

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

8
Conclusiones

8

Conclusiones

Se recordará que el título de esta tesis es: “Una contribución a la modelización y virtualización de estructuras arquitectónicas”.

Las conclusiones que se van a exponer en este último apartado se refieren precisamente a los temas más apremiantes del modelado y la virtualización de sólidos estructurales de geometría compleja en general y de edificios históricos en particular.

8.1 Primera conclusión

Actualmente, y gracias a la informática, se pueden implicar cada vez más entornos alrededor del modelo estructural a analizar. En consecuencia, resulta positivo, el análisis cada vez más unitario de una estructura arquitectónica.

Sin embargo, es sorprendente lo novedoso que resulta, hoy por hoy, este planteamiento

El mundo del análisis estructural está tan habituado al estudio fragmentario de las estructuras (*jácenas, pilares, forjados, pórticos, cimentaciones, subsuelo*) que es necesario realizar cierto reciclaje mental para abordar su tratamiento global.

Cuando en un edificio, de estructura en esqueleto, descomponemos su estudio en pórticos de carga paralelos, obviando la contribución de la estructura secundaria de arriostramiento, estamos despreciando interrelaciones flectantes y torsionales que pueden tener su importancia.

La alternativa a este estudio mediante el planteamiento de una estructura espacial sería un primer paso en la idea que propone esta primera conclusión. Pero es evidente que hoy se puede abordar mucho más, englobando el estudio de los entornos estructurales próximos (como zapatas, ó muros de contención por ejemplo).

8.2 Segunda conclusión

El gran avance en el abordaje de la complejidad a través del MEF y su implementación informática, da por el momento, sus mejores resultados en el terreno de la geometría.

Desde este punto de vista la interacción entre medios continuos distintos, con sus superficies de contacto comunes (edificio-cimentación-suelo), es algo cuyo estudio resulta ya perfectamente asequible y enriquecería la visión de la problemática estructural.

8.3 Tercera conclusión

La tendencia hacia el análisis global con el consiguiente incremento en el número de “materiales” puestos en interrelación, de geometrías parciales dentro de cada uno de estos materiales y de Elementos Finitos en cada una de estas geometrías, provoca un gran número de grados de libertad.

Pese al espectacular crecimiento de la capacidad y velocidad de los ordenadores, el aumento vertiginoso de los grados de libertad (*y en consecuencia de ecuaciones*) puede colapsar la resolución de un problema.

Cualquier truco “legal” para reducir el número de grados de libertad del análisis sin perjudicar la calidad del modelo debe ser tenido en cuenta.

La teoría estructural dispone de varios recursos reduccionistas que no deberían dejarse de lado.

En este orden de ideas, los elementos murarios y de cubrición continua, tipo bóveda o cúpula, donde la dirección transversal a su superficie media, llamada “espesor”, resulta claramente menor que las otras dos; pueden ser representadas con todo rigor por la teoría de láminas y su consecuente secuela de Elementos Finitos Bidimensionales. Una variante de los mismos: el cuadrangular de cuatro nodos con seis grados de libertad en cada uno de ellos, es empleado en el modelo de esta tesis.

Esta tercera conclusión quiere hacer hincapié en lo útil que sigue siendo modelizar los elementos estructurales mediante asimilaciones reduccionistas, siempre que la geometría de los mismos lo permita. En el modelo de esta tesis, resultaba evidente que una arquitectura formada por bóvedas, cúpulas y muros, podía interpretarse perfectamente en el aspecto estructural mediante la adopción del Elemento Finito de Lámina.

8.4 Cuarta conclusión

Otra de las cuestiones conflictivas en los problemas de modelización es la introducción de las cargas.

El mecanismo de trabajo más sencillo es el de la definición del peso propio de los materiales constitutivos del modelo.

La característica del peso, se define en el mismo apartado donde se indica el Módulo de elasticidad, el de Poisson o el espesor.

Definida la geometría en elementos de lámina, resulta muy fácil para el programa, integrar sus superficies, ubicar mediante el espesor y definir pesos totales mediante la característica "peso específico".

