

Vol. 5, 2, 269-0 (1999)

**Revista Internacional de
Métodos Numéricos para
Cálculo y Diseño en Ingeniería**

Experiencias en la enseñanza asistida por ordenador de métodos numéricos para cálculo de estructuras

Elena Blanco, Lluís Gil, Benjamín Suárez y Eugenio Oñate

Dpto. de Resistencia de Materiales y Estructuras en la Ingeniería

E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Universidad Politécnica de Cataluña

Gran Capitán s/n, Módulo C1

08034 Barcelona, España

Tel.: 34-93-205 70 16, Fax: 34-93-401 65 17

E-mail:

Resumen

El aprendizaje de los nuevos métodos de cálculo de estructuras, utilizados en el análisis de problemas de ingeniería, no es una tarea fácil. Las herramientas de enseñanza tradicionales son insuficientes para mostrar la potencia de las técnicas numéricas de análisis. Partiendo de ello se ha desarrollado un entorno educativo que pretende superar los inconvenientes de los métodos clásicos de enseñanza, comenzando por los métodos matriciales para análisis de estructuras de barras y continuando con el método de los elementos finitos. El entorno educativo se ha desarrollado en base a tres bloques: teoría, ejemplos y ejercicios. Los dos primeros guían al usuario en una primera etapa de aprendizaje y finalmente el tercer bloque le permite experimentar con sus propios problemas reforzando su nivel de conocimientos. Los programas están dirigidos principalmente a estudiantes de las carreras técnicas y a los profesores y profesionales de empresas que deseen actualizar sus conocimientos. En este artículo se presentan algunas de las características de los programas educativos Vigas y Pórticos, ED-Tridim y ED-Elas2D y los resultados de su utilización real por estudiantes de escuelas técnicas.

EXPERIENCES IN COMPUTER AIDED TRAINING OF NUMERICAL METHODS FOR STRUCTURAL ANALYSIS

Summary

Nowadays learning modern computational strategies is not a simple task. Traditional teaching tools become unable to show clearly the real power of numerical analysis techniques. The authors have developed an educational environment to overcome the drawbacks of classical teaching methods. The learning process begins with stiffness matrix analysis and continues with finite elements method. The philosophy of the software packages focuses in three blocks: theory, examples and exercises. Theoretical aspects and examples guide the user through each stage of the analysis. Afterwards, users can experiment with their own problems to obtain a greater understanding for the process involved. The programs are addressed to both students and to academics and technical staff in universities and enterprises who wish to update their knowledge of modern computational techniques. This paper presents the methodology of the educational software products: ED-Beams and ED-Frames, ED-Tridim and ED-Elas2D, some real training experiences and statistical results.

INTRODUCCIÓN

En los cursos básicos de las Escuelas Técnicas se imparten actualmente, dentro de la disciplina del Cálculo de Estructuras, una serie de métodos clásicos de análisis, como el método de Navier-Bresse, el de Castigliano o el de los Tres Momentos. En los cursos más avanzados los alumnos abordan el estudio de métodos numéricos adecuados para su implementación en el ordenador, como los Métodos Matriciales para estructuras de barras y el Método de Elementos Finitos para estructuras continuas.

Si bien los métodos clásicos son muy apropiados para introducir los conceptos estructurales fundamentales, a la hora de su aplicación práctica se ven desbordados por la complejidad y ambición de los proyectos de ingeniería y arquitectura actuales. La variedad de los diseños a analizar hace difícil la programación sistemática en el ordenador de dichos métodos, por lo que los programas comerciales de cálculo de estructuras no los utilizan. Entre los métodos fácilmente programables pueden distinguirse dos grupos: uno formado por los métodos iterativos de relajación como Cross o Takabeya y otro donde se incluyen los métodos matriciales y de elementos finitos. Los métodos iterativos de relajación presentan el inconveniente de resolver un limitado número de problemas, además de la falta de convergencia y de la pérdida de precisión en algunos casos.

Los métodos matriciales aplicados al cálculo de las estructuras surgen en la década de los cuarenta, siendo difícil señalar un autor concreto¹. Si bien su utilización es relativamente reciente, los principios en los que se fundamentan fueron establecidos por Castigliano, Maxwell y Muller-Breslau². El éxito de estos métodos reside en una concepción sistemática y generalista de la solución que permite resolver cualquier tipo de problemas. La razón de su desarrollo tardío reside justamente en la necesidad de la utilización del ordenador para la resolución del sistema de ecuaciones que se genera.

