

TESIS DOCTORAL

Una Contribución a la Modelización y Virtualización Numérica de Estructuras Arquitectónicas

**(Una aplicación práctica a la estructura del Sagrario de la Catedral
de la Ciudad de México)**

**Tesis presentada por:
Arq. Francisco Muñoz Salinas**

Para obtener el grado de: Doctor Arquitecto

Director de Tesis: Javier López-Rey Laurens

Codirector: Jordi Maristany i Carreras

**Programa de Doctorado: Análisis de Estructuras Arquitectónicas
Departamento de Estructuras en la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona
Universidad Politécnica de Cataluña**

Barcelona 2000

4.3.2.4 Tipos de elementos

Con este comando se realiza la selección del tipo de elemento deseado. Sólo es necesario cuando este tipo es diferente del tipo por defecto.

Los tipos son:

- a. **Lineal:**
Para líneas.
- b. **Triángulos y cuadriláteros:**
Para superficies.
- c. **Tetraedros y hexaedros:**
Para volúmenes.
- d. **Lineal, cuadriláteros, prisma y hexaedros:**
Para contactos.

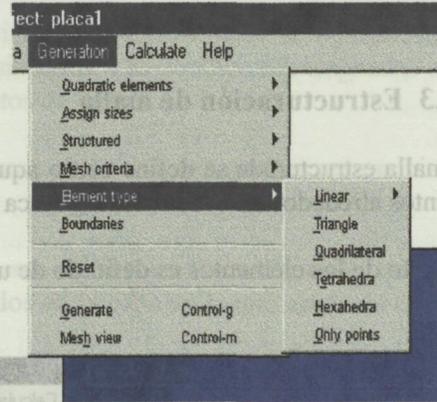


Fig. 4.3.6 Tipo de elemento

Por defecto, los elementos son de grado mínimo: Los de 3 nodos son triángulos, los de 4 nodos cuadriláteros, y así sucesivamente. Los elementos cuadráticos son:

- Lineal: 3 nodos.
- Triángulo: 6 nodos.
- Cuadriláteros: 8 nodos.

4.3.2.5. Condiciones de borde

Las condiciones de borde, que anteriormente se tenían que asignar manualmente a cada uno de los nodos, pueden asignarse de manera fácil con GiD, en un entorno de Windows, lo que facilita la asignación de ellas.

Conditions:

- Assign Condition:*
- Draw Condition:*
- Unassign condition:*

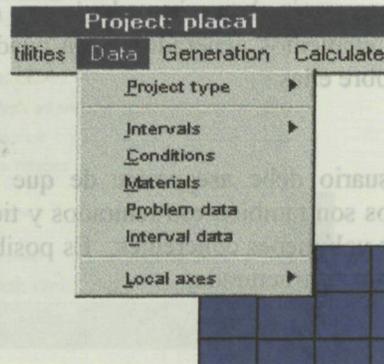


Fig 4.3.7 Datos de la Condición

4.3.2.6 Asignación de condiciones

Las condiciones son asignadas a entidades seleccionadas con los campos de valor ya determinados. Las condiciones pueden ser asignadas tanto en la geometría como en la malla, pero generalmente es mejor asignarlas en la geometría porque las condiciones son transferidas a la malla. Además en la malla algunas condiciones no pueden ser asignadas correctamente.

*Nota : Aunque una malla haya sido ya generada, si cambiamos algo en la asignación de condiciones, es necesario generar la malla de nuevo.

4.3.2.7. Materiales de base

Cuando exista un cálculo que requiera materiales, en GiD existe una base de datos de materiales que pueden ser asignados a las entidades. El usuario también puede crear nuevos materiales derivados de otros existentes y asignarlos.

