

# Experiencia de aplicación de sistemas CAE en estudios de pregrado

**R. Armas Cardona, M. Plasencia Gutiérrez**

Departamento de Ingeniería Nuclear de la  
Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares del ISCTN  
Ave. Salvador Allende y Luaces  
Plaza, Ciudad de la Habana, Cuba.  
Tel: 782811  
E-mail: rarmas@rsrch.isctn.edu.cu; mplasencia@info.isctn.edu.cu,

(Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000)

## Resumen

Los estudiantes de pregrado reciben entrenamiento y experiencia en el análisis de diseño del mundo real que encontrarán. La motivación que se despierta en los estudiantes de pregrado al enfrentarse a la solución de problemas de resistencia y rigidez reales o a la solución de sistemas mecánicos de formas complejas, es elevada. La diferenciación entre las posibilidades de cálculo de modelos hechos a mano con los modelos desarrollados en computadora es grande y esto lo entiende perfectamente el estudiante de pregrado quien reconoce la poderosa herramienta de trabajo y diseño. Aún más, el estudiante se siente competente y a la vanguardia de la técnica.

Este trabajo consiste en mostrar los resultados obtenidos durante el proceso de enseñanza al aplicar un software de elementos finitos. Uno de los objetivos es alcanzar cierta estimación sobre el aprendizaje en las tareas de preprocesamiento, análisis y postprocesamiento ofrecidos por un sistema computacional de elementos finitos poco interactivo. En el curso de un semestre los estudiantes generan entidades paramétricas y no paramétricas, generan mallas de elementos finitos, plotean resultados, animan el cuerpo modelado y otras tareas características.

**Palabras claves: Elementos Finitos, aprendizaje, enseñanza, estudio.**

## 1. Introducción

El método del elementos finitos ha llegado a ser una herramienta poderosa en la solución numérica de un amplio intervalo de problemas de ingeniería. Como establecen Chandrupatla, T.R. y Belegundu, A.D. [1], con los avances en la tecnología de las computadoras y de los sistemas CAD, pueden modelarse problemas sumamente complejos con relativa facilidad. En una computadora pueden probarse varias configuraciones alternas antes, inclusive, de construir el primer prototipo. Todo esto sugiere que debemos modernizarnos, así como transmitir el conocimiento a nuestros estudiantes. La importancia que tiene aprender a modelar objetos de estudio en ambientes CAD en la actualidad resulta evidente partiendo de la máxima que establece “los estudiantes de hoy son los ingenieros de mañana y las herramientas que aprenden en las aulas serán las mismas que utilizarán en sus trabajos futuros”. Pero pocos son los centros tecnológicos de educación

superior en el mundo que ofrecen a sus estudiantes un curriculum dedicado al aprendizaje de un software de elementos finitos.

La Disciplina de Mecánica del Departamento de Ingeniería Nuclear de la FCTN, se propuso introducir en el curso académico 1999-2000 un sistema CAE por elementos finitos en el 3er año de la carrera, dentro de la asignatura “Elementos del Diseño de Máquinas Estáticas y a Flujo”.

La asignatura se organizó de la forma siguiente: Cada estudiante recibe una Guía Metodológica del Proyecto de curso que deberá ejecutar, donde se le describe toda la estructura del trabajo a realizar durante el semestre, así como se incorporan algunos contenidos básicos importantes de diseño. La asignatura contempla temas como el del cálculo de bridas y soldaduras, los procedimientos y métodos particulares de diseño, que no son motivos de modelación para el análisis por elementos finitos.

El Proyecto inicia su ejecución con la Tarea Técnica (datos de partida distintos para cada estudiante) que

recibe el estudiante individualmente. Las tareas técnicas son analizadas en seminario y contienen las principales informaciones sobre formas geométricas y dimensiones de los sistemas a modelar. Posteriormente, el estudiante tiene la opción de variar su tarea presentando la Proposición Técnica, como formas geométricas y dimensiones definitivas a desarrollar. La Proposición Técnica es aprobada por el profesor, siempre que cumpla con los grados de dificultad establecidos para cada tarea individual. La experiencia demostró que el alumno no posee el nivel de decisión, ni una idea acabada de la tarea que enfrentará para simplificarla.

