

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



6
**Modelización numérica del sagrario de la
catedral de la ciudad de México.**

6.1 Proceso de la modelización numérica del sagrario de la catedral de la ciudad de México

6.1.1 Introducción

La modelización numérica de edificios históricos representa, actualmente, una herramienta importante en el conocimiento de éstos. Es, por ello, de suma importancia comprender su comportamiento estructural para su conservación. Como ya se ha comentado en capítulos anteriores, actualmente, la mayoría de los programas informáticos de simulación numérica de edificios arquitectónicos se dividen en tres partes: El Preproceso, el cual prepara toda la información necesaria (geometría, condiciones de borde, cargas, etc.). El Análisis, donde se desarrollan todos los cálculos y El Postproceso, que permite visualizar los resultados numéricos en forma de gamas de color.

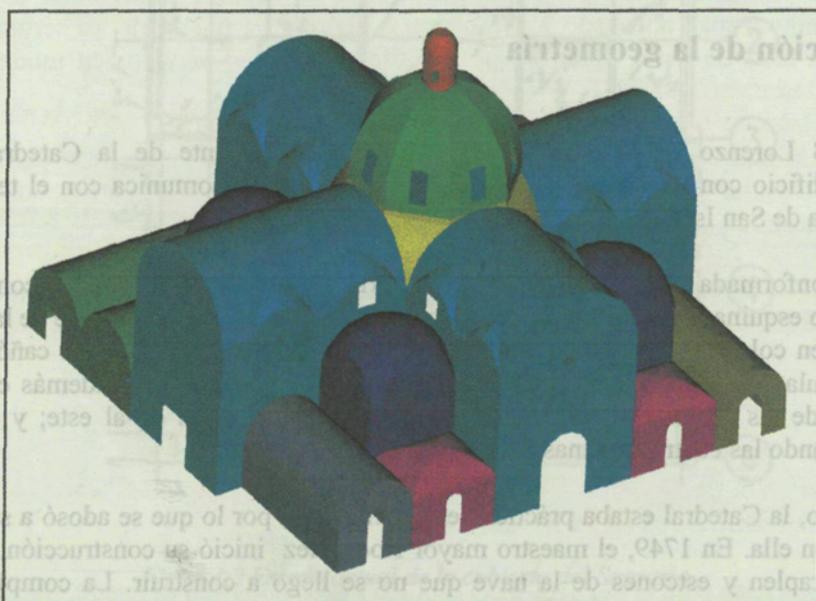


Fig. 6.1.1 Modelo generado en autocad del Sagrario de México

Es aquí donde el usuario de estos programas, se encuentra con la dificultad de poder hacer un análisis detallado de los resultados, ya que no le permiten observarlos de manera ágil y dinámica. Por ello, es importante contar con herramientas que permitan visualizar los datos obtenidos.

Actualmente, existen muchos programas de análisis estructural que tienen sus postprocesos muy avanzados, pero siguen teniendo limitaciones de visualización en el espacio. Por éste motivo, esta investigación pretende integrar los diferentes programas de cálculo que existen con los de representación gráfica en el espacio.

De esta manera, la visualización de los resultados numéricos (valores tensionales, de esfuerzos y de deformación) puede ser mucho más interesante. Esto permite a los usuarios navegar virtualmente a través de cualquier estructura y poder comprender su comportamiento.

Resumiendo, en esta investigación se desarrollará una interface entre los programas comerciales de cálculo de estructuras y los de representación gráfica y virtual, incluyendo su aplicación práctica en edificios históricos y en particular en el Sagrario de la Catedral de la ciudad de México.

6.1.2 Modelización geométrica del Sagrario.

La creación de modelos numéricos de cualquier edificio arquitectónico comienza con la generación de su geometría. Por esta razón, la modelización, para su cálculo posterior, puede llegar a ser compleja y crear la necesidad de implementar programas de dibujo (*CAD*) para su realización. Es de suma importancia generar una geometría adecuada, de la estructura a estudiar, ya que esto se refleja en sus resultados numéricos.

6.1.3 Descripción de la geometría

De 1749 a 1768 Lorenzo Rodríguez, construyó en el lado oriente de la Catedral el Sagrario Metropolitano, edificio con planta en forma de cruz griega que se comunica con el templo mayor a través de la capilla de San Isidro.

Su planta está conformada por una planta de cruz griega doblemente simétrica con cúpula en el crucero; las cuatro esquinas, apoyadas en muros, constituyen la parte más resistente de la estructura; su cúpula descansa en columnas de sillería. Las bóvedas que forman la cruz son de cañón con lunetas. Tiene cuatro cúpulas simétricas rodeando la cúpula y las naves centrales. Además cuenta con tres cúpulas ojivales de las cuales dos forman la fachada sur y la tercera da al este; y cinco bóvedas pequeñas delimitando las cuatro esquinas de la construcción.

Cuando se levanto, la Catedral estaba prácticamente terminada, por lo que se adosó a su muro oriente y se comunicó con ella. En 1749, el maestro mayor Rodríguez inició su construcción, aprovechando la franja del pedraplen y estcones de la nave que no se llegó a construir. La completo de manera similar, salvo que los estacones, en su mayoría, fueron de 10cm de diámetro y con una longitud de 1.8 a 2.00m. La calidad del pedraplén es inferior al de la Catadral.

6.1.4 Descripción estructural

En el sagrario, como ya se ha comentado, los muros de fachada que soportan las bóvedas central y las cuatro columnas son el soporte esencial de toda la estructura y por consiguiente los elementos que transmiten la mayoría de las cargas a suelo.

Las cúpulas laterales tienen la función de contrafuertes para soportar los empujes generados por la cúpula y las bóvedas centrales; de la misma manera, las bóvedas y cúpulas perimetrales terminan por recoger las fuerzas transmitidas a través de la estructura en su conjunto.