El engorroso problema operativo aparece cuando hay que definir las sobrecargas, ya sea en forma de vectores en los nodos o de cargas continuas en los elementos. El proceso adquiere entonces un carácter totalmente artesanal y, en consecuencia muy lento.

Existe una ingeniosa técnica utilizada comúnmente en el departamento que consiste en "inventar" pseudomateriales cuyos pesos específicos incluyan las sobrecargas.

Esta operación es extremadamente simple ya que solo hay que manipular un dato dentro de las características de los materiales.

Con este sistema la colocación de sobrecargas en el modelo vuelve a convertirse en una cuestión estrictamente geométrica al apoyarse en la definición de materiales de la estructura.

Este trabajo se ha apoyado en una forma muy sencilla de introducir las sobrecargas de la estructura manipulando el peso específico del material sobre el que gravita directamente la sobrecarga.

8.5 Quinta conclusión

Como ya se intuía, la única manera ágil y cómoda de introducir la geometría del modelo en el programa de cálculo estricto era la aproximación a través de un entorno gráfico (en este caso AUTOCAD).

Ciertamente, esta modalidad ya está prevista por Sap, pero su conexión directa adolece de importantes defectos operativos. Uno de ellos es que la numeración de los nodos, que sigue el orden estricto de su generación en el programa gráfico, puede resultar por ello, bastante caótica

Sin embargo, el peor problema es la orientación automática de los ejes locales de cada elemento provocada por el orden en que ha quedado la numeración de los cuatro nodos de esquina.

Es sabido que en el triedro de ejes locales el número 3 está reservado para la normal a la superficie, pero los otros dos puedan tomar infinitas posiciones dentro de la misma.

Una primera y legítima exigencia al modelo es que todos los ejes locales de una misma superficie dentro de la geometría, tengan la misma orientación. Una segunda, que los ejes de un determinado color estén orientados en un mismo sentido, el vertical por ejemplo.

Esto es imposible de conseguir por el camino directo; donde los ejes locales habrán adoptado configuraciones muy desordenadas.

La rectificación a posteriori en Sap de esas orientaciones, es poco menos que imposible ya que lleva a manipular las numeraciones de los nodos elemento a elemento. Al “arreglar” uno, se estropean otros cuatro.

Por ello fue, en su momento, muy bien recibido un entorno gráfico como GiD que permite hacer estas rectificaciones de una forma inmediata y sin perder el control visual de los cambios en ningún momento. Los elementos de una misma superficie que tienen el mismo criterio de ejes locales aparecen colorados de la misma forma.

Para hacer operativo el proceso faltaba una “interface” entre GiD y Sap que no existía y que como ya se ha dicho, es desarrollada en esta tesis.

Hay que decir, además, que GiD puede sustituir a Autocad en algunas de sus funciones como por ejemplo la generación de malla más densas. En consecuencia, el “chasis” que se puede montar en Autocad puede ser muy primario para ser luego optimizado en GiD.

La quinta conclusión es que: la secuencia Autocad-GiD-interface-Sap ha hecho posible la introducción del complicado modelo del Sagrario en un plazo de tiempo y en unos niveles de dedicación razonablemente aceptables.

8.6 Sexta conclusión

La última cuestión del modelado tiene que ver con la facilidad de la visualización de resultados en el postproceso.

También en este aspecto, Sap se queda un poco corto en su capacidad para la representación ágil y efectiva de las imágenes a falso color (aunque en este aspecto, la segunda versión Sap2000 supera en mucho a la primera).

El mayor problema del modelo del Sagrario es que tiene “interior”, algo consustancial al mundo arquitectónico. La única posibilidad para la visualización de las geometrías ocultas es crear imágenes seccionadas. Este camino demora mucho el proceso de aprehensión e interpretación de resultados.

Por ello esta tesis se ha implicado en el montaje de un programa de observación dinámica del sólido (VRML) tensionado sometiendo al mismo a un proceso de virtualización.

Con ella puede “pasearse” por el interior del edificio como haría en la vida real un profesional a la busca de patología armado de una linterna.

