

# LA ENSEÑANZA DE LAS ESTRUCTURAS MEDIANTE UN PROGRAMA DE ALTA PRESTACION GRAFICA

## Autores

ABDILLA MUEDRA, Eugenio  
BASSET SALOM, Luisa  
GALLARDO LLOPIS, David

eabdilla@mes.upv.es  
lbasset@mes.upv.es  
dgallard@mes.upv.es

Universidad Politécnica de Valencia  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura.  
Camino de Vera s/n 46022 Valencia. España  
Tfn. 96 387 70 07 Ext. 76711  
Fax 96 387 96 79

## Resumen

En la presente comunicación se expone la metodología de enseñanza de las estructuras en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia. Se basa en la aplicación de un programa, creado por los autores y desarrollado, simultáneamente, sobre plataformas UNIX Y WINDOWS. Su característica esencial es la de una alta exigencia gráfica que se traduce tanto en la intuitividad del comportamiento de una estructura, aunque sea muy compleja, como en la facilidad para el manejo de grandes masas de datos. Además, incorpora módulos avanzados de modelización, como la de reconocimiento automático de la topología (alineaciones de pilares, regiones de forjado, catalogación de elementos resistentes) con la consideración de modos rígidos y módulos de análisis, definición y construcción de secciones complejas y visualización muy realista de resultados.

Palabras clave: cálculo de estructuras, programa CAD et CAE, modelización, visualización 3D, pedagogía multimedia.

## Abstract

The present paper describes the teaching methodology on structures in the Technical Superior School of Architecture in Valencia, Spain. It is based on the application of a program, created by the authors, and developed simultaneously for the UNIX and Windows platforms. Its main attribute is that of a high graphical performance which contributes both to an intuitive understanding of the structural behaviour, no matter its complexity, and to the easiness in managing the great amount of data involved. Moreover, it incorporates advanced modelisation modules, like the automatic recognition of the topology (column alignment, floor-slab regions, structural elements catalogation), with the consideration of rigid modes, and modules for the analysis, definition and construction of arbitrary sections, and for a very realistic visualisation of the results.

Keywords: structural analysis, software CAD and CAT, modelisation, 3D visualisation, multimedia learning

## La Enseñanza de las Estructuras mediante un programa de alta prestación gráfica

Los métodos tradicionales de enseñanza del Cálculo de Estructuras en las Escuelas de Arquitectura (e Ingeniería) consisten en la transmisión de conocimientos mediante la exposición en pizarra, apoyada con técnicas convencionales como la proyección de diapositivas y transparencias.

Estas clases teóricas se complementan con clases de problemas y prácticas de ordenador formuladas sobre modelos o estructuras sencillas (habitualmente sistemas planos) en los que se presenta y resuelve aisladamente uno o, a lo sumo, dos aspectos diferentes del cálculo. Esta forma de plantear las prácticas no se considera la más adecuada porque, desde el mismo momento en que se pasa de un problema a otro distinto, cada uno aplicado sobre una estructura diferente, se está perdiendo perspectiva de conjunto y unidad de visión.

Por el contrario, una práctica global en la que se vean implicados todos los problemas estructurales objeto de las materias del curso es, desde nuestro punto de vista, la única fórmula para conseguir desarrollar hasta el final, y de forma coherente, los resultados implícitos en el cálculo.

Una estructura no sólo se calcula, antes hay que hacer un diseño previo y después, a partir del cálculo, una comprobación y un rediseñado, si fuera necesario. Por ello, estamos seguros de que la mejor forma de que el alumno penetre en la estructura es partiendo de algo real o susceptible de serlo, con las complejidades que realmente comporte y sin sustraerse de ninguna de ellas, desarrollando al máximo su intuición estructural en la interpretación de la forma en que trabajan sus elementos y llegando, por último, hasta su total definición en el diseño completo de todos los detalles necesarios para el acabado final de la estructura.

.  
. .  
. . .

De esta forma, al tiempo que enfrentados a la tarea de resolver casos reales de la práctica constructiva y estructural, se familiarizan con los múltiples detalles que surgen de toda obra en su proyecto de ejecución o incluso de construcción. Sólo así tendrá el alumno la sensación de que la práctica ha sido completa.

Para actualizar los contenidos docentes y llevar a cabo este proyecto se ha elaborado un programa partiendo desde cero (ya que no existían productos teóricos de esta naturaleza según pudimos comprobar en nuestros rastreos en publicaciones y revistas especializadas) y teniendo en cuenta las peculiaridades del colectivo al que va dirigido: los estudiantes de arquitectura<sup>1</sup>. Estos tienen una tendencia a organizar su proceso intelectual en forma de imágenes gráficas. El dibujo y las técnicas de representación constituyen desde los primeros años de estudio una parte muy importante de su formación y los van condicionando a pensar espacialmente. Buscan una imagen visual perceptible de los fenómenos lógicamente explicados con el lenguaje matemático y sienten una comodidad natural frente a las ideas y conceptos susceptibles de admitir una interpretación gráfica.