6.1.4.1 Estado estructural actual del Sagrario.

Actualmente, el sagrario se encuentra, al igual que la catedral, en un proceso de corrección geométrica; como ya se ha mencionado, esta labor que se está realizando es debido al daño generado por los hundimientos diferenciales y que por tanto afectan a la estabilidad de la estructura.

Estos hundimientos han producido importantes desplazamientos y, por consiguiente, fisuras en las cubiertas de gran consideración. En esta investigación, lo que se pretende es desarrollar un modelo numérico que se aproxime al real, y a partir de este poder realizar cualquier estudio estructural que permita conocer mejor su comportamiento y por tanto, poder aplicar medidas correctivas de una manera correcta.

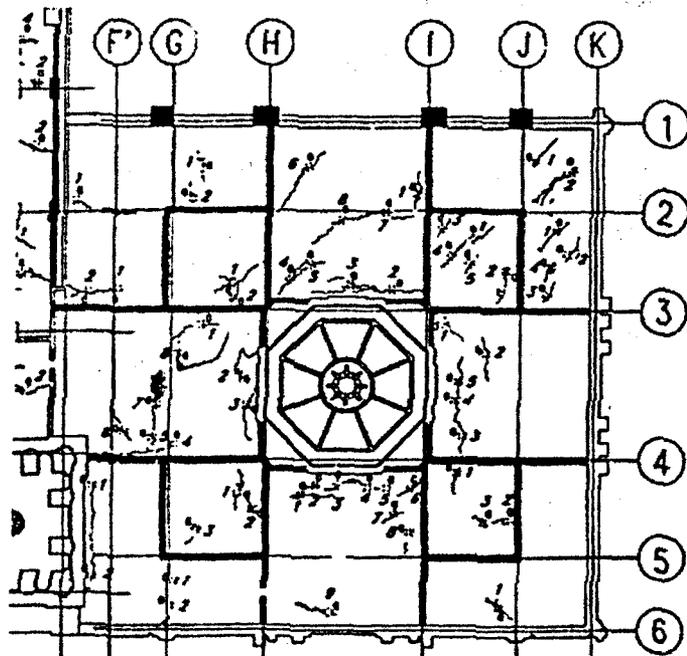


Fig. 6.1.2 Estado actual de la cubierta del Sagrario

6.1.5 Metodología para la generación del modelo numérico del Sagrario.

El sagrario, actualmente, se encuentra en una situación estructural desfavorable, gracias a las fisuras producidas por los desplazamientos diferenciales en el terreno. Debido a eso, el estudio de las fisuras será clave fundamental para la comprobación de los resultados obtenidos del análisis del modelo numérico.

Se realizará un análisis lineal, sin considera el comportamiento de la estructura en segundo orden. Ya que solo se pretende comprobar el correcto funcionamiento de las interfaces durante todo el proceso de modelización. A continuación se definen la metodología a seguir:

- Se aplicará el Método de los Elementos Finitos.
- Se estimará el comportamiento de los elementos estructurales proyectados sometidos a determinadas condiciones previstas.
- Se realizara solo un análisis lineal de la estructura.
- Se considerará el comportamiento del material como continuo.

6.1.5.1 Generación del modelo matemático

Los pasos a seguir en la modelización son los siguientes:

1. Modelización: Seleccionar un programa que utilice el modelo matemático (Método de los Elementos Finitos) más adecuado al problema a abordar, y plantearlo en términos de que el programa sea fácil de usar; además, que permita una adecuada y lógica modelización de la estructura.
2. Aplicación: Utilización del programa, introduciendo los datos necesarios para describir los elementos a calcular y dando las ordenes para realizar el análisis correspondiente y obtener resultados deseados.
3. Interpretación: Recepción, comprensión y evaluación de los datos obtenidos, primeramente para verificar su fiabilidad y después para poder utilizarlos en la definición de los elementos de proyecto.

6.1.5.2 Programas utilizados en la modelización

Los programas empleados para el desarrollo del modelo matemático son el Sap90, Sap2000 y GiD; los cuales ya han sido descritos en capítulos anteriores.

6.1.5.3 Método Numérico

Se utilizará el Método de los Elementos Finitos, el cual está implementado en los programas Sap90 y Sap2000.

6.1.5.4 Tipología de la estructura

Es un Modelo tridimensional libre (es el sistema más flexible y que proporciona resultados más precisos).

6.1.6 Proceso para el desarrollo del modelo numérico del Sagrario.

La generación de todo modelo numérico correspondiente al análisis de estructuras arquitectónicas como ya se ha comentado, se inicia con la generación de la geometría. Este proceso generalmente se desarrolla con programas de dibujo Cad y en particular para esta investigación el autocad.

Este programa puede generar un archivo con extensión *dxf*, el cual contiene toda la información de la geometría básica de la estructura.

A partir de esta información, el siguiente paso es la generación de una malla directamente relacionada con su geometría original. La generación de malla dependerá del tipo de problema a analizar (teoría de barras, placa, elasticidad bi y tridimensional).

Toda vez que se ha decidido el tipo de problema, el siguiente paso es anexar los datos complementarios al análisis tales como: Condiciones de borde, tipo de material, así como información complementaria que dependerá del programa de cálculo a utilizar.

Una vez que se tiene realizado este proceso, se esta en condiciones de realizar el análisis.

El último paso es poder representar los resultados numéricos de forma gráfica. Con lo que respecta a esta fase final, la cual es la más importante ya que es fundamental que el usuario pueda hacer una buena interpretación de los resultados.

Por esta razón, la mayoría de los investigadores trabajan en programas más potentes que puedan dar una salida gráfica más detallada del análisis. La tendencia actual es dejar de lado los resultados numéricos *-el archivo de texto-*, y utilizar el entorno de representación virtual para comprobar los resultados obtenidos; y solo consultar los archivos de resultados para valores muy puntuales.

