

# **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**

#### 4.5.2.6 Postproceso

En este momento, estamos en condiciones de poder visualizar los resultados del análisis. Para poder acceder a los resultados es necesario seleccionar el icono de *Postproceso*.

Automáticamente el programa accede al *postproceso*, y es ahí donde podremos obtener los resultados gráficos del problema.

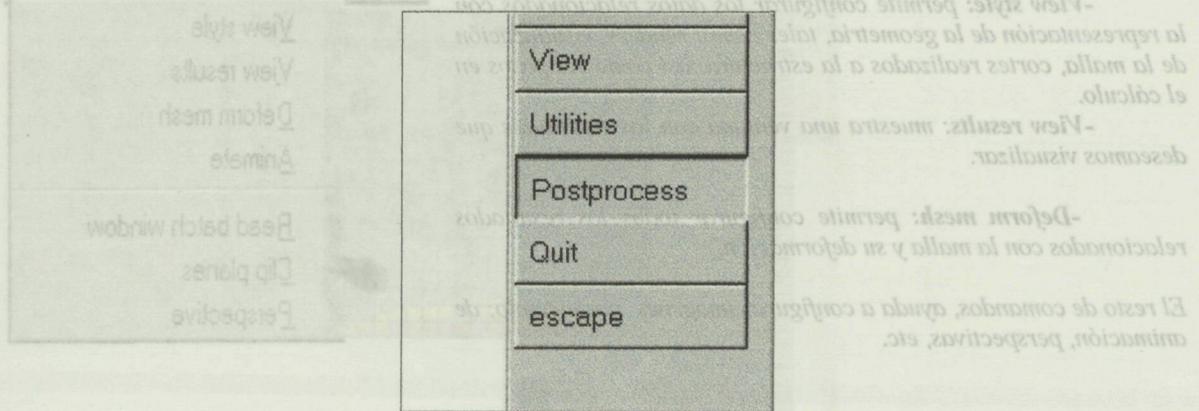


Fig. 4.5.26 Postproceso

##### 4.5.2.6.1 Configuración de los resultados

Dentro del *postproceso* podemos configurar los resultados obtenidos, ya sean colores, escala de la deformación y valores numéricos. Es importante señalar, que el usuario debe de conocer los programas de cálculo a utilizar, así como los resultados que desea obtener.

**\*Nota:** Nunca podemos olvidar, que toda persona que pretenda realizar el análisis de cualquier estructura debe poseer los conocimientos numéricos necesarios. Ya que sería de desagradables consecuencias interpretar de manera incorrecta los resultados, lo cual se traduciría en un grave peligro para la construcción de la estructura.

##### **\*Utilidades del postproceso:**

- **Utilities:** al igual que en el *preproceso*, la ventana de utilidades nos permite identificar nodos y elementos de la malla generada y la distancia entre ellos. También, podemos configurar todos los datos relacionados con los resultados (*General, Graphical, Meshing y postprocess*) utilizando *preferences*.

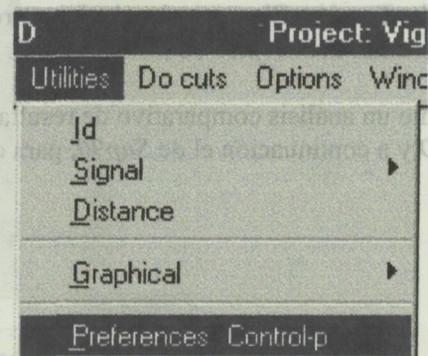


Fig. 4.5.27 Utilidades del Postproceso

\* **Ventanas del postproceso:**

- **Windows:** este comando nos permite visualizar todas las ventanas, las cuales contienen los resultados gráficos.

- **View style:** permite configurar los datos relacionados con la representación de la geometría, tales como: renders, visualización de la malla, cortes realizados a la estructura, así como los pasos en el cálculo.

- **View results:** muestra una ventana con los resultados que deseamos visualizar.

- **Deform mesh:** permite configurar todos los resultados relacionados con la malla y su deformación.

El resto de comandos, ayuda a configurar imágenes, por ejemplo: de animación, perspectivas, etc.

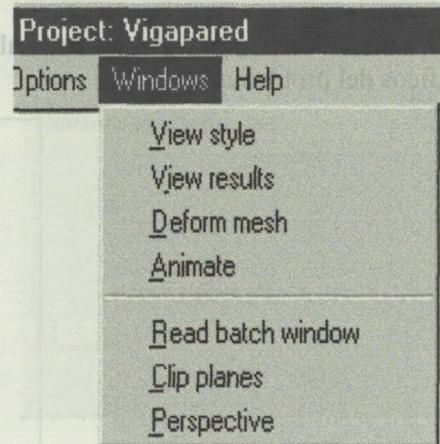


Fig. 4.5.28 Ventanas del Postproceso

\***Nota:** Si el usuario desea conocer más información, sobre todos y cada uno de los comandos, así como de su configuración, puede acceder a la página Web del **GiD**.

Dentro del postproceso podemos configurar los resultados obtenidos: ya sean colores, escala de la deformación y valores numéricos. Es importante saber de conocer los programas de cálculo a utilizar, así como los resultados que desea obtener.