El objeto principal ha sido, por tanto, crear una herramienta capaz de materializar las estructuras, tanto en su diseño como en su cálculo a través de imágenes de ordenador tridimensionales que los alumnos pudieran interpretar y valorar como informadoras del comportamiento estructural, siendo conscientes de que la mejor forma de explicar las estructuras en toda su integridad ha de ser permitiendo la visualización mediante imágenes en movimiento. Para ello, se la ha dotado, simultáneamente, de contenidos educativos, capacidad de análisis estructural avanzado y generación de acabados de forma de detalles constructivo-estructurales directamente a partir del cálculo.

### Características del programa

El desarrollo de los sistemas informáticos ha sido exponencial en la última década. Desde las primeras tentativas de Livesley<sup>2</sup> y su equipo de la Universidad de Cambridge con el EDSAC, creando las primeras aplicaciones informáticas aplicadas al cálculo estructural.

Desde entonces hasta la actualidad hemos sido testigos de un proceso vertiginoso en el aumento de memoria y velocidad de proceso de las máquinas. En la actualidad es tal el calibre de sus prestaciones que resulta habitual abordar el análisis de estructuras formadas por miles de nudos y barras. A esto hay que añadir las posibilidades

gráficas que ofrece cada nueva generación de estaciones de trabajo y de PC's.

Aprovechando las herramientas descritas anteriormente este programa incorpora las siguientes facetas e innovaciones:

- La visualización de la estructura en tres dimensiones tanto en modo alámbrico<sup>3</sup> como en modo sólido. El formato es totalmente tridimensional en todos los aspectos relacionados tanto con la entrada de datos como con la salida de resultados.

Las imágenes de la estructura sin deformar y de su deformada pueden manejarse por separado o simultáneamente y moverse (hacer movimientos de rotación, cambiar sus dimensiones, etc.) en tiempo real mediante sencillas acciones con el ratón.

Se han introducido las texturas de los materiales estructurales que contempla el programa (hormigón y acero) así como varias opciones de definición de la deformada en modo sólido.

El menú vistas (figura 1) y la barra de herramientas (figura 2) contienen todas las posibilidades de visualización.

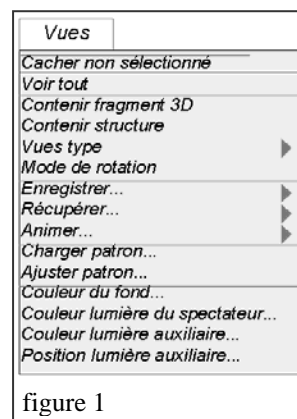


figure 1

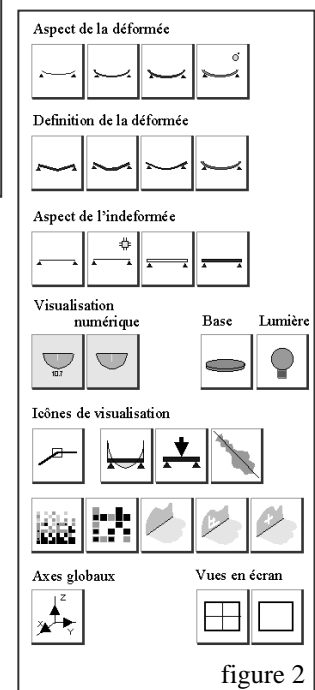


figure 2

<sup>1</sup> Debe señalarse que en España es el arquitecto el que tiene las atribuciones y la responsabilidad del cálculo de estructuras de los edificios.

<sup>2</sup> "Automatic Digital Computers", Cambridge University Press, 1957.

<sup>3</sup> La estructura portante se idealiza mediante un conjunto de barras rectilíneas que constituyen el modelo de malla alámbrica

- Entrada de datos sencilla, tanto en la generación inicial de la malla alámbrica como posteriormente, con la incorporación de modos de selección individual, por rectas, por planos o por fragmentos, que incrementan la operatividad del programa y facilitan la tarea del usuario a la hora de asignar propiedades a los elementos o de introducir cargas o condiciones de vínculo.

El modo de selección por fragmentos 3D es una potente herramienta que permite la fragmentación visual por planos de cualquier porción del modelo tridimensional. Se trata de un paralelepípedo inicial cuya versatilidad se extiende a la posibilidad de variar su tratamiento mediante desplazamiento paralelo relativo de unas caras respecto de otras, de modificar las orientaciones de dichas caras dándoles forma de cuña y transformando su figura original en la de un trapezoedro de caras no paralelas; de girarlo respecto a su centro de gravedad con respecto a los tres ejes generales de la estructura; de trasladarlo por cualquier región del espacio y, en fin, de adaptarlo prácticamente a cualquier porción o fragmento de una estructura por irregular que sea y aislarlo de esta para un estudio detallado (imagen 1).

Todas las herramientas de selección son operativas en los diferentes módulos que componen el programa. Se encuentran en el menú 'seleccionar' (figura 3) y en la barra de herramientas de selección (figura 4).