Proceso para el desarrollo de un modelo numérico

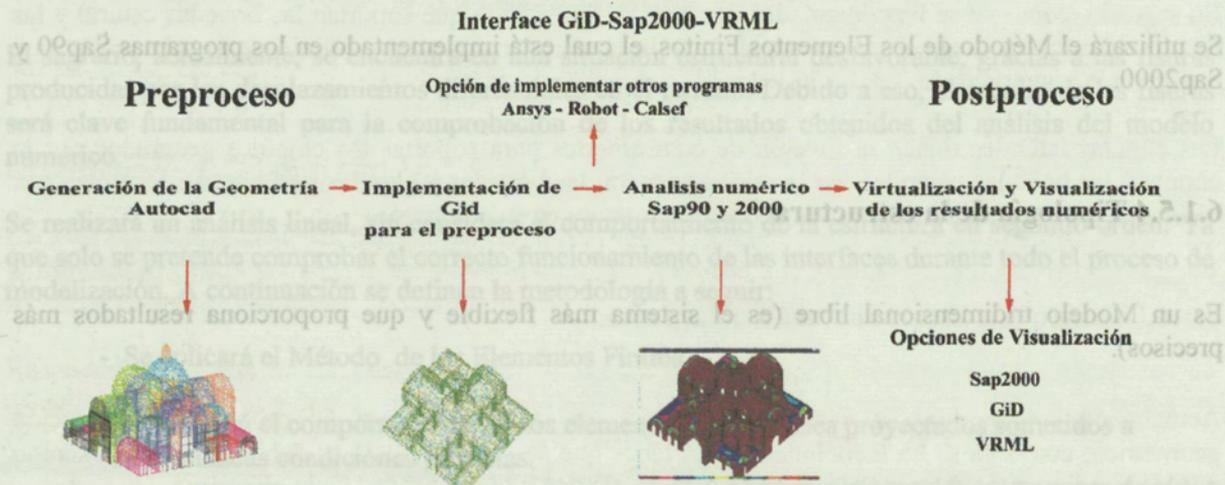


Fig. 6.1.3 Interface GiD-Sap2000-VRML

6.1.6.1 Descripción del Preproceso para el análisis numérico del Sagrario

Como ya se ha comentado anteriormente, el primer paso para la generación del modelo numérico, de una estructura arquitectónica, es la generación de la geometría.

La modelización gráfica del Sagrario fue realizada mediante el programa *Autocad*. Este es, actualmente, el programa de dibujo más utilizado dentro del proceso de modelización de estructuras; ya que permite exportar toda la información de la geometría en un archivo de texto con extensión *dxg*.

6.1.6.2 Generación de la geometría

El proceso de modelización se realizó de la siguiente manera:

Creación de capas para separar los diferentes elementos que comprenden su geometría.

Dibujar toda la geometría de manera individual, esto quiere decir que hay que dibujar cada una de las partes que componen el edificios.

Subdividir esta geometría en partes con proporciones medias, previendo que estos elementos, posteriormente, serán una primera división a la malla final.

Representación Geométrica del Sagrario Metropolitano de la Cd. de México



Fig. 6.1.4 Geometría del Sagrario Metropolitano.

El Sagrario Metropolitano de la Ciudad de México, que se encuentra adosado por su parte oeste a la Catedral, se compone de una cúpula central octagonal coronada por un cimborio, esta cúpula se apoya esencialmente en cuatro columnas con pechinas de por medio.

Las bóvedas de cañón centrales forman una cruz griega, las cuales por su parte central reciben parte de la cúpula y tres de sus extremos opuestos rematan en las fachadas norte, sur y este y el cuarto comunica con el Templo mayor; esta bóveda, oeste, en ligeramente más larga que las otras.

Adosadas a las cuatro esquinas ortogonales de la cúpula se encuentran cuatro cúpulas de dimensiones media.

Existen tres cúpulas ojivales dos de las cuales dan a la fachada sur y se encuentran franqueadas por la bóveda central-sur, la cúpula ojival. La tercera da a la fachada este.

Por último, existen 5 bóvedas de cañón de pequeñas dimensiones ubicadas en las cuatro esquinas que forman los límites del templo.

La generación de la geometría se realizó mediante la creación de entidades de líneas parciales que van dando forma a cada uno de los cuerpos que integran toda la estructura.

Estas líneas pretenden generar una malla; la cual, para mayor control de ella, debe tener una relación continua a lo largo de toda la estructura. Con ello se pretende crear de antemano un *premallado* que será muy útil en su desarrollo posterior.

Todo esto, quiere decir que una línea que se ha generado por ejemplo en la corona de la cúpula central debe tener una continuidad a lo largo de la estructura.