<http://www.gatxan.upc.es>

\* **Calcular:**

### 4.5.3 Visualización de los resultados tensionales.

En este apartado, se muestran los resultados gráficos del análisis de la viga pared sometida a una carga uniformemente repartida y empotrada en su base. Recordemos que en este ejemplo utilizamos la teoría de la Tensión Plana y el cálculo se realizó con la *interface GiD - Sap90*. Y para este caso en particular, la *interface* de *ASOLID.GID*.

Como un análisis comparativo de resultados, se mostrara el resultado tensional del *postproceso* de *GiD* y a continuación el de *Sap90*, para cada componente.

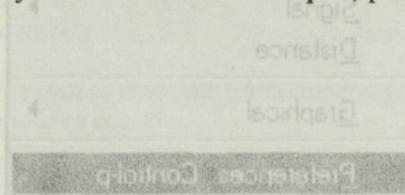
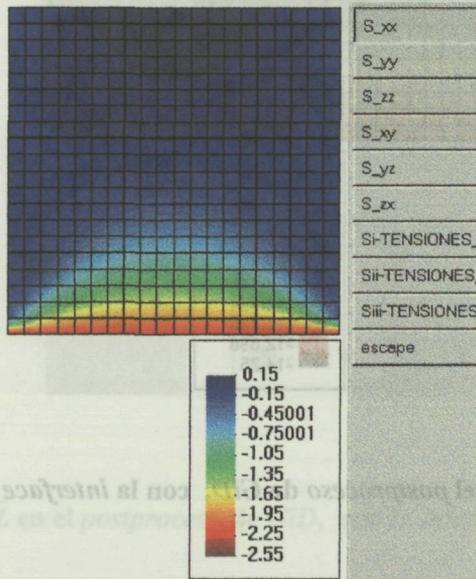
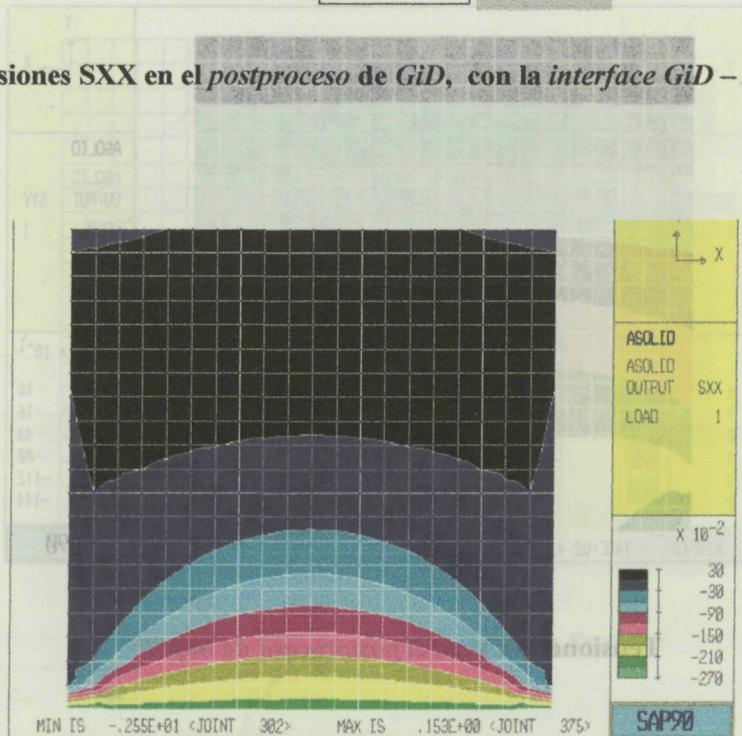


Fig. 4.5.29 Utilidades del Postproceso

**\* VALORES TENSIONALES**



Tensiones SXX en el *postproceso* de GiD, con la *interface* GiD – Sap90



Tensiones SXX en el *postproceso* de Sap90

*\* Ventanas del postproceso:*

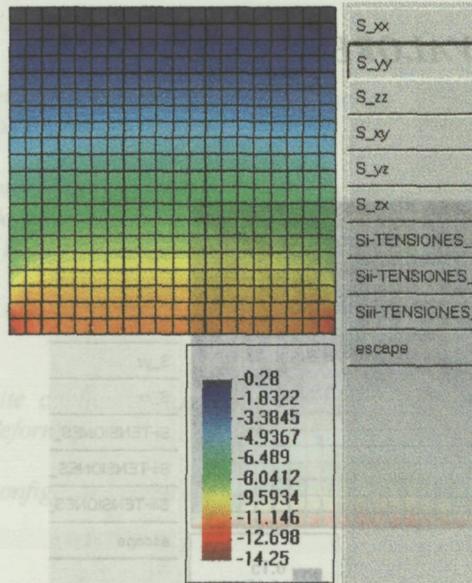
- *Windows:* este comando muestra las ventanas, las cuales contienen la

- *View style:* permite cambiar la representación de la geometría de la malla, curvas realizadas a el cálculo.