La última conclusión de esta tesis es que: la virtualización del sólido calculado por M.E.F. agiliza de una forma notable la aprehensión de la enorme información numérica volcada en la pantalla, manteniendo al observador cómodamente conectado a la realidad física que no pierde de vista en ningún momento.

Futuras líneas de investigación

Se definen en este subapartado los temas de investigaciones futuras cuya necesidad de resolución resultan más apremiantes.

1. El proceso de mallado y densificación local de la red de elementos finitos en diversas zonas del sólido a modelar. Aunque hay ya mucho realizado en esta vía, casi todos los logros conseguidos son en remallados automáticos (el criterio de la parcela) ó muy uniformes.

Lo que aquí se sugiere es, mas bien la posibilidad de una intervención manual que permitiera introducir artesanalmente algunos nuevos Elementos Finitos en el modelo sin que ello repercutiera negativamente en el resto de la malla.

2. Creación, a voluntad, de fisuras en el mallado del modelo continuo.

Vendría a ser un corolario de la línea anterior.

El proceso tendría que permitir la remuneración (por duplicado) de nodos en la línea de la fisura además de definir las nuevas conexiones (y desconexiones) nodales.

3. Obtención de superficies geométricas por puntos.

Los métodos fotogramétricos de obtención de coordenadas de puntos en el espacio, han experimentado un gran avance en eficiencia y precisión por la aparición de la técnica láser.

Se conocen algunos trabajos de medición del intradós de una nave gótica por simple desplazamiento del emisor de luz láser sobre el eje anterior posterior de la misma.

En esta línea sería muy interesante poder crear un mecanismo de idealización de superficies geométricas puras que superpuestas a las reales pudieran detectar importantes dispersiones. Esta sería una forma de localizar probables deformaciones reales de la estructura a analizar.

4. Existe la ambición creciente de implicar espacios y medios adyacentes al objetivo geométrico directamente analizado para hacer cada vez más creíble y natural la interrelación del mismo con el entorno. Ello provoca problemas de contacto y compatibilidad geométrica entre los diversos mallados de los distintos medios.

Sería interesante la creación de subrutinas que resolvieran automáticamente posibles incompatibilidades.

Las ayudas a la modelización y virtualización de sólidos estructurales para su análisis por elementos finitos u otros métodos numéricos son uno de los campos con mas futuro en el mundo estructural.

Esta tesis pretende ser un eslabón en la contribución a futuras investigaciones que tengan como fin el análisis global del comportamiento estructural de edificios de geometría compleja. Además de proveer una nueva herramienta ágil y práctica a profesionales, educadores y estudiantes, para la modelización y virtualización de estructuras arquitectónicas.

El presente trabajo de investigación se centra en el desarrollo de un modelo numérico que permita simular el comportamiento de estructuras arquitectónicas complejas, considerando tanto aspectos geométricos como materiales y de carga. El objetivo principal es proporcionar una herramienta que facilite el análisis y el diseño de estas estructuras, optimizando recursos y mejorando la seguridad y eficiencia de los proyectos.

El estudio se divide en varias etapas clave. En primer lugar, se realiza una caracterización detallada de la geometría de la estructura, utilizando técnicas de escaneo 3D y software de modelado CAD. Posteriormente, se define el modelo de elementos finitos (MEF) que representará la estructura, considerando la discretización adecuada de los elementos para capturar con precisión el comportamiento de las zonas de concentración de tensiones y deformaciones.

Una vez establecido el modelo, se procede a la definición de las propiedades materiales y de las condiciones de contorno y carga. Se emplean modelos constitutivos que describen el comportamiento no lineal de los materiales, considerando fenómenos como el pandeo, el daño y la rotura. Las condiciones de contorno y carga se definen de acuerdo con los requisitos de diseño y los estándares de la industria.

El análisis numérico se realiza utilizando software de elementos finitos avanzados, que permiten resolver el problema de valores de contorno de manera eficiente y precisa. Se realizan simulaciones estáticas y dinámicas, evaluando la respuesta de la estructura bajo diferentes tipos de carga y condiciones de contorno. Los resultados de las simulaciones se visualizan y analizan para identificar las zonas de mayor tensión y deformación, así como para evaluar el nivel de seguridad y eficiencia de la estructura.

