

## **DESARROLLO Y UTILIZACION DE UN LABORATORIO INTERACTIVO DE SIMULACIÓN DE CÁLCULO DE ESTRUCTURAS COMO HERRAMIENTA DE MEJORA DEL APRENDIZAJE.**

J. M. Martínez Jiménez<sup>1</sup>

P. Martínez Jiménez<sup>2</sup>

G. Pedrós<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Mecánica.

<sup>2</sup>Dpto. de Física Aplicada

Universidad de Córdoba

[melmajij@uco.es](mailto:melmajij@uco.es), [falmajip@uco.es](mailto:falmajip@uco.es)

### **RESUMEN**

En el presente trabajo presentamos un Software para el aprendizaje del Cálculo de Estructuras mediante simulación. En la enseñanza, sólo se dispone de dos opciones a la hora de elegir las herramientas informáticas de aprendizaje del cálculo de estructuras del alumno. Por un lado están los programas cerrados tipo ANSYS, ROBOT...y por otra, programas de cálculo de propósito general, usualmente escritos en lenguaje FORTRAN, incluidos en textos especializados que permiten la adaptación y manipulación por parte del usuario, pero que no incluyen entornos interactivos. En nuestro software hemos creado un entorno gráfico interactivo, en PC, con fácil y grata comunicación. Hemos incluido representación de entornos virtuales en 3D y cálculo que junto con los módulos: Preconceptos, Tutorial y Evaluación, nos permite el desarrollo de un laboratorio interactivo de simulación cuya finalidad es la representación de esfuerzos y deformaciones en estructuras, además de proporcionar información acerca del grado de adiestramiento alcanzado.

### **ABSTRACT**

In this paper we present a Software for the learning of the Structures Calculation through simulation. In the teaching, only is had two options at the hour choosing the tools learning data processing of the pupil. On the one hand they are the closed programs type ANSYS, ROBOT..., a second option consists of making use of programs of purpose calculation general, commonly written in FORTRAN, included in specialized texts that permit the adjustment and manipulation on the part of user, but that they do not include interactive environments. In our software, we have included virtual environments representation in 3D and calculation that together with the modules: Previous Knowledge, Tutorial and Evaluation, it permits us the development of an interactive simulation laboratory whose purpose is the efforts and deformations representation in structures, in addition to providing information about of the degree of reached training.

## 1. INTRODUCCIÓN

La simulación es la práctica de generar modelos para representar un sistema del mundo real o hipotéticos mundos futuros, experimentando con él para explicar el comportamiento del sistema, mejorar su funcionamiento o diseñar nuevos sistemas con características deseables.

Los motivos por los que la simulación ha sido ampliamente utilizada son, entre otros, el grado de realismo que se puede incluir en los modelos de simulación y la facilidad con la que estos modelos pueden ser explicados. De esta forma, las personas que no están iniciadas en la materia, podrán entender más fácilmente la relación entre la lógica y las matemáticas asociadas a los modelos de simulación.

En los últimos años el mundo educativo ha sufrido un profundo cambio debido a la introducción del ordenador, con el fin de facilitar, agilizar e incluso mejorar el desarrollo de algunas tareas. Además, el ordenador se ha convertido en parte esencial dentro del campo de la investigación. Esto es debido a que cada vez se necesita realizar un número más elevado de cálculos, con una mayor precisión en un tiempo mínimo; todos estos aspectos se consiguen mediante el uso de la informática. Hoy en día, con el uso de los ordenadores se pueden crear programas de simulación que permitan una perspectiva más intuitiva de temas que manualmente no aportan suficiente claridad gráfica. Estos programas abarcan una amplia gama de campos en los cuales el uso de estas aplicaciones conlleva una mejora en cuanto a eficiencia, vistosidad, facilidad de uso, etc.

El ordenador puede ser utilizado como instrumento complementario en el proceso de aprendizaje por descubrimiento [1], utilizando el ordenador como un simulador de fenómenos, el estudiante puede descubrir modelos que inicialmente permanecían ocultos [2]. Esta posibilidad es aún mayor en el estudio de física, mecánica y cálculo de estructuras, donde a menudo el estudiante requiere un elevado grado de abstracción [3].

