

VII CONGRESO UNIVERSITARIO DE INNOVACIÓN EDUCATIVA EN LAS ENSEÑANZAS TÉCNICAS



HUELVA 15, 16 y 17 de septiembre 1999

ORGANIZA
Escuela Politécnica Superior de la Rábida
Conferencia de Directores de Escuelas de
Ingeniería Técnica Industrial

© 1999 VII CUIE

(Edit. lit.)

Sixto Romero Sánchez
Antonio J. Redondo García

Papel

Offset crema, 90 gr.

Encuadernación

Rústica, cosido hilo vegetal

ISBN

Obra completa: 84-931043-0-2

Volumen I: 84-931043-2-9

Depósito Legal

H-225-99

Imprime

Imprenta Sand

EL ORDENADOR COMO RECURSO DIDÁCTICO EN LAS ENSEÑANZAS TÉCNICAS: UNA EXPERIENCIA DE APLICACIÓN EN ELASTICIDAD Y MECÁNICA DE MATERIALES

T. Beléndez Vázquez

Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales
Escuela Politécnica Superior de Elche
Universidad Miguel Hernández
Campus de Elche. Avda. del Ferrocarril. s/n. 03202 Elche (Alicante)

RESUMEN

En este trabajo se presenta, junto con una introducción sobre el uso del ordenador como recurso didáctico en las prácticas de las titulaciones técnicas, una aplicación en las asignaturas de “Elasticidad y Resistencia de Materiales” y “Comportamiento Mecánico de los Materiales” haciendo uso de un *software* profesional basado en el método de los elementos finitos. Con estas prácticas se pretende complementar (nunca sustituir) las prácticas tradicionales de estas asignaturas.

1.- INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la tecnología requiere establecer una estrecha correlación entre los programas de estudio, sus contenidos y métodos, y los recursos didácticos necesarios para su enseñanza y aprendizaje. Aunque dentro de la metodología docente, el laboratorio siempre ha sido característico en la enseñanza de la tecnología, en la enseñanza tradicional en las Escuelas Técnicas ha primado la clase magistral impartida casi siempre por el profesor de mayor categoría, siendo el laboratorio una cenicienta encargada la mayoría de las veces a los profesores recién incorporados y, por tanto, menos formados. Sin embargo, hoy en día, y con el incremento de las horas dedicadas a las clases prácticas contemplado en la Reforma de los Planes de Estudio, el laboratorio debe pasar a tener un mayor peso en la formación de los futuros arquitectos e ingenieros que debe ir más allá del mero aumento de horas para sufrir una reforma tanto en sus objetivos y planteamientos como en los medios y recursos utilizados en el mismo.

El laboratorio ha sido siempre una característica inseparable de la enseñanza de las Ciencias Experimentales y la Tecnología, desempeñando un papel importante en la

formación de científicos e ingenieros. Las prácticas de laboratorio son fundamentales en la formación del estudiante de Escuela Técnica, proporcionándole un abanico de conocimientos que incluyen el manejo correcto de los instrumentos, la enseñanza de técnicas experimentales, la habituación con el cálculo de errores, la utilización de técnicas y metodologías empleadas en el desarrollo posterior de la profesión, etc. Otras razones para llevar al alumno al laboratorio son de tipo didáctico, pues pasa por ser un método fundamental y eficaz de aprendizaje y complementa a las clases teóricas en el logro de los objetivos propuestos. Será aquí donde el alumno encuentre el nexo de unión entre lo estudiado en los libros y apuntes y lo que es la realidad de una titulación técnica. Además las prácticas de laboratorio deben constituirse en aquellas actividades docentes en las que el alumno sea el principal protagonista.

