

# **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 Preproceso, cálculo y postproceso de una viga pared (interface asolid)

### 4.5.2.1 Descripción del problema

En este apartado, aplicaremos un ejemplo práctico para mostrar la *interface GiD-Sap90* para el caso de Deformación Plana (*Asolid*). Es de aclarar que esta interface con Sap90 solo se plantea para un análisis lineal, por lo que no se considero el estudio dinámico, ni térmico.

El ejemplo práctico será un muro pared de Hormigón armado rectangular de 5.00 mts. de largo por 5.00 mts. de altura, con un espesor de 0.10 mts.

El muro pared tendrá una carga, uniformemente repartida, en su parte superior y paralelo al plano de 1.5 T/ml. Y se encontrará totalmente empotrado en su parte inferior.

Las características del Material (hormigón) son:

Módulo de Elasticidad.....  $E = 3.0E6 \text{ T/m}^2$

Módulo de Poisson.....  $U = 0.2$

Espesor.....  $TH = 0.10 \text{ mts.}$

Peso Volumétrico.....  $W = 2.35 \text{ T/m}^3$

Carga.....  $F = 1.5 \text{ T/ml}$

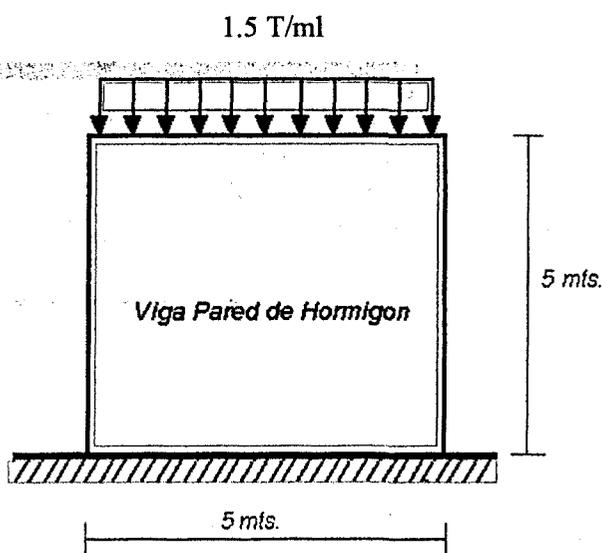


Fig. 4.5.1 Ejemplo práctico.  
Viga pared

En este problema utilizaremos la teoría de la Elasticidad Bidimensional, y en particular la de Tensión plana, debido a sus características.

Una vez que se tiene definido el problema, el siguiente paso es representar gráficamente la estructura. Y para ello existen varias herramientas que pueden ser utilizadas.

#### 4.5.2.2 Generación de la geometría

Como ya se comentó en el apartado anterior, existen varios programas informáticos para representar la geometría del problema a resolver. Tales como: Cualquier programa de dibujo (*CAD*) que permita exportar la geometría en un fichero con formato *dxf*.

Ejemplo de estos programas son: El *autocad* en sus versiones 12,13,14; el *3D studio*, etc.

En esta publicación nos centraremos solo en dos:

1. La generación de la estructura por medio del programa *Autocad* (12,13,14)
2. Las propias herramientas de dibujo que posee el *GiD*.

En el primer caso, el usuario puede comenzar a dibujar la estructura, como si se tratase de cualquier dibujo a representar. Toda vez que se tiene terminado el dibujo (la estructura ya sea en una, dos o tres dimensiones) el siguiente paso es exportarlo a un formato *dxf* y llevarlo al directorio donde se desee iniciar el proceso de análisis.