La simulación representa la implementación mediante un ordenador del comportamiento de un sistema, el cual queremos estudiar a través de resultados numéricos y gráficos. Para una óptima descripción del sistema real en estudio, es conveniente que los resultados obtenidos, mediante simulación, no sólo sean expresados numéricamente, sino que además estén complementados con resultados gráficos en los que se observe la evolución de las diferentes variables, así como la del propio sistema en conjunto (visualización y animación).

La simulación cuenta con puntos a su favor y en su contra. Respecto a las ventajas, podemos destacar el estudio del sistema bajo las condiciones elegidas por el propio usuario, el cual puede elegir libremente las condiciones iniciales y por tanto estudiar el sistema bajo cualquier tipo de circunstancias, reales o no, pudiendo obtener así la configuración más deseada. Lo más negativo es su coste y elevado tiempo de construcción y validación, ya que implica realizar numerosas ejecuciones.

En los últimos años numerosos grupos han desarrollado Software para el estudio de elasticidad [4,5] obteniendo buenos resultados en el diseño de interfaces, así como en las simulaciones propiamente dichas. Sin embargo, el Software diseñado no incluye unidades esenciales en la formación de Ingenieros dentro del campo del Cálculo de Estructuras. Por otra parte los programas comerciales se pueden clasificar en dos tipos : aquellos que pueden ser

utilizados en la enseñanza, ANSYS o ROBOT, pero que son cerrados y no permiten la inclusión de nuevas rutinas o elementos y aquellos otros cuyo objetivo es el uso profesional o investigador, pero que no pueden ser utilizados en la enseñanza por su alto grado de complejidad.

En este trabajo nosotros presentamos una nueva herramienta informática, desarrollada por nuestro grupo de trabajo para la aplicación del método de los elementos finitos (MEF) al estudio mediante simulación del Cálculo de Estructuras. Este programa está orientado a estudiantes de Ingeniería para la realización de prácticas propias de la asignatura en ordenadores personales.

## 2. ASPECTOS GENERALES

La aplicación desarrollada tiene como antecedente los trabajos realizados por el profesor J.M. Martínez Jiménez, en la elaboración de rutinas y algoritmos de cálculo, válidas para el cálculo de estructuras y desarrolladas en Fortran. A partir de dichas rutinas y algoritmos de cálculo se ha implementado una aplicación informática, que haciendo uso de esas rutinas y algoritmos, posibilita una comunicación ágil, eficiente y grata con el usuario y constituye una herramienta apropiada para su utilización como herramienta didáctica complementaria de las tradicionales y que se utiliza en las clases complementarias de prácticas de la asignatura de resistencia de materiales impartida en el tercer curso de Ingenieros Técnicos Industriales Mecánicos.

Internamente, se divide en tres grandes bloques de programación: Interface gráfico de usuario, Rutinas de cálculo matemático y Representación de entornos gráficos en 3D.

El primer bloque trata de facilitar la comunicación entre el usuario y el programa, se ha desarrollado bajo Windows, ya que este entorno está ampliamente difundido y facilita la programación visual. El segundo bloque contiene rutinas matemáticas de tipo matricial y de resolución de ecuaciones programadas en C++, ya que facilita los cálculos matemáticos y permite la inclusión de rutinas de bajo nivel. El tercer y último bloque incluye todas las rutinas de rotación, traslación y representación de figuras en tres dimensiones. La programación se ha llevado a cabo en C++ ya que una estructura se puede considerar como un objeto formado por otros más simples, lo que lleva a una clara programación orientada a objetos (Visual C).

Externamente, el Software desarrollado está integrado por las siguientes partes:

- \* *Simulación*: Es el apartado más interesante de la aplicación. El usuario puede diseñar de forma gráfica el sistema que desee para posteriormente realizar un estudio detallado sobre él.
- \* *Cálculos y muestra de resultados*: La evaluación, posterior a la simulación, permite comprobar los desplazamientos sufridos por los nodos de la estructura, después de aplicarle los sistemas de ecuaciones matriciales, mostrando los resultados de los desplazamientos sufridos por sus nodos y barras de forma gráfica y numérica.
- \* *Ayuda interactiva sobre la utilización del programa*: Consta de una explicación detallada de las funciones del programa Struc 1.0 (Figura 1), la cual es accesible desde cualquier punto del programa.