En la actualidad el método de elementos finitos es utilizado para el estudio de una amplia gama de problemas de la ingeniería y de la física, sin embargo, sus primeras aplicaciones se realizaron precisamente para el análisis de problemas estructurales. Dentro del campo estructural y utilizando conceptos de los métodos matriciales, el método de elementos finitos permite resolver estructuras de tipo continuo con ayuda del ordenador³⁻⁴.

DIFICULTADES EN LA ENSEÑANZA DE LOS MÉTODOS NUMÉRICOS DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS

Es relativamente fácil transmitir los fundamentos matemáticos de los métodos numéricos de análisis de estructuras utilizando los medios clásicos de la enseñanza (papel, pizarra, libro, transparencias, etc.). En cambio, la aplicación práctica de estos conocimientos se encuentra con algunas de dificultades que limitan la asimilación de estas metodologías.

- 1) *Limitación en la complejidad.* El educador no puede desarrollar ejemplos complicados porque los tiles habituales de la docencia no son adecuados para mostrar la gran cantidad de matrices y operaciones que se producen en la resolución numérica de los problemas. Por lo tanto, se ve obligado a resolver estructuras muy sencillas que no son las más apropiadas para valorar la eficacia de los métodos numéricos. Desde la perspectiva del alumno es poco atractivo no poder abordar ejemplos reales que le estimulen y que justifiquen la utilización de estos métodos.
- 2) *Los programas existentes son cajas negras.* Los métodos numéricos de cálculo precisan de la utilización del ordenador. En general, los programas de análisis de estructuras existentes reducen el papel del usuario a la introducción de datos y a la obtención de los resultados, sin tener acceso a información detallada de las etapas intermedias del cálculo. Por lo tanto, la resolución de ejemplos prácticos se reduce a una utilización a ciegas del programa informático.

- 3) *Conocimientos avanzados de programación.* Una buena alternativa para comprender los métodos numéricos consiste en pedir al alumno que implemente o modifique los códigos de algún programa existente. De esta manera, se ve obligado a entender como funciona cada una de las etapas intermedias del análisis. El aspecto positivo es que el alumno se ve inmerso en el propio proceso de aprendizaje. Sin embargo, esta exigencia es fuerte, porque se basa en un buen conocimiento de programación que no siempre posee el alumno.

El objetivo principal de este trabajo es eliminar, dentro de lo posible, los inconvenientes señalados y ofrecer un complemento de carácter práctico que permita seguir y resolver cuestiones de cierta entidad y que no se pueden desarrollar en una pizarra o en un texto escrito⁵⁻⁶.

Debe destacarse que no se pretende eliminar la necesaria función docente del profesor, ni tampoco suprimir los libros de texto existentes. Por el contrario, ambos se consideran imprescindibles para obtener el máximo rendimiento de las sesiones educativas, tanto en las clases universitarias de grado como de postgrado.

INTRODUCCIÓN A LOS ENTORNOS EDUCATIVOS QUE SE PRESENTAN

En la experiencia que nos ocupa, y a partir de todas las consideraciones previas, se han seleccionado las siguientes opciones:

1. *Como materia a impartir* se consideran dos metodologías con un nivel de dificultad creciente. Se inicia la serie con el cálculo matricial de estructuras de barras y a continuación, se pasa al método de los elementos finitos. Cada programa se apoya en el anterior para reforzar y relacionar las metodologías de funcionamiento de estos importantes métodos numéricos en ordenadores.
2. *Como máquina de trabajo* se ha considerado el ordenador personal, el PC. La principal razón de su elección estriba en la gran difusión actual con que cuenta esta máquina. Hoy en día, casi todo el mundo tiene un ordenador personal a su alcance, y esta posibilidad facilita el éxito de difusión que un programa educativo debe tener.
3. *El sistema operativo* con el que se trabaja es Windows. En los últimos años Windows se ha impuesto en el mercado y por lo tanto, es fácilmente accesible. En principio las razones de su elección se basan en el aprovechamiento máximo que hace de las prestaciones de los PCs, y asimismo, en la riqueza de presentación gráfica y de interacción que entronca adecuadamente con las necesidades de un proyecto educativo.