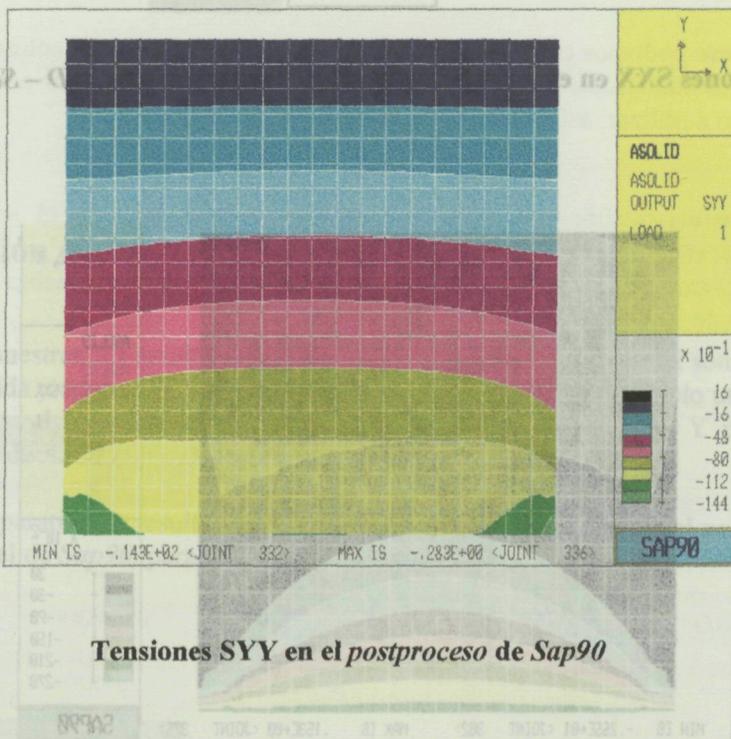
- *View results:* muestra los resultados de los elementos visualizar.

- *Deform mesh:* permite visualizar los resultados relacionados con la malla y su deformación.

El resto de comandos, ayuda a configurar la animación, perspectivas, etc.