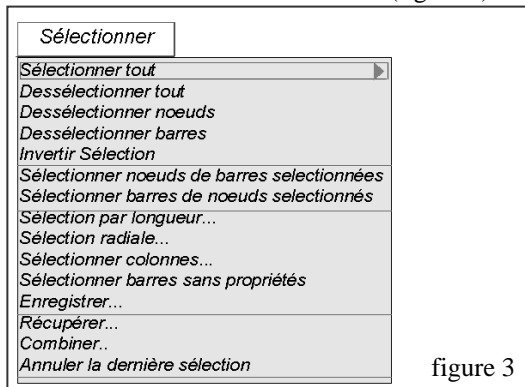


figure 3

- Los tiempos de cálculo son generalmente muy breves, con lo que se pueden cambiar las condiciones de la estructura y se recalcula de forma prácticamente inmediata.

La modelización precisa de estructuras reales, exige casi siempre la intervención de gran número de

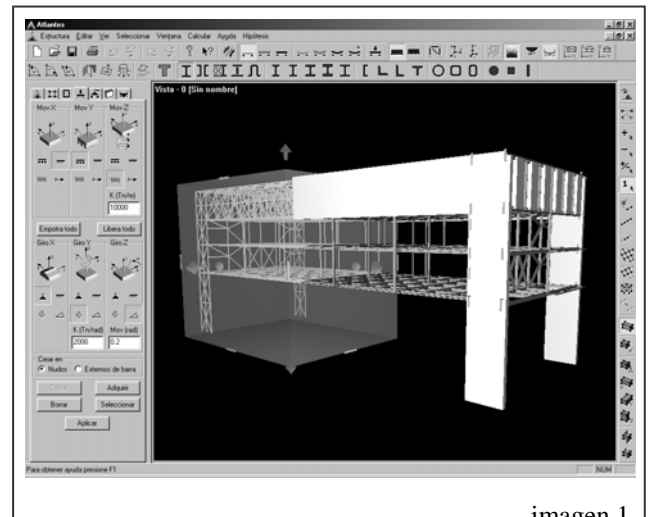


imagen 1

elementos, llegando al final a la resolución de un sistema de ecuaciones lineales simultáneas que debe ser resuelto en el menor tiempo posible. Para ello se utiliza el método de Choleski almacenándose el contenido de la matriz de rigidez en formato vector fila (sky-line). Aún sin ser éste el algoritmo de almacenamiento óptimo, la velocidad de cálculo que se obtiene lo hace muy competitivo respecto a los programas de cálculo comerciales de nuestro país.

El programa está formado por los siguientes módulos:

#### 1. Módulo de definición geométrica de la estructura.

Consiste en un programa auxiliar en lenguaje C++ que actúa como interface entre el programa de cálculo y el programa de dibujo utilizado habitualmente por los estudiantes de arquitectura (Autocad).

Se genera un dibujo representativo de la malla alámbrica de la estructura que se graba en formato .DXF. El programa auxiliar recupera este archivo y es capaz de analizar y depurar todas las inconsistencias del dibujo desde un punto de vista estructural (nudos sueltos, barras solapadas, intersecciones no producidas, etc.) y generar una malla alámbrica libre de esos defectos. A continuación se generan los archivos de coordenadas de nudos y de conexiones de barras en formato ASCII que pueden ser leídos, ya sin dificultad, por el programa de cálculo.

De este modo se evita la tarea laboriosa, en el caso de estructuras de una cierta complejidad, de ir introduciendo una a una las tres coordenadas de cada nudo y el número de los dos nudos asociados a los extremos de cada barra.

#### 2. Módulo de topología. Este módulo contiene varios submódulos:

2.1.- Orientación del sistema local de ejes de una o más barras simultáneamente.