Materials:

Assign material:

Draw material:

Unassign material:

New material:

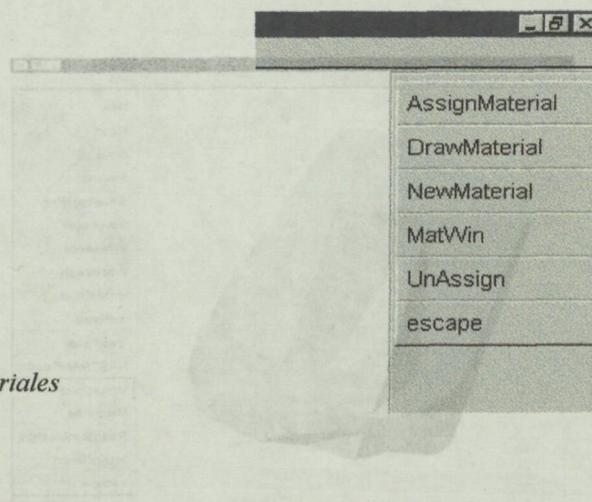


Fig.4.3.8 Materiales

4.3.2.8 Asignación de Materiales

El material es asignado a las entidades seleccionadas. Si se asigna desde la ventana gráfica, cada vez el material a asignar cambia.

* Nota Aunque una malla haya sido ya generada, si cambiamos algo en la asignación de materiales, es necesario generar la malla de nuevo o asignar materiales directamente a la malla.

4.3.2.9 Datos del problema

Los datos de un problema, son los datos generales de éste. Esto significa que no están relacionados a ninguna entidad geométrica y no cambian en cada intervalo. Pueden ser introducidos con el comando 'ProblemData' o en la ventana de datos del problema. Estos datos pueden ser introducidos antes o después de la generación de la malla.

A partir de aquí, el usuario puede generar un archivo de tipo texto, para luego llevar a análisis en cualquier programa de calculo de estructuras que utilice el M.E.F.

4.3.2.10 Escritura del archivo para calcular

Este comando escribe el fichero necesario para la ejecución del cálculo. Si *GiD* puede ejecutar el proceso automáticamente, este comando no es necesario. Este comando puede ser útil si queremos ejecutar el proceso del programa fuera de *GiD* o si queremos comprobar este archivo para ver la entrada de datos para los cálculos. El modo en que este archivo es escrito debe ser definido con anterioridad.

Cuando se está comprobando la definición de un nuevo tipo, *GiD* ofrece mensajes sobre errores en la configuración. Cuando se localiza el error este comando puede ser utilizado otra vez sin tener que salir del trabajo en curso.

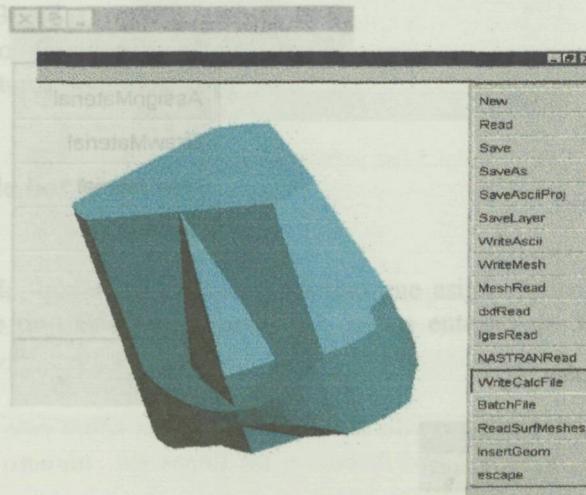


Fig. 4.3.9 Escritura del archivo para su cálculo

Estos comandos, son algunos de los muchos que contiene *GiD* para la generación de geometrías, el preproceso, análisis y postproceso dentro del análisis de estructuras

Es de importancia remarcar que *GiD* es un programa que se encuentra a nivel de muchos otros programas comerciales, pero, con mayor accesibilidad de costos.

4.4 Configuración de GiD para el postproceso

4.4.1 Introducción

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, el análisis estructural se puede subdividir en tres procesos primordiales:

1. *El preproceso*..... (la discretización y el modelo matemático)
2. *El Cálculo de la estructura*..... (el uso de programas informáticos)
3. *El postproceso*..... (visualización de los resultados)

En este apartado se describirán las utilidades que contiene el *postproceso* de *GiD* y la forma en que el usuario puede configurarlo para cualquier problema en particular.