Sin embargo, bajo la denominación de laboratorio hay que asumir unas instalaciones y unos medios no limitados al laboratorio normalizado tradicional en todas las Escuelas Técnicas. Los cambios tecnológicos y de innovación impulsan a la Universidad a nuevos modos de aprendizaje. Es aquí donde las nuevas tecnologías multimedia están llamadas a jugar un papel clave en la formación de los ingenieros del siglo que viene. Dentro de estas tecnologías cabe destacar el ordenador, cuyas posibilidades didácticas son inmensas, aunque no debe caerse en la improvisación y la precipitación en su uso. En este trabajo se presenta, además de una reflexión general sobre el uso del ordenador en las prácticas de laboratorio de las Escuelas Técnicas, una aplicación en las asignaturas de "Elasticidad y Resistencia de Materiales" y "Comportamiento Mecánico de los Materiales" de Ingeniería Industrial e Ingeniería de Materiales, respectivamente. Con estas prácticas con ordenador se pretende complementar (nunca sustituir) las prácticas tradicionales. Se han utilizando programas informáticos comerciales tanto educativos como profesionales, todos ellos basados en el método de los elementos finitos. El uso de los primeros, por su carácter eminentemente didáctico, presenta grandes ventajas en la enseñanza/aprendizaje de las asignaturas, mientras que los segundos, por su carácter claramente profesional, permite a los alumnos plantearse situaciones más o menos reales y resolverlas tal y como hacen muchos de los técnicos en el desarrollo de su profesión. Se comentan algunas ideas sobre las prácticas desarrolladas, sus objetivos, su estructura y metodología, así como sobre los resultados obtenidos en lo relativo a la aceptación y a los resultados obtenidos por los alumnos.

2.- EL ORDENADOR COMO RECURSO DIDÁCTICO

Un aspecto que debe tenerse en cuenta en la estructuración metodológica de cualquier asignatura y, en particular, de las materias que se imparten en la

Titulaciones Técnicas Universitarias, es el relativo a los recursos didácticos. ¿Pero, qué se entiende por recursos didácticos? Los recursos didácticos son todos aquellos medios materiales y humanos que, interpuestos en la corriente del proceso de la enseñanza, pueden contribuir a facilitar el aprendizaje. Son recursos didácticos, según esto, tanto la palabra como una pizarra, un proyector de diapositivas, las transparencias, una biblioteca, un ordenador, un vídeo, una televisión, el instrumental de laboratorio, etc.

La inclusión de las nuevas tecnologías en el proceso enseñanza/aprendizaje tiene como ventaja principal el progreso en los resultados educativos. Para comprender mejor el uso pedagógico de las nuevas tecnologías multimedia podemos tener en cuenta las ideas señaladas por De Pablos [1]:

- El uso de las nuevas tecnologías es la pieza más importante para promover y desarrollar un aprendizaje de más calidad.

- Promover el uso de nuevos medios implica crear condiciones adecuadas para aclarar cuales van a ser sus funciones, y su integración en el contexto de la enseñanza.

- La utilización pedagógica de medios requiere un proceso anterior de formación de los docentes.

Dentro de las nuevas tecnologías multimedia, el ordenador juega un papel fundamental como recurso didáctico frente a los modelos clásicos de enseñanza/aprendizaje.

El ordenador, que primeramente irrumpió en el mundo del saber como procesador de datos, pronto sirvió para que los científicos y técnicos, en sus respectivos ámbitos de trabajo, realizaran cálculos complejos o controlaran dispositivos sofisticados, superando de esta forma la primera idea del ordenador como sistema de almacenamiento, recuperación y difusión de información. Además, en la última década el ordenador ha entrado a formar parte de nuestra cultura moderna como lo atestigua su presencia en oficinas, industrias, centros escolares, universidades e incluso en nuestros propios hogares [2]. La eficacia de los programas de CAD, procesadores de texto, bases de datos, etc. no sólo ha sido probada en sus campos de aplicación respectivos, sino que también se están utilizando cada vez más en el campo educativo. El desarrollo de *software* adecuado está logrando que el ordenador sirva cada vez más para promover el aprendizaje de los alumnos, sobre todo en la enseñanza universitaria. La informática se está incorporando a gran velocidad en la enseñanza universitaria, como medio para simular fenómeno, como soporte para cálculos y modelos e incluso para realizar prácticas de laboratorio. Además, cada día se incorporan al mercado programas adaptados a muchas asignaturas e incluso es posible utilizar programas comerciales de los que usan los ingenieros y arquitectos en el desarrollo de su profesión, adaptándolos en cada caso a las características propias de la asignatura en cuestión.

La utilización del ordenador en la cadena del proceso enseñanza/aprendizaje debe tener como objetivo fundamental el incrementar la calidad y el rendimiento de la educación. Sin embargo, y a pesar de lo que en principio pudiera pensarse, esta tarea no resulta fácil. La informática no debe convertirse en un fin en sí misma, sino en un instrumento más en el tratamiento y análisis de la información. Hay que intentar que las prácticas con ordenador no se conviertan en una sucesión de pasos muy definidos que debe seguir el alumno, sino que deben intentar desarrollar en ellos una cierta capacidad operativa, incrementando la motivación y el interés del alumno. Con el uso del ordenador hay más posibilidades de que el alumno se enfrente a problemas reales, difícilmente abordables en una clásica clase de problemas desarrollada en la pizarra por el profesor. Las prácticas con ordenador tienen que ser más que un simple complemento de las clases teóricas. Su planteamiento debe ser tal que fuercen al alumno a pensar, razonar y actuar ante problemas concretos, y desarrollando también facultades de abstracción y concreción, así como una cierta capacidad creadora. Además, estas prácticas con ordenador no sólo deben servir para la visualización de los contenidos estudiados en las clases de teoría sino que, en la medida de lo posible, deben intentar familiarizarlos con la metodología de trabajo que deberán desarrollar en su profesión, acercándolos a la utilización de programas de ordenador no sólo educativos sino profesionales.

