticos vayan surgiendo de forma natural y el alumno pueda reflexionar sobre ellos, y en el caso de no ser capaz de resolverlos solicitar la ayuda del profesor (Benito, 2007). Concretamente, y en vista de la experiencia de los últimos años, un resumen de los principales conceptos que no son correctamente asimilados durante las clases teóricas y sí en los ejercicios prácticos se expone a continuación:

- A la hora de modelizar la estructura, las barras no pueden sobrepasar los nudos intermedios. Es necesario cortar la barra cada vez que alcanza un nudo, y el alumno comprende que a efectos del modelo es equivalente una única barra que varias unidas rígidamente entre sí.
- Diferencia conceptual entre nudos empotrados (ligados a la cimentación) y uniones rígidas (giro único de todas las barras en el nudo de unión). Son conceptos distintos y en los programas se introducen de forma diferente, sin embargo existe siempre un porcentaje de parejas que empotran las uniones rígidas entre barras (aun habiendo sido explicado en teoría).
- Las uniones articuladas, en nudos donde confluyen varias barras especialmente. Las uniones se introducen en las barras y no en los nudos.
- Interpretación de la envolvente de los diagramas de esfuerzos en las barras. Las gráficas de resultados muestran valores positivos y negativos de esfuerzos en la misma sección, después del proceso de cálculo de la estructura. Los alumnos comprenden que lo que se muestra son los valores máximos de los esfuerzos al haberse realizado muchas combinaciones de carga diferentes, y entienden en ese momento la razón de ser las hipótesis de carga y las combinaciones.
- El proceso de cálculo de las combinaciones de carga se lleva a cabo tras calcular de forma separada las hipótesis individuales, mediante superposición lineal.
- El concepto de arriostramientos de una estructura, la inmovilización horizontal de nudos mediante triangulación, así como la influencia de la rigidez de las barras en el resultado de esfuerzos si la estructura es hiperestática.
- El cálculo de la estructura debe ser un proceso iterativo, y cualquier cambio en

ella conlleva necesariamente un nuevo cálculo de esfuerzos y secciones.

- Uno de los pasos más difíciles en el cálculo resistente de la estructura es una estimación correcta de los coeficientes de pandeo. Mediante la resolución práctica de un pórtico tipo de nave, los alumnos toman conciencia de los dos planos de pandeo, los problemas asociados a las longitudes de pandeo de barras con nudos intermedios y la modificación correspondiente de los coeficientes, de la necesidad de acotar los valores máximos que adoptan los coeficientes de pandeo en una determinada dirección, etc.

## **6. SISTEMA DE EVALUACIÓN**

La evaluación de las prácticas de ordenador es importante si se quiere que sean aprovechadas verdaderamente por los estudiantes. En este sentido, se recomienda dar una nota que sea considerada para la nota final de la asignatura. Así se ha hecho en esta asignatura pero con un enfoque que permita considerarlas como voluntarias por el alumno. De las dos opciones normalmente consideradas de cara a la evaluación, son conocidos los problemas que traen asociados:

- Prácticas obligatorias: casi nunca consiguen asistir todos los alumnos que se quieren presentar al examen, hay personas que trabajan y los horarios no son compatibles, hay que hacer “repescas” de última hora para aquellos que aprobando el examen no se presentaron a todas las prácticas, etc.
- Prácticas voluntarias: el alumno pierde motivación, la asistencia puede ser baja con el consiguiente desaprovechamiento de una parte importante de la asignatura para afianzar conceptos críticos, etc.

El método que se ha aplica en esta asignatura trata de incorporar las ventajas de las prácticas obligatorias y voluntarias. El alumno obtiene una calificación máxima de 2 puntos correspondiente a las prácticas de ordenador, a completar por la calificación obtenida en el examen final de tal manera que una nota baja en las prácticas no suponga una rémora en la nota final y por consiguiente puedan ser percibidas como voluntarias. Para ello, la nota del examen final se referencia no sobre 10, sino a los puntos que resten una vez calificadas las prácticas. Así por ejemplo, si un alumno obtiene los 2 puntos de las prácticas, el examen final se califica sobre 8 puntos, para que la nota final no supere la nota máxima de 10. El enfoque es conseguir que las prácticas sean voluntarias para los alumnos que no pueden o no quieren asistir (con un cero en prácticas se puede obtener un 10 en el examen final y en la nota final), pero valorando y contemplando como ayuda a la calificación final la asistencia y la correcta resolución de los ejercicios. Este método de evaluación ha funcionado muy bien estos años y el alumnado está muy satisfecho con esta opción.