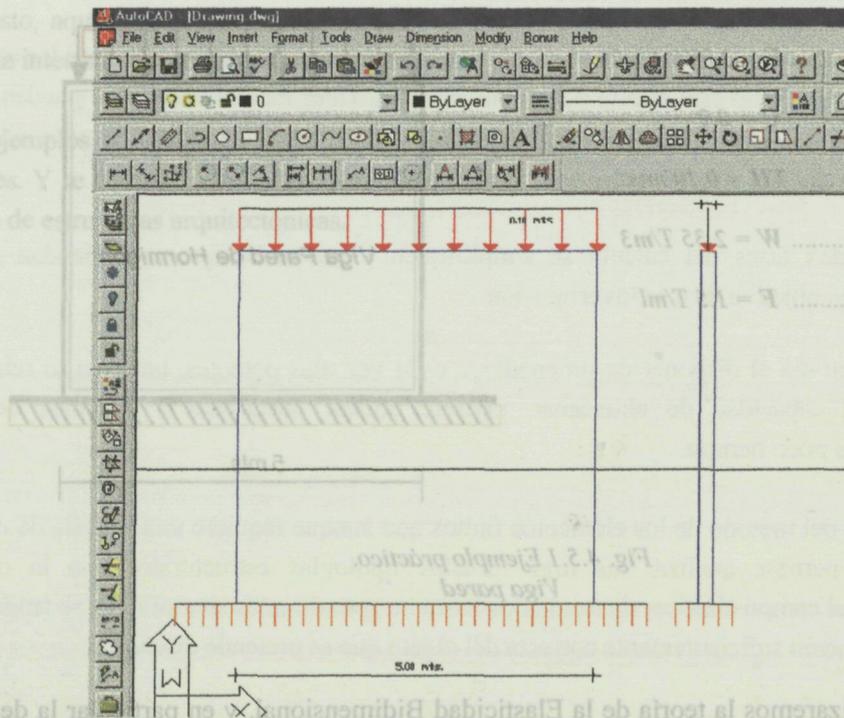


Fig. 4.5.2 Representación gráfica del problema en *Autocad*.

La utilización de programas de dibujo (*CAD*) dependerá de la complejidad del problema, ya que contienen muchas herramientas que facilitan la generación del dibujo, por complejo que sea.

En el segundo caso, las herramientas, aunque escasas, de *GiD* nos permiten generar geometrías básicas y sencillas. Para el ejemplo que nos atañe, es posible trabajar directamente en el programa.

A Continuación, se detallarán todos y cada uno de los pasos a seguir en la solución del problema.

#### \* Generación de un archivo:

- A partir de que se accede a *GiD*, lo primero es crear un proyecto nuevo.

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

Este, funciona como un directorio en el cual, conforme se vayan asignando todos los parámetros, se irán almacenando subarchivos, los cuales contendrán:

\* Las condiciones de contorno

\* Las características de los materiales

\* Y, demás datos necesarios para su cálculo

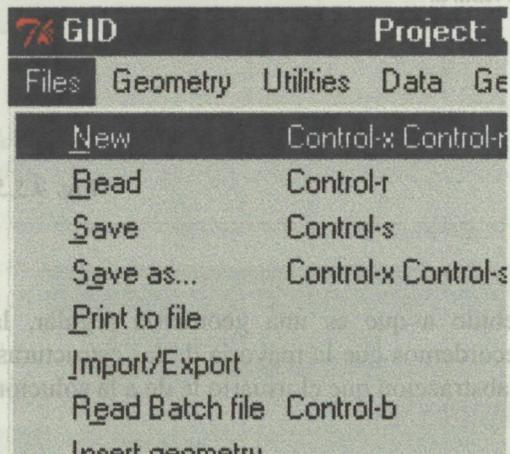


Fig. 4.5.3 Generación de un archivo *GiD*.

Ahora, se está en condiciones de comenzar a crear la geometría de la estructura. De manera breve describiremos la generación de esta, desde la creación de un punto hasta la generación de la malla.

#### \* Generación de puntos:

- Comenzamos por crear un punto, el cual se puede generar desde el teclado, dando las coordenadas de este, en el orden x, y, z. (es importante recordar que este procedimiento se realiza para geometrías sencillas y regulares).

De esta manera, se continuará hasta haber completado todos los puntos básicos de la geometría

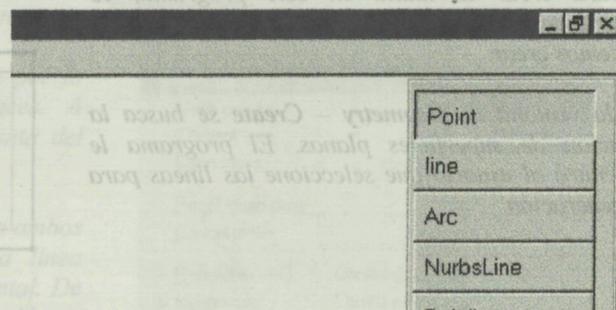


Fig. 4.5.4 Creación de los puntos

**\* Generación de líneas:**

- Una vez que se tienen los puntos, crearemos las líneas que rigen esta geometría.

Esto se realiza uniendo todos los puntos ya existentes.

Cabe recordar, que las últimas versiones de GiD permiten generar líneas curvas, las cuales podrán ser utilizadas para la generación de elementos de malla con determinada curvatura.