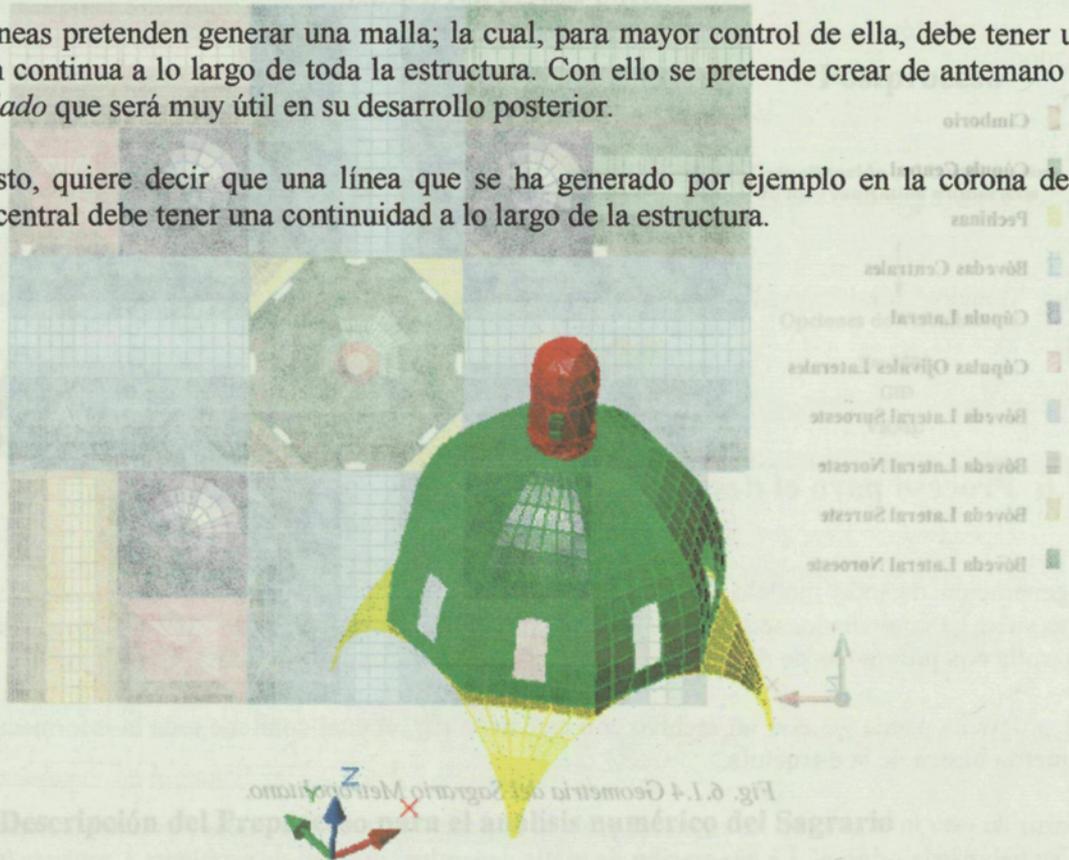


Fig. 6.1.5 Generación y continuidad de líneas para un adecuado modelado.

Utilizando esta estrategia, la generación de la geometría será medianamente compleja pero ello permitirá un control más específico de la estructura en el momento de iniciar su proceso de análisis.

Otra estrategia para facilitar el control de la geometría es la de separar cada uno de los elementos estructurales por capas; ello se agradece en el momento de asignar características a los materiales, así como sus correspondientes espesores.

Toda vez que se tiene dibujada la geometría, generando una malla medianamente organizada y ordenadas las capas que corresponden a cada uno de los elementos que forman la geometría, se está en posición de comenzar la fase de preparación del modelo para su análisis.

Proceso de generación geométrica del modelo.



Fig. 6.1.6 Proceso de la generación geométrica del sagrario

6.1.6.3 Generación del modelo numérico

Una vez que se ha generado la geometría primaria de la estructura, el siguiente paso fue exportar el modelo en formato *dxf* al programa *GiD*. Este programa*, como ya se ha comentado anteriormente, permite preparar un modelo numérico para su análisis en el entorno de cualquier programa de cálculo de estructuras que implemente el Método de los Elementos Finitos.

GiD, permite importar archivos con formato *dxf* de versiones 12, 13 y 14 de Autocad.

* *GiD* es un programa para el pre y postproceso del cálculo de estructuras creado por el Centro Internacional de Métodos Numéricos

6.1.7 Preproceso de GiD-Sap90

En este proceso se implementó la interface *GiD-Sap90*, la cual permite cumplimentar toda la información requerida para el análisis de cualquier genero de edificios arquitectónicos.

Esta interface, que originalmente ha sido creada e implementada para Sap90 y 2000, permite modificaciones puntuales; las cuales dan la posibilidad de usar otros programas de cálculo de estructura que trabajen en el entorno del Método de los elementos finitos; ya que la mayoría de los archivos mantienen una analogía en entrada de datos.



Fig. 6.1.6 Proceso de la generación geométrica del sagrado

Fig. 6.1.7 Diagrama Preproceso GiD-Sap90

6.1.7.1 Generación de superficies

Una vez que se ha generado la geometría primaria de la estructura, el siguiente paso fue exportar el modelo en formato dxf al programa GiD. Este programa, como ya se ha comentado anteriormente, significa, cuidar que todas las líneas sean independientes y que este conectadas entre si por medio de puntos.

Además que comprobar que todas las líneas se encuentren en su capa correspondiente, ya que eso ayudará a tener un mayor control de la estructura en el momento de asignar datos; tales como condiciones de borde, espesor y características de los materiales, así como información complementaria al modelo.

GiD es un programa para el pre y postproceso del cálculo de estructuras creado por el Centro Internacional de Métodos Numéricos

La generación de las superficies, es el paso previo a la generación de la estructura. El programa *GiD* tiene la posibilidad de generar diferentes tipos de malla, ello depende del tipo de problemas a resolver por ejemplo:

Para elementos unidimensionales: *GiD* genera una malla sin necesidad de crear superficies.

Para elementos Bidimensionales: Aplicados a teoría de placas, elasticidad bidimensional, el programa permite generar superficies triangulares o cuadrilaterales.

Para elementos tridimensionales: Que corresponde a la elasticidad tridimensional, en este caso es necesario generar superficies en todas las caras de los polihédros. Los elementos que se generan son tetraedros y hexaedros.

