

**INTERFACE GiD-SAP90
ELEMENTO ASOLID**

**pre y postprocesadores
para el cálculo de estructuras**

**J. Maristany Carreras
F. Muñoz Salinas
A. Mestre Sunyé**

Publicación CIMNE N°-199, Diciembre 2000

INTERFACE GiD-SAP90 : EL ELEMENTO *ASOLID*

0.- INTRODUCCIÓN

1.- BREVE RESUMEN DE LOS PROGRAMAS BASE: GiD y SAP90

1.1 GiD

1.1.1 INTRODUCCIÓN

1.1.2 EL ORGANIGRAMA INTERNO

1.2 SAP90

1.2.1 INTRODUCCIÓN

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ÚLTIMA VERSIÓN

1.2.3 SU ALCANCE Y SUS LIMITACIONES

1.2.4 LIBRERÍAS

1.2.5 EL ORGANIGRAMA INTERNO

2.- EL ELEMENTO *ASOLID*

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO

2.2 INTRODUCCIÓN DE DATOS DEL ELEMENTO *ASOLID*

3.- INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

3.1 INSTALACIÓN DE GiD

3.2 INSTALACIÓN DEL ELEMENTO *ASOLID* CON LA INTERFACE GiD – SAP90

4.- DESARROLLO DE UN EJEMPLO PRÁCTICO

4.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

4.2 PREPROCESO

4.2.1 DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA

4.2.2 DEFINICIÓN DE LA MALLA

4.2.3 CONFIGURACIÓN DEL PREPROCESO

4.3 CÁLCULO

4.4 POSTPROCESO

4.4.1 CONFIGURACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.4.2 VISUALIZACIÓN DE LAS TENSIONES

4.4.3 VISUALIZACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

4.4.4 HERRAMIENTAS DEL POSTPROCESO

4.4.5 SALIR DEL POSTPROCESO

5.- ANEXO : PROGRAMAS FUENTE

6.- BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

Desde hace ya mucho tiempo, existe en el mundo del cálculo de estructuras la preocupación por intentar acercar el manejo de los programas de cálculo informático al usuario final.

Ya en la publicación anterior¹ comentábamos que:

“La irrupción de la informática en el mundo del cálculo y la interpretación de las estructuras de edificación es una realidad que de tan evidente a veces se olvida.

Disponer, hoy en día, de ordenadores cada vez más potentes, tanto en lo relativo a la memoria como a su capacidad de almacenaje, 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 más variadas tipologías estructurales. Los resultados obtenidos, normalmente dentro del campo elástico, son bastante aproximados siempre que se haga una discretización correcta del objeto que se pretende diseñar.

Su principal problema radica en "hacer una entrada de datos" suficientemente sencilla e inteligible, así como 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.

¹ Ver bibliografía nº1. *Pre y postprocesadores para el Cálculo de Estructuras. Interface GiD-Sap90.*

El inconveniente deriva de que para cada problema, programa y máquina² es necesario utilizar un sistema diferente para simplificar la interacción usuario-máquina. Este es el principal escollo a superar, porque resulta cada vez más difícil recordar en cada caso cual es el logaritmo 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".

Se trabaja con un solo logaritmo. Hay una única manera de entender los datos y de interpretar los resultados. ¡Es fantástico!

Lo que hace falta es diseñar esta interconexión de GiD con cada programa que se quiera utilizar más adelante, ¿y por qué no?; donde esta aplicación es más rentable es en la conexión de GiD con aquellos programas que han representado auténticos estandartes de mercado, como es el caso de SAP".

Es bien conocida la cantidad de patologías que están apareciendo continuamente en las obras, consecuencia de una mala introducción de los datos en el ordenador o de una incorrecta interpretación de los resultados.

Al principio, lo que más preocupaba era la fiabilidad de los programas de cálculo que salían al mercado. Su confección comportaba tener que sortear numerosas dificultades: lenguajes de cálculo anticuados que no permitían la adopción de una serie de subrutinas, ordenadores con capacidad restringida que obligaban a buscar argucias y técnicas cada vez más sofisticadas para, por ejemplo, resolver la matriz de rigidez de ciertas estructuras tridimensionales, manejo de pocos colores por pantalla³, etc.

Hoy en día, los programas con los que habitualmente se calcula son mucho más fiables, además de poder vanagloriarse, muchos de ellos, de ser programas "veteranos", suficientemente chequeados por el usuario.

En cambio, lo que actualmente preocupa más es la facilidad de su manejo.

Por ello, el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE) lanza al mercado GiD, un programa abierto cuyo objetivo es permitir al usuario una entrada de datos más fácil y una mejor comprensión de sus resultados.

² No es lo mismo trabajar con una máquina mínima de Windows 98 que con un terminal de un servidor complicado.

³ Originalmente, los monitores sólo permitían trabajar en modo monocromo: blanco y negro.

Su publicación pretende generar un programa abierto que permita ser acoplado a cualquier programa de cálculo.

Así, comentado el tema en nuestro Departamento, se decide empezar una labor de investigación que permita relacionar el programa GiD con el programa de cálculo de elementos finitos más extendido en nuestra profesión y en general en los proyectistas de estructuras de obras de edificación en nuestro país; nos referimos al Structural Analysis Program, conocido por SAP, y más en concreto su última versión en aquel entonces, el SAP90.

Es así como sale a la luz nuestra publicación "Pre y Postprocesadores para el cálculo de Estructuras",⁴ en 1999.

Como ya va siendo habitual en las publicaciones de este tipo, aparecen como respuesta toda una serie de recomendaciones, consejos, y aportaciones varias.

Fundamentalmente, casi todas ellas coinciden en señalar que aparte de comparar los pre y postprocesadores de los dos programas, es muy interesante la aportación de las subrutinas que permiten trabajar los distintos elementos finitos: asolid, shell, frame, solid, etc., trabajo que quedaba bastante difuminado por el primer objetivo.

A consecuencia de ello se nos plantea la posibilidad de publicar una serie de monografías donde se trate por separado cada una de las interfaces GiD-SAP que anteriormente habíamos programado en función del tipo de elemento finito analizado.

El primer resultado es la presente monografía en la que se analiza el elemento finito *ASOLID*.

Es aconsejable haberse leído previamente la citada publicación, pues el desarrollo de la programación aquí expuesta completa la de aquella, fundamentalmente en lo referente a los ocho primeros capítulos.

Todas estas monografías constan de una introducción, una explicación básica del tipo del elemento finito analizado y su área de aplicación práctica, un ejemplo desarrollado hasta el final, una breve explicación de la instalación del software para su uso posterior y el listado del programa fuente de la subrutina programada, indicando cómo y en qué lugar se debe ubicar para que funcione todo el programa correctamente.

⁴ Ver bibliografía nº 1. *Pre y postprocesadores para el Cálculo de Estructuras. Interface GiD-Sap90.*

1. BREVE RESUMEN DE LOS PROGRAMAS BASE: GiD Y SAP90

1.1. GiD

1.1.1. Introducción

GiD es un programa de interface gráfico interactivo que se utiliza para definir, preparar e incluso visualizar todos los datos relacionados con la simulación numérica. Estos datos permiten definir la geometría, los materiales, las condiciones de contorno y toda aquella información necesaria para el cálculo de la estructura. De la misma manera, el programa puede generar mallas de elementos finitos y presentar toda la información de simulación numérica en un formato estándar para realizar el cálculo posteriormente. También es posible, dentro del programa, ejecutar la simulación numérica y visualizar la información de los resultados.

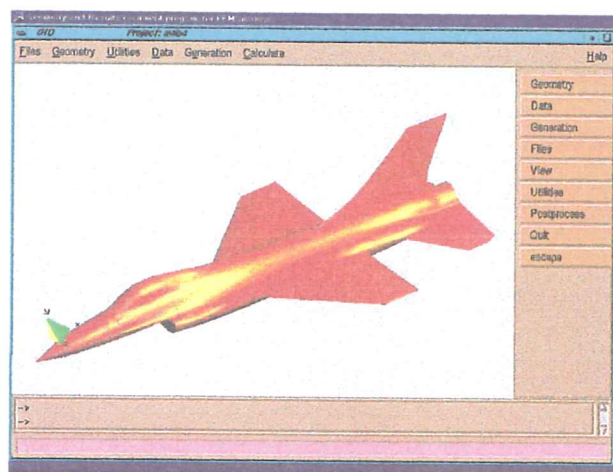


Fig. 1.1 Presentación de GiD¹

¹ Imagen de la presentación de GiD cedida por C.I.M.N.E.

GiD puede ser configurado por el usuario, de manera que pueda generar los datos que se requieren para la solución de sus módulos, que se pueden incluir dentro del Software de *GiD*.

La forma de trabajo del programa en la definición de la geometría del problema es muy similar al desarrollado por los programas de *CAD* (Computer Aided Design), aunque se observan algunas diferencias. La más relevante es que la construcción de la geometría del sistema se realiza de forma jerárquica; así, una entidad de nivel superior (la línea) es construida sobre otra de nivel inferior (punto); en cambio dos (líneas) entidades adyacentes compartirán el mismo nivel.

Todos los materiales, condiciones de contorno y parámetros de la solución pueden definirse sobre la geometría sin que el usuario tenga un conocimiento exacto de la malla que va a utilizar. La generación de la malla se realiza cuando el problema se ha definido totalmente.

Las ventajas de trabajar así radican en que usando los datos asociados a la estructura (tipo de problema, tipo de análisis), las modificaciones pueden realizarse dentro de la misma geometría y el resto de la información será automáticamente editada y estará lista para su posterior análisis.

La completa visualización gráfica de la geometría, malla y condiciones (*preproceso*), es útil para entender y revisar el modelo antes de pasar a la etapa del cálculo.

Esta misma visualización permite evaluar de manera gráfica los resultados obtenidos después del análisis. Este *postproceso* utiliza una interface que dependerá del tipo de problema y de los resultados obtenidos.

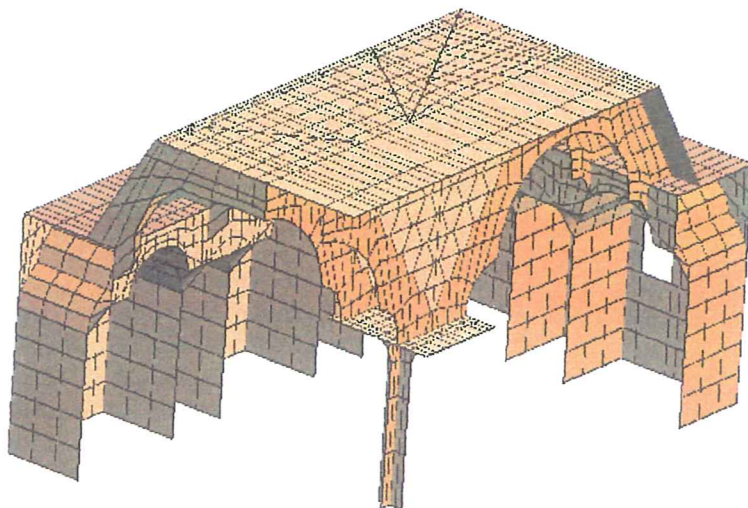


Fig. 1.2 Casa Bellesguard (Antonio Gaudí)²

² Cortesía del Departamento de Estructuras de la E.T.S.A.B. El análisis del edificio fue dirigido por el Arq. Javier López-Rey, Catedrático de este Departamento.