Sabemos que el cálculo de estructuras es una tarea de gran responsabilidad para el profesional que se dedica a ello.

Por esa razón, es importante que éste sepa interpretar los resultados gráficos (*postproceso*) generados en el análisis ya que de ello depende el buen funcionamiento de la estructura. Por consiguiente, es esencial contar con un buen programa que nos permita visualizar, correctamente, los resultados obtenidos.

GiD, al igual que con el *preproceso*, cuenta con un postprocesador bastante dinámico, el cual puede ser configurado, por el usuario y adaptado a diferentes salidas de datos de programas de cálculo de estructuras.

A continuación, se enumeran algunas de las opciones que tiene *GiD* para el postproceso:

- **Preferencias:** permite seleccionar la forma de trabajo dentro de la visualización del problema.

Dentro de esta ventana se encuentran los subcomandos:

a) **General:** ayuda a crear nuevos puntos, ventanas y archivos batch.

b) **Graphical:** genera curvas de precisión para rotación e iluminación en la representación.

c) **Meshing:** configura el tipo de malla en superficies y volúmenes.

d) **Postproceso:** configura el número de colores a utilizar en la representación, los parámetros de máximos y mínimos de los resultados, así como el número de vectores en los colores.

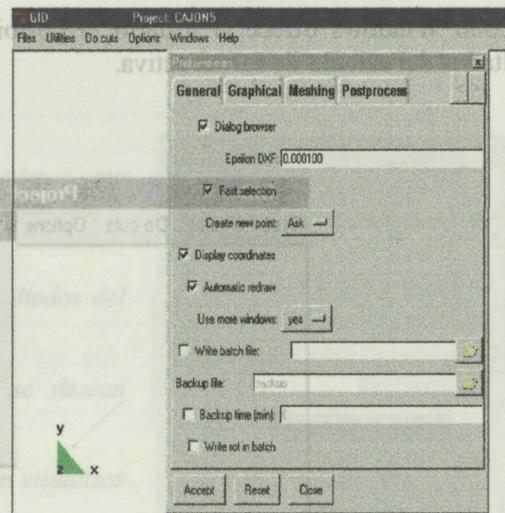


Fig. 4.4.3 Ventana de preferencias (preferences)

4.4.3 Hacer cortes

Con el comando *do cuts* se pueden realizar cortes perpendiculares en la malla generada para poder optimizar la visualización de los resultados.

- **Hacer cortes:**

- **Cut plane:** Realiza cortes en el plano. Estos, pueden ser generados por dos o tres puntos.

- **Divide mesh:** genera divisiones en la malla en dos partes en su plano y puede ser en dos o tres puntos.

- **Divide sets:** al igual que los dos comandos anteriores divide los sets en el plano por dos o tres puntos.

- **Sucesion:** permite al usuario hacer secciones paralelas entre ellas, definiendo un eje de dirección normal a los cortes, y el número de divisiones que quiera realizar a lo largo de éste.

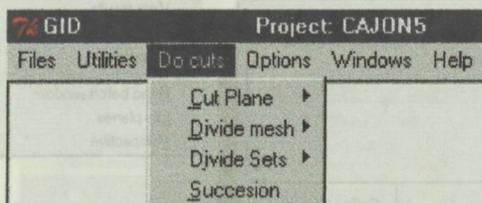


Fig. 4.4.4 Ventana de Cortes (do cuts)

4.4.4 Ventanas

El icono Windows ofrece al usuario la posibilidad, mediante diversas ventanas, de acceder a los resultados del cálculo de forma activa.