## 2.1 SIMULACIÓN

Según que las barras estén unidas entre sí mediante nudos rígidos o articulaciones las estructuras son rígidas o articuladas. En esta aplicación se lleva a cabo el estudio de éstas en dos subapartados diferentes : Plana articulada y Plana rígida (Figura 2), para ambas, las pantallas de simulación son similares. Así mismo, también se analizan las estructuras espaciales que pueden ser rígidas y articuladas (figura 3). Para una mejor comprensión del estudio, se ha dividido la pantalla en cuatro zonas: "zoom", en tres de ellos se representan las proyecciones de la estructura sobre cada uno de los tres planos coordenados, en el cuarto se lleva a cabo una representación espacial de la misma, la cual puede ser girada, trasladada, acercada , alejada etc., mediante las teclas de acceso rápido que se pueden observar por debajo del menú de opciones.

Para el estudio, se ha supuesto que en las estructuras los desplazamientos (lineales o angulares) varían proporcionalmente a las fuerzas aplicadas o cargas, es decir que se verifica la ley de Hooke. Así mismo, se admite que todos los desplazamientos son pequeños en relación a la dimensión de la estructura, lo que hace que se desprecien los cambios que las cargas producen en la forma de la misma y que se considere como si tuvieran la forma y dimensiones primitivas.

Al verificar la ley de Hooke y la hipótesis de los pequeños desplazamientos, el principio de superposición es aplicable a estas estructuras y, en consecuencia, los efectos que un sistema de cargas ejercen sobre ésta es igual a la suma de los efectos que ejercen esas mismas cargas actuando por separado. Por último, se supone también aplicable el principio de unicidad de las soluciones, según el cual son únicos los desplazamientos y las sollicitaciones originadas en una estructura por un determinado estado de cargas.

## 3. CÁLCULO Y MUESTRA DE RESULTADOS

Los pasos a seguir en el cálculo de una estructura son los usuales del cálculo matricial de estructuras de barras [6,7].

Para obtener los resultados se procede: Una vez pulsada la opción "Resolución" del menú "Cálculos", se muestran los resultados: a) Por impresora: deberemos seleccionar la opción "Imprimir" del menú "Archivo", y los resultados serán impresos b) Por Pantalla: se muestra siempre y de forma automática al pulsar en el Menú "Resolución", "Cálculos" y c) A nivel de Nodos y Barras de forma gráfica se coloca el cursor del ratón sobre el Nodo en cuestión y al pulsar el botón derecho del ratón se muestra el diálogo de resultados gráficos en Nodo (figura 4). Si por el contrario lo que queremos ver son las cargas (Carga en el eje X, Carga en el eje Y, carga en el eje Z) y momentos (Momentos en el eje X, Momentos en el eje Y, momentos en el eje Z) en Barra, tanto en coordenadas Globales como en Locales (Selector Sistema), deberemos colocar el cursor del ratón sobre uno de los Nodos, y pulsando el botón izquierdo y sin soltarlo, arrastrar el cursor hasta el otro Nodo, inmediatamente después de soltar el botón izquierdo aparecerá el diálogo de resultados gráficos en Barra, el cual se muestra en la figura 5.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un Software interactivo de Simulación para el estudio del Cálculo de Estructuras, desarrollado en Visual C y utilizando algoritmos y librerías matemáticas implementadas en C++.

Su finalidad es esencialmente educativa, de aquí que se haya realizado un gran esfuerzo en la implementación de una aplicación que sea intuitiva, asequible y fácil de utilizar por el usuario.

El objetivo esencial de la aplicación informática es que el alumno se centre en el problema propuesto y comprenda los conceptos relacionados, obviando la complejidad matemática de resolución del problema.

Se han implementado los casos fundamentales y básicos y se han incorporado imágenes en 3D para la visualización de las estructuras tridimensionales, ayudando de esta manera a la comprensión del fenómeno estudiado.

Se ha incorporado una ayuda permanente, interactiva y asequible desde cualquier parte de la aplicación, en la que se han incluido tanto el modo de operar con el programa como los fundamentos teóricos y métodos de desarrollo y cálculo aplicados. Con ellos hemos tratado de obtener una herramienta potente para su utilización en la enseñanza

Se está utilizando en las clases prácticas como herramienta didáctica complementaria de las clases tradicionales y esta sustituyendo a los programas de cálculo de estructuras tradicionales como Ansys o librerías de Fortran, observándose que los alumnos comprenden mejor los problemas propuestos e interactúan mas rápidamente con este nuevo Software.