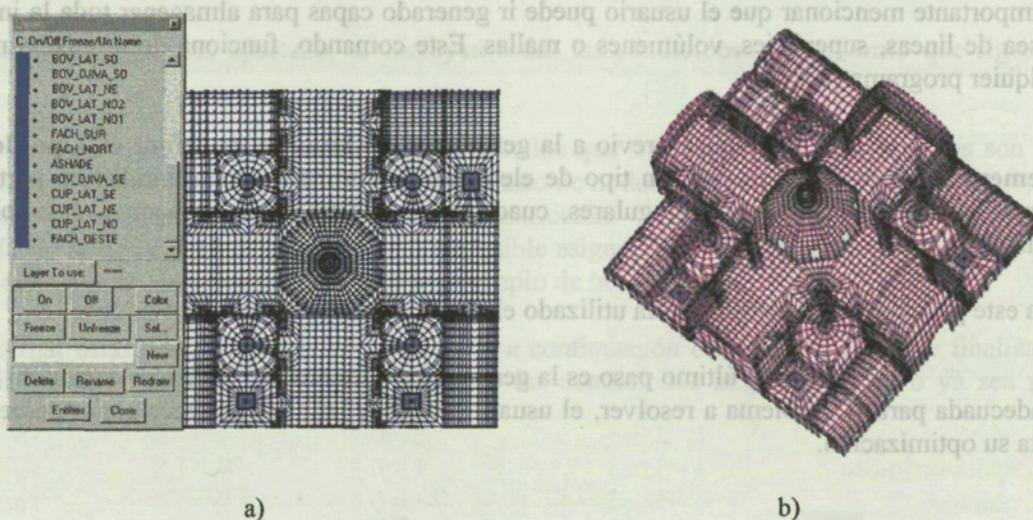


Fig. 6.1.8 Preproceso de *GiD*.
a) Importación de la geometría b) Generación de superficies

6.1.7.2 Generación de malla

Para crear la malla en este programa, es importante crear tantas superficies como mallas deseemos. Esto quiere decir, que en un mismo problema es posible tener diferentes tipos de malla, ya sea lineal, cuadrilateral, hexaedro o tetraedro.

Recapitulando, después de haber creado la geometría y las superficies, proceso que permitirá generar la malla, el siguiente paso para la estructuración y generación de la malla es:

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

* El paso siguiente es **asignar tamaño** a la malla; 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.

* Continuando con el proceso el siguiente paso es la **estructuración de malla**: Este comando permite definir una malla estructurada, ya sea por líneas, superficies o volúmenes.

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 conveniente.

* Una vez que se a estructurado la malla, es necesario definir el **Criterio de malla -Mesh criteria-** esta opción permite escoger el criterio de malla ya sea por defecto, mallar determinadas entidades (líneas, superficies o volúmenes) o no mallar otras.

Es importante mencionar que el usuario puede ir generado 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)

* El paso previo a la generación de la malla es definir el **Tipo de elemento -Element type-** es decir, 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 este problema en particular se ha utilizado elementos cuadrilaterales de 4 nodos.

* El último paso es la generación **-Generate-**. Si la generación de la malla no es adecuada para el problema a resolver, el usuario puede repetir tantas veces como desee el proceso hasta su optimización.

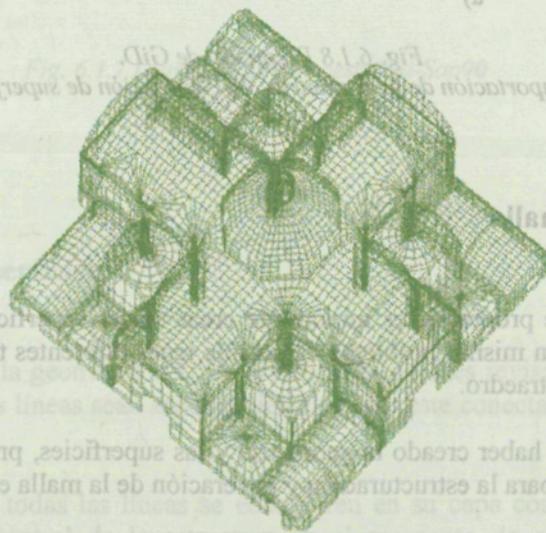


Fig. 6.1.9 Malla estructurada y generada en GiD

*Características de los materiales

- **Materials:** la asignación del material o los materiales se hace de la misma manera que en condiciones. Previamente se han definido todas las características de los materiales, tales como: Espesor, módulo de elasticidad, densidad. Para facilitar el control del modelo, se dividió la estructura en 32 partes:

Material	Módulo de Elasticidad en T/m ²	Módulo de Poisson	Densidad	Espesor en m
1 Pechinas	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.60
2 Bóveda 1 centra-oeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.60
3 Cúpula central	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
4 Bóveda 1 central-sur	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
5 Bóveda 1 central-este	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
6 Bóveda 1 central-norte	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
7 Muros sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
8 Muros nortese	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
9 Muros noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
10 Muros suroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
11 Bóveda 2 central-oeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
12 Bóveda 2 central-sur	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
13 Bóveda 2 central-este	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
14 Bóveda 2 central-norte	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
15 Cimbório	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.50
16 Fachada norte	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
17 Fachada este	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
18 Fachada sur	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
19 Cúpula sur-oeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.40
20 Columnas	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.55
21 Cúpula ojival noreste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
22 Bóveda sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.50
23 Bóveda suroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.50
24 Fachada oeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 1.00
25 Cúpula ojival suroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
26 Bóveda noreste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.50
27 Bóveda noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.50
28 Bóveda noroeste corta	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.50
29 Cúpula ojival sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.60
30 Cúpula sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.40
31 Cúpula noreste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.40
32 Cúpula noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th= 0.40

Tabla 6.1.1 Características de los materiales

La asignación de materiales permite controlar, de manera más sencilla la localización de los ejes locales de cada elemento, así como su normal al plano.