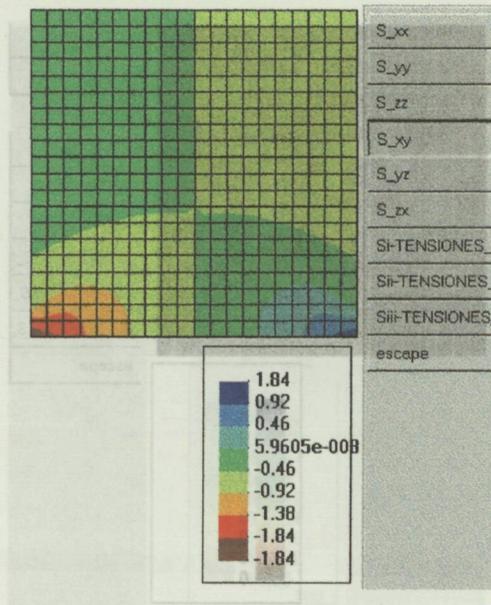


**Tensiones SYY en el postproceso de GiD, con la interface GiD – Sap90**

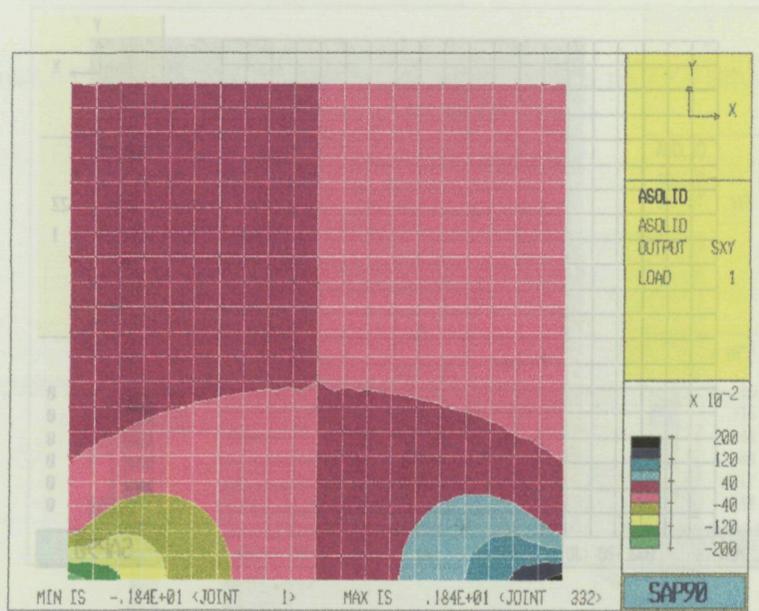


**Tensiones SYY en el postproceso de Sap90**

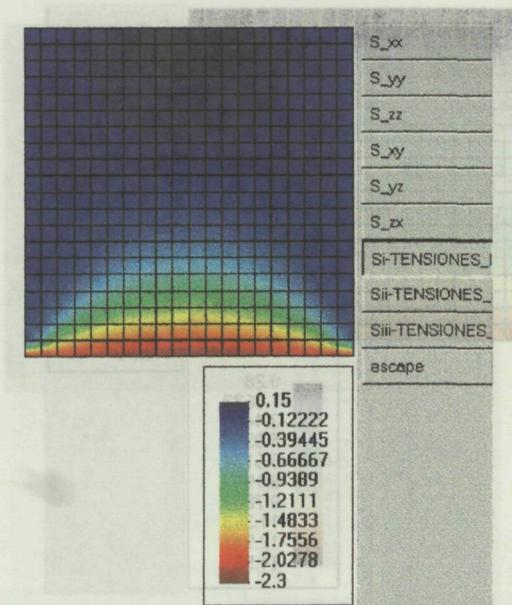




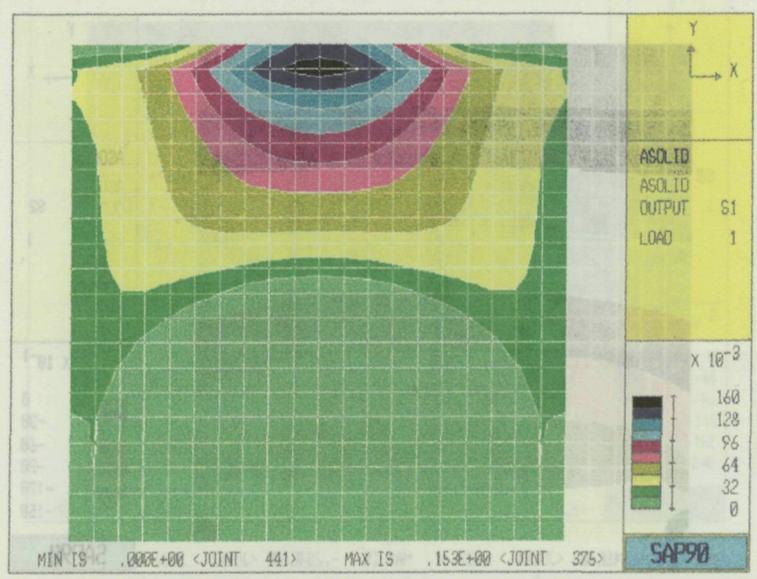
Tensiones SXY en el postproceso de GiD, con la interface GiD - Sap90



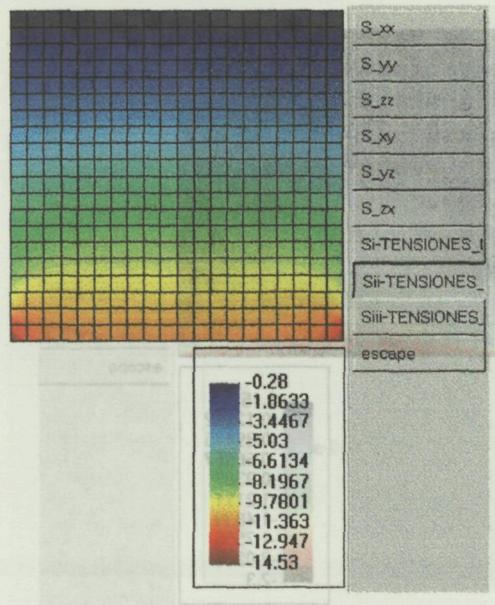
Tensiones SXY en el postproceso de Sap90



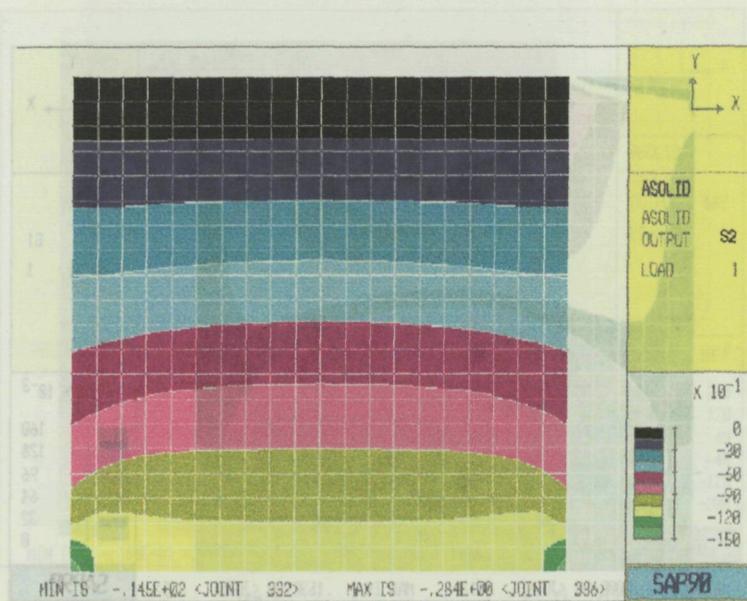
Tensiones Sii en el postproceso de GiD, con la interface GiD - Sap90