1.1.2 El organigrama interno

El manual de *GiD* está claramente dividido en 5 partes:

- Primera parte. **Aspectos generales:** el usuario puede encontrar los elementos básicos del programa. Estos familiarizan al usuario con las opciones que posee el programa.
- Segunda parte. **Preproceso:** describe la funcionalidad del *preproceso*. Se explica como configurar un proyecto, definiendo todas sus partes (geometría, datos y generación de malla).
- Tercera parte. **Resolución:** se refiere al proceso de cálculo. A través de éste, se ejecutará un programa independiente de *GiD*, al cual va unido por las subrutinas aquí desarrolladas.
- Cuarta parte. **Postproceso:** enfatiza los aspectos relacionados con la visualización de los resultados.
- Quinta parte: **Utilización:** explica la forma en la que el usuario puede introducir y ejecutar los diferentes módulos, de acuerdo con sus necesidades.

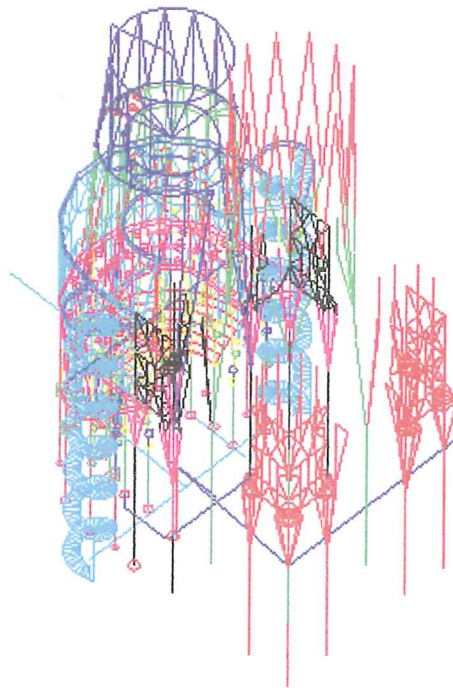


Fig. 1.3
Ábside del templo expiatorio de la Sagrada Familia (Antonio Gaudí)

LISTA DE COMANDOS DEL PROGRAMA

6.2.5.1. - Archivos	(Files)	6.2.5.6. - Materiales	(Materials)
6.2.5.1.1. - Salvar	(Save)	6.2.5.6.1. - Asignar material:	(Assign material)
6.2.5.1.2. - Leer:	(Read)	6.2.5.6.2. - Dibujar material:	(Draw material)
6.2.5.1.3. - Nuevo:	(New)	6.2.5.6.3. - Eliminar material:	(Unassign material)
6.2.5.1.4. - Salvar capa:	(Save layer)	6.2.5.6.4. - Nuevo material:	(New material)
6.2.5.1.5. - Escribir Ascii:	(Write Ascii)	6.2.5.7. - Datos del Problema	(Problem data)
6.2.5.1.6. - Leer malla:	(Mesh read)	6.2.5.8. - Intervalo de Datos	(Interval data)
6.2.5.1.7. - Leer DXF:	(DXF read)		
6.2.5.1.8. - Escribir archivo para calcular:	(Write calculations file)	6.2.5.9. - Malla	(Meshing)
6.2.5.1.9. - Archivo Batch	(Batch file)		
6.2.5.2. - Creación de entidades geométricas	(Geometrical entities creation)	6.2.5.9.1. - Generación de malla:	(Generating mesh)
6.2.5.2.1. - Creación de punto:	(Point creation)	6.2.5.9.2. - Ver malla:	(Mesh view)
6.2.5.2.2. - Creación de línea recta:	(Straight line creation)	6.2.5.9.3. - Asignar tamaño:	(Assign sizes)
6.2.5.2.3. - Creación de línea en arco:	(Arc line creation)	6.2.5.9.4. - Malla estructurada	(Structured mesh)
6.2.5.2.4. - Creación de polígono:	(Spline line creation)	6.2.5.9.5. - Tipo de elemento:	(Element type)
6.2.5.2.5. - Creación de Polilínea:	(Polyline creation)	6.2.5.9.6. - Regenerar:	(Reset)
6.2.5.2.6. - Creación de Superficie plana:	(Planar surface creation)	6.2.5.10. - Opciones de visualización	(View options)
6.2.5.2.7. - Creación de superficie de 4 lados:	(4-sided surface creation)		
6.2.5.2.8. - Creación de volumen:	(Volume creation)	6.2.5.10.1. - Zoom:	
6.2.5.2.9. - Creación de contacto:	(Contact creation)	6.2.5.10.2. - Rotación:	(Rotation)
6.2.5.3. - Eliminación entidades	(Delete)	6.2.5.10.2.1 - Rotación dinámica:	(Rotate ScrAxes)
- Punto:	(Point)	6.2.5.10.2.2. - Rotación sobre ejes:	(Rotate ObjAxes)
- Línea:	(Line)	6.2.5.10.2.3 - Rotación hacia atrás:	(Rotate Trackball)
- Superficie:	(Surface)	6.2.5.10.2.4 - Rotación de ángulo:	(Rotate Angle)
- Volumen:	(Volume)	6.2.5.10.2.5 - Rotación de puntos:	(Rotate points)
- Todas las entidades:	(AllTypes)	6.2.5.10.2.6 - Rotación central:	(Rotate center)
6.2.5.4. - Edición de entidades geométricas	(Editing geometrical entities)	6.2.5.10.3. - Desplazamiento:	(Pan)
6.2.5.4.1. - Mover punto:	(Move point)	6.2.5.10.4. - Redibujar:	(Redraw)
6.2.5.4.2. - Explotar polilínea:	(Explode polyline)	6.2.5.10.5. - Render:	
6.2.5.4.3. - Editar polilínea:	(Edit polyline)	6.2.5.10.6. - Nivel:	(Label)
6.2.5.4.4. - Editar línea recta:	(Edit spline)	6.2.5.10.7. - Entidades:	(Entities)
6.2.5.4.5. - Dividir:	(Divide)	6.2.5.10.8. - Capas:	(Layers)
6.2.5.4.6. - Editar nodos de una línea:	(Join lines)	6.2.5.11. - Utilidades	(Utilities)
6.2.5.4.7. - Editar Arco:	(Swap arcs)	6.2.5.11.1. - Variables:	(Variables)
6.2.5.5. - Condiciones de borde	(Conditions)	6.2.5.11.2. - Renumerar:	(Renumber)
6.2.5.5.1. - Asignar condiciones:	(Assign Condition)	6.2.5.11.3. - Identificación:	(Id)
6.2.5.5.2. - Dibujar condiciones:	(Draw Condition)	6.2.5.11.4. - Lista:	(List)
6.2.5.5.3. - Eliminar condiciones:	(Unassign condition)	6.2.5.11.5. - Distancia:	(Dist)
		6.2.5.11.6. - Dibujar normales:	(Draw Normals)
		6.2.5.11.7. - Cambiar sentido:	(Swap senses)
		6.2.5.11.8. - Copiar:	(Copy)
		6.2.5.11.9. - Reparar:	(Repair)
		6.2.5.12. - Salir:	(Quit)

Tabla 1.1³

³ Si el usuario desea conocer más información sobre todos los comandos, así como de su configuración, puede acceder al manual del usuario del GiD. Para tener una información más actualizada sobre últimas versiones, modificaciones recientes etc. puede acceder a la página Web del propio GiD: <http://gid.cimne.upc.es>

ÍNDICE DE CONCEPTOS

Ref .:	Uso de la interface		* 6.2.1
Ref .:	Definición de Puntos		* 6.2.2
Ref .:	Selección de Entidades		* 6.2.3
Ref .:	Escape		* 6.2.4
Ref .:	Reference manual		* 6.2.5
Ref .:	Archivos		* 6.2.5.1
Ref .:		Save	
Ref .:		Read	
Ref .:		New	
Ref .:		Save layer	
Ref .:		Write Ascii	
Ref .:		Mesh read	
Ref .:		DXF read	
Ref .:		Write calculations file	
Ref .:		Batch file	
Ref .:	Creación de entidades Geométricas		* 6.2.5.2
Ref .:		Point creation	
Ref .:		Straight line creation	
Ref .:		Arc line creation	
Ref .:		Spline line creation	
Ref .:		Polyline creation	
Ref .:		Planar surface creation	
Ref .:		4- sided surface creation1	
Ref .:		Volume creation	
Ref .:		Contact creation	
Ref .:	Eliminación de entidades geométricas	(Delete)	* 6.2.5.3
Ref .:	Edición de entidades Geométricas	(Editing geometrical entities)	* 6.2.5.4
Ref .:		Move point	
Ref .:		Explode polyline	
Ref .:		Edit polyline	
Ref .:		Edit spline	
Ref .:		Divide	
Ref .:		Join lines	
Ref .:		Swap arcs	
Ref .:	Condiciones	(Conditions)	* 6.2.5.5
Ref .:		Assign Condition	
Ref .:		Draw Condition	
Ref .:		Unassign condition	
Ref .:	Materiales	(Materials)	* 6.2.5.6
Ref .:	Assign material		
Ref .:	Draw material		
Ref .:	Unassign material		
Ref .:	New material		
Ref .:	Datos del Problemas	(Problem data)	* 6.2.5.7
Ref .:	Intervalo de Datos	(Interval data)	* 6.2.5.8
Ref .:	Malla	(Meshing)	* 6.2.5.9
Ref .:		Generating mesh	
Ref .:		Mesh view	
Ref .:		Assign sizes	
Ref .:		Structured mesh	
Ref .:		Element type	
Ref .:		Reset	
Ref .:	Opciones de Visualización	(View options)	* 6.2.5.10
Ref .:		Zoom	
Ref .:		Rotation	
Ref .:		Rotate ScrAxes	
Ref .:		Rotate ObjAxes	
Ref .:		Rotate Trackball	
Ref .:		Rotate Angle	
Ref .:		Rotate points	
Ref .:		Rotate center	
Ref .:		Pan	
Ref .:		Redraw	
Ref .:		Render	
Ref .:		Label	
Ref .:		Entities	
Ref .:		Layers	
Ref .:	Utilidades	(Utilities)	* 6.2.5.11
Ref .:		Variables	
Ref .:		Renumber	
Ref .:		Id	
Ref .:		List	
Ref .:		Dist	
Ref .:		Draw Normals	
Ref .:		Swap senses	
Ref .:		Copy	
Ref .:		Repair	
Ref .:	Quit		* 6.2.5.12

Fin de la Tabla

Tabla 1.2

1.2. SAP90

1.2.1. Introducción

El programa *Sap90* surge de la investigación realizada durante varios años en la Universidad de Berkeley, California (1970) y aparece como una nueva alternativa en el cálculo de estructuras por medio del método de los elementos finitos.⁴

El programa ha adquirido un nivel de aceptación muy bueno por parte de los profesionales que trabajan en el campo del análisis estructural.