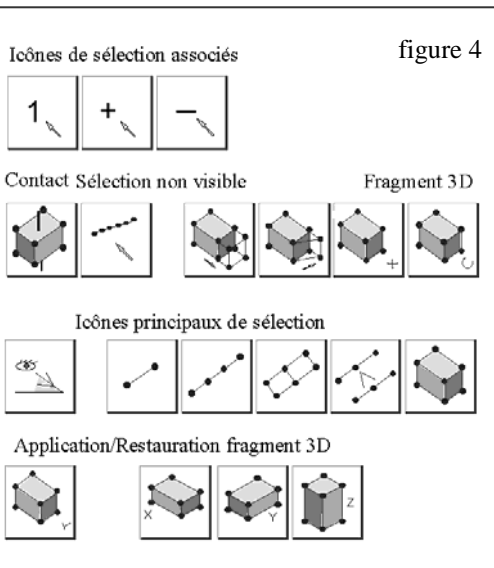
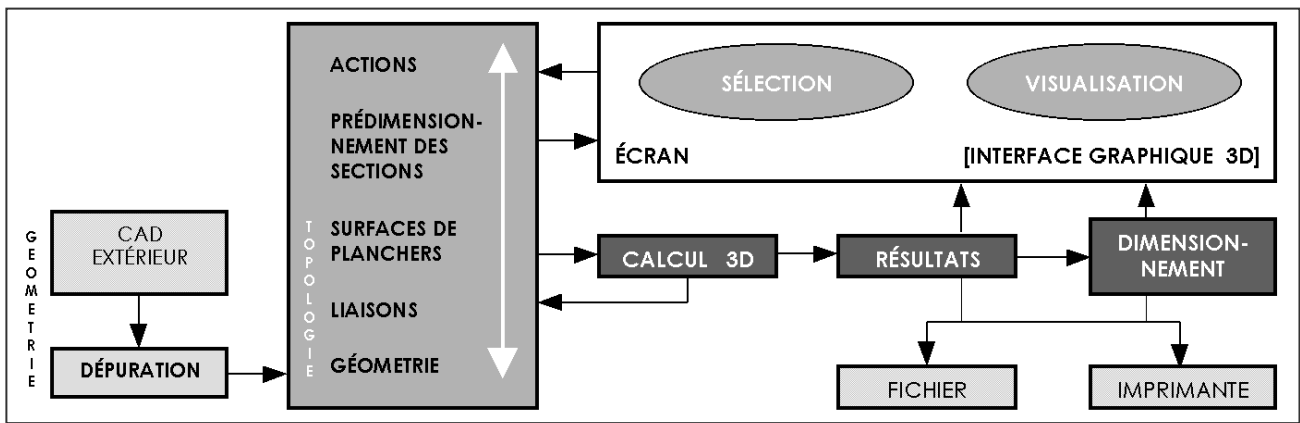


figure 4



Se actúa sobre el eje local Z como indicador de la orientación buscada (el eje X es invariante y los ejes Y, Z giran alrededor del primero). Existe varias formas de obtenerlo:

- Proporcionando directamente un valor al giro deseado, positivo o negativo (conforme al convenio clásico de signos en cálculo matricial), y en forma relativa o absoluta, es decir en una secuencia acumulada de giros para el primer caso o siempre con referencia a un dato fijo en el segundo.
- Especificando el plano perpendicular al eje Z de la barra.
- Especificando el plano bisector a otros dos y situándose, en este caso, el eje Z sobre dicho plano.
- designando una superficie cilíndrica por tres puntos no alineados y especificando una orientación radial (es decir, con el eje Z apuntando al eje del cilindro).

## 2.2.- Definición de vínculos entre nudos y extremos de barra y apoyos de la estructura.

Además de las posibilidades de liberación total de movimiento y restricción total de éste, el programa contempla la posibilidad de muelles elásticos, tanto de desplazamiento como de giro, así como movimientos impuestos o especificados a un valor concreto como dato de partida.

La posibilidad de modelizar los extremos de las barras con elementos elásticos está justificada internamente en el propio módulo de cálculo del programa ya que éste utiliza una única tipología de matriz de barra que es precisamente la que incorpora seis resortes elásticos a cada extremo.

## 2.3.- Definición de forjados (unidireccionales, bidireccionales o losa maciza).

Este módulo se utiliza para la detección de circuitos -áreas de forjado- (imagen 2), especificación de separación y orientación de elementos de forjado (viguetas, nervios...) y para generar las intersecciones

entre éstos elementos con los bordes del circuito y crear los nudos virtuales.

## 2.4.- Alineaciones de caras de piezas prismáticas (vigas o pilares) para su correcta representación en modo sólido.

Al mismo tiempo, este reajuste de caras produce movimientos relativos entre los ejes de elementos consecutivos. Se tiene en cuenta en el cálculo esta circunstancia utilizando un módulo creado al efecto que genera automáticamente las ecuaciones de dependencia entre movimientos de sólidos rígidos, ya que el desacoplamiento que sufren los ejes por la circunstancia mencionada se resuelve mediante la introducción de bielas que los unen de nuevo con el desfase de alineación correspondiente.

Esto permite tener en cuenta las excentricidades de los pilares e incorporar al cálculo sus efectos.

## 3. Módulo de predimensionado de secciones.

La definición de las secciones de las barras de la estructura se hace atribuyendo una forma de sección a una o más barras a la vez.

Las secciones pueden entonces caracterizarse como fijas de manera que no se vea modificado por las rutinas de predimensionado automático. Por otro lado, puede indicarse que la sección sea susceptible de ser redimensionada para cumplir criterios de rotura y/o deformabilidad durante la fase de predimensionado automático. Para ello se debe indicar que dimensión o característica de la sección puede variar.