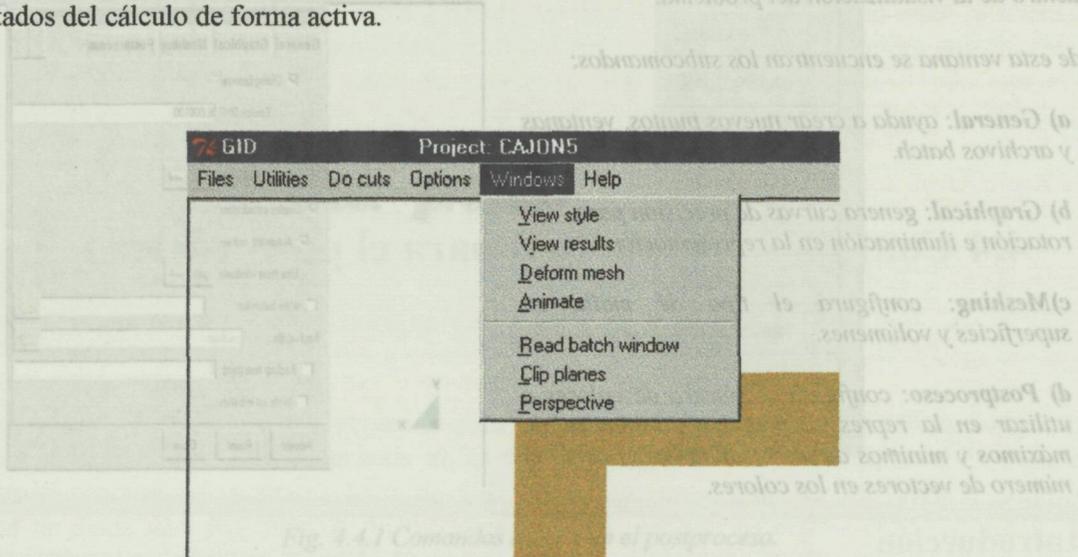


Fig. 4.4.5 Comandos de ventanas (windows)

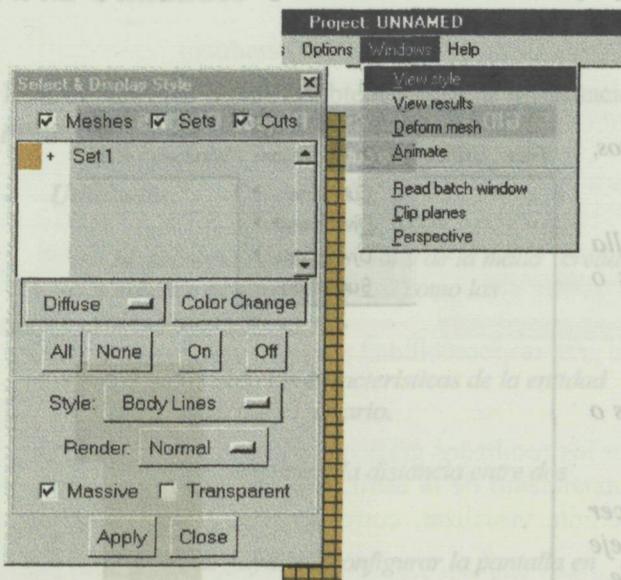


Fig. 4.4.6 Comandos de ventanas (windows)

- Ventanas:

- **View style:** accede a la ventana auxiliar que permite al usuario escoger la forma de visualización de las mallas (**mesh**), los pasos dentro del análisis (**sets**) y cortes (**cuts**) dentro del postproceso.

Dentro de esta ventana se puede configurar la forma en que se desean ver, tanto las mallas, set o corte. Se pueden presentar de manera difusa, con renders, transparente o en masa.

4.4.4.1 Visualización de resultados

- **View Results:** este icono permite al usuario acceder a una ventana auxiliar donde puede seleccionar qué tipo de análisis y pasos, de los resultados desee visualizar.

- **No Result:** opción para que se visualicen los resultados del cálculo.

- **Display vectors:** se selecciona qué resultados se desean visualizar a través de vectores.

- **Contour Fill:** se selecciona qué resultados se desean visualizar en bandas de colores.

- **Contour Lines:** se escoge qué resultados se desean visualizar en isolíneas de colores.

- **Sh Min Max:** muestra el sitio en donde se encuentra el máximo y el mínimo numérico de los resultados que se elijan.