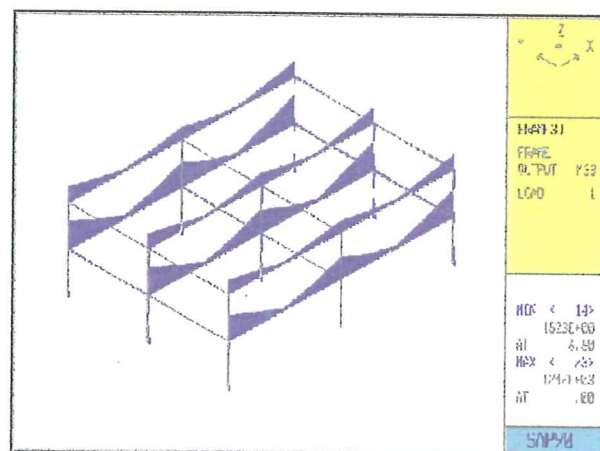


Fig. 1.4 Análisis de un pórtico en 3 dimensiones

1.2.2. Características de la última versión

Comparado con el antiguo *Sap80*, la aparición de *Sap90* representa una auténtica revolución:

- La formulación de los elementos y la resolución de las ecuaciones son completamente nuevas.
- Todos los datos son introducidos en listas libres de formato. Las opciones de generación están disponibles según la conveniencia del usuario.
- Existe la posibilidad de imprimir la geometría deformada y no deformada para la verificación del modelo estructural.
- La biblioteca de elementos finitos contiene cuatro elementos: un elemento tridimensional barra, un elemento tridimensional laminar, un elemento bidimensional de comportamiento plano y un elemento sólido tridimensional.

⁴ Las primeras versiones de *Sap90* fueron : *Sap*, *Sap3*, *Solidsap*, *Sap IV* y *Sap 80*.

- Las barras bidimensionales, vigas, membranas, láminas a pandeo y los elementos planos y de simetría axial constituyen un subgrupo de dichos elementos.
- Todas las opciones geométricas y de carga necesarias asociadas a los elementos han sido incorporadas. Se incluye también un elemento límite en forma de apoyo elástico.
- No hay restricciones en la mezcla o combinación de tipos de elementos dentro de un modelo particular.
- Las opciones de carga, que incluyen las gravitatorias, térmicas y condiciones de pretensado, se unen a las cargas nodales usuales con fuerzas y desplazamientos especificados. Las cargas dinámicas pueden estar en forma de una base de espectro de respuesta de aceleraciones, o cargas variables con el tiempo y base de aceleraciones.

1.2.3. Su alcance y sus limitaciones

El desarrollo del programa se lleva a cabo en el entorno *ANSI Fortran-77*, lo que garantiza la compatibilidad tanto con los pequeños ordenadores personales como con las grandes supercomputadoras.

Esta versión del programa fue diseñada para ser usada con el sistema operativo *MS-DOS*. En computadoras con 640K de memoria y 30 MB de disco duro, la capacidad de resolución es de 4.000 nodos (u 8.000 ecuaciones).

Con un disco duro mayor, y utilizando memoria extendida (más allá de 640K), se pueden resolver cálculos mucho más complejos. Todas las operaciones numéricas son ejecutadas en doble precisión de 64-bit.

El programa contiene opciones de análisis estático y dinámico. Dichas opciones pueden ser activadas de manera simultánea, en la misma ejecución. La combinación de cargas puede, por tanto, incluir resultados del análisis estático y dinámico.

1.2.4. Librerías

Las librerías que contiene *Sap90* consisten en una serie de módulos de programas (subrutinas) de los cuales cuatro definen los modelos matemáticos: *FRAME*, elementos bi y tridimensional (barras), *SHELL*, elementos bi y tridimensional (placa, lámina o membrana), *ASOLID* elementos bidimensionales (deformación y tensión plana) y *SOLID*, elementos en tres dimensiones (elasticidad tridimensional).

Además de estos módulos, existen otros que complementan el cálculo de las estructuras, ya sean como pre y postproceso o como análisis dinámico.

1.2.5 El organigrama interno de Sap90

El programa *Sap90* es en realidad una combinación de módulos de programas que son ejecutados en una secuencia predefinida. Los módulos se encadenan a través de una serie de archivos internos que constituyen una base de datos. Cada uno de ellos realiza una serie de operaciones y actualizaciones durante el proceso de cálculo; los archivos internos tienen el mismo nombre que los archivos de entrada de datos, pero con diferentes extensiones.

En la siguiente tabla se detallan los módulos del programa incluidos en el paquete completo de la versión *Sap90*, y las funciones asociadas de cada módulo. Se enumeran también los nombres de los archivos de salida asociados.

Sap90 dispone además de algunos módulos de programa adicionales, utilizados para el análisis de puentes y análisis de transmisión de calor.

NOTA: Los nombres de algunos módulos del programa *Sap*, son los mismos que los nombres de bloques de entrada de datos de *Sap90*. No permita que esto se convierta en una fuente de confusión.

MÓDULO DE PROGRAMA	FUNCIÓN DEL MÓDULO	ARCHIVO DE SALIDA CREADO
1. Sap90.EXE	Lee, comprueba y tabula todos los datos de entrada.	EXAMPLE.SAP
2. OPTIMIZE.EXE	Optimiza el número de ecuaciones.	EXAMPLE.EQN
3. FRAME.EXE	Formulación de la matriz de rigidez de un elemento barra.	
4. SHELL.EXE	Formulación de la matriz de rigidez de un elemento lámina.	
5. ASOLID.EXE	Formulación de la matriz de rigidez de elementos en comportamiento plano.	
6. SOLID.EXE	Formulación de la matriz de rigidez de elementos tridimensionales.	
7. SOLVE.EXE	Matriz de rigidez y carga.	
8. EIGEN.EXE	Análisis de valores de <i>Eigen</i> .	EXAMPLE.EIG
9. RITZ.EXE	Análisis de vectores de <i>Ritz</i>	EXAMPLE.RIT
10. SPEC.EXE	Análisis de espectro de reacciones.	EXAMPLE.SPC
11. TIMEH.EXE	Análisis de la respuesta temporal.	
12. JOINTF.EXE	Salida de nodos, desplazamiento de nodos y reacciones.	EXAMPLE.SOL
13. ELEMFE.EXE	Salida de fuerzas en los elementos nodales.	EXAMPLE.FEF
14. FRAMEFE.EXE	Salida de fuerzas en los elementos barra.	EXAMPLE.F3F
15. SHELLFE.EXE	Salida de fuerzas en los elementos lámina.	EXAMPLE.F4F
16. ASOLDFE.EXE	Salida de cargas en los elementos de comportamiento plano.	EXAMPLE.F5F
17. SOLIDFE.EXE	Salida de cargas en elementos tridimensionales.	EXAMPLE.F8F
18. SAPLOT.EXE	Dispositivos gráficos.	
19. SAPTIME	Dispositivos gráficos y creación de salida desde el análisis de la respuesta temporal.	EXAMPLE.HST

2.- EL ELEMENTO ASOLID

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO ASOLID

El elemento ASOLID es un elemento de elasticidad bidimensional de 4, 8 o 9 nodos, que permite analizar los siguientes tipos de estructuras:

a) Sólidos en estado de **deformación plana** en planos paralelos a los coordenados.

Una estructura prismática está en estado de deformación plana si una de sus dimensiones (longitud) es mucho mayor que las otras dos, y sobre ella actúan únicamente cargas uniformemente distribuidas a lo largo de toda su longitud y contenidas en planos ortogonales al eje que une los centros de gravedad de sus distintas secciones transversales. Dentro de esta clasificación se pueden incluir, entre otros, los problemas de muros de contención, presas de gravedad, túneles, análisis de tensiones bajo zapatas, etc.¹

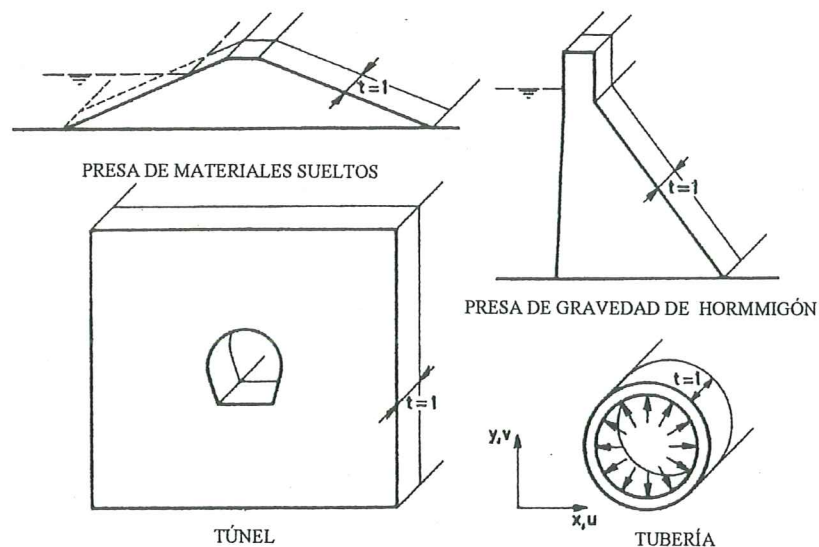


Fig Fig 2.1 Ejemplo de estructuras sometidas a deformación plana

¹ Ver bibliografía nº 6. *Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis estático lineal.*

b) Sólidos en estado de **tensión plana** en planos paralelos a los coordenados.

Una estructura prismática está en estado de tensión plana si una de sus dimensiones (espesor) es mucho menor que las otras dos, y sobre ella actúan únicamente cargas contenidas en su plano medio. Entre los problemas de estructuras que se incluyen dentro de esta categoría podemos citar los de análisis de vigas de gran canto, placas con cargas en su plano, presas de contrafuertes, etc.²

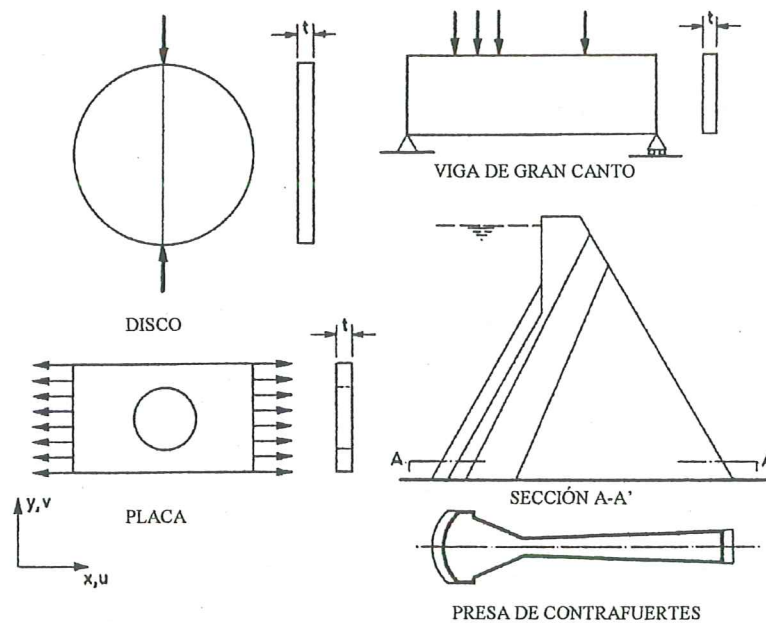


Fig. 2.2 Ejemplo de estructuras sometidas a tensión plana

c) Sólidos con simetría de revolución y sección meridiana definida en los planos XY, YZ o ZX.

El elemento modeliza una sección bidimensional representativa del sólido axisimétrico tridimensional. Su eje de simetría tiene que ser uno de los ejes globales, y el elemento debe existir en uno de los planos globales principales.