3.- LA MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS EN LAS ENSEÑANZAS TÉCNICAS

Cuando se estudia el comportamiento mecánico de los materiales que se utilizan normalmente en ingeniería como es el caso de los metales, polímeros, hormigón, rocas, maderas, etc., su respuesta es similar aún cuando sus estructuras físicas microscópicas son diferentes. Todos sufren en mayor o menor grado deformaciones, se degradan o se rompen. Esta es la causa fundamental de que sea posible explicar el comportamiento mecánico de los materiales desde un punto de vista macroscópico mediante la Mecánica de los Medios Continuos, sin hacer referencia a la complejidad de las estructuras físicas a nivel microscópico [3, 4]. La Mecánica de los Medios Continuos relaciona variables definidas matemáticamente algunas de las cuales (desplazamientos, temperaturas, cargas, etc.) pueden medirse por medio de ensayos a nivel macroscópico. Sin embargo, el conocimiento de las estructuras microscópicas de los materiales es importante a la hora de establecer las hipótesis para la formulación de las teorías macroscópicas.

En el sistema educativo universitario español el estudio de la Mecánica de los Medios Continuos se desarrolla en su mayor parte en las Escuelas Técnicas,

tanto en las titulaciones de ingeniería como de arquitectura. La materia básica, punto de arranque de posteriores estudios sobre Mecánica de los Medios Continuos, es la que se conoce como "Elasticidad y Resistencia de Materiales" [5]. Tradicionalmente, en los Estudios Universitarios de Ingeniería y Arquitectura se han incluido una serie de materias básicas -cursadas por los alumnos fundamentalmente en el primer curso- y que proporcionan una formación en Física, Química, Matemáticas y Dibujo. Estos conocimientos básicos, que no corresponden a asignaturas propiamente de Ingeniería, tienen como objetivo proporcionar los conocimientos científicos fundamentales que debe poseer todo estudiante universitario de una Titulación Técnica y que son necesarios, por una parte, para afrontar el aprendizaje de las asignaturas posteriores, y por otra, para desarrollar una capacidad operativa en la resolución de problemas prácticos, mediante la aplicación de leyes y conceptos generales.

Una vez que el estudiante ha cursado este tipo de asignaturas, es necesario introducirle en otro conjunto de materias que también deben considerarse como básicas, pero ahora propiamente de Ingeniería, las cuales se cursan en el segundo o el tercer curso, es decir, todavía en el primer ciclo. Aquí es donde encontramos la "Elasticidad y Resistencia de Materiales". La Elasticidad es una teoría básica e imprescindible para poder estudiar la Mecánica de Materiales. La comprensión de ambas es fundamental para que el estudiante de ingeniería y arquitectura pueda entender con éxito un gran número de materias específicas de diferentes campos como son la ingeniería de materiales, la ingeniería mecánica, la ingeniería civil o las construcciones arquitectónicas, rural, forestal, minera, naval o aeronáutica. El caso que estamos analizando en este trabajo es la "Elasticidad y Resistencia de Materiales" de Ingeniería Industrial, en la que se estudia la elasticidad lineal y el comportamiento de piezas prismáticas bajo el enfoque de la resistencia de materiales. El objetivo fundamental que planteamos en esta asignatura de primer ciclo es proporcionar una formación teórica y conceptual para poder plantear y resolver el diseño, análisis y comprobación de elementos resistentes simples.

El cuanto a la otra asignatura que se está contemplando en este trabajo, el "Comportamiento Mecánico de los Materiales", corresponde a una materia de segundo ciclo que puede encontrarse -con ésta u otras denominaciones- en Ingeniería Aeronáutica, Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y en la nueva titulación de Ingeniería de Materiales. Los contenidos de esta asignatura incluyen termomecánica de medios continuos, elasticidad y viscoelasticidad, plasticidad y viscoplasticidad y mecánica de la fractura. Entre los objetivos de esta asignatura cabe señalar los siguientes:

- Mostrar las posibilidades de representación del comportamiento mecánico lineal y no lineal de los materiales utilizando para ello modelos matemáticos.