La etapa de Anteproyecto la ejecuta el estudiante, a través de la modelación frente al software de elementos finitos. El Proyecto es defendido por el alumno junto a su computadora ante el tribunal y se auxilia de, esquemas, croquis y los planos principales que describen su instalación.

Las actividades evaluativas y de control tienen carácter obligatorio en la asignatura. La puntuación recibida por el estudiante constituye un criterio tanto de aprovechamiento docente, como de aseguramiento para la culminación en tiempo y forma del Proyecto de Curso individual. Son cinco actividades evaluativas, las dos primeras vinculadas a la discusión e interpretación de la Tarea Técnica y la discusión de la concepción de los elementos en la Proposición Técnica; las tres restantes están relacionadas con el chequeo del aprovechamiento, que demuestra el estudiante en la de los elementos en la etapa de anteproyecto.

## 2. La división de las entidades geométricas

Los primeros encuentros de los estudiantes con el ambiente del software *COSMOS/M* para DOS son relativamente difíciles, sin embargo, nuestros alumnos llegan al tercer año de la carrera con elevada experiencia y tiempo de trabajo en las computadoras, por lo que rápidamente a partir de los primeros ejercicios prácticos de modelación se alcanza cierta estabilidad en el trabajo.

El aprendizaje es posible dividirlo en tres grupos de clases: la práctica con las entidades geométricas paramétricas, las entidades geométricas no paramétricas y la práctica para la realización de ejercicios sencillos vinculados a la geometría del cuerpo que van a modelar. Esta división responde a que el grupo de estudiantes actual no tuvo la oportunidad de recibir clases en Auto CAD, como ya se tiene en estos momentos en los grupos de 2do. y 1er. Año.

Hemos definido el *Punto*, la *Curva*, la *Superficie* y el *Volumen* paramétricos en el espacio, como entidades

geométricas de bajo nivel, debido a la naturaleza sencilla en los procedimientos de su operación. A la modelación de ejercicios con entidades de bajo nivel se le dedicó una clase de práctica con el profesor y una clase de práctica independiente.

El *Contorno*, la *Región*, el *Poliedro* y la *Parte* corresponden a entidades geométricas clasificadas como de alto nivel. La ejercitación en el uso de las entidades no paramétricas de Contorno y Región se le dedicaron varias actividades prácticas frente al profesor e independientes del estudiante. Las entidades geométricas que se le dedicaron el mayor número de horas de estudio fueron la curva, el contorno y la región. Esto también responde al tipo de trabajo a modelar que cumplió el estudiante (recipientes).

Con un cierto dominio rudimentario de las entidades geométricas básicas y de aquellas de alto nivel, importantes para el trabajo de modelación del estudiante, se cumplimentó un ciclo de prácticas de modelación mediante el empleo de comandos particulares o especiales para el trabajo con geometrías típicas de recipientes. Entre ellos: *CRINTSS*, *CRBRK*, *CRONSF*, *CRPTBRK*, *CSYS*. Es importante que exista siempre un tiempo de actividad práctica independiente, donde el estudiante se ejercite haciendo el modelo de un cuerpo sencillo, utilizando los nuevos comandos conocidos. No cumplimentar este paso conduce a un apreciable incremento en el tiempo que necesita el alumno para modelar su trabajo con independencia. Es necesario recordar que a medida que esto ocurre el estudiante puede ir avanzando en el proyecto que deberá defender.