Se presupone que la geometría, las cargas, los desplazamientos y las tensiones no varían en la dirección perpendicular al plano del elemento. Cualquier desplazamiento en esta dirección no afecta al elemento.

² Ver bibliografía nº6. *Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis estático lineal.*

Cada elemento ASOLID tiene su sistema local de referencia paralelo al de los ejes globales. El sistema de ejes locales se usa para la definición de las propiedades de los materiales y las cargas, y para la interpretación de los resultados.

El material constituyente del elemento puede ser, en general, ortótropo, coincidiendo las direcciones de ortotropía con los ejes locales. Las constantes elásticas se definen en las direcciones de ortotropía, así como los coeficientes de dilatación térmica.

El elemento ASOLID admite cargas de gravedad (en cualquier dirección), cargas puntuales en los nodos, presiones superficiales y cargas térmicas.

Está prevista la generación automática de elementos partiendo de un elemento base, formando una malla. En general, resulta recomendable utilizar elementos con el mayor número de nodos posible, ya que se obtienen mejores resultados. Esto se debe a la dificultad que tienen los elementos de 4 nodos para representar problemas de flexión, dificultad que se supera utilizando elementos de 9 nodos. Puede estimarse un pequeño error en las tensiones resultantes, como consecuencia de los distintos valores, calculados en diferentes elementos unidos por un nodo común.

Para mayor aproximación se recomienda el uso de elementos cuadrilaterales de 9 nodos. De todos modos, la opción de elementos de nodos variables es muy útil para generar transiciones en la densidad de la discretización de la malla.

2.2 INTRODUCCIÓN DE DATOS DEL ELEMENTO ASOLID

El archivo de datos de Sap90 consta de 21 bloques diferentes, en los que se definen los datos de una estructura: nodos, restricciones, desplazamientos, cargas, etc.. Para cada caso sólo hay que introducir aquellos que contengan información necesaria sobre la estructura que se va a analizar.

El bloque de datos que define el elemento ASOLID se subdivide en las siguientes secciones:

- a) Separador
- b) Información de Control del elemento ASOLID
- c) Propiedades de los materiales
- d) Ubicación de los elementos

y presenta el siguiente formato:

a) Separador: es necesario escribir el separador que define el tipo de elemento:

ASOLID

3.- INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

3.1 Instalación de GiD

Existen dos posibilidades de instalación del programa GiD: la **reducida**, con un período de uso limitado, y la **normal**, de uso más profesional, que necesita un *password* previo para su copia y puesta en funcionamiento.



Fig. 3.1 Página web de GiD

El programa ocupa entre 4 y 5 MB. Para cargarlo en el ordenador hay que bajar el siguiente programa:

GidW5.0p47.exe

de la web:

<http://www.cimne.upc.es/download>

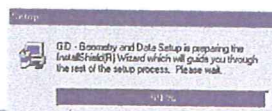


Fig. 3.2 Instalación de GiD

Se pueden grabar dos tipos de versiones en el ordenador:

1. Versión académica reducida :

Es una versión provisional, que en cualquier momento se puede convertir en definitiva. Tiene las mismas prestaciones que la completa, pero limitada al estudio de mallas de un máximo de 700 elementos en 2D o 300 elementos en 3D.

Para más información se puede consultar la dirección de la web :

[http:// www.cimne.upc.es/cimne/cimne_en/news/list](http://www.cimne.upc.es/cimne/cimne_en/news/list)

2. Versión profesional completa :

Es una versión de pago, que para su correcto funcionamiento necesita una licencia que se obtiene al introducir un *password* en la web:

[http:// www.cimne.upc.es/password](http://www.cimne.upc.es/password)

Este *password* sólo puede obtenerse en el CIMNE.

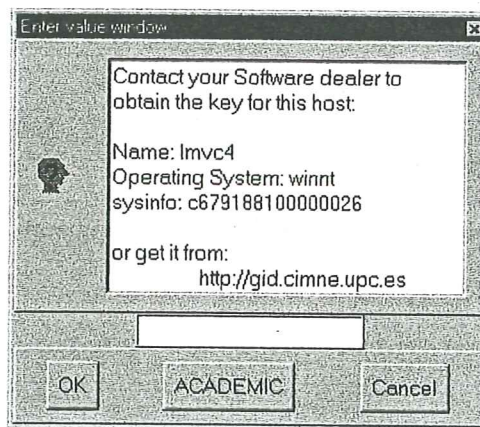


Fig 3.3 Requerimientos de GiD

3.2 Instalación del elemento ASOLID de la interface GiD-Sap90

Al ser un programa D.O.S., su instalación es sumamente sencilla:

Se trata de copiar el subdirectorio "asolid2d" y todos los ficheros que contiene, desde el diskette que se incluye en esta publicación, hasta el disco duro, en el directorio donde por defecto trabaja GiD.¹

Esta operación permite trabajar con el elemento ASOLID en GiD, aparte de poder aprovechar ficheros antiguos de SAP90 y SAP2000 para su cálculo y post-proceso con GiD.

¹ Normalmente, y a menos que expresamente se indique, el directorio de trabajo de GiD es *c:\gidwin*, donde también se alojan otros ficheros como *"problem_type_solid_1.gid"*.

4. DESARROLLO DE UN EJEMPLO PRÁCTICO

PREPROCESO, CÁLCULO Y POSTPROCESO DE UNA VIGA PARED

4.1 Enunciado del problema

Para mostrar la interface GID-Sap90, desarrollaremos en este capítulo el cálculo de una estructura utilizando el elemento ASOLID.

Se trata de calcular una viga pared cuadrada de hormigón armado, de 5.00 m. de largo por 5.00 m. de altura, con un espesor de 0.10 m.

La viga se encuentra totalmente empotrada por su parte inferior y recibe una carga uniforme de 1.5t/ml en su parte superior, comprendida en su plano x-y.

Las características del material (hormigón armado) son las siguientes:

- *Módulo de Elasticidad.....* $E = 3.0E6T/m^2$
- *Módulo de Poisson.....* $U = 0.2$
- *Espesor.....* $TH = 0.10$ mts.
- *Peso Volumétrico.....* $W = 2.35$ T/m³
- *Carga.....* $F = 1.5$ T/ml

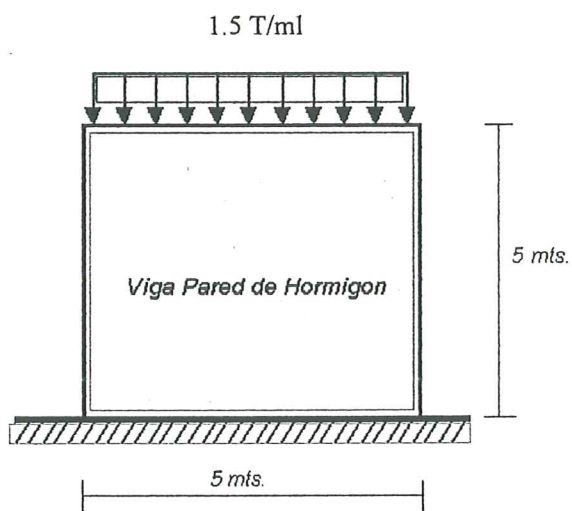


Fig. 4.1 Ejemplo práctico. Viga pared

Una vez que se tiene definido el problema, el siguiente paso es representar gráficamente la estructura.

4.2. Preproceso

4.2.1. Definición de la geometría

La representación de la estructura se puede realizar :

1. A través de un programa de dibujo que permita obtener ficheros en formato *dxf*.¹
2. Utilizando las propias herramientas de dibujo que posee GiD.

En el primer caso, el usuario puede dibujar la estructura como si se tratara de un dibujo cualquiera (en una, dos o tres dimensiones). El siguiente paso es exportar el fichero a un formato *dxf* y llevarlo al directorio donde se desee iniciar el proceso de análisis.

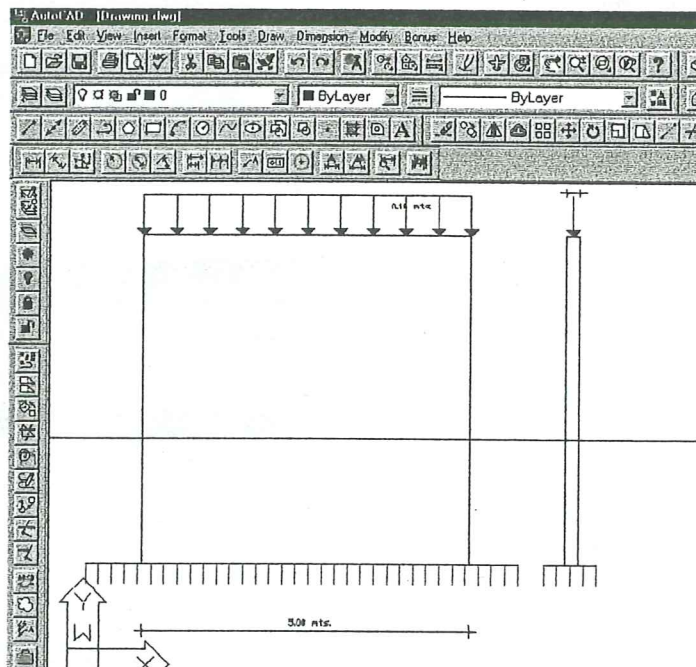


Fig. 4.2 Representación gráfica del problema en Autocad

Este sistema de representación es el más indicado para resolver estructuras complicadas, pues los programas de *CAD* suelen tener muchas herramientas que facilitan la generación del dibujo, por complejo que sea.

En el segundo caso, las herramientas de *GiD*, aunque escasas, permiten generar mejor geometrías más sencillas. Así se ha resuelto el ejemplo de la viga pared.

¹ Existen muchos programas informáticos que permiten representar la geometría de la estructura para su posterior exportación en formato *.dxf*, por ejemplo *Autocad* en sus versiones 12,13,14 y *3D Studio*. El único requisito de estos programas es que trabajen en un entorno *CAD* y que permitan exportar la geometría en un fichero con formato estándar.

A continuación se detallan las herramientas de GiD:

1. Generación de un archivo:

- Lo primero que hay que hacer al empezar a trabajar con el programa GiD es crear un proyecto nuevo.

Al nombre del archivo (proyecto) por defecto, se le asignará la extensión *.gid.

Este fichero funciona como un directorio en el cual conforme se vayan asignando todos los parámetros, se irán almacenando diversos archivos, en los que se especificará :

- Las condiciones de contorno
- Las características de los materiales
- Los demás datos necesarios para su cálculo

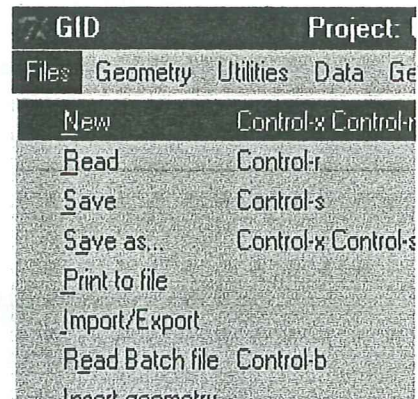


Fig. 4.3 Generación de un archivo GiD

Antes de seguir es necesario asignar un nombre al tipo de problema que se quiere calcular. La orden de Guardar (Save as), se encuentra en Files.