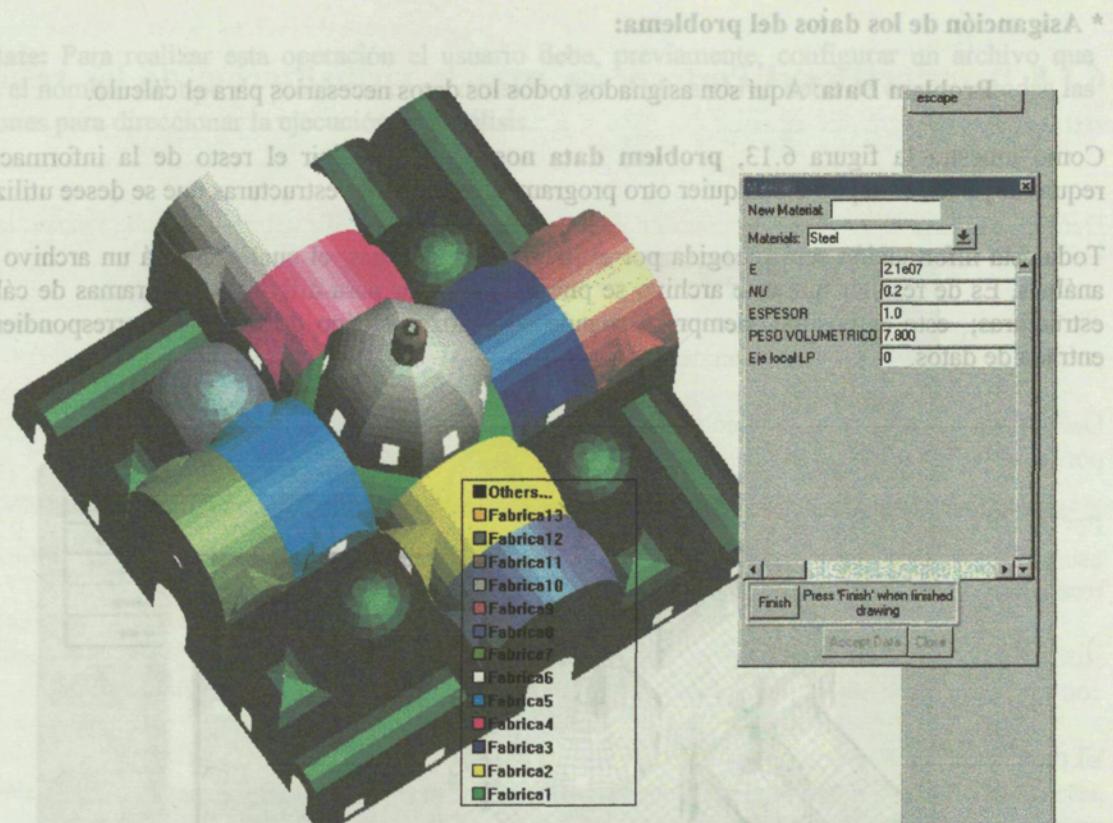


Fig. 6.1.11 Asignación de materiales.

Al igual que en las condiciones, las características del material se pueden asignar por teclado o por ventana; así como crear nuevos materiales y representarlos gráficamente en colores.

* Datos del problema

En este subapartado, se asignan todos los datos requeridos por el programa *Sap90* (esta información también es útil para exportar a *Sap2000*) tales como:

- Peso propio.
- Título del problema.
- Hipótesis de carga.
- N° de materiales.
- Tipo de problema (3dShell)

*** Asignación de los datos del problema:**

- **Problem Data:** Aquí son asignados todos los datos necesarios para el cálculo.

Como muestra la figura 6.13, **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 3dShell.bas, el cual escribirá un archivo para su análisis. Es de resaltar que este archivo se puede configurar para diferentes programas de cálculo de estructuras; esto es posible, siempre y cuando se conozca el tipo de formatos correspondiente a su entrada de datos.

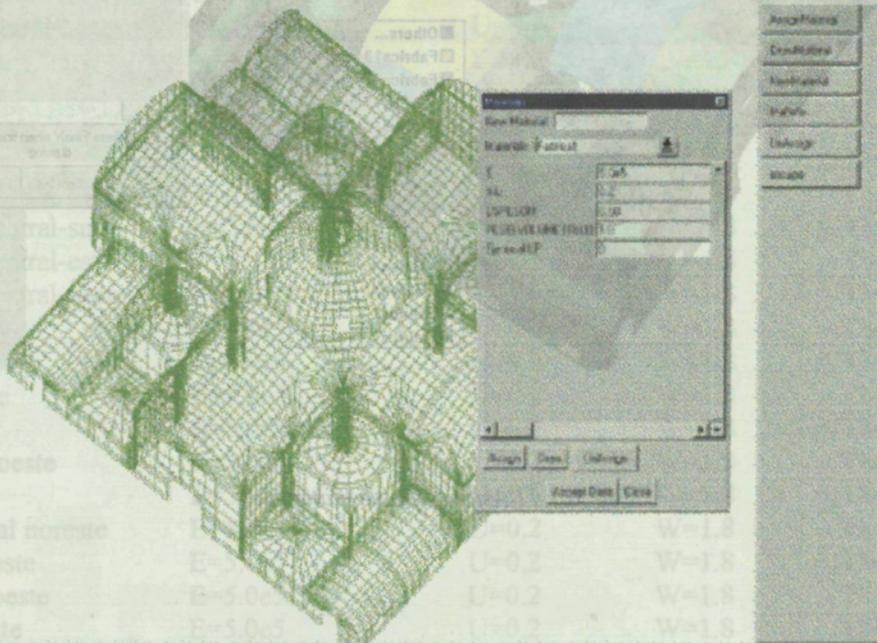


Fig. 6.1.12 Asignación de los datos del problema.