Por último, esta aplicación se está actualizando en un nuevo lenguaje y ampliando con nuevos casos y problemas.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] JONASSEN, D.H., (1991) Objectivism versus constructivism . **ETR&D**, 39, 5-14
- [2] HERNÁNDEZ, M.A.; GUERRA, J. Y col. (1995) Desarrollo de unidades Didácticas en Física mediante ordenador. **5º Encuentro Ibérico para la enseñanza de la Física**. Santiago de Compostela, 77-78, B2-38
- [3] DONELLY: P. (1993) CIP 7, 647 (1.993); (1994) CIP 8, 672
- [4] OLIPHANT, J.; OLIVER, A.W., (1998) The Development , Use & Evaluation of a CAL Program for Teaching Effective Stress to Civil Engineering Undergrates. *Proceeding Calisce'98*, 241-248, Chalmer University of Tecnology, Göteborg, Sweden.
- [5] MARTÍNEZ-JIMÉNEZ, J.M., MATÍNEZ-JIMÉNEZ, P. y col. Design of a Windows Software for elastic Field Simulation, (1996), **Lecture Notes Computer Science**, 1108, 298-304 Springer,
- [6] LIVESLEY, R.K. (1970). **Métodos Matriciales para el cálculo de estructuras**. Madrid, Ed. Blume.
- [7] ALVAREZ, R. Y ARGÜELLES BUSTILLO, R. (1996). **Análisis de Estructuras.**, Madrid, Ed. Fundación Conde del Valle Salazar.