Finalmente, se comparan los resultados de las simulaciones con los resultados de ensayos experimentales, validando el modelo numérico y verificando su capacidad para predecir con precisión el comportamiento de las estructuras arquitectónicas. Los resultados demuestran que el modelo numérico desarrollado es capaz de proporcionar una representación fiel del comportamiento de las estructuras, permitiendo optimizar el diseño y reducir los costos de construcción.

Anexos

A

Anexo A para la configuración de la interface *GiD-Sap90*

Introducción

Aquí se describen de manera detallada, la configuración de todos los archivos necesarios para la configuración de la interface *GiD-Sap90* y *Sap2000*.

La primera parte de los anexos esta dedicada a la definición y configuración de los de los tipos de formato que requieren los archivos necesarios para la configuración de *GiD-Sap90*.

Es importante recordar, que los archivos que se generan en esta primera interface, serán utilizados para complementar la interface con *Sap2000*.

Interfaces para la modelización y virtualización de estructuras arquitectónicas

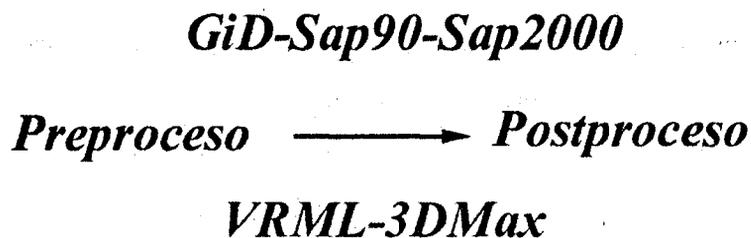


Fig. A.1 Interfaces GiD-Sap90-Sap2000, Sap2000-VRML-3DMax

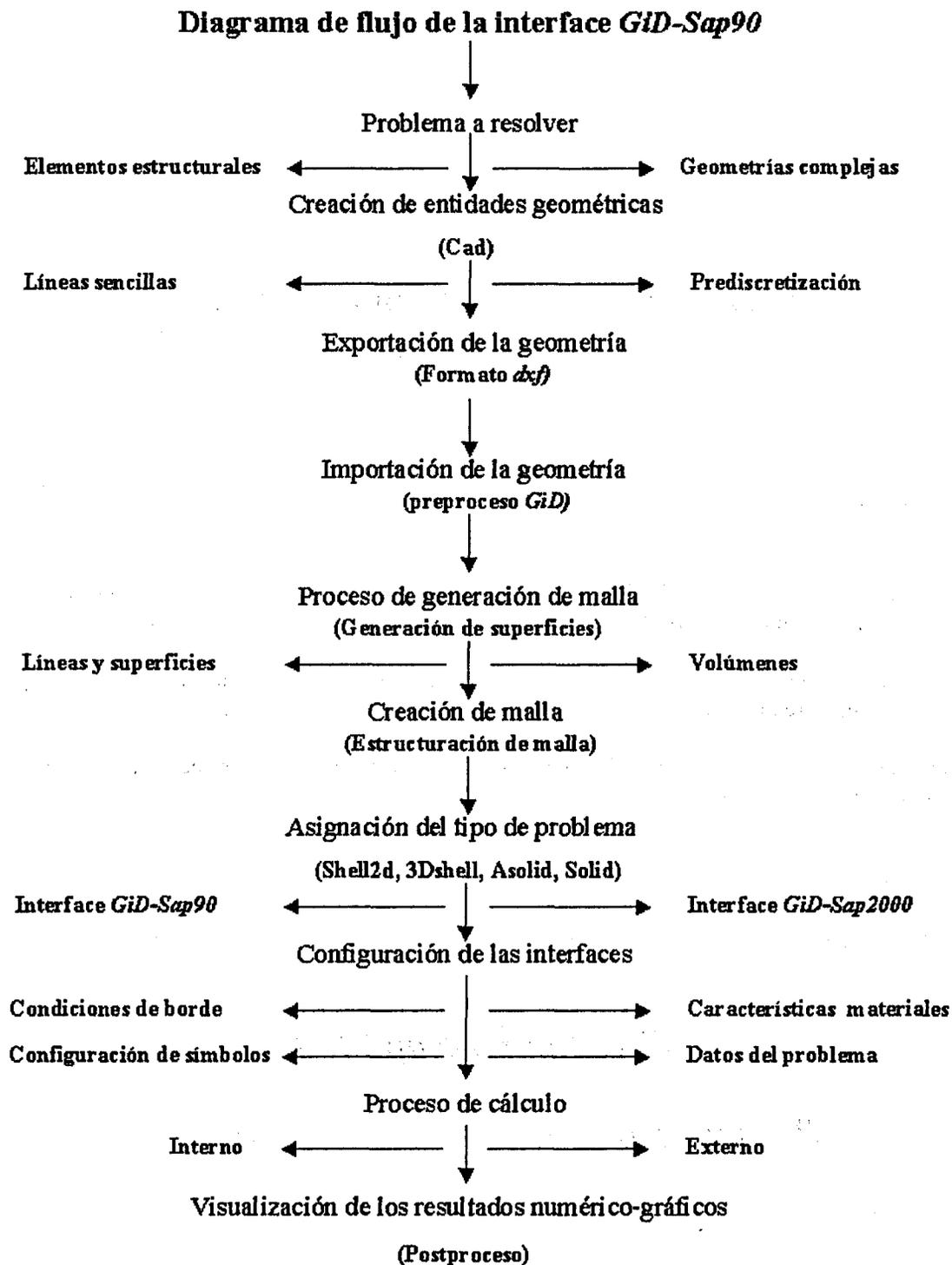


Fig. A.2 Diagrama de flujo de las interfaces *GiD-Sap90-Sap2000*

A.1 Anexo 1

A.1.1 Archivos de uso para la configuración Asolid.gid de la Interface GiD-Sap90

- A.1.1.1 Archivo Asolid2d.cnd (Archivo de Condiciones).
- A.1.1.2 Archivo Asolid2d.mat (Archivo de Materiales).
- A.1.1.3 Archivo Asolid2d.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).