El usuario tiene a su disposición un amplio surtido de tipos tanto en acero como en hormigón, e incluso la posibilidad de definir tipos genéricos a partir de propiedades geométricas y materiales. Además se permite la formación de secciones compuestas por cualquier número y tipo de secciones simples o compuestas mediante un sencillo módulo de diseño (imagen 3). Las secciones pueden además ser variables a lo largo de la directriz de las barras. En una misma estructura es posible emplear

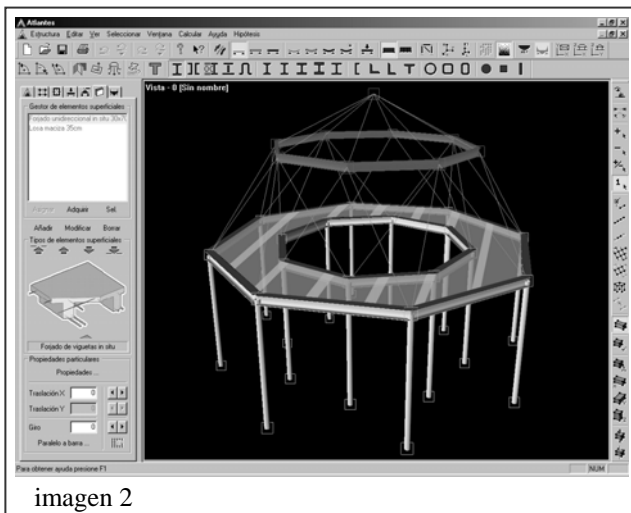


imagen 2

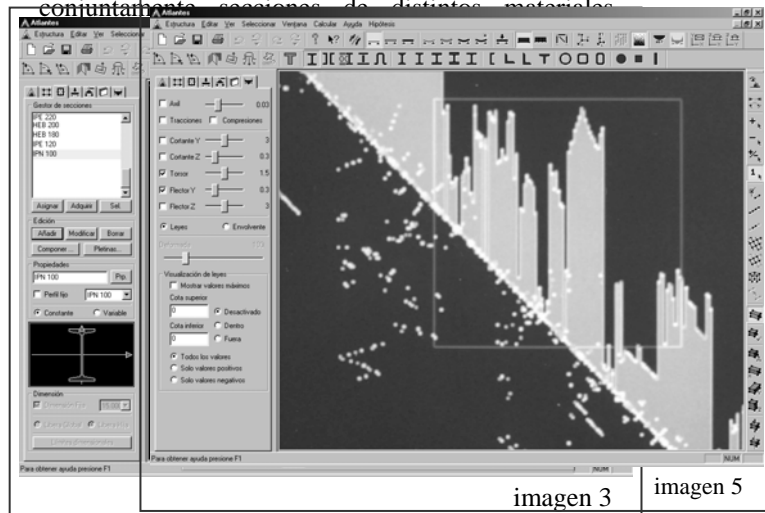


imagen 3

imagen 5

propiedades de cualquier elemento visualizado y pudiendo introducir modificaciones de los mismos.

#### 4. Módulo de acciones

Se contemplan todos los tipos de acciones. Pueden ser puntuales, distribuidas (uniformes o variables) sobre líneas o superficies, directamente aplicadas sobre los elementos o en proyección, etc.... (imagen 4)

El número de hipótesis básicas (peso propio, sobrecarga de uso, nieve, viento,...) y de combinaciones no está limitado.

Se está trabajando actualmente con la idea de superponer los planos de distribución y la malla para, a partir de una base de datos de pesos propios y de características resistentes de los materiales constructivos, introducir cada acción gravitatoria con su valor y en su posición precisa.

#### 5. Módulo de resolución del sistema de ecuaciones.

Es posible visualizar el proceso de cálculo y

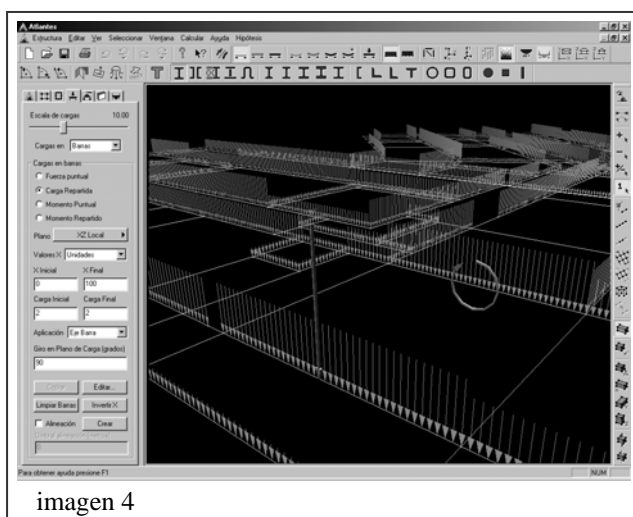


imagen 4

percibir la velocidad de éste en función de la disposición que adopte el trazado del perfil (skyline) asociado a la matriz de rigidez de la estructura (imagen).

También se puede, presionando con el ratón sobre una barra de la estructura, detectar la localización de sus matrices elementales de rigidez en el contexto general de la matriz de la estructura. También puede ampliarse indefinidamente el tamaño de la imagen para explorar regiones especialmente densas o interesantes.