## **7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

El sistema de evaluación propuesto consigue una asistencia a las prácticas de prácticamente el 100% de los matriculados, aun no siendo obligatorias, y un gran interés en su seguimiento (Rodríguez, 2003). De hecho, las parejas que no han podido terminar el ejercicio a tiempo cuando termina la clase se quedan más tiempo hasta conseguir que los resultados finales obtenidos sean los correctos. Este interés se debe entre otras cosas a que en la última práctica, deben resolver ellos mismos y de forma individual un ejercicio similar que se evalúa y se tiene en cuenta en la calificación final de la asignatura. En la figura 2 se ha representado el porcentaje de alumnos sobre el total de

matriculados que han asistido a las prácticas a lo largo de los últimos años, así como el porcentaje de presentados al examen final. Como se puede ver, la asignación de una nota que se tiene en cuenta para la calificación final hace que la gran mayoría de los matriculados opte por asistir a las 4 clases prácticas.

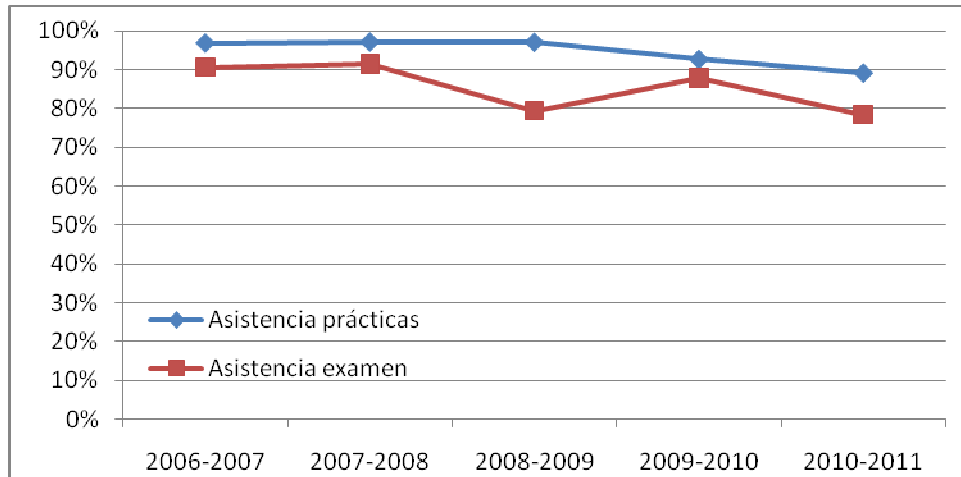


Figura 2. Porcentaje de presentados a las prácticas de ordenador y al examen final

Las encuestas de evaluación muestran una satisfacción muy grande del alumnado con el desarrollo actual de la asignatura. En la figura 3 se representa la valoración global de la asignatura (sobre 5) por los alumnos en los últimos años. Se puede ver además que desde que se incorporan las prácticas de ordenador con la metodología descrita anteriormente, la puntuación se incrementa significativamente, lo cual indica de alguna manera que el enfoque dado a las clases prácticas está relacionado con la valoración alta de la asignatura.