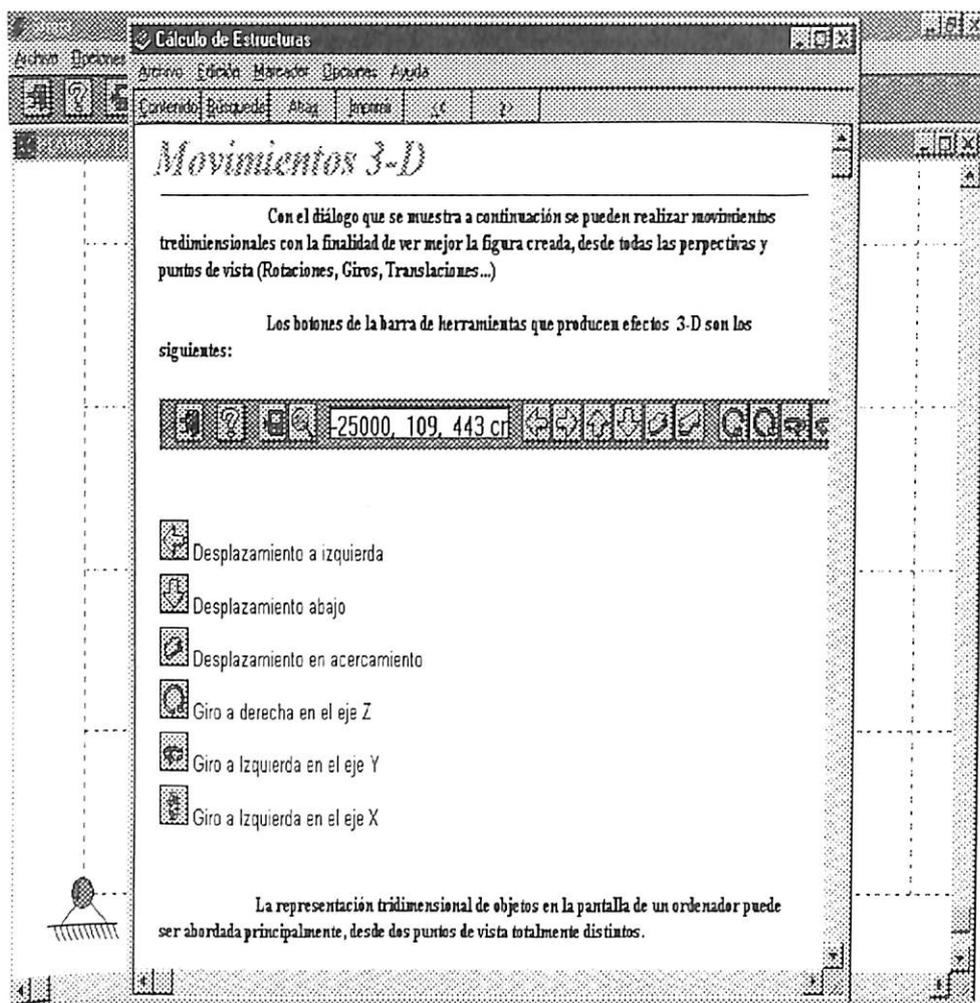


Figura 1. Pantalla de ayuda permanente e interactiva del programa

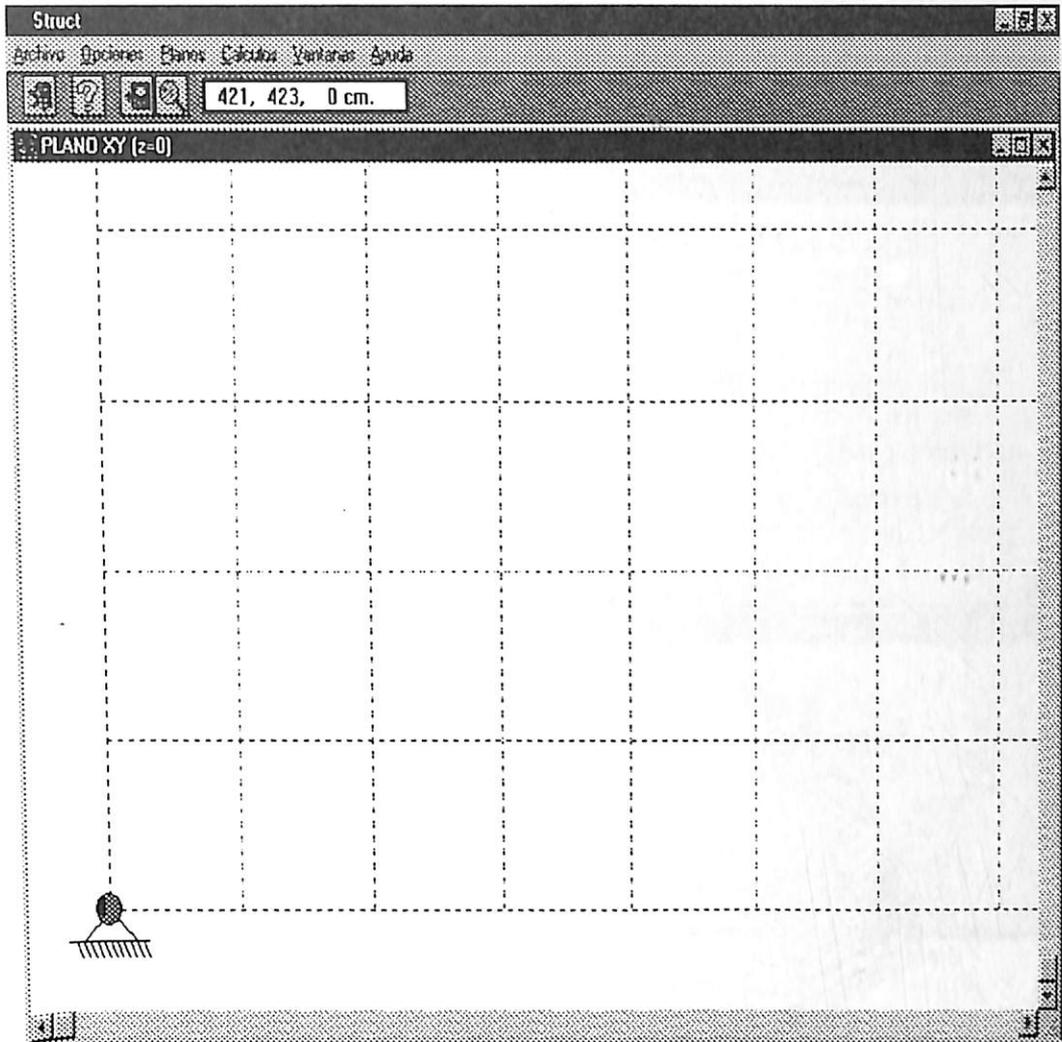