#### 6. Módulo de visualización de esfuerzos y deformaciones.

Permite la visualización en el espacio, simultáneamente o por separado de los diagramas de esfuerzos y deformaciones (imagen 6) de todos los elementos de la estructura o de la porción seleccionada (una viga, un soporte, un pórtico, un fragmento...), con o sin información numérica de todos los puntos deseados.

Se trata de una fase eminentemente práctica que de un solo vistazo permite determinar los puntos más conflictivos (aquellos en los que se producen los mayores esfuerzos) y actuar sobre ellos si se considera necesario.

Los resultados pueden obtenerse por hipótesis básicas o por combinación de acciones. En este último caso la representación corresponde a la envolvente de esfuerzos.

Se puede visualizar, así mismo, las barras que están traccionadas y las que están comprimidas e incluso establecer un valor para un esfuerzo cualquiera y localizar todos los puntos en los que es superior.

#### 7. Módulo de armado.

Este módulo no está terminado, aunque si en fase avanzada de elaboración. Se han seguido los criterios establecidos por el Eurocódigo 2 y por la EHE y se han introducido los aspectos siguientes: utilización del diagrama parábola-rectángulo, consideración de las deformaciones diferidas, cálculo de flechas activas y totales, representación gráfica espacial tridimensional de las armaduras (sobre esta imagen se puede pinchar con el ratón y obtener información sobre la calidad del acero, el diámetro, etc...).

### Trabajo Práctico de Curso

El objetivo que persigue este trabajo es cubrir un espacio docente mediante la intervención directa del alumno en el proceso de concepción, cálculo y comprobación de la estructura de edificios realmente construidos.

Cada año se propone un edificio real diferente, del que previamente se ha eliminado toda referencia estructural. De este modo los alumnos no están condicionados. Al final del curso pueden comparar sus propuestas con la solución real adoptada.

Las etapas<sup>4</sup> que componen este trabajo son las siguientes:

#### 1. Definición de la estructura y establecimiento de los datos generales del proyecto.

Comienza el trabajo con la definición de la estructura del edificio propuesto por el profesorado, del que se proporciona toda la información gráfica necesaria (planos de distribución, secciones, etc.). Respetando la distribución de la tabiquería, las instalaciones, ascensores, plazas de aparcamiento, etc. El alumno debe proponer una solución estructural posible.

<sup>4</sup> Se corresponden aproximadamente con los diferentes módulos del programa.

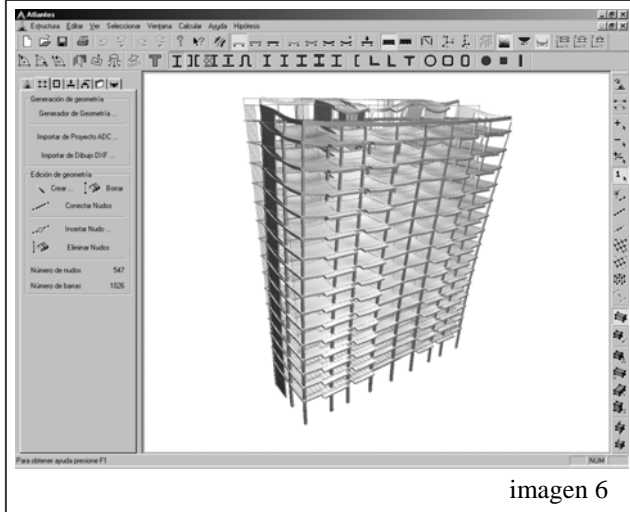


imagen 6

Cuando esta ha sido aceptada se definen los materiales evaluando las acciones gravitatorias y las acciones horizontales<sup>5</sup> (viento y sismo), estableciendo todas las combinaciones que se consideren pertinentes con el fin de garantizar un estado de sollicitaciones envolvente frente al cual la posibilidad de ruina de la estructura sea mínima.

## 2. Entrada de datos geométricos

El modelo matemático representativo de la estructura es el modelo de malla alámbrica, en el que las barras están representadas por sus ejes baricéntricos. Dada la entidad de las estructuras tratadas (es habitual que se superen los 3000 nudos y 5000 barras), resultaría oneroso en tiempo y esfuerzo introducir manualmente los datos, por ello, se utiliza el programa auxiliar descrito.

Se importan los archivos de coordenadas y conexiones y se prepara el modelo.

## 3. Evaluación de acciones gravitatorias sobre los elementos horizontales.

Las cargas evaluadas (fase 1), corresponden en su mayor parte a cargas superficiales. Sólo una parte de ellas se tomará directamente como lineales o puntuales (peso propio de la estructura, cerramientos, ...). Dado que la estructura está constituida por líneas representativas de barras es necesaria una transformación de las cargas superficiales en lineales. Cuando el forjado es unidireccional, la transmisión se basa en el concepto de banda de forjado isomorfa, entendiendo como tal toda parte del forjado que mantenga constante la dirección de las viguetas y al mismo tiempo el número de vanos y la presencia ó no de voladizos en sus extremos.