Ahora ya se puede empezar a crear la geometría de la estructura. De forma simplificada se describe a continuación como se realiza su generación, desde la creación de un punto hasta la generación de la malla completa.

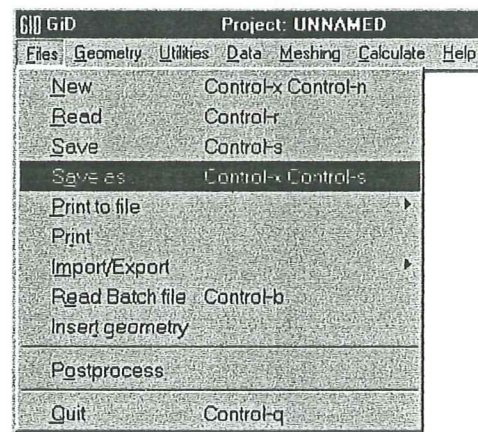


Fig. 4.4 Asignación de un nombre a un archivo

2. Generación de los puntos:

- Empezaremos por crear un punto. Una de las maneras de hacerlo es desde el teclado, dando las coordenadas en el orden x, y, z. Es importante recordar que este procedimiento se deberá realizar preferentemente para geometrías sencillas y regulares.

Así se procede hasta haber completado la introducción de todos los puntos básicos de la geometría

Otro modo de introducir los puntos es mediante la Coordinates window, en Utilities-Graphical.

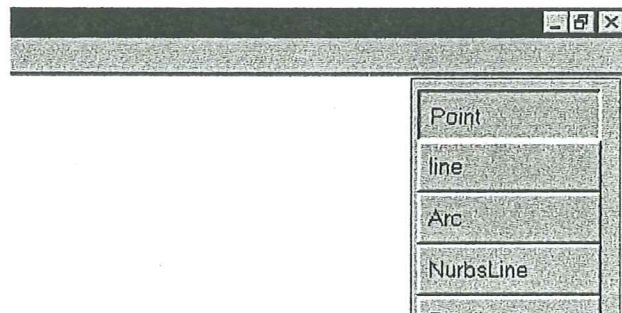


Fig. 4.5 Creación de los puntos

3. Generación de las líneas:

Las líneas que definen el perímetro del cuadrilátero se crean uniendo los puntos ya introducidos. Para que GiD los tome como inicio y final de la línea, hay que seguir la secuencia: *Geometry – Create – Line – Join*.

También es posible generar líneas directamente. ²

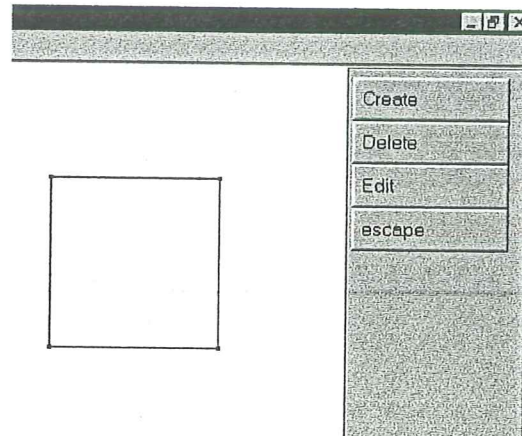


Fig. 4.6 Creación de líneas

4.2.2. Definición de la malla

1. Generación de superficies:

- A partir de este momento, la geometría del problema ya está definida.

Para dibujar la malla en GiD, es necesario dibujar previamente tantas superficies como mallas deseemos crear.

Para representar las superficies planas se accede a la opción *4-sided surface* dentro de los comandos de *Geometry – Create*. Hay que seleccionar con el ratón toda la superficie representada en el monitor. Siempre hay que pulsar *Escape* para validar una orden.

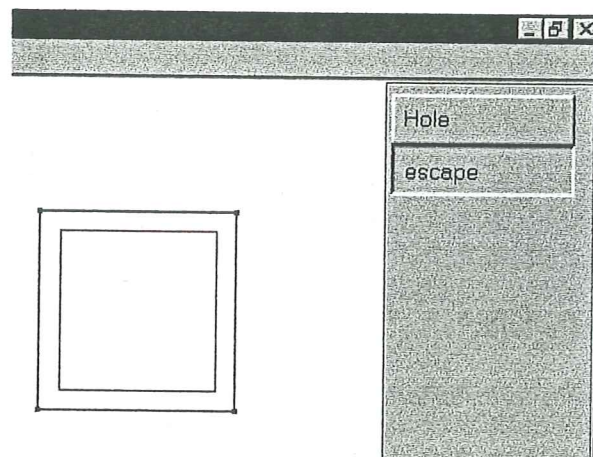


Fig. 4.7 Creación de superficies

² Cabe recordar que las últimas versiones de GiD permiten generar líneas curvas, que se podrán utilizar para la generación de elementos de malla con una curvatura determinada.

2. Generación de la malla:

- Después de haber definido la geometría y la superficie, podemos pasar a generar la malla.

Dentro del menú **Generation**, el usuario puede generar una malla, editarla o escoger las opciones de generación de malla mejor indicadas para cada caso.

La primera opción que aparece en este comando es **Quadratic elements**, donde se escoge el tipo de elemento que se desee. Se pueden seleccionar elementos cuadráticos, cuadráticos de 9 nodos o normales.³

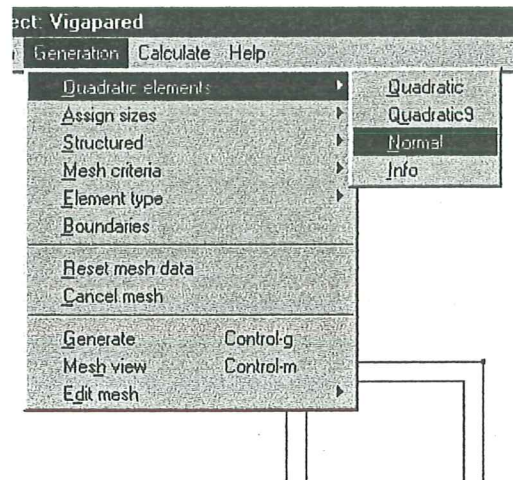


Fig. 4.8 Grado del elemento

3. Asignar tamaño:

- Una malla no estructurada es aquella a la que no se le asigna un número concreto de particiones, sino el tamaño concreto del elemento de la malla. Esto se hace mediante el comando **Assign sizes**.

La asignación se puede dar a puntos, líneas, superficies o volúmenes, en función de su geometría.

Para nuestro problema no utilizaremos este comando, ya que iremos directamente a definir una malla estructurada.

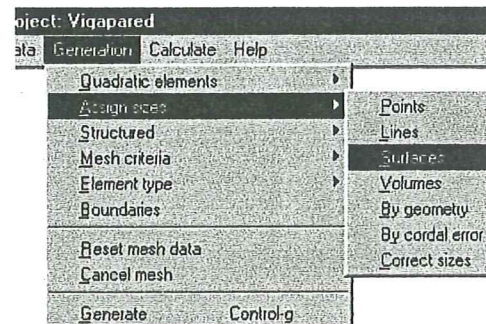


Fig. 4.9 Asignación tamaño elemento

4. Estructuración de la malla:

- **Structured** permite definir una malla estructurada, ya sea por líneas, superficies o volúmenes.

El caso de la viga pared tiene una sola superficie, la cual asignaremos con el comando **Surfaces**. A continuación aparece en pantalla una pregunta sobre el número de particiones.

Cabe recordar que se pueden generar particiones en ambas direcciones; es decir, se puede seleccionar una línea vertical y asignarle más particiones que a la horizontal. De esta manera se densifica la malla en el sentido que más convenga. Para nuestro problema asignaremos una partición en ambos sentidos de 20x20 elementos.

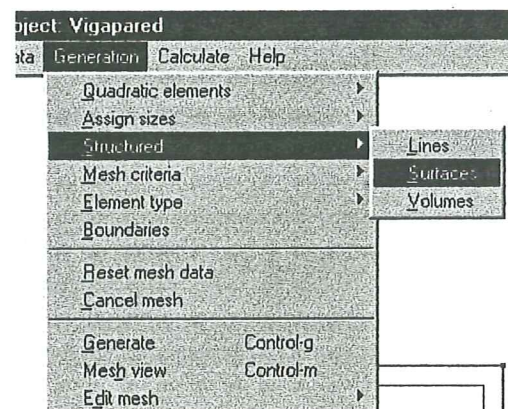


Fig. 4.10 Estructuración de la malla

³ Además se puede obtener información sobre el tipo de elemento seleccionado.

5. Criterio de malla

-*Mesh criteria* permite escoger entre los siguientes sistemas de malleo: por defecto, mallar determinadas entidades (líneas, superficies o volúmenes) o no mallar otras entidades.

Como sucedía en los pasos anteriores, después de definir con el comando el criterio de malla, el programa siempre exige que se le asignen con el ratón todas las entidades con las que se va a trabajar.

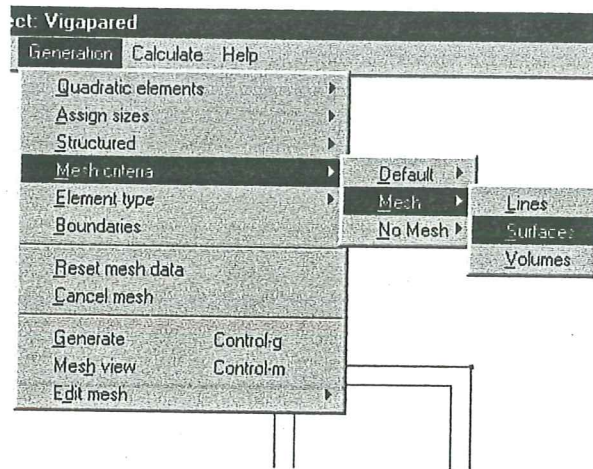


Fig. 4.11 Criterio de malla

Es importante mencionar que el usuario puede ir generando capas para almacenar toda la información (líneas, superficies, volúmenes o mallas, etc.).

El comando de control de capas de GiD funciona de la misma forma que cualquier programa de dibujo tipo *CAD*.

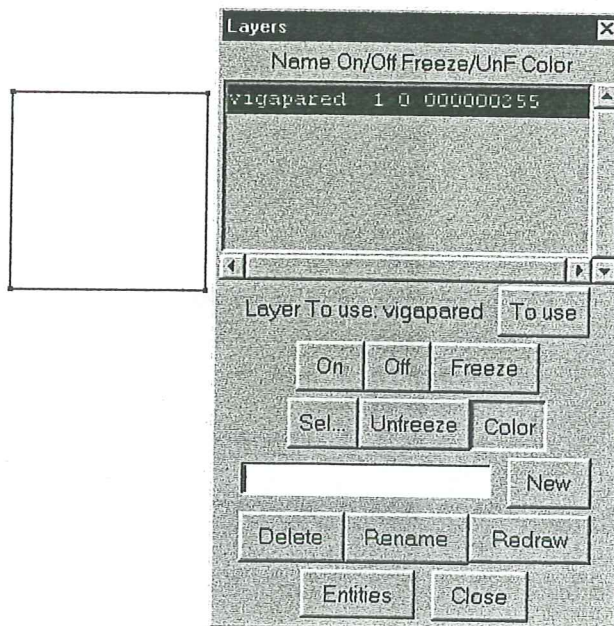


Fig. 4.12 Creación de capas

6. Tipo de elemento

- *Element type* permite asignar un tipo de elemento determinado a una entidad en particular. Los elementos pueden ser lineales, triangulares, cuadrilaterales, tetraedros, hexaedros o simplemente puntos.