- A.1.1.4 Archivo Asolid2d.prn (Archivo de Datos del problema)
- A.1.1.5 Archivo Asolid2d.bas (Archivo para la ordenación de los datos para su análisis)

A.2 Anexo 2

A.2.1 Archivos de uso para la configuración Shell2d.gid de la Interface GiD-Sap90

- A.2.1.1 Archivo Shell2d.cnd (Archivo de Condiciones).
- A.2.1.2 Archivo Shell2d.mat (Archivo de Materiales).
- A.2.1.3 Archivo Shell2d.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).
- A.2.1.4 Archivo Shell2d.prb (Archivo de Datos del problema)
- A.2.1.5 Archivo Shell2d.bas (Archivo para la ordenación de los datos para su análisis)

A.3 Anexo 3

A.3.1 Archivos de uso para la configuración 3dshell.gid de la Interface GiD-Sap90

- A.3.1.1 Archivo 3dshell.cnd (Archivo de Condiciones).
- A.3.1.2 Archivo 3dshell.mat (Archivo de Materiales).
- A.3.1.3 Archivo 3dshell.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).
- A.3.1.4 Archivo 3dshell.prb (Archivo de Datos del problema)
- A.3.1.5 Archivo 3dshell.bas (Archivo para la ordenación de los datos para su análisis)

A.4 Anexo 4

A.4.1 Archivos de uso para la configuración 3dsolid.gid de la Interface GiD-Sap90

- A.4.1.1 Archivo 3dsolid.cnd (Archivo de Condiciones).
- A.4.1.2 Archivo 3dsolid.mat (Archivo de Materiales).
- A.4.1.3 Archivo 3dsolid.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).
- A.4.1.4 Archivo 3dsolid.prb (Archivo de Datos del problema)
- A.4.1.5 Archivo 3dsolid.bas (Archivo para la ordenación de los datos para su análisis)

A.1 Anexo 1

A.1.1 Archivos de uso para la configuración Asolid2d.gid de la Interface GiD-Sap90