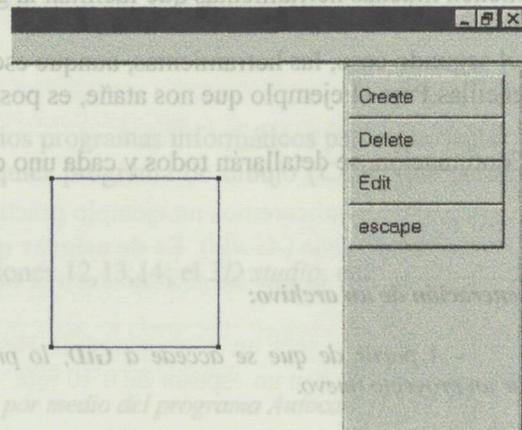


Fig. 4.5.5 Creación de líneas.

Debido a que es una geometría regular, la generación de esta geometría es bastante sencilla. Recordemos que la mayoría de las estructuras son de formas más complejas pero, depende mucho de la abstracción que el usuario le da a la solución del problema, así como del modelo matemático a usar.

#### 4.5.2.3 Definición de la malla

**\* Generación de superficies:**

- A partir de este momento, tenemos de manera general creada la geometría del problema a resolver.

Y para crear la malla en este programa, es importante crear tantas superficies como mallas deseemos crear.

En la ventana de **Geometry – Create** se busca la creación de superficies planas. El programa le solicitará al usuario que seleccione las líneas para su generación.

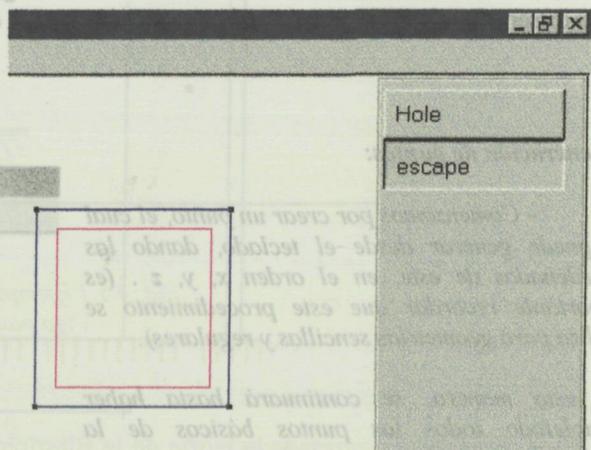


Fig. 4.5.6 Creación de superficies.

**\* Generación malla:**

- Resumiendo, después de haber creado la geometría y la superficie, que nos permitirá generar la malla, iniciaremos a detallar las instrucciones necesarias para su generación.

Dentro del menú **Generation**, el usuario puede generar una malla, editarla y escoger las opciones de generación de malla que se desee.

Dentro de este comando, la primera opción que aparece es **Quadratic elements**, aquí se describe el grado del elemento que se desee. Se puede seleccionar elementos cuadráticos, cuadráticos de 9 nodos ó normales.

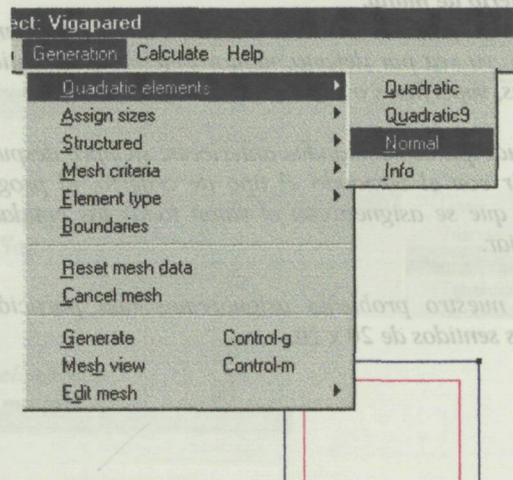


Fig. 4.5.7 Grado del elemento. (Generación de malla)

**\* Asignar tamaño:**

- Esta opción, permite asignar a las entidades del problema un tamaño concreto de elemento para la malla no estructurada.

Esta asignación se puede dar a puntos, líneas, superficies, volúmenes, por su geometría.

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

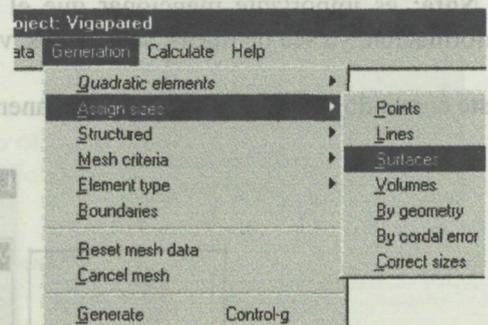


Fig. 4.5.8 Asignar tamaño. (Generación de malla)

**\* Estructuración de malla:**

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

Por ejemplo: Nosotros tenemos una sola superficie por lo tanto asignaremos ésta con el comando **surfaces**. A continuación, aparecerá en la pantalla la pregunta del número de particiones.