En base a los esquemas pedagógicos lógicos del aprendizaje se han diseñado las aplicaciones informáticas, **Vigas y Pórticos**, **ED-Tridim** y **ED-Elas2D**⁷⁻⁹, de acuerdo con los siguientes bloques didácticos:

1. **Teoría:** la teoría consiste en un conjunto de archivos a los que el usuario puede acceder en cualquier momento para consultar dudas de carácter práctico. Los archivos de teoría constan de explicaciones breves, tratando de suministrar pistas y caminos más que desarrollar complejas cuestiones que se pueden encontrar en cualquier libro. Para presentación y uso se ha seguido el standard de Help de Windows con las facilidades del hipertexto.
2. **Ejemplos:** en esta modalidad los programas se convierten en tutores, la máquina toma el control de flujo del programa y muestra cómo debe resolverse paso a paso un problema estructural con los métodos numéricos seleccionados. Tanto la resolución del problema como la visualización de los resultados tienen carácter de exposición docente, con lo que el usuario juega un papel pasivo, sólo recibe información de la máquina. En el desarrollo de estas sesiones lo que se pretende es que el usuario entienda el proceso de cálculo.

3. **Ejercicios:** en esta parte los programas presentan gran riqueza interactiva. En ella se pretende que el usuario demuestre que ha asimilado los conceptos expuestos anteriormente en clase o en una sesión de *Ejemplos*. En esta ocasión es el estudiante quien se enfrenta al problema y debe resolverlo paso a paso. Ahora la máquina adquiere un papel pasivo, se limita a corregir los fallos del alumno, aunque también puede ofrecer ayuda y pistas acerca de la respuesta correcta. Tanto durante la resolución del problema como durante la visualización de resultados el usuario debe esforzarse por mantener en funcionamiento el algoritmo. Para ello, los programas no permiten seguir adelante en el proceso de cálculo hasta que el alumno da una respuesta correcta. Naturalmente, las ayudas permiten seguir para que el aprendizaje no quede bloqueado.

En virtud de la intención de los programas se ha hecho especial hincapié en la posibilidad de diseñar y confeccionar cualquier problema estructural que se desee, bien a través de la modificación de uno existente, o bien a través de la creación de uno nuevo.

DESCRIPCIÓN DE LOS ENTORNOS EDUCATIVOS

Los programas educativos, como se ha señalado anteriormente, se han desarrollado siguiendo tres niveles de estudio, el cálculo de vigas y pórticos planos por métodos matriciales, el cálculo de estructuras tridimensionales de barras con igual metodología y el cálculo de un sólido elástico según el método de los elementos finitos. A continuación se describen brevemente las características de cada programa.

Vigas y pórticos

Los programas educativos **Vigas** y **Pórticos** han marcado el inicio de esta línea de investigación. Los programas desarrollan el método matricial de equilibrio aplicado al estudio de vigas continuas (**Vigas**) y de estructuras reticuladas planas (**Pórticos**). Ambos programas siguen la organización anteriormente descrita. Una descripción más detallada de los programas se encuentra en las referencias⁷.

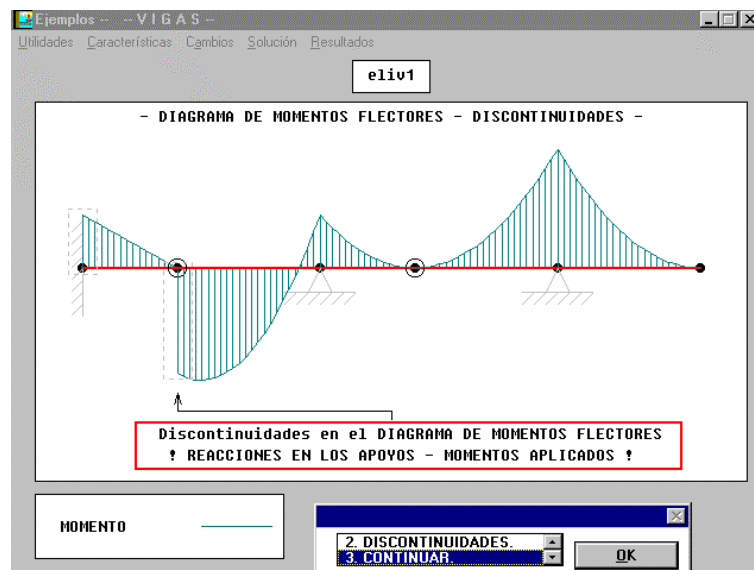


Figura 1. Programa Vigas. Diagrama de momentos flectores