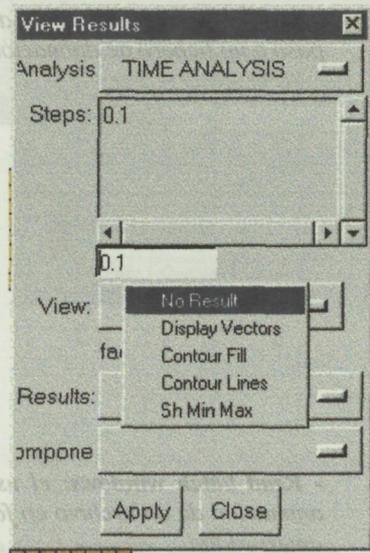


Fig. 4.4.7 View Result (windows)

4.4.4.2 Visualización de la malla deformada

- **Deform Mesh:** visualiza la deformada de la malla según un campo de desplazamiento.

Esta ventana contiene diversos subcomandos para visualizar, ya sea la geometría original o la deformada:

1. Main Geometry
 - Original
 - Deformation
 - Results
 - factor
2. Show Geometry
 - off
 - Original
 - Deformation; analysis, steps, results, factor.

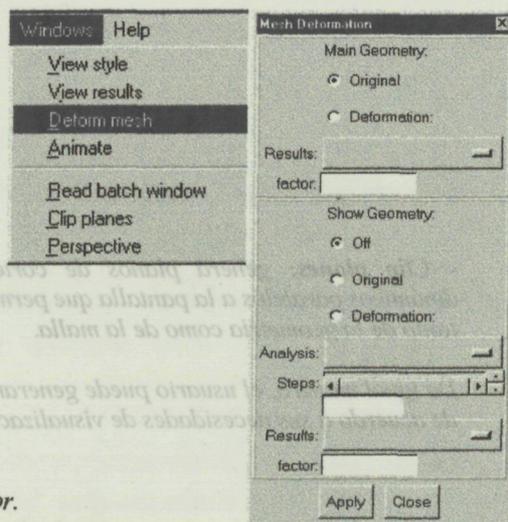


Fig. 4.4.8 Deform Mesh (windows)

4.4.4.3 Animación de los resultados

- **Animate:** ventana de animación que permite visualizar un resultado a través de los pasos de un análisis, así como guardar fotos de cada paso o un fichero de animación en formato mpeg

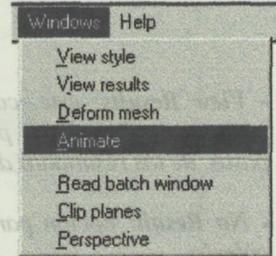
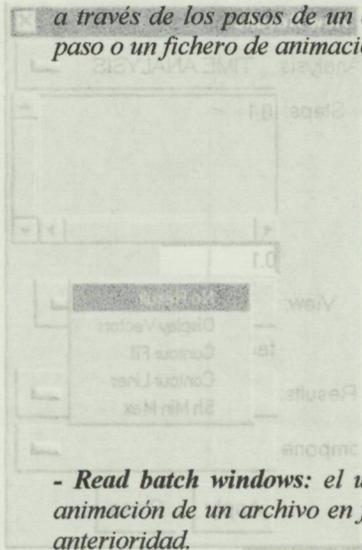


Fig. 4.4.9 Animate (windows)

- **Read batch windows:** el usuario puede ejecutar la animación de un archivo en formato batch creado con anterioridad.

Funciona como un reproductor de video y puede configurarse, de tal manera que el usuario puede definir tiempo de iniciación y de terminación.