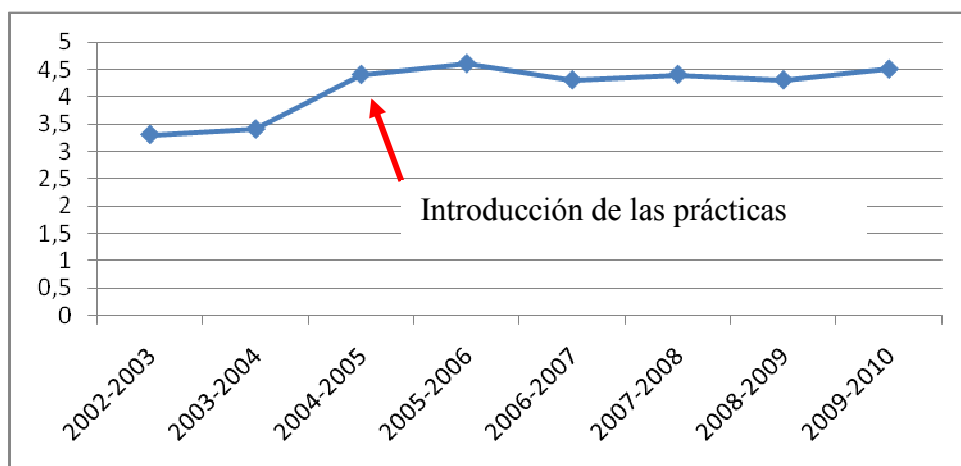


Figura 3. Resultados de la encuesta de evaluación al profesorado en los últimos cursos (sobre 5)

La figura 4 muestra la nota real que finalmente la calificación de las prácticas ha subido la nota final de la asignatura, distribuida por el número total de alumnos presentados al examen en este último curso 2010-2011. Hay que tener en cuenta que debido al sistema de evaluación explicado en el apartado anterior, una nota de 2 puntos en las prácticas no supone un incremento automático de 2 puntos en la nota del examen. Por ejemplo, si un

alumno obtiene un 10 en el examen, la calificación de las prácticas no subiría nada esta nota. A pesar de que la mayoría de los estudiantes obtienen los 2 puntos en las prácticas, la nota que verdaderamente se suma a la calificación del examen disminuye, tanto más cuando mayor sea la nota del examen.

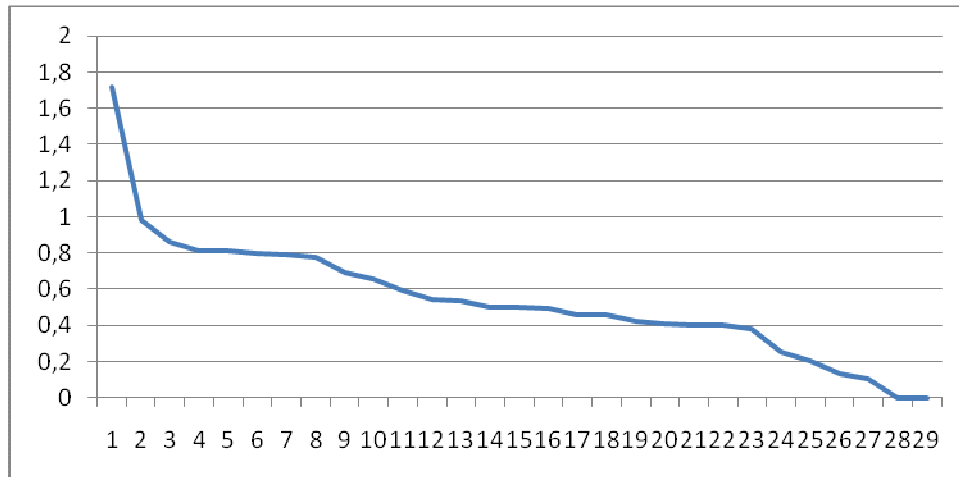


Figura 4. Distribución por alumnos de la nota real que ha supuesto la calificación de las prácticas en la nota total de la asignatura en este último curso 2010-2011

Por otro lado, el porcentaje de aprobados en la asignatura es muy alto, siempre entre el 90% y el 100% respecto al número de presentados. La introducción de las prácticas de ordenador, organizadas de la manera mostrada en apartados anteriores y con el sistema de evaluación propuesto, ha resultado muy satisfactorio desde el punto de vista del aprendizaje por parte del alumno de conceptos estructurales difíciles a veces de entender en clases teóricas, desde el punto de vista de su motivación durante las prácticas, y desde el punto de vista de su propia satisfacción con la asignatura.

## REFERENCIAS

Benito, A., Cruz, A. (2007). Nuevas claves para la docencia Universitaria en el Espacio Europeo de Educación Superior. Ed. Narcea. Madrid.

Rodríguez, R., Fernández, J., Alonso, A., Diez-Itza, E. (2003). El absentismo en la Universidad: resultados de una encuesta sobre motivos que señalan los estudiantes para no asistir a clase. *Aula abierta* n° 82, Oviedo.

Tricalc. <http://www.arktec.com.tricalc.htm>

Tricalc versión para estudiantes. [http://www.arktec.com/arktec\\_estudiante.htm](http://www.arktec.com/arktec_estudiante.htm)