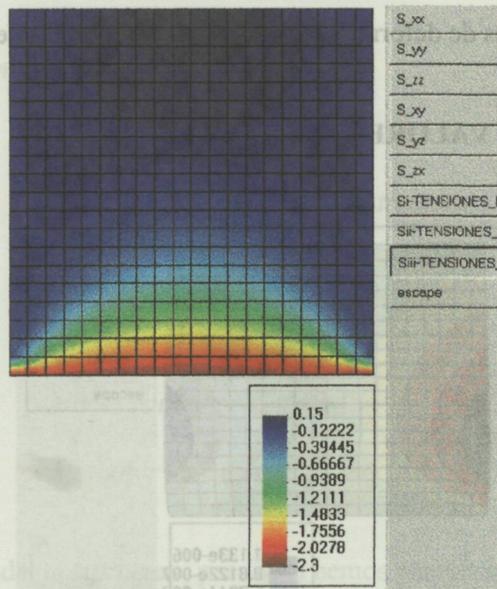
Tensiones S1 en el postproceso de Sap90



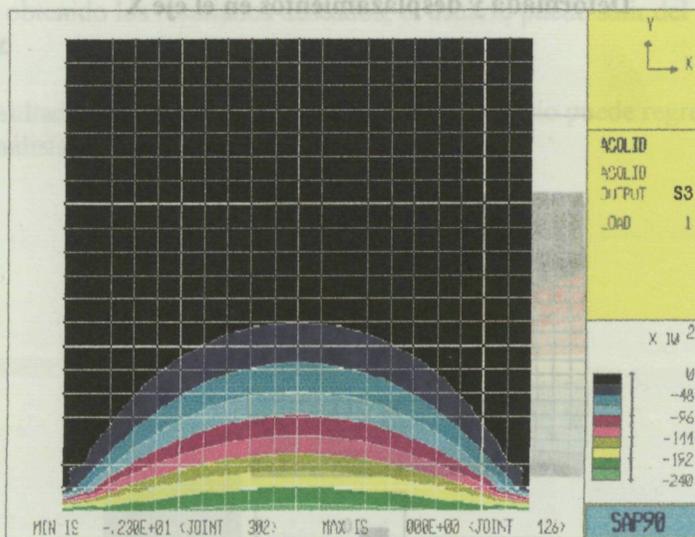
Tensiones Sii en el postproceso de GiD, con la interface GiD - Sap90



Tensiones S2 en el postproceso de Sap90



Tensiones Siii en el postproceso de GiD, con la interface GiD – Sap90

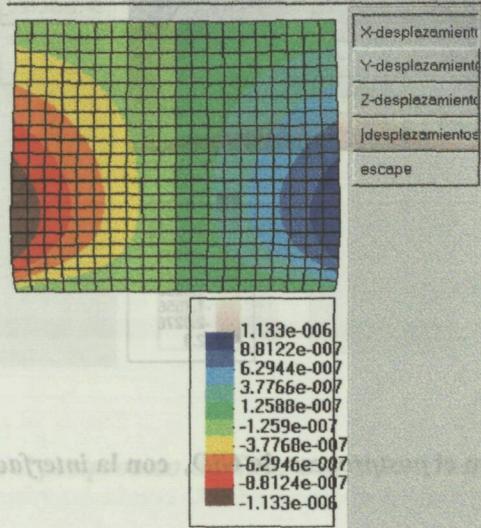


Tensiones S3 en el postproceso de Sap90

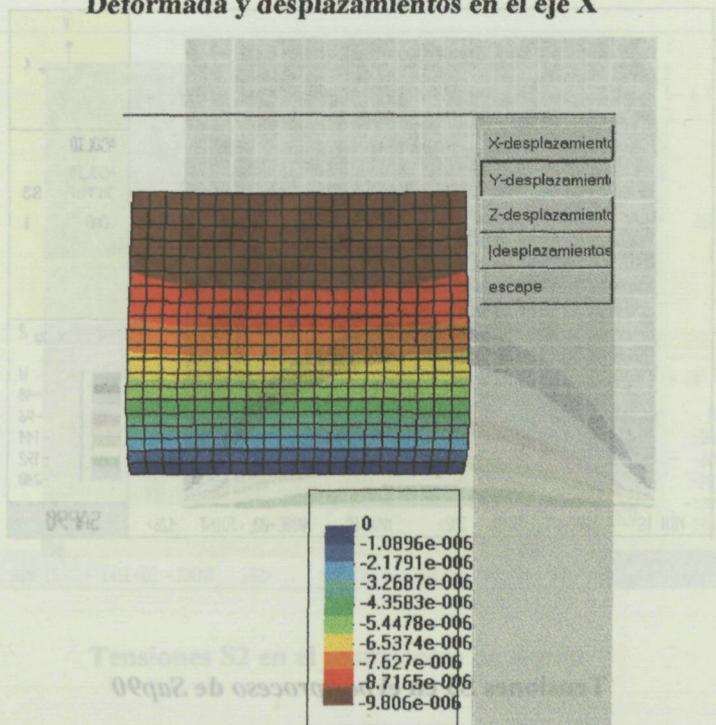
### 4.5.4 Visualización de los resultados deformacionales.

Aquí solo anexaremos los valores de deformación y la misma deformada de la Viga pared.

#### \* VALORES DEFORMACIONALES



#### Deformada y desplazamientos en el eje X



#### Deformada y desplazamientos en el eje Y

## 4.5.5 Herramientas del postproceso

Dentro del *postproceso* podemos realizar:

- *Salvar archivos de imagen con varias extensiones.*
- *Hacer Animaciones de la estructura y sus resultados.*
- *Renders.*
- *Comentarios.*
- *Hacer cortes en la malla.*
- *Designar variables.*

Existen más opciones dentro del *postproceso*, pero solo hemos enumerado las más comunes y útiles en este trabajo.