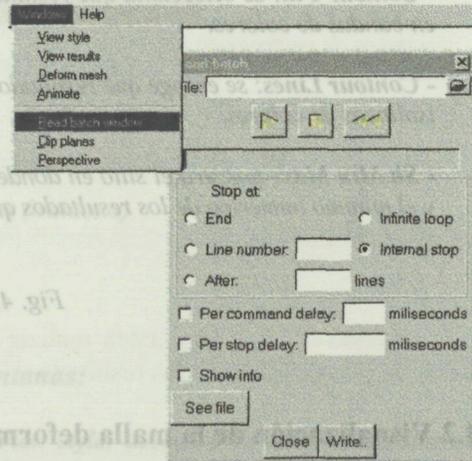


Fig. 4.4.10 Read batch windows (windows)

- **Clip planes:** genera planos de corte de visualización dinámicos paralelos a la pantalla que permiten ver el interior, tanto de la geometría como de la malla.

De igual manera, el usuario puede generar una configuración de acuerdo a sus necesidades de visualización.

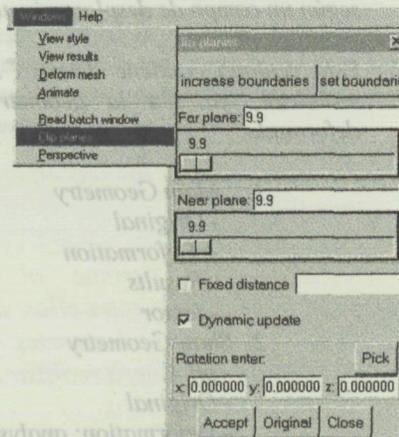
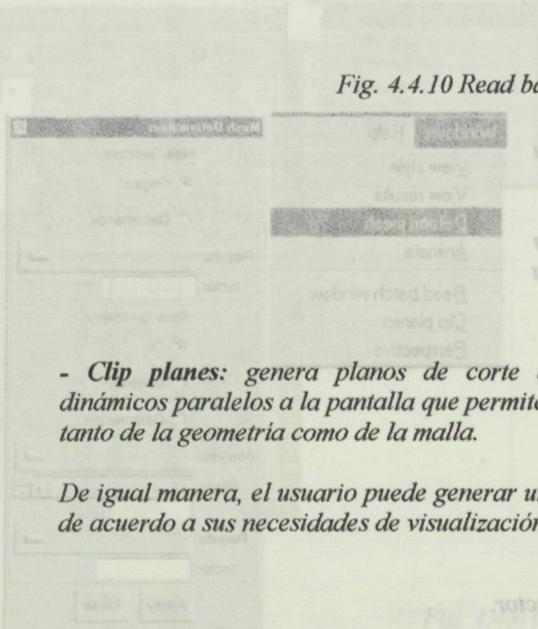


Fig. 4.4.11 Clip planes (windows)

4.4.4.4 Perspectivas

- *Perspective: permite cambiar entre perspectiva normal y axonométrica.*

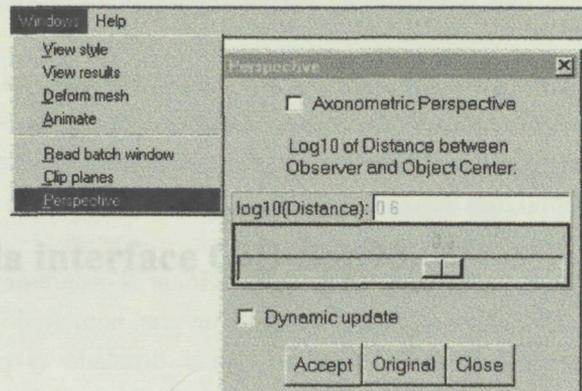


Fig. 4.4.12 Perspectiva (windows)

4.5.1 Introducción

Estos son, de manera general, los comandos más comunes y usados en *GiD* durante el *postproceso*.

En esta investigación, además de el análisis lineal de estructuras históricas, se ha creado una herramienta para el proceso de cálculo de estructuras.

Hay que ser conscientes de que el uso inevitable de la informática en el cálculo y diseño de las estructuras ofrece grandes ventajas pero no está exenta de inconvenientes. Tales inconvenientes se pueden producir tanto en la introducción de datos *preproceso* como en la interpretación de los resultados obtenidos *postproceso*.

Ayudar a que estas dos fases del cálculo se simplifiquen y por tanto que se entiendan mejor es precisamente uno de los objetivos de esta investigación.