Para el caso que nos atañe, utilizaremos elementos cuadrilaterales de 4 nodos. Si se está trabajando en elasticidad bidimensional (asolid), el usuario debe recordar que Sap también permite el uso de elementos de 9 nodos.

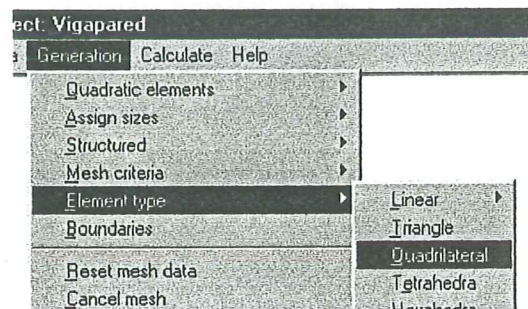


Fig. 4.13 Tipo de elementos

7. Herramientas de ayuda en la generación

- *Boundaries*: muestra el contorno de la malla.
- *Reset mesh data*: borra toda la información asignada a la malla durante su generación.
- *Cancel mesh*: cancela la malla generada anteriormente.

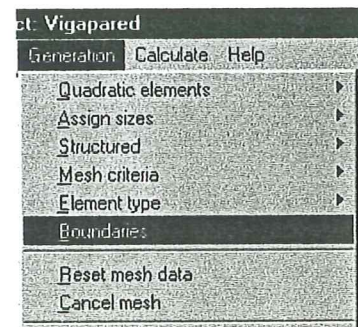


Fig. 4.14 Herramientas de ayuda

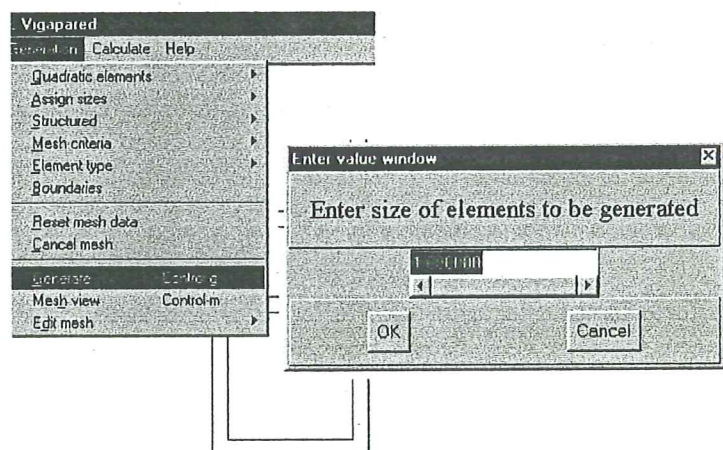
8. Generación

- *Generate*: genera la malla.

En esta opción se define el tamaño del elemento para su generación.

En la mayoría de los casos se asigna la unidad por defecto, dado que la malla ya ha sido estructurada anteriormente.

En caso de tratarse de una malla no estructurada, es aquí donde se debe asignar el tamaño del elemento de la malla.



Ahora estamos en condiciones de poder visualizar la malla creada.

Fig. 4.15 Generación de la malla

9. Visualización de la malla

- Mesh view: muestra en pantalla la malla generada.

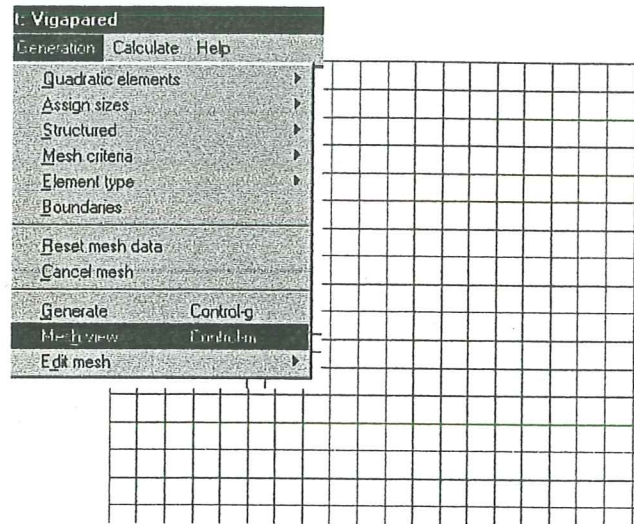


Fig. 4.16 Visualización de la malla

Hasta aquí hemos definido la geometría, su superficie y la malla del problema a resolver. A partir de ahora, y antes del cálculo, falta definir el tipo de problema, asignar todas y cada una de las condiciones de borde, los materiales, los datos generales del problema y sus intervalos.

4.2.3 Configuración del preproceso

1. Definición del tipo de problema

- Data carga el tipo de problema a resolver: en nuestro caso, *asolid* para tensión o deformación plana.

Cuando GiD lee el tipo de problema, informa al usuario si la configuración de los archivos es correcta.

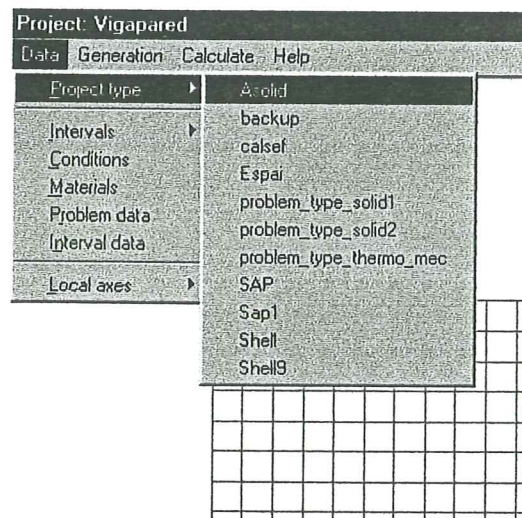


Fig. 4.17 Tipo de problema

Cada vez que se asigna el tipo de problema, el programa avisa al usuario que perderá toda la información que se haya creado en una versión anterior.

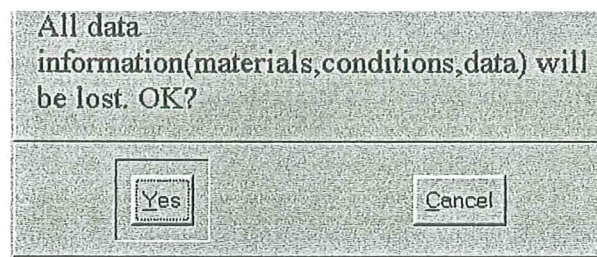


Fig. 4.18 Información sobre los datos

2. Condiciones de contorno

- *Conditions* incluye todas las condiciones de contorno que definen el problema.

Para el problema que estamos abordando, los únicos nodos que irán con restricciones totales son los que se encuentran en la base del muro pared; su definición será: 1,1,1,1,1,1. El resto de nodos son libres, sin restricción de ningún tipo y por tanto deberá escribirse la condición : 0,0,0,0,0,0.

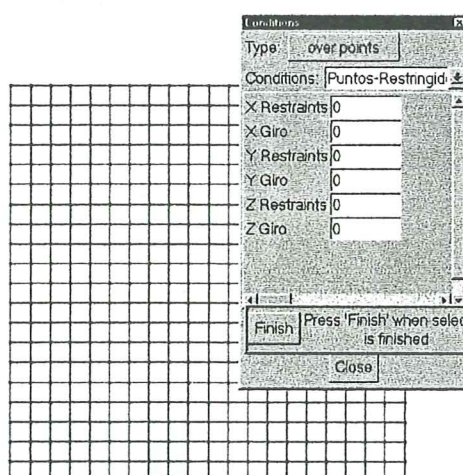


Fig. 4.19 Asignación de condiciones de borde

3. Cargas

La ventana de *Conditions* nos permite asignar las cargas, ya sea por puntos o por líneas, en el mismo comando. Las cargas puntuales se asignan directamente en el nodo. Para las cargas uniformemente repartidas, se recomienda que se asignen modificando la densidad del material (peso específico + sobrecarga= nueva densidad).

Nosotros aplicaremos una carga uniformemente repartida a lo largo de toda la parte superior de la estructura de 1.5 t/ml.

La forma de fijar estas condiciones es con el ratón; se finaliza la introducción de estos datos mediante la instrucción *finish*.

Es importante recordar que la asignación de las condiciones se puede hacer indistintamente por ventana o por teclado.

De esta misma manera se pueden dibujar las condiciones (previa configuración del archivo asolid.sim) o desasignar todas las condiciones que se hayan realizado con anterioridad.

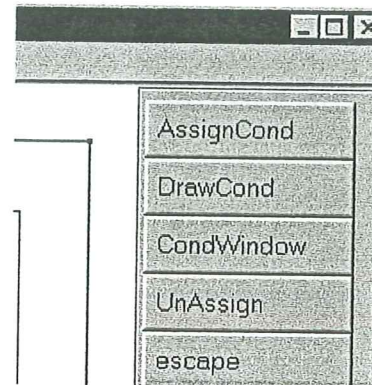


Fig. 4.20 Condiciones de borde

4. Características del material

- *Materials*: la asignación de los materiales se hace del mismo modo que se definen las condiciones de contorno.

Para la viga pared en estudio, asignaremos como material base del problema el hormigón.

El usuario deberá señalar todos los elementos que correspondan a este material; en nuestro caso será toda la figura.

Es en este punto donde hay que modificar el peso volumétrico del hormigón, en función del valor de la carga repartida que apliquemos.

Una vez asignados los materiales, es posible visualizarlos para evitar errores en la generación.

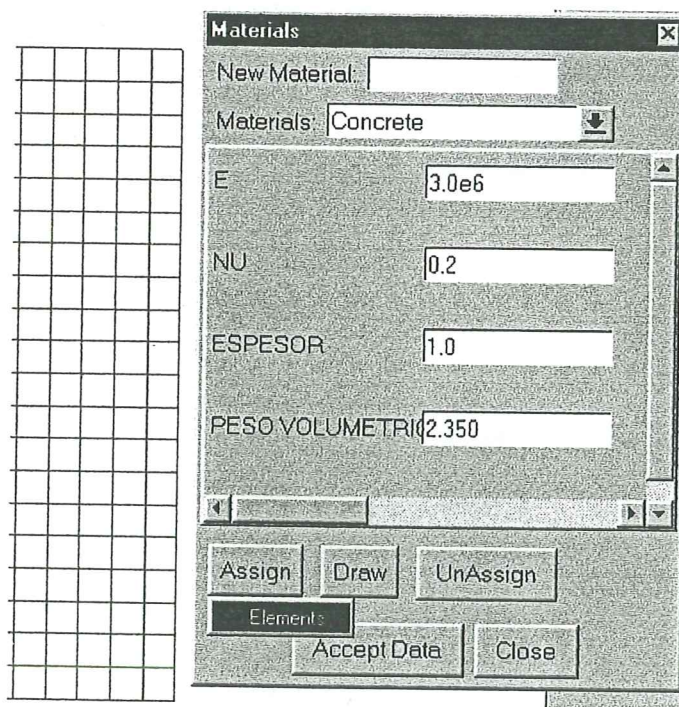


Fig. 4.21 Asignación del material

Tal y como sucede en las condiciones de contorno, se pueden definir las características del material por teclado o por ventana. Igualmente, se puede crear nuevos materiales y representarlos gráficamente en colores, incluso desasignar materiales de una configuración anterior.