### 4.5.5.1 Salir del postproceso.

Toda vez que hemos obtenido los resultados deseados, el usuario puede salir del programa con solo picar el icono de *quit*.

En el caso que los resultados no hayan sido los adecuados, el usuario puede regresar al *preproceso* e iniciar de nuevo el análisis de la estructura.

### 3.1.1.1. Modelado de la estructura

#### 3.1.1.1.1. Modelado de la estructura

El primer paso en el modelado de la estructura es la definición de la geometría de la estructura.

El segundo paso es la definición de las propiedades de los materiales.

El tercer paso es la definición de las condiciones de contorno.

El cuarto paso es la definición de las cargas.

El quinto paso es la definición de los elementos de la estructura.

El sexto paso es la definición de los grados de libertad.

El séptimo paso es la definición de los tipos de elementos de la estructura. Los tipos de elementos de la estructura son los elementos de barra, los elementos de placa y los elementos de sólido.

#### 3.1.1.1.2. Modelado de la estructura

El primer paso en el modelado de la estructura es la definición de la geometría de la estructura.

El segundo paso es la definición de las propiedades de los materiales.

El tercer paso es la definición de las condiciones de contorno.

El cuarto paso es la definición de las cargas.

## 4.6 Preproceso, cálculo y postproceso de un forjado (interface 3dshell)

### 4.6.1 El preproceso

En el capítulo anterior analizamos un *Viga pared*, por medio de la teoría de Elasticidad Bidimensional (*interface Asolid.gid*) concretamente, con la de Tensión Plana. En éste mismo capítulo se detalló, de manera amplia, todo el procedimiento a seguir dentro de la interface, así como los resultados obtenidos.

A continuación, se presenta la interface, para el caso de *3dShell.gid*, de Teoría de Placas. En este capítulo vamos a analizar una lámina (shell), utilizando la teoría de placas. Y mostraremos lo fácil y rápido que es este proceso.

Consideremos un forjado de 5 x 5 mts. que se encuentra empotrado en dos de sus lados paralelos. El material de este será de hormigón armado, con un espesor de 0.10 mts. y solo se calculará a peso propio.

#### 4.6.1.1 Generación de la geometría

- La generación de esta geometría es muy sencilla, así que lo haremos desde el preproceso de GiD.

Recordemos, que vamos a generar un cuadrado simple con dimensiones de 5 x 5.

La partición (generación de malla) será de 20 por 20 elementos.

Utilizaremos la Teoría de placas.

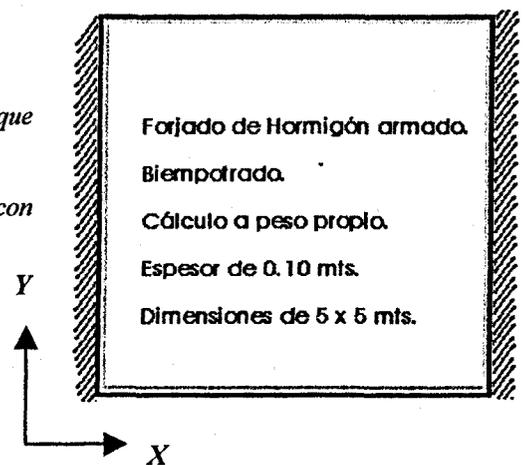


Fig. 4.6.1 Generación de la Geometría (Forjado 5 x 5)

Una vez que se entra al programa *GiD*, vamos a generar la geometría. Primero, recordemos que hay que generar los puntos de contorno. Después, construiremos el perímetro del cuadrilátero uniendo los puntos generados (también es posible generar líneas directamente). No hay que olvidar que hay que darle nombre el problema.

A partir de este momento, estamos en condiciones para crear la malla.

#### 4.6.1.2 Creación de la malla

- **Creación de Superficie:** Una vez que se ha creado la geometría es necesario crear una superficie, la cual nos permitirá generar la malla.

El usuario debe de acceder a la ventana **Geometry** y seleccionar la opción **4 sided surface**. A continuación, es necesario seleccionar la geometría y el programa hará la generación de la superficie.

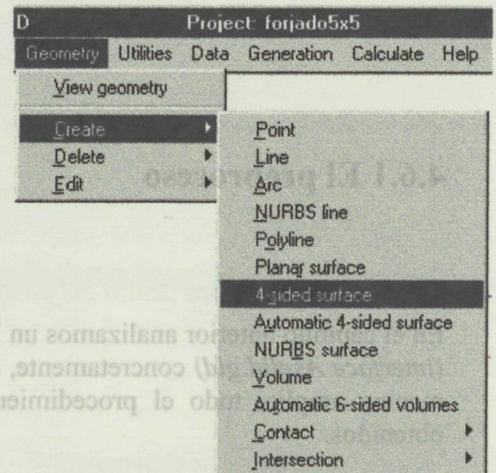


Fig. 4.6.2 Generación de la Superficie.