- Dar una visión global y unificada de la Mecánica de los Medios Continuos, que no hace referencia a la complejidad de las microestructuras físicas del material.
- Proporcionar los conocimientos teóricos, y su aplicación práctica correspondiente, para el cálculo plástico, viscoelástico y viscoplástico.
- Presentar las bases de la mecánica de la fractura, analizando los tipos de fractura, su representación mecánica y los criterios de degradación.

4.- USO DEL ORDENADOR EN ELASTICIDAD Y MECÁNICA DE MATERIALES

Para el desarrollo de las prácticas de Elasticidad y Mecánica de Materiales asistidas por ordenador se hace uso de un programa de aplicación del método de los elementos finitos [6]. Como es sabido el método de los elementos finitos es el procedimiento más popular y extensamente utilizado en la actualidad para la discretización de problemas de mecánica de los medios continuos. Es una técnica numérica que permite la resolución aproximada de problemas estructurales complejos, cuyo planteamiento analítico según las teorías generales resulta prácticamente inabordable. El auge del método de los elementos finitos no ha sido fortuito, pues era previsible que la creciente potencia de los medios técnicos de cálculo mediante ordenador sería un estímulo para su desarrollo.

El análisis mediante el método de los elementos finitos sigue un patrón general que puede adaptarse universalmente a todos los sistemas discretos. Es por tanto posible definir un *sistema discreto tipo*. La existencia de una manera única de abordar los problemas discretos tipo nos conduce a una primera definición del método de los elementos finitos como un procedimiento de aproximación de problemas continuos, de tal forma que:

- (a) El continuo se divide en un número finito de partes (elementos), cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros.
- (b) La solución del sistema completo como ensamblaje de los elementos sigue precisamente las mismas reglas que se aplican a los problemas discretos tipo.

Numerosos métodos matemáticos clásicos de aproximación se incluyen en esta categoría, así como métodos de aproximación de naturaleza técnica (diferencias finitas, métodos variacionales, etc.).

Se ha utilizado un programa de ordenador, la versión para Universidades de ANSYS/Multiphysics, programa profesional de aplicación del método de los elementos finitos con amplia difusión. La utilización de este programa permite no sólo ofrecer la solución numérica de problemas con distinto grado de dificultad

sino que también proporciona los resultados en forma gráfica, además es una herramienta de enorme utilidad didáctica por sus múltiples posibilidades.

Son muy numerosas las áreas del conocimiento a las que puede aplicarse esta metodología. Temas tan diversos que abarcan desde los problemas más clásicos de la mecánica de estructuras lineales, sobre los que el método de los elementos finitos se desarrolló inicialmente, hasta los más complejos problemas no lineales, estáticos o dinámicos, en mecánica de sólidos, transmisión del calor, mecánica de fluidos, electromagnetismo, filtración en medios porosos, etc. En el caso particular que nos ocupa de la Elasticidad y la Mecánica de Materiales, como ya se ha señalado con anterioridad, se han propuesto una serie de prácticas haciendo uso de este programa. Los alumnos han tenido que desarrollar diversos ejemplos de aplicación con grado de dificultad creciente. Algunas de las prácticas propuestas son las siguientes:

- Análisis estructural de una presa de gravedad con hipótesis de deformación plana.
- Tubo de pared gruesa con hipótesis de deformación plana.
- Soporte con hipótesis de tensión plana.
- Torre de refrigeración como aplicación de la teoría de láminas.
- Análisis de una viga continua.

En la Figura 1 se muestra el enunciado de la primera de ellas, tal y como se proporcionaba a los alumnos.

Cada enunciado consta de los siguientes apartados:

- (a) Objetivo, donde se establece claramente el fin de la práctica.
- (b) Datos, donde se describe la geometría del problema y se proporcionan los valores numéricos de las cargas aplicadas y de las características mecánicas de los materiales utilizados. Normalmente se incluye un dibujo donde se modeliza el problema de forma esquemática.
- (c) Método, en el que se incluye información sobre el procedimiento a seguir a la hora de realizar los cálculos.
- (d) Cuestiones, que sirven para contrastar teoría y práctica, criticar el grado de validez de los resultados obtenidos y para conocer el grado de comprensión del alumno.