Es evidente que hoy en día el disponer de ordenadores cada vez más potentes, tanto en lo relativo a la memoria como a su capacidad de almacenar, permite utilizar programas y sistemas de cálculo imposibles hasta hace poco tiempo.

Así se explica el éxito del método de los elementos finitos que aunque requiere una entrada de datos algo complicada todavía permite analizar las más variadas tipologías estructurales con la obtención, normalmente dentro del campo clásico, de resultados bastante aproximados siempre que se tenga cuidado de hacer una discretización suficientemente correcta del objeto que se pretende diseñar.

El principal problema radica en "hacer una entrada de datos" suficientemente sencilla y inteligible así como de conocer la forma de interpretar los resultados que nos facilita el ordenador.

Figura 1. Estructura de un edificio.



Figura 2. Estructura de un edificio.



Figura 3. Estructura de un edificio.



4.5 Configuración de la interface GiD-Sap90

4.5.1 Introducción

Es esta investigación, además de el análisis lineal de estructuras históricas, se a creado una herramienta para el proceso de cálculo de estructuras

Hay que ser conscientes de que el uso inevitable de la informática en el cálculo y diseño de las estructuras ofrece grandes ventajas pero no está exenta de inconvenientes. Tales inconvenientes se pueden producir tanto en la introducción de datos *-preproceso-* como en la interpretación de los resultados obtenidos *-postproceso-*.

Ayudar a que estas dos fases del cálculo se simplifiquen y por tanto que se entiendan mejor es precisamente uno de los objetivos de esta investigación.

Es evidente que hoy en día el disponer de ordenadores cada vez mas potentes, tanto en lo relativo a la memoria como a su capacidad de almacenar, permite utilizar programas y sistemas de cálculo impensables hasta hace poco tiempo.

Así se explica el éxito del método de los elementos finitos que aunque requiere una entrada de datos algo complicada todavía, permite analizar las mas variadas tipologías estructurales con la obtención, normalmente dentro del campo elástico, de resultados bastante aproximados siempre que se tenga cuidado de hacer una discretización suficientemente correcta del objeto que se pretende diseñar.

Su principal problema radica en "hacer una entrada de datos" suficientemente sencilla y inteligible así como de conocer la forma de interpretar los resultados que nos facilita el ordenador.

En todos los programas de elementos finitos que van apareciendo se aprecia la preocupación por esta cuestión, de ahí que ofrezcan nuevas versiones que contemplan logaritmos para facilitar el trabajo al usuario que introduce los datos o interpreta los resultados.

El inconveniente se deriva de que para cada problema, cada programa y para cada máquina es necesario utilizar un sistema diferente de simplificar la interacción usuario-máquina. Este es el principal escollo a superar porque resulta cada vez más difícil recordar en cada caso y para cada programa cual es el logaritmo más adecuado.

Este es el problema que intenta solucionar el programa *GiD* de *pre* y *postproceso*: Con un solo sistema de entrada de datos se puede acceder a un gran número de programas de elementos finitos diferentes. Se trata únicamente de haber previsto, haber diseñado el programa de interconexión "*GiD-Programa*" que queremos utilizar.

Sólo se trabaja con un solo logaritmo. Sólo hay una única manera de entender los datos y una sola manera de entender e interpretar los resultados.

Lo que hace falta es diseñar esta interconexión del *GiD* con cada programa que se quiera utilizar más adelante, donde esta aplicación es más rentable es en la conexión del *GiD* con aquellos programas que han representado auténticos estandartes de mercado como es el caso del *SAP*.

Por todo esto, aquí se describe el desarrollo de la Interface *GiD-Sa90*. Se realizaron algunos ejemplos prácticos a la interface y en este apartado se muestran.

En estos ejemplos se utiliza la teoría de la elasticidad bidimensional, así como la elasticidad en tres dimensiones. Y se describe, de manera resumida, todo el desarrollo del pre, cálculo y postproceso dentro del análisis de estructuras arquitectónicas.