- **Generación de malla:** toda vez que tenemos la geometría y la superficie, podemos comenzar a generar la malla para realizar el cálculo.

Iniciaremos por seleccionar la ventana de **Generation** y seleccionar la opción **Quadratic elements** donde distinguiremos el tipo de elemento a utilizar.

Los elementos pueden ser:

- Quadratic
- Quadratic 9
- Normal

\* Además podemos obtener información sobre el tipo de elemento seleccionado.

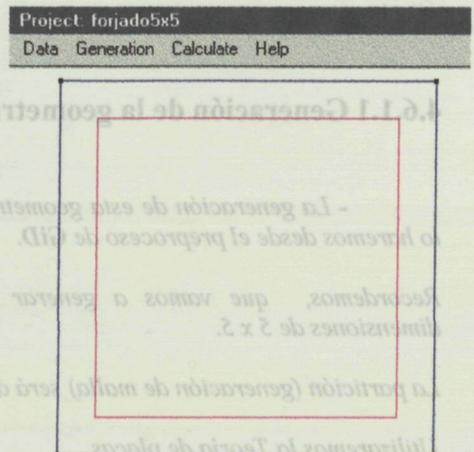


Fig. 4.6.3 Generación de la malla.

- **Parámetros de la malla:** en este análisis generaremos una malla de cuatro nodos y una partición de 20 x 20.

Los pasos a seguir son:

1º Estructurar la malla con superficies y solicitarle al programa la partición necesaria.

2º Seleccionar el tipo de elemento, que en nuestro caso será el cuadrilátero.

3º Generar la malla.

Ahora solo queda solicitarle al programa que nos muestre la malla.

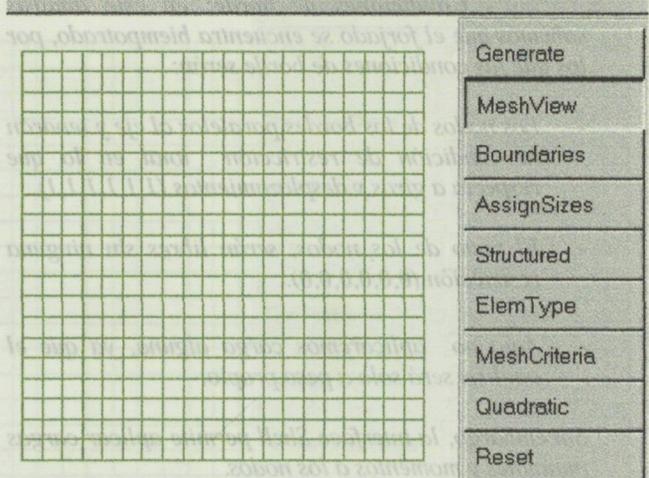


Fig. 4.6.4 Parámetros de la malla.

4.6.1.3 Definición de los parámetros para su cálculo

A continuación, tenemos que dar los parámetros del problema para su análisis:

- Primero, tenemos que seleccionar el tipo de problema a resolver, que para nuestro caso será el de Shell.gid.

El programa leerá los datos de Shell.gid y nos informará si todo esta correcto.

Lo siguiente será, definir todos los datos que se requieran para el cálculo, tales como: condiciones de borde, tipo de material y los datos del problema.

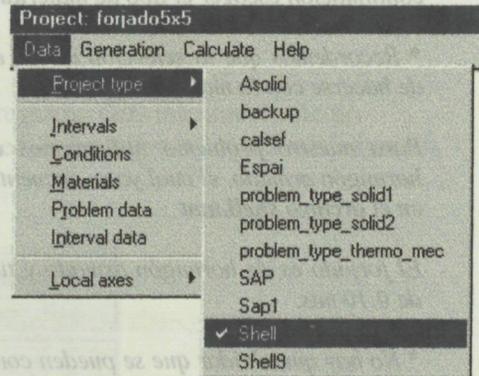


Fig. 4.6.5 Parámetros del análisis.

- **Condiciones de borde:** en este análisis sabemos que el forjado se encuentra biempotrado, por lo que las condiciones de borde serán:

- Los nodos de los bordes paralelos al eje y tendrán la condición de restricción total en lo que respecta a giros y desplazamientos (1,1,1,1,1,1).
- El resto de los nodos, serán libres sin ninguna restricción (0,0,0,0,0,0).
- Aquí no aplicaremos carga alguna, ya que el análisis será solo a peso propio.

Sin embargo, la interface Shell permite aplicar cargas puntuales y momentos a los nodos.

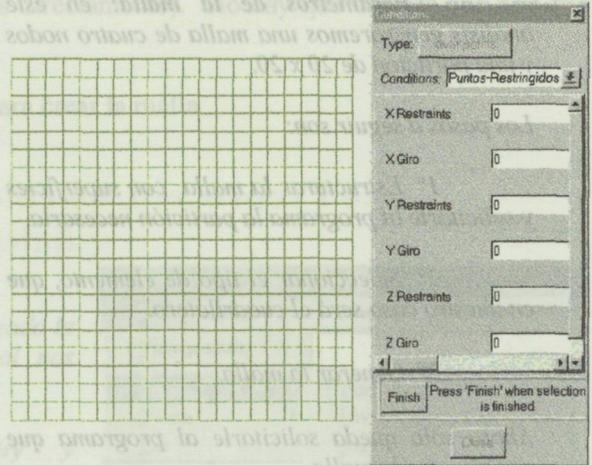


Fig. 4.6.6 Condiciones de borde.