Cabe recordar, que se pueden generar particiones en ambos sentidos, es decir, que podemos seleccionar una línea vertical y asignarle más particiones que a la horizontal. De esta manera podemos densificar la malla en el sentido que más nos convenga.

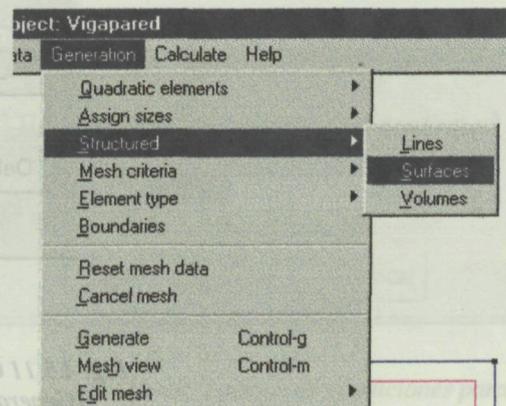


Fig. 4.5.9 Estructuración de malla. (Generación de malla)

**\* Criterio de malla:**

-Mesh criteria: nos permite escoger el criterio de malla ya sea por defecto, mallar determinadas entidades (líneas, superficies o volúmenes) o no mallar otras.

Al igual que los comandos anteriores, siempre después de definir con el comando el tipo de criterio, el programa exige que se asignen con el ratón todas las entidades a trabajar.

Para nuestro problema asignaremos una partición en ambos sentidos de 20 x 20.

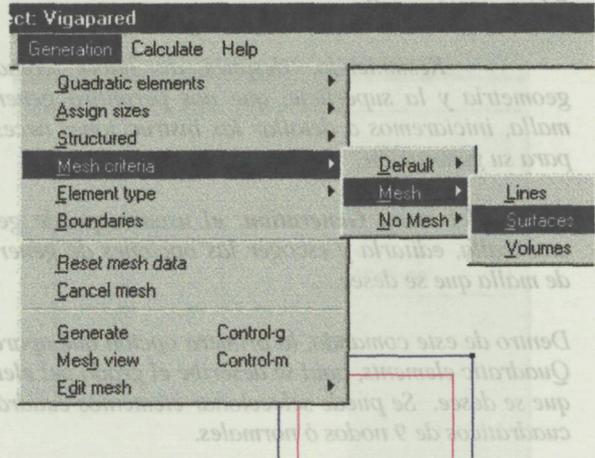


Fig. 4.5.10 Criterio de malla. (Generación de malla)

**\* Nota:** es importante mencionar que el usuario puede ir generando capas para almacenar toda la información, ya sea de líneas, superficies, volúmenes o mallas.

Este comando, funciona de la misma manera que cualquier programa (CAD)

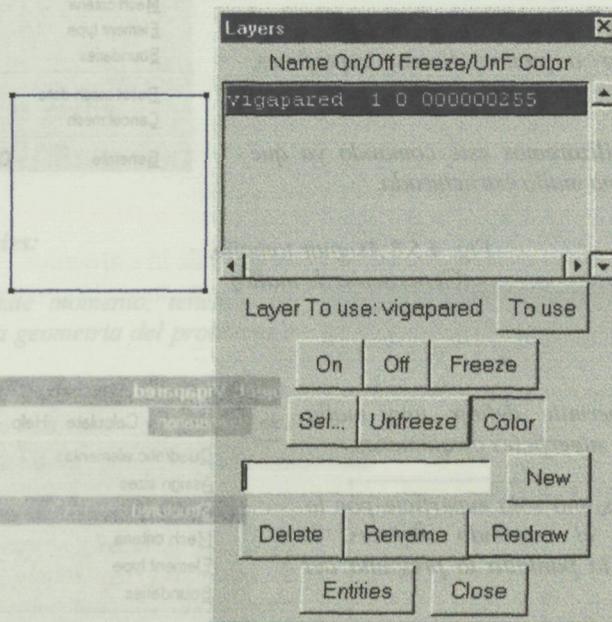


Fig. 4.5.11 Creación de capas. (Generación de malla)

**\* Tipo de elemento:**

- **Element type:** Permite asignar un tipo de elemento determinado a una entidad en particular. Los elementos van desde lineales, triangulares, cuadrilaterales, tetraedros, hexaedros, ó simplemente en puntos.