## 3. La malla de elementos finitos y las propiedades físicas

Después que el grupo de estudiantes ha avanzado en la modelación geométrica de su esquema particular, donde ya estén definidas esencialmente la regiones, se comienzan las actividades demostrativas del mallado automático con elementos finitos de la región. Para estos trabajos particulares se emplearon los elementos *Shell-3T* y *Shell-4T*. Las propiedades de los materiales empleados fueron el módulo de Young y el coeficiente de Poisson. No se requiere dedicar más de una actividad práctica para la malla y las propiedades físicas, donde se incluye en este caso el espesor de pared por el tipo de elemento definido. Con breves orientaciones del profesor y el uso de la ayuda del software, el estudiante es capaz de variar por sí mismo la densidad de la red, mediante el cambio del tamaño del elemento, previamente definido, por ejemplo, en la entidad *contorno*.

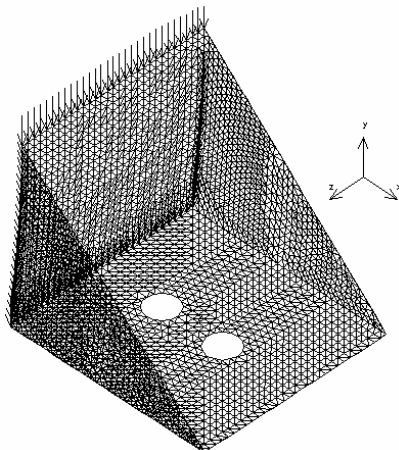
#### 4. Las cargas y las condiciones de frontera

Las cargas utilizadas en el ejercicio o modelo principal ejecutado fue de presiones en todas las superficies interiores del recipiente. No obstante, en el modelo de elemento soporte del recipiente cada estudiante aplicó fuerzas distribuidas en los nodos de la periferia. Se establecieron las restricciones de desplazamiento para los sectores pertinentes del recipiente y de los soportes. Los comandos de aplicación de cargas y de establecimiento de las restricciones de frontera, así como de varios de los manipuladores poco comunes de la imagen en pantalla, pueden tratarse en una actividad práctica solamente.

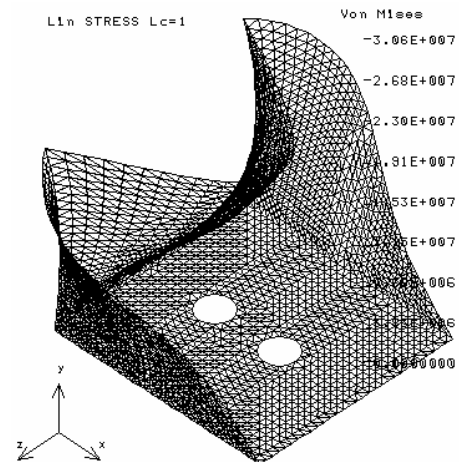
Modelar, analizar y procesar los resultados en el caso de las estructuras de los recipientes, previamente concebidas por los estudiantes no fue posible ejecutar por el factor tiempo. Se consideran que aquellos grupos de estudiantes que arriben al tercer año con la habilidad práctica del Auto CAD podrán cumplimentar su semestre habiendo modelado y procesado su diseño de estructura.

#### 5. Ejemplos de tareas desarrolladas por los estudiantes

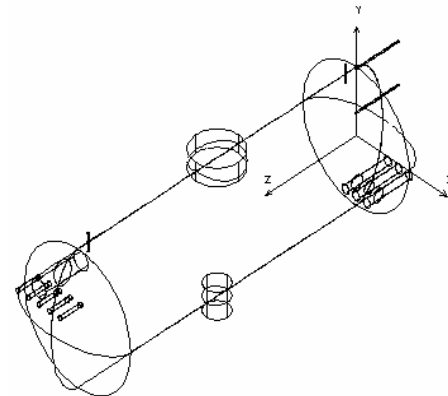
No se presentan en este trabajo los ficheros de salida de las corridas de los ejercicios de los estudiantes ni tampoco el contenido de cualquiera de los archivos .ses, correspondientes a las sesiones de trabajo de cada estudiante, por las grandes dimensiones, así como el gran volumen de información que ambos representan. De la Fig.1 a la Fig.9 se muestran ejemplos de recipientes con orificios y los soportes de algunos recipiente modelados.