Figura 2: Estructura plana

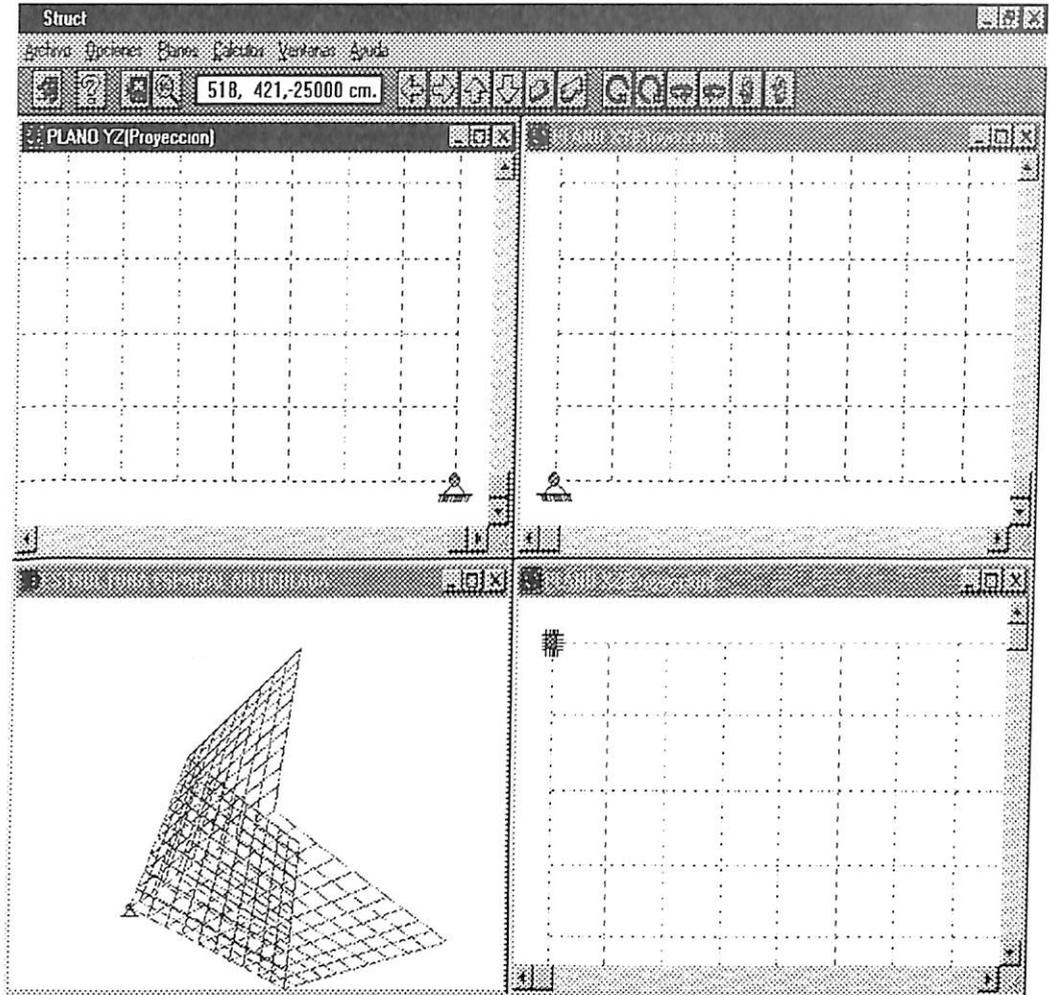


Figura 3: estructura espacial

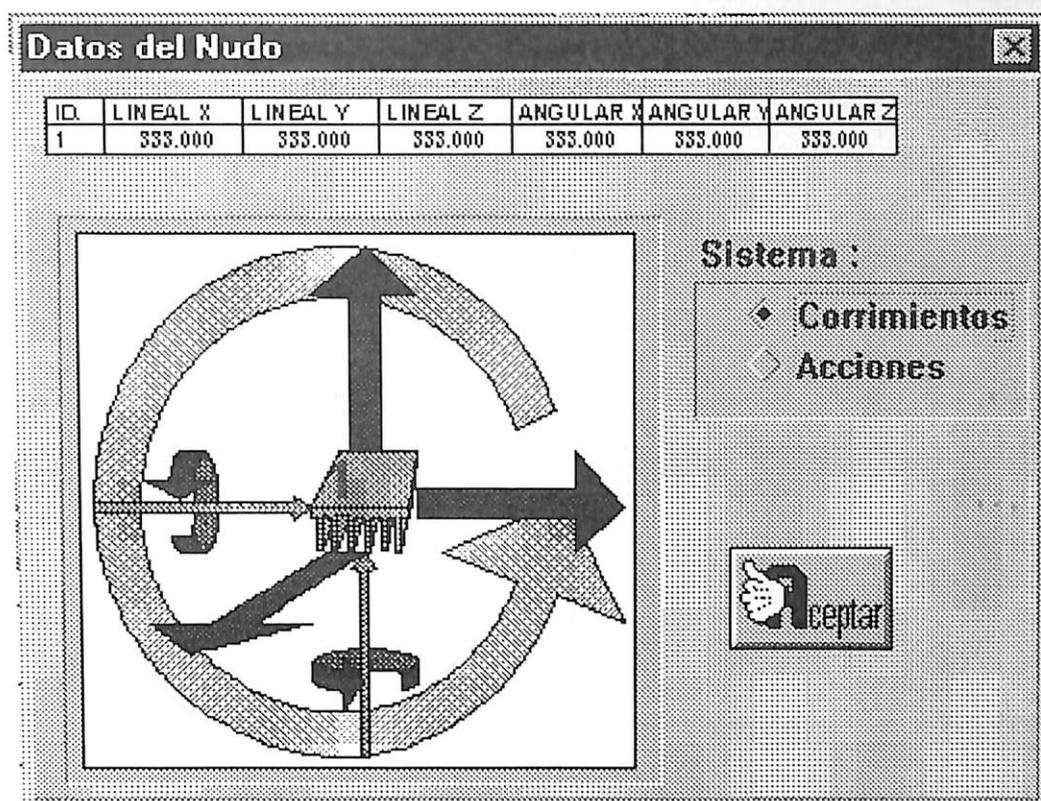