- **Características del material:** el usuario debe de seleccionar la ventana de materiales y a continuación escoger el tipo de material a utilizar.

\* Recordemos que la selección de los elementos debe de hacerse con la malla generada.

Para nuestro problema utilizaremos el material de hormigón armado, el cual ya se encuentra configurado en el archivo *shell.mat*

El forjado es de hormigón armado y tiene un espesor de 0.10 mts.

\* No hay que olvidar que se pueden configurar nuevos materiales dentro de esta ventana, sin haberlo configurado previamente en el archivo *mat*.

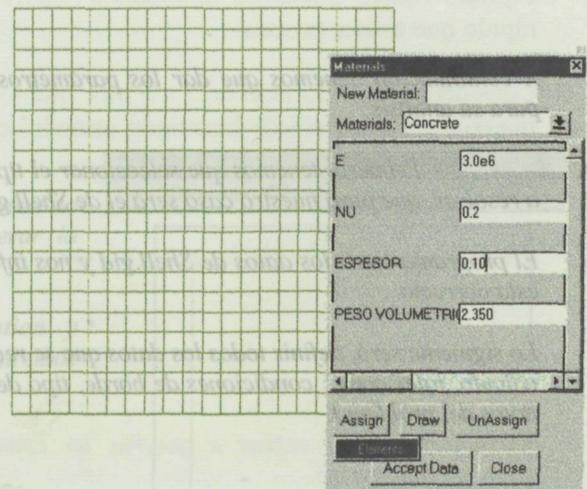


Fig. 4.6.7 Características del material.

- **Datos del problema:** en esta ventana, se van a incluir todos los datos restantes del problema, tales como:

- Peso propio.*
- Título del problema.*
- Tipo de problema.*
- Número de materiales etc.*

No hay que olvidar, que cada programa de análisis de estructura tiene sus propios parámetros y que el usuario puede configurarlos en el archivo .prb.

\* *Nota:* Todos estos datos serán recogidos y ordenados gracias al archivo .bas, el cual generará otro que será el utilizado por el programa Sap90 para su análisis.

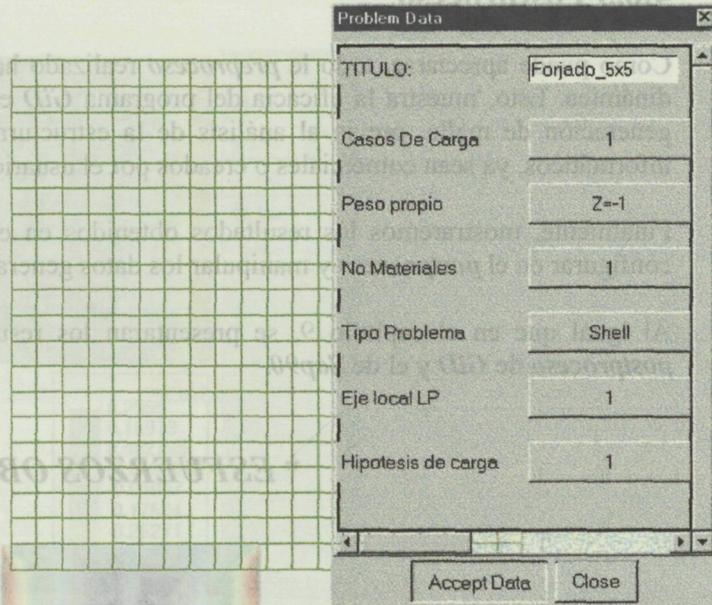


Fig. 4.6.8 Datos del problema.

### 4.6.2 Cálculo

Ahora solo nos queda seleccionar la ventana *Calculate* y el programa *GiD* iniciará el cálculo conjuntamente con el *Sap90*. Y, el usuario solo tiene que acceder al *postproceso* para visualizar los resultados gráficos.

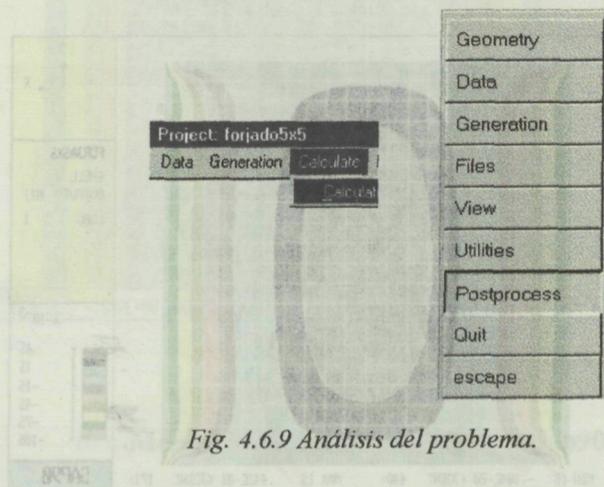


Fig. 4.6.9 Análisis del problema.