A diferencia de lo que suele hacerse con las prácticas de otras asignaturas no se incluye en el guión que se proporciona a los alumnos una sección dedicada al fundamento teórico de la práctica. De este modo se les obliga a consultar sus notas de clase o los libros recomendados para poder encontrar la formulación teórica que permite llevar a cabo la práctica. Actuando de esta forma se favorece una mayor participación del alumno en el trabajo práctico propuesto.

Las prácticas se desarrollaban una vez se había estudiado en las clases de teoría el tema correspondiente. Cada sesión de prácticas tenía una duración máxima

de tres horas y en ella se resolvía uno de los ejemplos propuestos. Los alumnos disponían de un ordenador para cada uno de ellos de modo que las prácticas se realizaban de forma individual. Cuando se había completado toda la serie de prácticas, los alumnos debían presentar una memoria, también de forma individual. En esta memoria debían incluir la metodología utilizada en la resolución de cada uno de los problemas, las dificultades que iban encontrando durante el desarrollo, los resultados numéricos solicitados y aquellos comentarios que considerasen interesantes.

De la experiencia realizada por primera vez durante el curso 1998-99 se puede concluir que, en general, los alumnos eran capaces de resolver sin mucha dificultad las prácticas propuestas. También es de destacar el interés y participación que se apreciaba durante el desarrollo de las clases prácticas.

Es importante señalar que la propuesta que se ha realizado no pretende sustituir las prácticas de laboratorio tradicionales como los ensayos mecánicos, sino que pretenden ser un complemento de las anteriores explotando las posibilidades que ofrece el ordenador como recurso didáctico. De hecho, los créditos prácticos se completan con prácticas clásicas como son los ensayos de tracción y compresión.

Figura 1.- Enunciado de una de las prácticas propuestas.

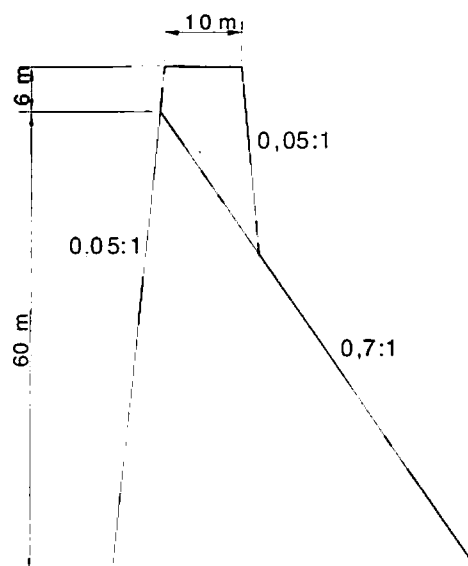
Análisis estructural de una presa de gravedad con hipótesis de deformación plana.

Objetivo: Realizar el análisis estructural de una presa de gravedad de hormigón, bajo hipótesis de deformación plana, sometida a las cargas de peso propio y presión hidrostática a embalse lleno.

Datos: Densidad, $\gamma = 2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Módulo de elasticidad longitudinal, $E = 20 \text{ GPa}$. Coeficiente de Poisson, $\nu = 0.2$

Método: Emplear como elemento finito el cuadrilátero de 8 nodos.

Cuestiones: (a) Valor del desplazamiento total máximo y punto donde se produce.
(b) Listado con la distribución de las tensiones principales obteniendo los valores máximos.
(c) Gráfico con la distribución de la tensión equivalente de Von Mises.
(d) Listado con el file.log que resuelve el problema.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] De Pablos, J. y Gotari, C. 1992. *"Las Nuevas Tecnologías de la Información en la Educación"*. Ed. Alfar, S. A. Sevilla.
- [2] Franco, A. 1991. *"El ordenador, instrumento de enseñanza de la Física"*. XXIII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física, Valladolid. 115-116.
- [3] Gere, J. M. y Timoshenko, S. P. 1998. *"Mecánica de Materiales"*. Ed. Internacional Thompson, México.
- [4] Ortiz Berrocal, L. 1998. *"Elasticidad"*. Ed. McGraw-Hill. Madrid.
- [5] Beléndez, T. 1998. *"Elasticidad y Resistencia de Materiales: Materia básica en los estudios universitarios de Ingeniería y Arquitectura"*. 8º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, Oporto (Portugal). 164-165.
- [6] Zienkiewicz, O. C. y Taylor, R. L. 1994. *"El Método de los Elementos Finitos. Formulación básica y problemas lineales"*. Ed. Mc. Graw-Hill. Madrid.