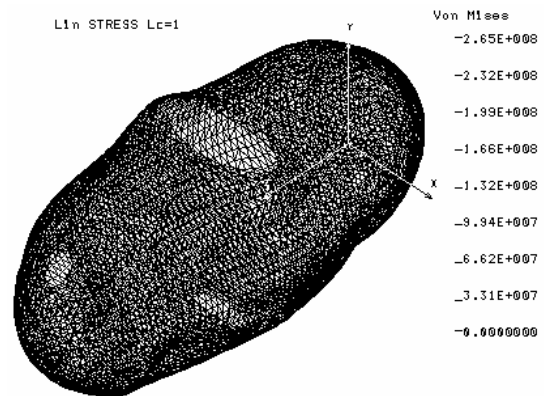
**Fig.1** Uno de los soportes creados. Cargado con fuerzas distribuidas (se omiten las restricciones)



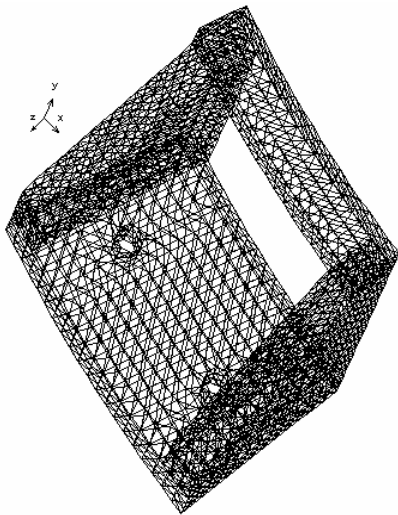
**Fig. 2** Distribución de tensiones del soporte de la fig.1 deformado.



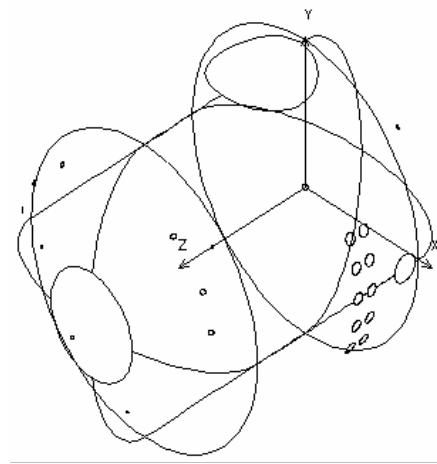
**Fig.3** Ejemplo de recipiente modelado.



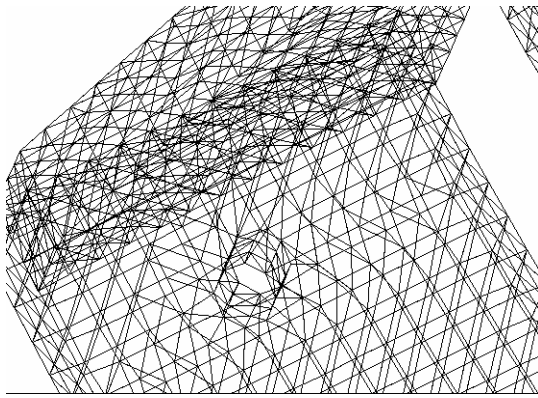
**Fig.4** El recipiente de la fig.3 mallado y deformado por las presiones interiores



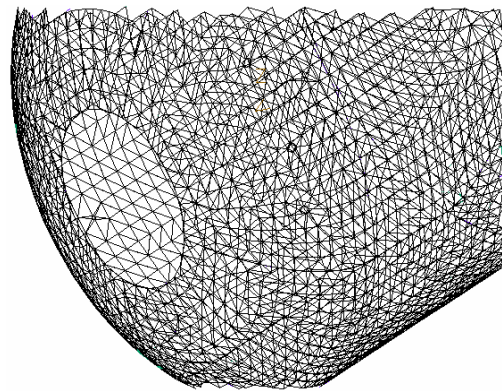
**Fig.5** Soporte generado por Poliedros y Partes con elementos TETRA4. Figura rotada.