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

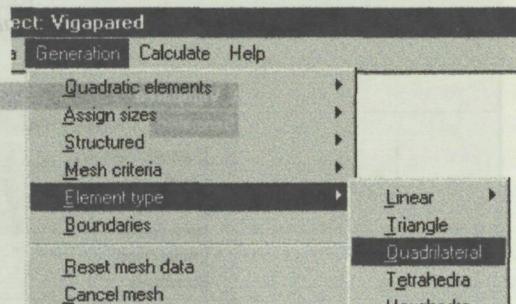


Fig. 4.5.12 Tipo de elementos. (Generación de malla)

**\* Herramientas de ayuda en la generación:**

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

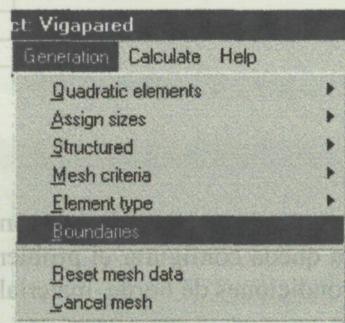


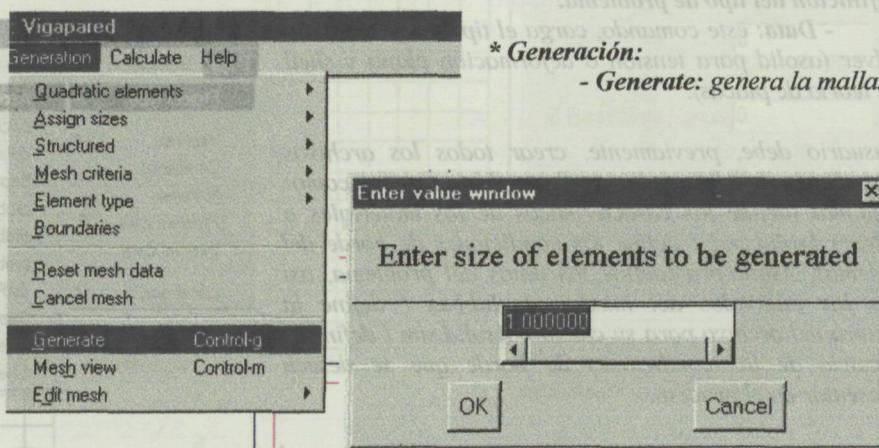
Fig. 4.5.13 Herramientas de ayuda. (Generación de malla)

Esta opción, pregunta al usuario el tamaño del elemento para su generación.

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

**\* Generación:**

- **Generate:** genera la malla.



Ahora, estamos en condiciones para poder visualizar la malla creada.

Fig. 4.5.14 Generación de la malla.

**\* Visualización de la malla:**

- Mesh view: muestra en pantalla la malla generada.