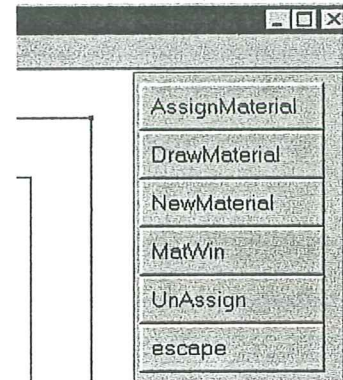


Fig. 4.22 Materiales

5. Datos generales del problema

- *Problem Data:* en este subapartado se van a asignar todos los datos que necesita el programa Sap90 para el cálculo posterior, tales como:

- Peso propio
- Título del problema
- Hipótesis de carga
- Número de materiales
- Tipo de problema (Asolid)

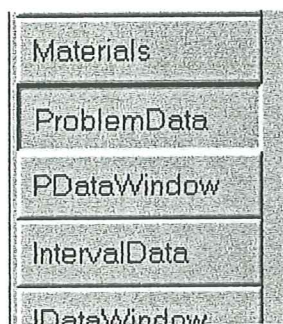


Fig. 4.23 Datos del problema

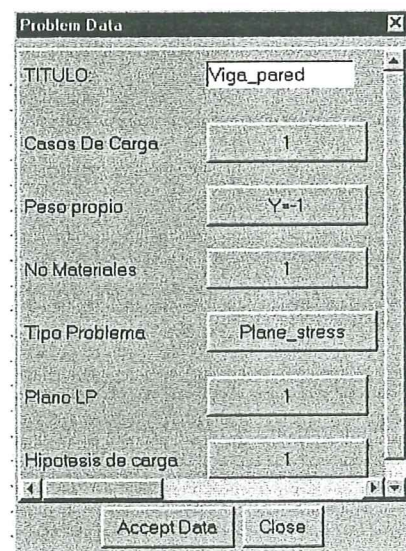


Fig. 4.24 Asignación de los datos del problema

Definidos todos los datos del preproceso, el siguiente paso ya es la ejecución del cálculo.

4.3 Cálculo del Problema

1. Calcular

Mediante *Calculate* se envía el problema a calcular.

Los resultados del cálculo se guardan siempre en el archivo *flavia.res*.

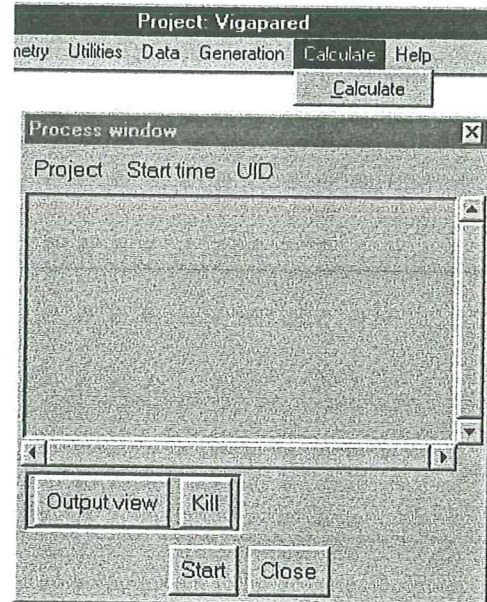


Fig. 4.25 Cálculo de la estructura

4.4 Postproceso

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



Fig. 4.26 Postproceso

4.4.1 Configuración de los resultados

Dentro del *postproceso* podemos configurar la visualización de los resultados obtenidos: los colores que GiD utiliza para representar las tensiones y/o deformaciones, las escala de la deformación y los valores numéricos.

Es importante señalar que el usuario siempre debe conocer los principios de cálculo en los que se basan los programas que utiliza, así como sus limitaciones y los resultados que van a obtener.

1. Utilidades del postproceso:

- *Utilities*: como sucede en el *preproceso*, la ventana de utilidades permite identificar los nodos y los elementos de la malla generada, así como la distancia entre ellos. También podemos configurar todos los datos relacionados con los resultados (*General*, *Graphical*, *Meshing* y *Postprocess*) utilizando *Preferences*.

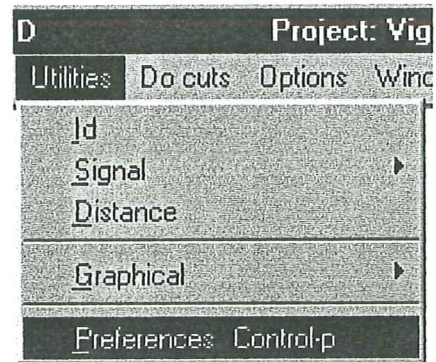


Fig. 4.27 Utilidades del Postproceso

2. Ventanas del postproceso:

- *Windows*: permite visualizar todas las ventanas que contienen los resultados gráficos.

- *View style*: permite configurar los datos relacionados con la representación de la geometría: renders, visualización de la malla, cortes realizados a la estructura, así como los pasos a realizar 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 los comandos ayuda a configurar imágenes de animación, perspectivas, etc.

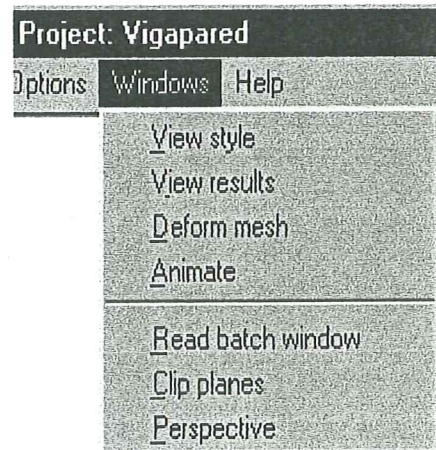
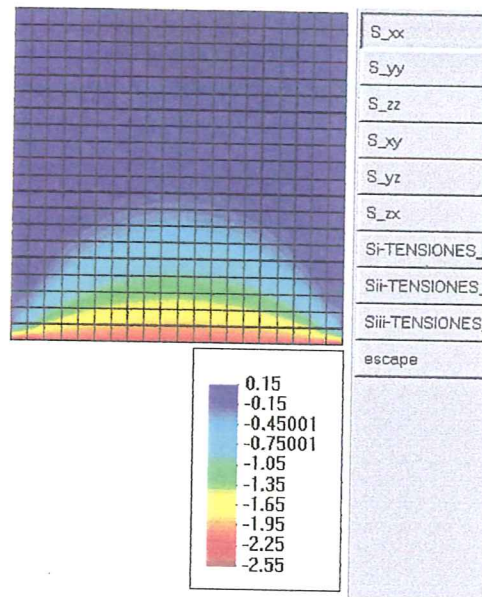


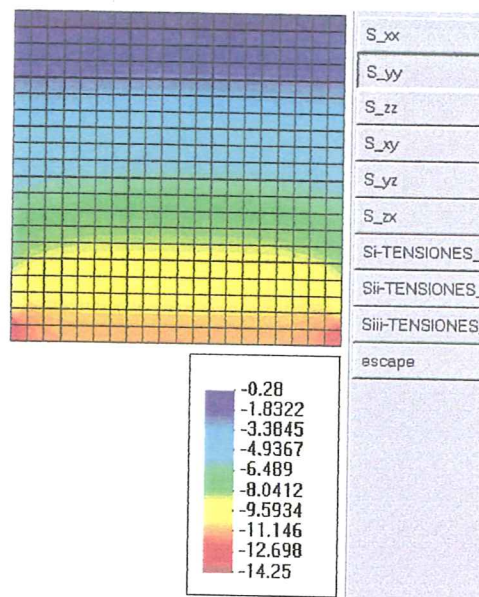
Fig. 4.28 Ventanas del Postproceso

4.4.2 Visualización de las tensiones

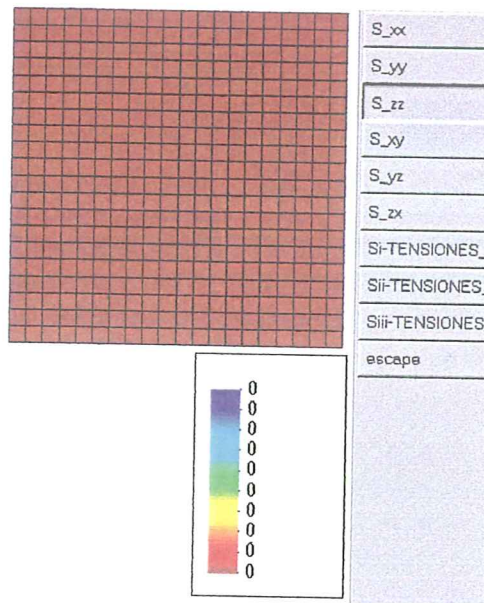
En este apartado se muestran los resultados gráficos del análisis de la viga pared sometida a una carga uniformemente repartida y empotrada en su base.



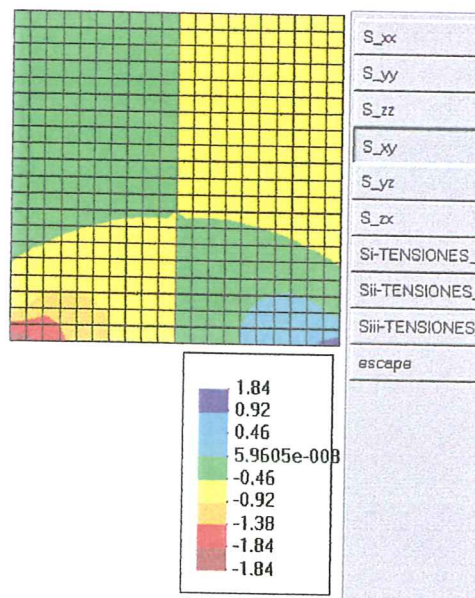
Tensiones SXX en el *postproceso* de GiD, con la *interface GiD – Sap90*



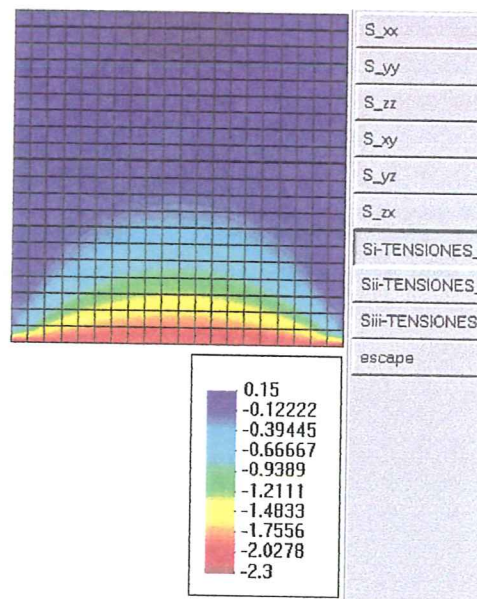
Tensiones SYY en el *postproceso* de GiD, con la *interface GiD – Sap90*