Cada banda se calcula como viga continua de ancho unidad apoyada sobre las vigas principales. Las reacciones pueden considerarse como las cargas por metro lineal que transmite el forjado a dichas vigas, extendidas a un ancho igual al de la banda de forjado considerada.

Este reparto puede efectuarse automáticamente por el propio ordenador (en cuyo caso se introducirían las cargas superficiales), pero es el alumno el que debe hacerla. Como apoyo se cuenta con un programa muy sencillo que calcula vigas continuas, en el que,

modificando la posición de los apoyos, la inercia de cada vano y su carga se pueden comparar simultáneamente varios casos correspondientes a una misma viga, analizando la influencia de estos tres aspectos en el resultado final (diagramas de esfuerzos y reacciones).

Si las cargas lineales no están situadas sobre los elementos resistentes, deberán transmitirlas sobre ellos.

## 4. Predimensionado de todas las barras

Los elementos horizontales se calculan como vigas continuas sobre los pilares, con el programa auxiliar descrito y a partir de los momentos flectores se predimensionan.

Para el predimensionado de pilares se tendrán en cuenta las reacciones de este cálculo con las acciones gravitatorias (esfuerzo normal sobre los soportes de cada planta) así como las acciones horizontales, ya que éstas pueden ser más desfavorables.

## 5. Modelización de elementos singulares de la estructura

Por elementos singulares se entiende aquellos cuya tipología no se corresponde a la de elemento prismático. Su presencia se admite siempre que constituyan una parte no mayoritaria de la estructura real.

Para poder integrarlos en el modelo se discretizan mediante un mallado que reproduzca el comportamiento del elemento bidimensional real.

## 6. Entrada de datos de propiedades geométricas, acciones, condiciones de vínculos y apoyos.

Con la ayuda de las herramientas de selección mencionadas anteriormente se introducen estos datos en los módulos correspondientes del programa.

## 7. Cálculo de la estructura

El contenido de esta etapa es, fundamentalmente, una descripción gráfica del proceso de cálculo utilizado por el programa. Concretamente se interpretan gráficamente los siguientes aspectos:

- Visualización de la formación de la matriz de rigidez de la estructura en formato de ancho de banda optimizado y no optimizado.
- Visualización de la matriz de rigidez específica de cualquier barra seleccionada en la malla.
- Visualización de la transformación de ejes locales a globales de cualquier barra.
- Trazado del perfil sky-line de la matriz de rigidez y visualización de los coeficientes realmente involucrados en el cálculo.
- Visualización del procedimiento de cálculo mediante descomposición LU en formato de banda variable.

## 8. Análisis de resultados

Una vez resuelto el sistema de ecuaciones se obtienen los desplazamientos de los nudos, las reacciones y los esfuerzos.

<sup>5</sup> Las acciones horizontales se consideran estáticas.

Estos resultados pueden editarse por impresora o bien por pantalla o plotter en forma gráfica. Mediante los modos de selección y el movimiento en tiempo real los alumnos pueden percibir directamente, gracias a la presentación espacial, el comportamiento de la estructura sin más que un examen visual de las imágenes descriptivas de esfuerzos y deformaciones, desde el punto de vista elegido. Pueden completar esta apreciación visual con la lectura de los valores numéricos en cualquier punto de la directriz de la barra.

#### 9. Conclusiones y exposición de los trabajos

Se exponen en clase los mejores trabajos debiendo responder sus autores a las preguntas que se les formulen. Se comparan, además, las distintas soluciones propuestas.

### Aplicaciones del Programa

Con este programa se han calculado estructuras importantes en el ámbito de la obra pública y privada. Entre ellos:

- La Biblioteca Valenciana situada en el Monasterio de San Miguel de los Reyes, en Valencia.
- La Residencia Oncológica infantil (con una cubierta en forma de sector esférico), en Valencia.
- La Escuela de Cartografía y Geodesia de la Universidad Politécnica de Valencia.
- La ampliación de la Escuela de Ingenieros de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Un edificio rehabilitado para las Cortes Valencianas, en Valencia.
- El Edificio del Sindico de Cuentas, en Valencia.
- Un edificio de 16 plantas y 2 sótanos en la calle Campoamor, en Valencia.
- La peritación de un grupo de 110 viviendas, en Madrid.

El programa se ha utilizado también en la Escuela de Arquitectura de Valencia para calcular las estructuras de los proyectos fin de carrera que presentan los alumnos para obtener el título de arquitecto.

### Presencia en Congresos y Ferias

El programa se ha presentado en el 'XII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica', en Bilbao, en febrero de 1997; en el 'International Symposium on Advances in bridge Aerodynamics', en Copenhagen, Denmark, del 10 al 13 de mayo de 1998; en 'MICAD', Paris, en febrero de 1999; en 'Construmat', Barcelona, en mayo de 1999 y en 'Construtec-2000', Madrid, 2000.

Ha sido acogido favorablemente por los profesionales (arquitectos e ingenieros).