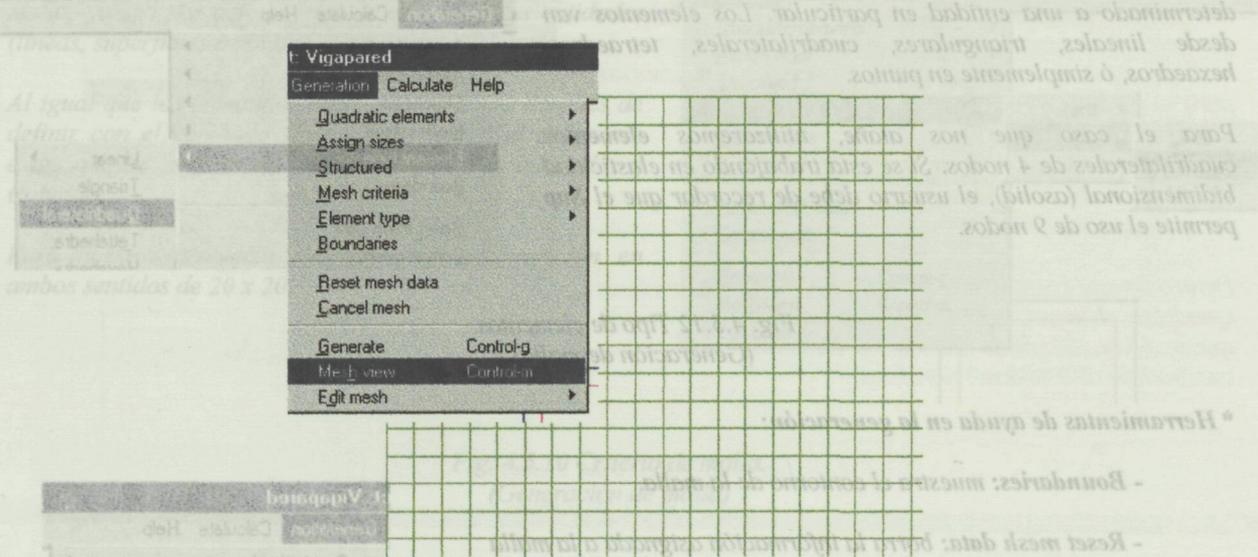


Fig. 4.5.15 Visualización de la malla.  
(Generación de malla)

Hasta aquí hemos creado la geometría, su superficie y la malla del problema a resolver. A partir de ahora queda configurar el problema. Esto quiere decir, que tenemos que asignar todas y cada una de las condiciones de borde, materiales, datos del problema y los intervalos de éste.

**4.5.2.4 Configuración del preproceso**

**\* Definición del tipo de problema:**

- Data: este comando, carga el tipo de problema a resolver (asolid para tensión ó deformación plana y shell para teoría de placas).

El usuario debe, previamente, crear todos los archivos necesarios que definen el tipo de problema, tales como: Asolid.mat (define las características de los materiales a emplear), Asolid.cnd (define las condiciones de borde del problema), Asolid.prd (define los datos del problema, así como los intervalos del mismo), Asolid.bas (define la escritura del archivo para su cálculo), Asolid.sim (define la geometría de las condiciones de borde que se deseen representar en el proceso).

Si el programa lee todos estos archivos, le informa al usuario que esta en condiciones de iniciar el proceso.

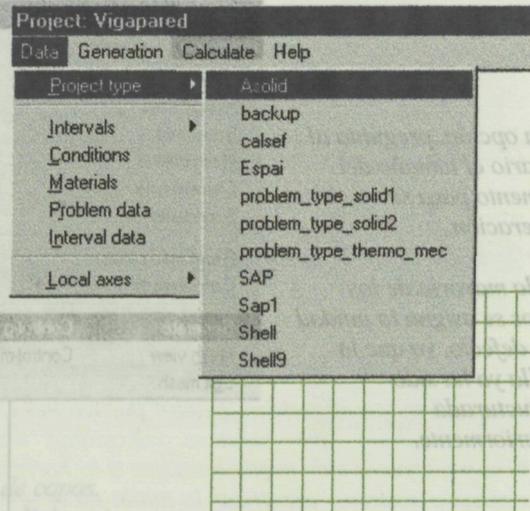


Fig. 4.5.16 Tipo de problema.  
(Configuración para el cálculo)

**\* Nota:**

Toda vez que se asigna el tipo de problema, el programa avisa al usuario que perderá toda la información creada anteriormente.

Con lo cual, se deberán de asignar de nuevo todos los datos del problema.

All data  
information(materials,conditions,data) will  
be lost. OK?

Yes

Cancel

Fig. 4.5.17 Información sobre datos.  
(Configuración para el cálculo)

**4.5.2.4.1 Condiciones de contorno.****\* Condiciones de contorno:**

- **Conditions:** en este apartado, se incluyen todas las condiciones de contorno que rigen el problema.

Por ejemplo:

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. El resto de nodos irán con la condición: 0,0,0,0,0,0 que representa que se encuentran libres de cualquier restricción.

Esto es con lo que respecta a grados de libertad de los nodos.

En el mismo comando, podemos asignar las cargas, ya sean por puntos o por líneas.

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 y a continuación dar la instrucción de finalizar (finish)

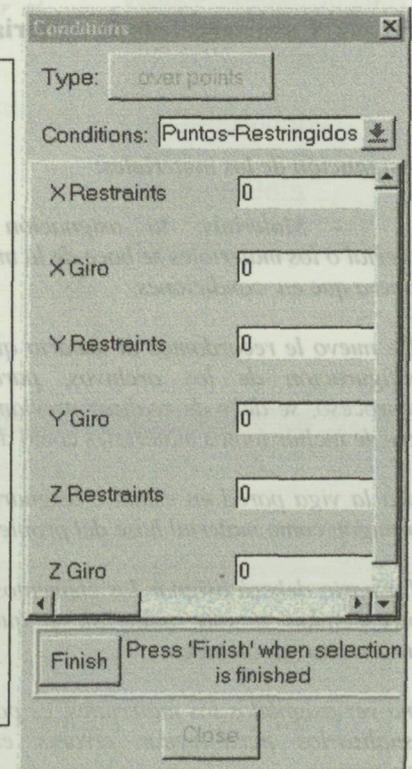
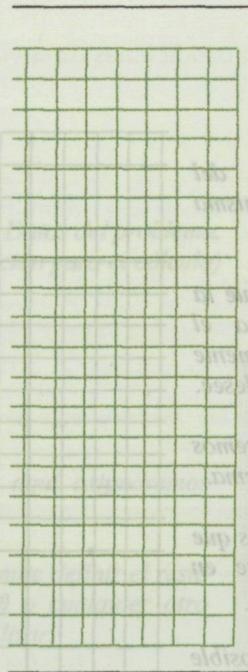