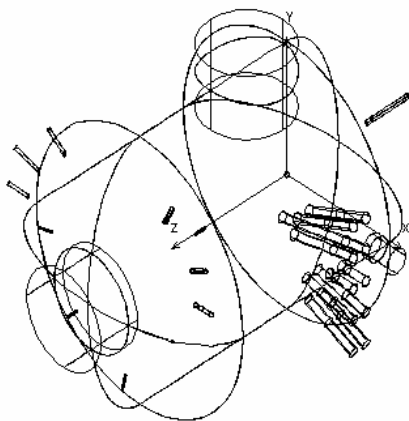
**Fig.8** Recipiente de la fig.7 representado por regiones con sus orificios



**Fig.6** Sector ampliado de la fig.5 donde se observa la resolución del orificio. Mallado automático



**Fig.9.** Sector ampliado de la malla del recipiente de la fig.7



**Fig.7** Ejemplo de recipiente modelado con múltiples interconexiones de tubos

## 6. Conclusiones

Los estudiantes han recibido suficiente entrenamiento para modelar cuerpos relativamente sencillos de sistemas mecánicos de forma independiente. Esto se corrobora con los proyectos individuales defendidos al final del semestre. Dos de los estudiantes realizaron, además, un trabajo práctico, completamente autónomo, en una asignatura térmica, en la que modelaron los 60 tubos de un intercambiador de calor y desarrollaron su estudio dinámico.

Es elevada la motivación que se despierta en los estudiantes de pregrado al enfrentarse a la solución de problemas de resistencia y rigidez que pueden ser reales o a la solución de sistemas mecánicos de formas complejas y que no se tenían posibilidades de resolver o

aprender su solución en los cursos académicos precedentes. Nunca antes se hubo de observar semejante motivación colectiva en un grupo de estudiantes en las asignaturas del perfil mecánico, a pesar de la carga docente elevada que tienen en el tercer año. Es conveniente esclarecer que las asignaturas de la Disciplina de Mecánica, históricamente, no han gozado de la fascinación de los grupos de estudiantes de ingeniería en la carrera del ingeniero nuclear.

Los estudiantes de pregrado entienden perfectamente la diferencia entre las posibilidades de cálculo de modelos hechos a mano con los desarrollados en computadora y la poderosa herramienta de trabajo y diseño que tienen en sus manos que los convierte en competentes, a la vanguardia de la técnica y les

simplifica los procedimientos de documentación de proyectos.

Los estudiantes reactivaron las habilidades adquiridas anteriormente en Geometría Analítica, así como profundizaron conocimientos que someramente fueron tratados en esta misma asignatura.

## 8. Bibliografía

1. Chandrupatla, Tirupathi R. y Belegundu, Ashok D.: Elemento Finito en Ingeniería, Prentice Hall, México, D.F., 1999.

---

## Experience of application of CAE systems in undergraduate studies.

### Abstract

The undergraduate students receive training and experience in the analysis of design of the real world. The motivation in these students when they are facing the solution of real resistance and rigidity problems or the solution of mechanical systems of complex shape is very high. The difference between the calculation possibilities of hand made models with the models developed in a computer is great and this is perfectly understood by the undergraduate students who recognizes this powerful mean for work and design. Even more, the student feels competent and using advanced technique. This work shows the results achieve in the teaching of a FEM software. One of the objectives is to reach certain estimate on the learning in the preprocessing tasks, analysis and postprocessing offered by a not very interactive computational system of finite elements. In the semester, the students be able to generate parametric and not parametric entities, they generate meshes of finite elements, plot the results, animate the modeling body and other typical tasks.

**Key words:** Finite elements, undergraduate studies, modelation, learning, teaching.