17	Fachada este				
18	Fachada sur				
19	Cúpula sur-oeste				
20	Columnas				
21	Cúpula ojival noroeste				
22	Bóveda sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
23	Bóveda noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
24	Fachada oeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
25	Bóveda este	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
26	Bóveda noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
27	Bóveda noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
28	Bóveda noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
29	Cúpula ojival sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
30	Cúpula sureste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
31	Cúpula noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50
32	Cúpula noroeste	E=5.0e5	U=0.2	W=1.8	Th=0.50

Tabla 6.1.3 Características de los materiales

- Tipo de problema (3dShell)
- No de materiales
- Hipótesis de carga
- Título del problema
- Peso propio

En este subpartado, se asignan todos los datos requeridos por el programa Sap90 (esta información también es útil para exportar a Sap2000) tales como:

* Cálculo del Problema

* **Calculate:** Para realizar esta operación el usuario debe, previamente, configurar un archivo que contenga el nombre del tipo de problema con extensión *.bat*. Este archivo debe de contener todas las instrucciones para direccionar la ejecución del análisis.

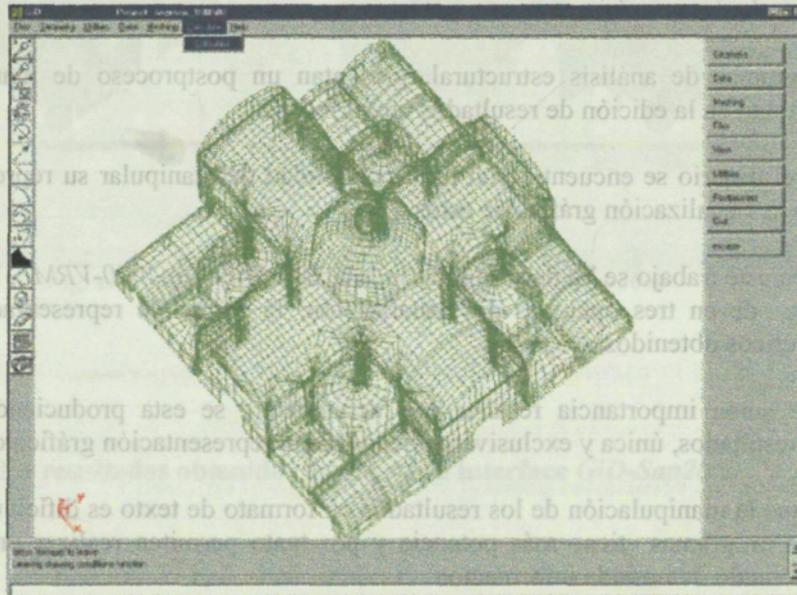


Fig. 6.1.13 Asignación del cálculo con Sap90 – Sap2000

Estas instrucciones deben de contener:

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

En este momento, se está en condiciones de poder visualizar los resultados del análisis. Para acceder a los resultados es necesario seleccionar el icono de Postproceso. Automáticamente el programa accede al postproceso, y es ahí donde se visualizan los resultados gráficos del problema.

La visualización de los resultados numéricos será representada mediante la interface *Sap2000-VRML*.

6.1.8 Descripción del Postproceso para la virtualización de los resultados numéricos

Dentro del proceso de análisis numérico de cualquier estructura, el *Postproceso* es la fase en la cual se visualizan los resultados numéricos.

Todos los programas de análisis estructural, presentan un postproceso de manera particular; sin permitir flexibilidad en la edición de resultados numéricos.

Debido a ello, el usuario se encuentra con la imposibilidad de manipular su representación gráfica y por tanto limita la visualización gráfica de éstos.

Por todo ello, en este trabajo se ha desarrollado la Interface *GiD-Sap2000-VRML*, la cual le permite al usuario decidir, de en tres opciones de visualización, la forma de representación gráfica de los resultados numéricos obtenidos.

Además, es de suma importancia resaltar que actualmente se esta produciendo una tendencia a comprobar los resultados, única y exclusivamente, desde la representación gráfica de éstos.

El motivo es, que la manipulación de los resultados en formato de texto es difícil de controlar, ya que actualmente los programas tiene más potencia y por tanto permiten realizar un mayor número de ecuaciones generando demasiada información.

6.1.8.1 Opciones de visualización de los resultados numéricos obtenidos

* Visualización de los resultados numéricos en el entorno Sap2000:

Sap2000, contiene un postproceso bastante completo, pues permite una visualización dinámica de los resultados; además ofrece diversas opciones tales como la manipulación de la escala de colores, la parametrización de los valores numéricos, obtención de *datos* (*valores máximos de cargas, reacción, etc*) puntuales necesarios para la comprobación del modelo. Por otra parte, las limitaciones que tiene son: la imposibilidad de exportar imágenes de los resultados en formatos comunes, tale como *jpg, tif*.

El programa, solo permite la impresión directa en papel y la exportación de la malla con formato *dxf*.

Sin embargo, Sap2000 es actualmente una de los programas de cálculo con mayores prestaciones en esta materia.

Por esta razón, parte de la comprobación de los resultados obtenidos del análisis numéricos del Sagrario se realizara con este programa.