Fig. 4.5.18 Asignación de condiciones de borde.  
(Configuración para el cálculo)

**\* NOTA:**

Es importante recordar que la asignación de las condiciones se puede hacer o ya sea 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.

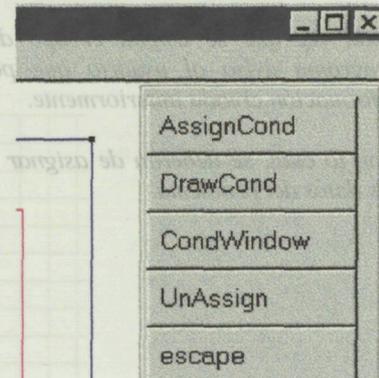


Fig. 4.5.19 Condiciones de borde.  
(Configuración para el cálculo)

#### 4.5.2.4.2 Características de material

**\* Asignación de los materiales:**

- **Materials:** la asignación del material o los materiales se hace de la misma manera que en condiciones.

- De nuevo le recordamos al usuario que la configuración de los archivos, para el preproceso, se debe de realizar previamente y puede incluir tantos materiales como desee.

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

El usuario deberá asignar los elementos que correspondan a este material, y que en nuestro caso serán todos.

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

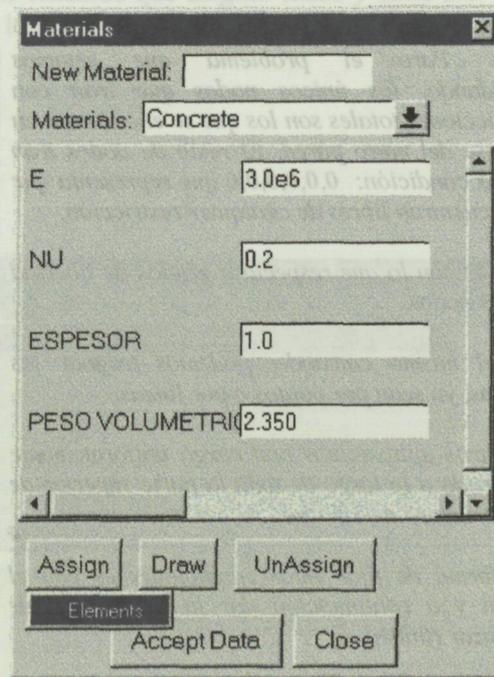
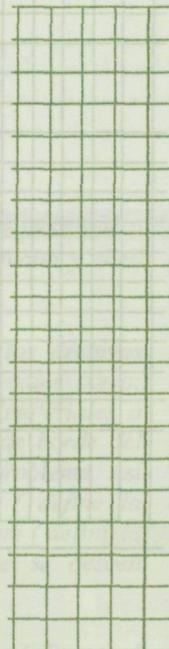


Fig. 4.5.20 Asignación del material.  
(Configuración para el cálculo)

4.5.2.6 Postproceso

**\* Nota:**

Al igual que en las condiciones, las características del material se pueden asignar (por teclado o por ventana) se pueden crear nuevos materiales, representarlos gráficamente en colores y se pueden desasignar de una configuración anterior.