A.1.1.1 Archivo Asolid2d.cnd (Archivo de Condiciones).

```
NUMBER: 1 CONDITION: Puntos-Restringidos
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: X-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Y-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: Y-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Z-Restraints
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.1.1.2 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: Fabrical4
QUESTION: E
VALUE: 5.0e5
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 0.15
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 20.2
END MATERIAL
```

A.1.1.3 Archivo Asolid2d.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).

```
cond Point-Constraints
3
global
cond(int,5)
1
0
0
apoyo3d.geo
global
cond(int,1) && cond(int,3)
1
0
0
apoyo.geo
global
cond(int,1) || cond(int,3)
cond(int,3)
cond(int,1)*(-1)
0
apoyo-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.1.1.4 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.1.1.5 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

```

A.2 Anexo 2

A.2.1 Archivos de uso para la configuración Shell2d.gid de la Interface GiD-Sap90

A.2.1.1 Archivo Shell2d.cnd (Archivo de Condiciones).

```
NUMBER: 1 CONDITION: Puntos-Restringidos
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: X-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Y-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: Y-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Z-Restraints
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.2.1.2 Archivo Shell2d.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: Fabrical4
QUESTION: E
VALUE: 5.0e5
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 0.15
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 20.2
END MATERIAL
```

A.2.1.3 Archivo Shell2d.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).

```
cond Point-Constraints
3
global
cond(int,5)
1
0
0
apoiio3d.geo
global
cond(int,1) && cond(int,3)
1
0
0
apoiio.geo
global
cond(int,1) || cond(int,3)
cond(int,3)
cond(int,1)*(-1)
0
apoiio-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.2.1.4 Archivo Shell2d.prb (Archivo de Datos del problema)

```
7
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#(Shell,Membrane_behavior,Plate_bending) Shell
Eje_local_LP#CB#(0,1,2,3,-1,-2,-3) 1
Hipotesis_de_carga#CB#(1,2,3,4,5) 1
1
1
Nombre_Femview Asolid
```

A.2.1.5 Archivo Shell2d.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 Z=0.0"
*NodesNum *NodesCoord
*end

*Set Cond Puntos-Restringidos *nodes
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

SHELL
NM=*GenData(4) *GenData(3)
*loop materials
*matnum E=*MatProp(1) U=*MatProp(2) W=*MatProp(4)
*end
*loop elems
*loop materials
*elemsnum JQ=*elemsConec(4)*elemsConec(1)*elemsConec(3)*elemsConec(2)
*if(strcmp(GenData(5),"Shell")==0)
ETYP= 0 *\
*endif
*if(strcmp(GenData(5),"Membrane_behavior")==0)
ETYP= 1 *\
*endif
*if(strcmp(GenData(5),"Plate_bending")==0)
ETYP= 2 *\
*endif
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
```

A.3 Anexo 3

A.3.1 Archivos de uso para la configuración 3dshell de la Interface GiD-Sap90

A.3.1.1 Archivo 3dshell.cnd (Archivo de Condiciones).

```
NUMBER: 1 CONDITION: Puntos-Restringidos
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: X-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Y-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: Y-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Z-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: Z-Giro
VALUE: 0
END CONDITION
NUMBER: 2 CONDITION: Puntos-Cargados
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Force
VALUE: 0.0
QUESTION: Y-Force
VALUE: 0.0
QUESTION: Z-Force
VALUE: 0.0
QUESTION: X-Momen
VALUE: 0.0
QUESTION: Y-Momen
VALUE: 0.0
QUESTION: Z-Momen
VALUE: 0.0
END CONDITION
```

A.3.1.2 Archivo 3dshell.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
QUESTION: Eje_local_LP
Value:0
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
QUESTION: Eje_local_LP
Value:0
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
QUESTION: Eje_local_LP
Value:0
END MATERIAL
NUMBER: 4 MATERIAL: Fundición
END MATERIAL
.....
.....
NUMBER: 18 MATERIAL: Fabrical4
QUESTION: E
VALUE: 5.0e5
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 0.15
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 20.2
QUESTION: Eje_local_LP
Value:0
END MATERIAL
```

A.3.1.3 Archivo 3dshell.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).