### Previsiones de Desarrollo Futuro

Se está trabajando actualmente sobre dos vías de desarrollo: pedagógico y profesional.

Este proyecto no está concebido para dar cobertura únicamente a asignaturas como Cálculo de Estructuras. Sus líneas de desarrollo pedagógico y sus objetivos permiten adaptarlo a todas aquellas cuyos contenidos se fundamenten en disciplinas de Construcción. Se está trabajando actualmente en un nuevo módulo en el que, a partir de los datos y los resultados del cálculo de la estructura, se representan los detalles constructivos. Cada imagen contendría todos los elementos que componen la estructura. Por ejemplo, en el caso de un forjado unidireccional, se representarían los soportes, las vigas, las viguetas, las armaduras, las bovedillas, la capa de compresión con el mallazo... Mediante las herramientas de los menús de selección y visualización se podría elegir un punto de vista (con giros y traslaciones de la imagen en tiempo real) y ver de cerca el detalle constructivo (imagen 7).

El contenido pedagógico es evidente: los alumnos pueden ver "realmente" como se construye su solución estructural.

Otro aspecto importante está relacionado con las posibilidades multimedia y la manera de utilizar los recursos disponibles. Los ordenadores actuales son capaces de gestionar la videoconferencia, por lo que puede hacerse un seguimiento del trabajo de los alumnos a distancia. Desde su despacho el profesor recibiría las imágenes y la voz de cada uno de los alumnos y les transmitiría sus instrucciones. Esto permitiría la enseñanza a distancia.

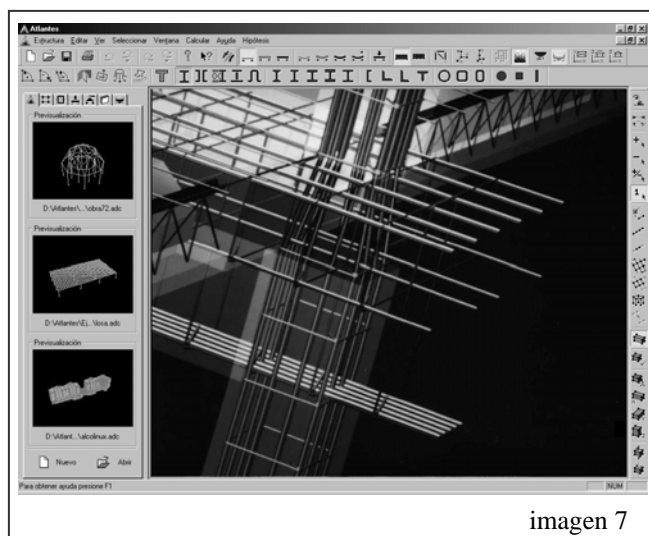


imagen 7

Las posibilidades del programa no se limitan únicamente al ámbito docente. Como se ha comentado antes, ya se ha utilizado para el cálculo de estructuras reales importantes. Actualmente se está concluyendo el módulo de armado y está previsto añadir otro de salida de resultados que incluiría la elaboración de los planos de armado, listado detallado de armaduras, representación de detalles de nudos, etc., es decir, todo lo necesario para ser competitivo con los programas utilizados en los estudios de arquitectura e ingeniería.

El módulo de generación de detalles constructivos se va a adaptar al ámbito profesional con la intención de incorporar a la salida de resultados clásica de las armaduras convencionales, imágenes virtuales completamente resueltas de las intersecciones de todos los materiales que intervienen.

## **Conclusión**

En este artículo se presenta la utilización de un programa, creado por los autores, para la enseñanza del cálculo de estructuras arquitectónicas. La alta prestación gráfica y la velocidad de cálculo del programa permite abordar el análisis tridimensional de estructuras de edificios de muchas plantas. Los estudiantes obtienen, de este modo, una mejor comprensión del comportamiento de la estructura.

De entre todos los aspectos innovadores del programa destacan los siguientes: la visualización y el movimiento en tiempo real, la depuración de ficheros DXF y el catálogo de secciones normalizadas o específicamente diseñadas. Todas estas herramientas y bases de datos están pensadas para obtener un resultado de cálculo no sólo visualmente excelente sino con una auténtica realidad constructiva.

## **Bibliografía**

Chen, Wai-Fah; White, D W; Lu, Jun et al. A matrix class library in C++ for structural engineering computing. *Computers and Structures*, 1995, vol. 55, no. 1, p. 95-112.

Bik, A J C; Wijshoff, H A G. Automatic Data Structure Selection and Transformation for Sparse Matrix Computations. *IEEE transactions on parallel and distributed systems*, 1996, vol. 7, no. 2, p. 109-126.

Noor, A K. New computing systems and future high-performance computing environment and their impact on structural analysis and design. *Computers and Structures*, 1997, vol. 64, no. 1, p. 1 -30.

Smith, I M; Griffiths, D V. *Programming the Finite Element Method*. John Wiley and Sons, 1988, 2nd edition.