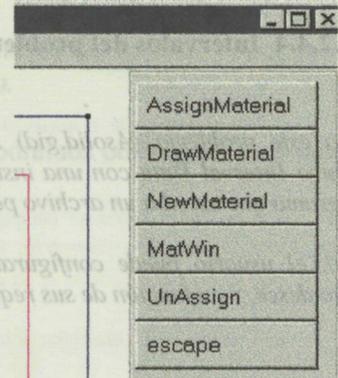


Fig. 4.5.21 Materiales.  
(Configuración para el cálculo)

4.5.2.4.3 Datos del problema

En este subapartado, se van a asignar todos los datos requeridos por el programa (Sap90) tales como:

- Peso propio.
- Título del problema.
- Hipótesis de carga.
- N° de materiales.
- Tipo de problema (Asolid ó Shell)

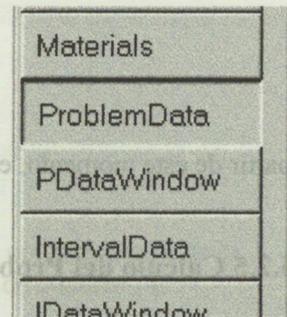


Fig. 4.5.22 Datos del problema.  
(Configuración para el cálculo)

**\* Asignación de datos del problema:**

- **Problem Data:** Como ya se comento, aquí asignaremos todos los datos necesarios para el cálculo.

Como muestra la figura 9.22, problem data nos permite definir el resto de la información que requiera, ya sea el Sap90 o cualquier otro programa de cálculo de estructuras que se desee utilizar.

Toda esta información será recogida por el archivo Asolid.bas, el cual escribirá un archivo para su análisis.

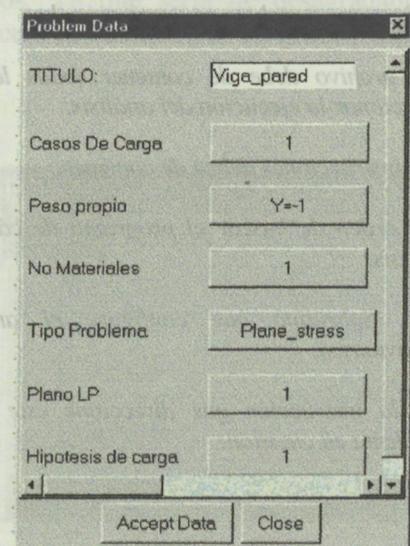


Fig. 4.5.23 Asignación de los datos del problema.  
(Configuración para el cálculo)

#### 4.5.2.4.4 Intervalos del problema

Para este problema (Asolid.gid) solo fue necesario configurar el archivo *Interval Data* con una instrucción, y fue la de solicitarle al programa que escriba un archivo para su cálculo.

Pero, el usuario puede configurar este archivo, con tantos datos como desee, y en función de sus requerimientos.

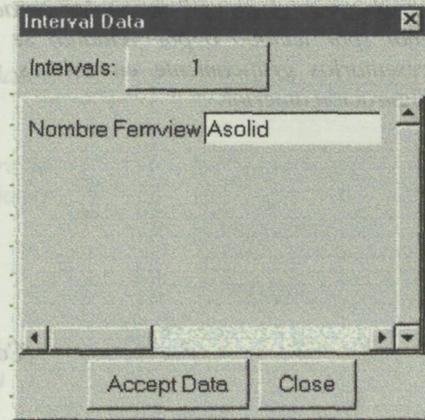


Fig. 4.5.24 Intervalos del problema.  
(Configuración para el cálculo)

A partir de este momento, estamos en condiciones de enviar el problema a calcular.

#### 4.5.2.5 Cálculo del Problema

##### \* Calculate:

Para realizar esta operación, el usuario debe, previamente, configurar un archivo con extensión *.bat*.

Este archivo debe de contener todas las instrucciones para direccionar la ejecución del análisis.

Esta instrucciones deben de contener:

- La orden de buscar el programa de cálculo que realizara el análisis.
- la Subrutina que configure el archivo de resultados (\*.flavia.res).
- Y la instrucción que direcciona este archivo de nuevo al problema en cuestión.

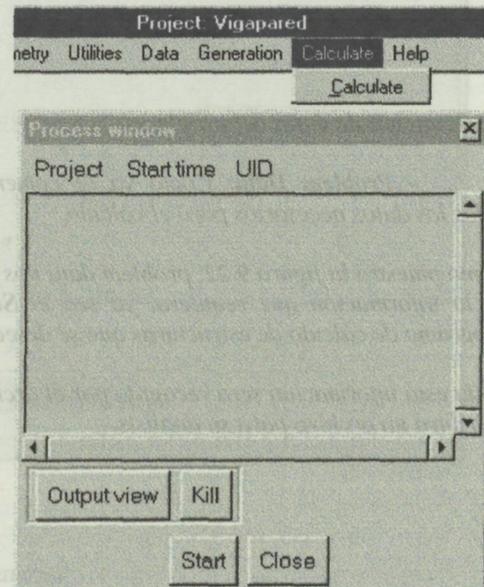


Fig. 4.5.25 Cálculo de la estructura.  
(Configuración para el cálculo)