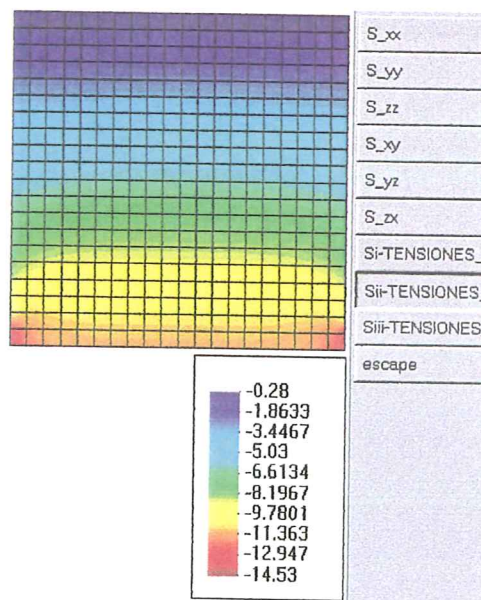
Tensiones SZZ en el *postproceso* de *GiD*, con la *interface GiD – Sap90*



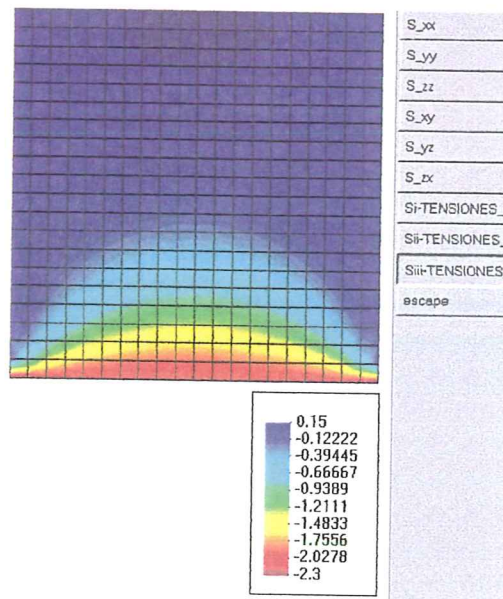
Tensiones SXY en el *postproceso* de *GiD*, con la *interface GiD – Sap90*



Tensiones S_{ii} en el *postproceso* de *GiD*, con la *interface GiD – Sap90*

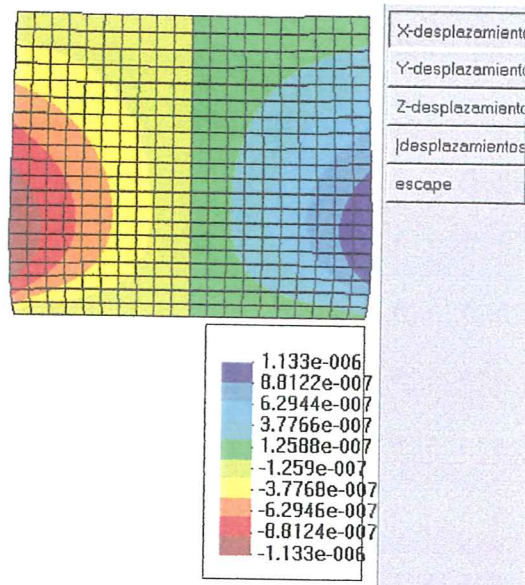


Tensiones S_{iii} en el *postproceso* de *GiD*, con la *interface GiD – Sap90*

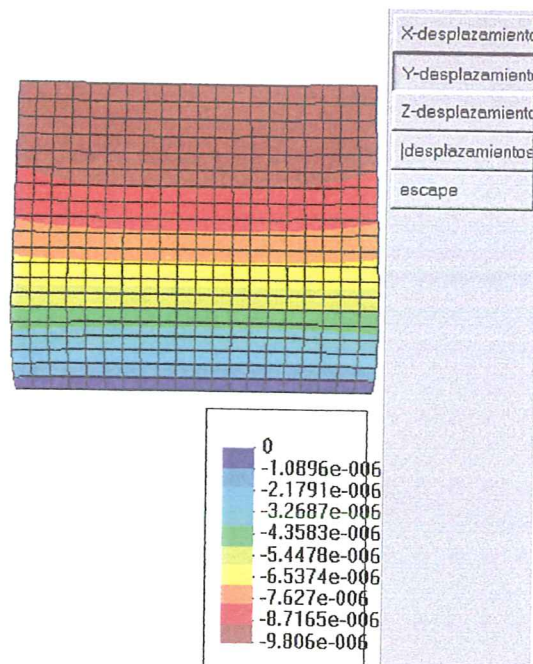


Tensiones Siii en el *postproceso* de GiD, con la *interface* GiD – Sap90

4.4.3 Visualización de las deformaciones



Deformada y desplazamientos en el eje X



Deformada y desplazamientos en el eje Y

4.4.4 Herramientas del postproceso

Dentro del *postproceso* podemos realizar las siguientes operaciones:

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

Existen más opciones dentro del *postproceso*, pero en este trabajo sólo hemos enumerado aquellas que hemos considerado más comunes y/o útiles.

4.4.5 Salir del postproceso

Obtenidos los resultados deseados, el usuario puede salir del programa mediante 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.

5. Anexo: programas fuente

Archivos de uso para la configuración Asolid2d.gid de la Interface GiD-Sap90

- A.1 Archivo **Asolid2d.cnd**. Archivo de Condiciones.
- A.2 Archivo **Asolid2d.mat**. Archivo de Materiales.
- A.3 Archivo **Asolid2d.sim**. Archivo de Símbolos gráficos para condiciones.
- A.4 Archivo **Asolid2d.prn**. Archivo de Datos del problema.
- A.5 Archivo **Asolid2d.bas**. Archivo para la ordenación de los datos para su análisis.

A.1 Archivo *Asolid2d.cnd* . Archivo de Condiciones.

```
NUMBER: 1 CONDITION: Puntos-Restringidos
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Constraints
VALUE: 0
QUESTION: X-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Y-Constraints
VALUE: 0
QUESTION: Y-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Z-Constraints
VALUE: 0
QUESTION: Z-Giro
VALUE: 0
END CONDITION
NUMBER: 2 CONDITION: Puntos-Cargas-y-Momentos
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Force
VALUE: 0
QUESTION: Y-Force
VALUE: 0
QUESTION: Z-Force
VALUE: 0
QUESTION: X-Momento
VALUE: 0
QUESTION: Y-Momento
VALUE: 0
QUESTION: Z-Momento
VALUE: 0
END CONDITION
```


A.2 Archivo *Asolid2d.mat*. Archivo de Materiales.

```
NUMBER: 1 MATERIAL: Steel
QUESTION: E
VALUE: 2.1e07
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 0.0
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 7.800
END MATERIAL
NUMBER: 2 MATERIAL: Concrete
QUESTION: E
VALUE: 3.0e6
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 1.0
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 2.350
END MATERIAL
NUMBER: 3 MATERIAL: Madera
QUESTION: E
VALUE: 1.0e6
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 1.0
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 0.800
END MATERIAL
NUMBER: 4 MATERIAL: Fundición
END MATERIAL
.....
.....
NUMBER: 18 MATERIAL: Fabrica14
QUESTION: E
VALUE: 5.0e5
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 0.15
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 20.2
END MATERIAL
```

A.3 Archivo *Asolid2d.sim*. Archivo de Símbolos gráficos para condiciones.

```
cond Point-Constraints
3
global
cond(int,5)
1
0
0
apoi3d.geo
global
cond(int,1) && cond(int,3)
1
0
0
apoi.geo
global
cond(int,1) || cond(int,3)
cond(int,3)
cond(int,1)*(-1)
0
apoi-rodillo.geo
cond Point-Load
1
global
1
cond(real,1)
cond(real,2)
cond(real,3)
fletxa.geo
cond Face-Load
3
local
fabs(cond(real,1))>1e-5 && fabs(cond(real,2))<1e-5
1
0
0
Normal.geo
local
fabs(cond(real,1))<1e-5 && fabs(cond(real,2))>1e-5
1
0
0
Tangencial.geo
local
fabs(cond(real,1))>1e-5 && fabs(cond(real,2))>1e-5
1
0
0
Normal-Tangen.geo
cond Surface-Load
1
local
1
-1
```

```
0
0
Normal-Superf.geo
cond Line-Constraints
1
local
1
1
0
0
apoiol.geo
```

A.4 Archivo *Asolid2d.prb*. Archivo de Datos del problema.

```
TITULO: Title_name
Casos_De_Carga#CB#(1,2,3,4,5) 1
Peso_propio#CB#(X=-1,Y=-1,Z=-1) X=-1
No_Materiales#CB#(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10) 1
Tipo_Problema#CB#(Plane_strain,Plane_stress) Plane_strain
Plano_LP#CB#(1,2,3) 1
Hipotesis_de_carga#CB#(1,2,3,4,5) 1
1
1
Nombre_Femview Asolid
```

A.5 Archivo *Asolid2d.bas*. Archivo para la ordenación de los datos para su análisis.

```

*GenData(1)
SYSTEM
L=*GenData(2)
JOINTS
*loop nodes
*format "%3i X=%6.3f Y=%6.3f"
*NodesNum *NodesCoord
*end

*Set Cond Puntos-Restringidos
RESTRAINTS
*loop nodes *OnlyInCond
*format "%1i R=%1i,%1i,%1i,%1i,%1i,%1i"
*NodesNum
*cond(1,int)*cond(3,int)*cond(5,int)*cond(2,int)*cond(4,int)*cond(6,int)
*end

ASOLID
NM=*GenData(4) *if(strcmp(GenData(5),"Plane_strain")==0)
ETYPE= 1 *\
*endif
*if(strcmp(GenData(5),"Plane_stress")==0)
ETYPE= 2 *\
*endif
*GenData(3)
*loop materials
*matnum W=*MatProp(4)
E=*MatProp(1) U=*MatProp(2)
*end
*loop elems
*loop materials
*elemsnum JQ=*elemsConec(4)*elemsConec(1)*elemsConec(3)*elemsConec(2) *\
M=*elemsmat TH=*MatProp(3) LP=*GenData(6)
*end materials
*end elems

*Set Cond Puntos-Cargados *nodes
*if(CondNumEntities(int)>0)
LOADS
*loop nodes *OnlyInCond
*NodesNumL=*GenData(7)F=*cond(1),*cond(2),*cond(3),*\
cond(4),*cond(5),*cond(6)
*end
*endif

```

6. Bibliografía

- Bib n°1* F. MUÑOZ SALINAS. J.MARISTANY CARRERAS
Pre y Postprocesadores para el Cálculo de Estructuras.
Interface Gid-Sap90
Monografía CIMNE n° 52. Barcelona, Julio 1999.
- Bib n°2* Manual del usuario GiD
<http://gid.cimne.upc.es/support/index.html>
- Bib n°3* Manual del usuario SAP90
Computers and Structures, Inc. California, Junio 1991.
- Bib n°4* Manual del usuario SAP2000
Computers and Structures, Inc. California, Octubre 1998.
- Bib n°5* J.M. ARRIETA TORREALBA, A.J. MADRID RAMOS,
P. MIRA Mc WILLIAMS
Un programa de elementos finitos: SAP90
CEDEX.
- Bib n°6* E.OÑATE
Cálculo de Estructuras por el Método de Elementos Finitos. Análisis
estático lineal.
CIMNE. Barcelona, Enero 1992.