* Virtualización de los resultados obtenidos mediante la interface GiD-2000-VRML

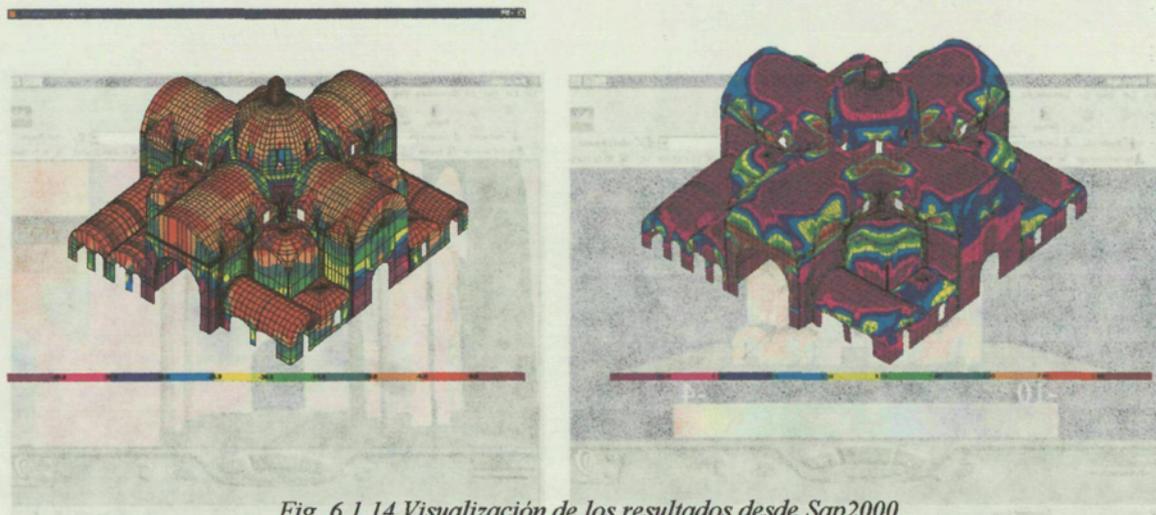


Fig. 6.1.14 Visualización de los resultados desde Sap2000

* Virtualización de los resultados obtenidos mediante la interface GiD-Sap2000

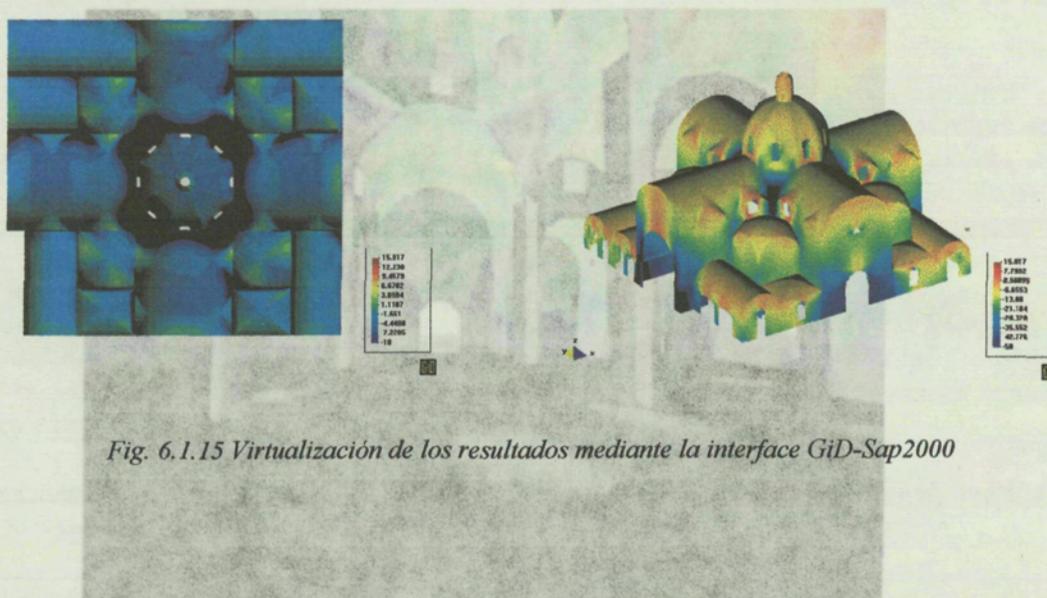


Fig. 6.1.15 Virtualización de los resultados mediante la interface GiD-Sap2000

Fig. 6.1.17 Virtualización de los resultados mediante la implementación de VRML-3DMax

*** Virtualización de los resultados obtenidos mediante la interface GiD-Sap2000-VRML:**



Fig. 6.1.16 Virtualización de los resultados mediante la interface Sap2000-VRML

*** Virtualización de los resultados obtenidos aplicados en el entorno VRML-3DMax:**

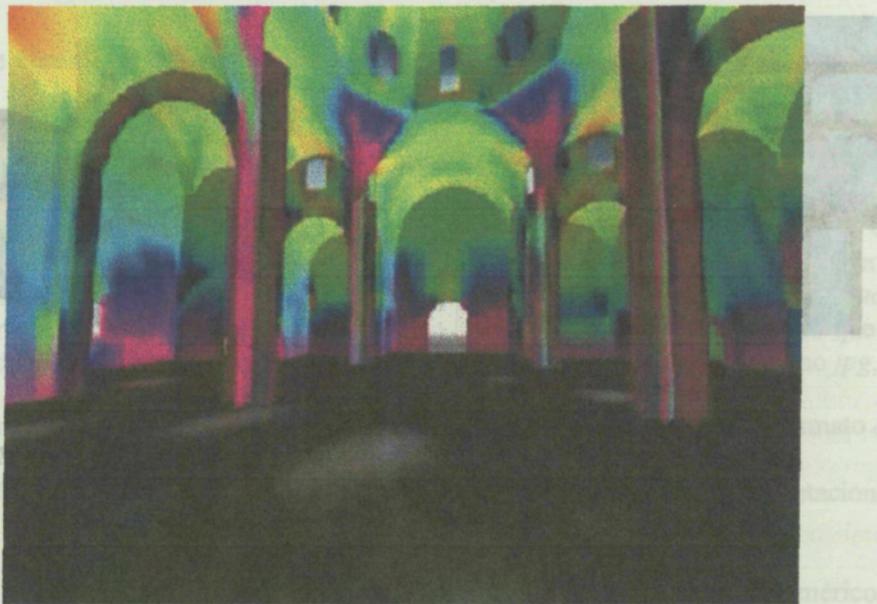


Fig. 6.1.17 Virtualización de los resultados mediante la implementación de VRML-3DMax