Figura 4. Resultados Gráficos del nodo

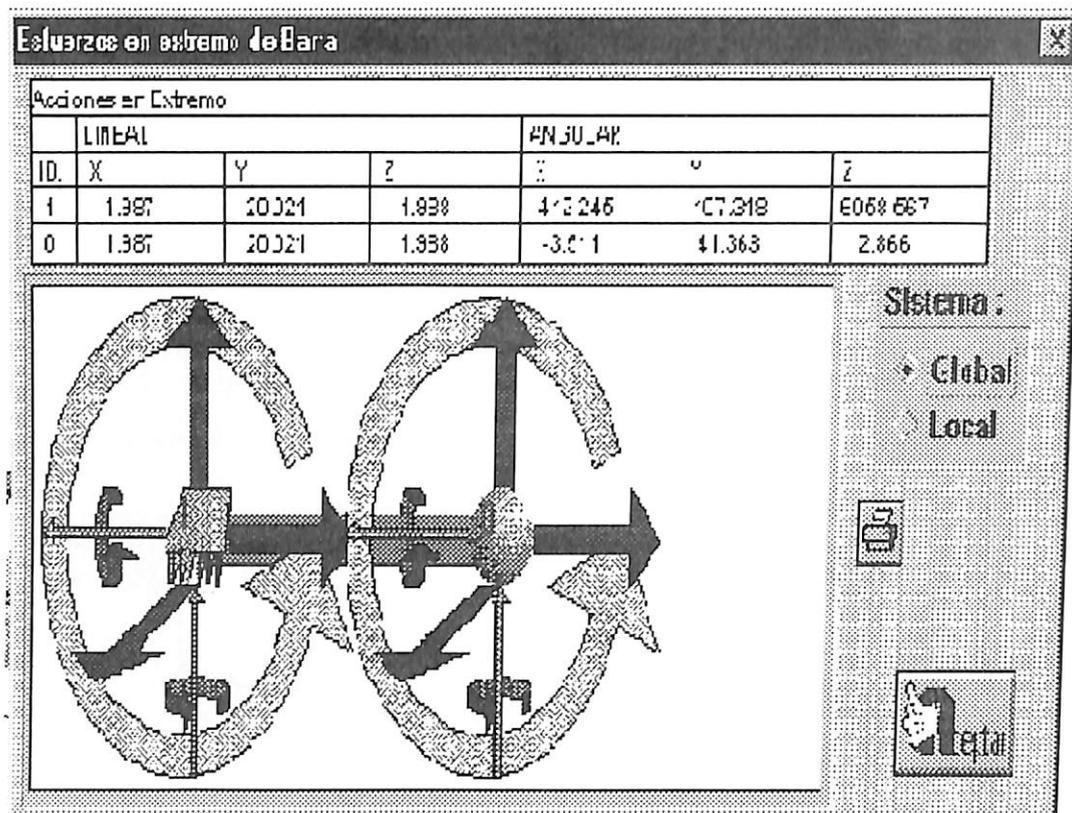


Figura 5. Esfuerzos en extremo de barras