```
cond Point-Constraints
3
global
cond(int,5)
1
0
0
apoio3d.geo
global
cond(int,1) && cond(int,3)
1
0
0
apoio.geo
global
cond(int,1) || cond(int,3)
cond(int,3)
cond(int,1)*(-1)
0
apoio-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.3.1.4 Archivo 3dshell.prb (Archivo de Datos del problema)

```
6
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#(Shell,Membrane_behavior,Plate_bending) Shell
Hipotesis_de_carga#CB#(1,2,3,4,5) 1
1
1
Nombre_Femview Asolid
```

A.3.1.5 Archivo 3dshell.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 Z=%6.3f"
*NodesNum *NodesCoord
*end

*Set Cond Puntos-Restringidos *nodes
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

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

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

```

A.4 Anexo 4

A.4.1 Archivos de uso para la configuración 3dsolid de la Interface GiD-Sap90

A.4.1.1 Archivo 3dsolid.cnd (Archivo de Condiciones).

```
NUMBER: 1 CONDITION: Puntos-Restringidos
CONDTYPE: over points
QUESTION: X-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: X-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Y-Restraints
VALUE: 0
QUESTION: Y-Giro
VALUE: 0
QUESTION: Z-Restraints
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.4.1.2 Archivo 3dsolid.mat (Archivo de Materiales).

```

NUMBER: 1 MATERIAL: Steel
QUESTION: E
VALUE: 2.1e07
QUESTION: NU
VALUE: 0.2
QUESTION: ESPESOR
VALUE: 1.0
QUESTION: PESO_VOLUMETRICO
VALUE: 7.800
QUESTION: Masa
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteXY
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteYZ
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteZX
VALUE: 0.0
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
QUESTION: Masa
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteXY
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteYZ
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteZX
VALUE: 0.0
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
QUESTION: Masa
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteXY
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteYZ
VALUE: 0.0
QUESTION: Modulo_de_CortanteZX
VALUE: 0.0
END MATERIAL

```

A.4.1.3 Archivo 3dsolid.sim (Archivo de Símbolos gráficos para condiciones).

Archivo 3dsolid.sim

```
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.4.1.4 Archivo 3dsolid.prb (Archivo de Datos del problema)

```
5
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
Hipotesis_de_carga#CB#(1,2,3,4,5) 1
1
1
Nombre_Femview Asolid
```

A.4.1.5 Archivo 3dsolid.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 Z=%6.3f"
*NodesNum *NodesCoord
*end

*Set Cond Puntos-Restringidos *nodes
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

SOLID
NM=*GenData(4) *GenData(3)
*loop materials
*matnum W=*MatProp(4) M=*Matprop(5)
E=*MatProp(1) U=*MatProp(2) G=*MatProp(6), *MatProp(7), *MatProp(8)
*end
*loop elems
*elemsnum
JQ=*elemsConec(6)*elemsConec(7)*elemsConec(5)*elemsConec(8)*elemsConec(2)*e
lemsConec(3)*elemsConec(1)*elemsConec(4) M=*elemsmat
*end

*Set Cond Puntos-Cargas-y-Momentos *nodes
*if(CondNumEntities(int)>0)
LOADS
*loop nodes *OnlyInCond
*NodesNum
F=*cond(1),*cond(2),*cond(3),*cond(4),*cond(5),*cond(6)
*end
```

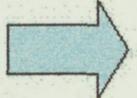
L=*GenData(5)

A.4.1.6 Proceso de cálculo de la inteface GiD-Sap90

Proceso de Cálculo del tipo de problema 3Dshell en la GiD-Sap90

```
@ECHO OFF
Set baseName=%1
Set Directory=%2
Set ProblemDirectory=%3

cd %ProblemDirectory%
```



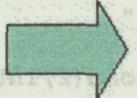
Direccionamiento del archivo de cálculo

```
copy Recordf4f.exe %Directory%
copy Trans6.exe %Directory%
copy Resshell.exe %Directory%
copy Brun45.exe %Directory%
copy c %Directory%
copy datos %Directory%

cd.

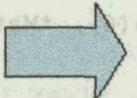
cd %Directory%

copy %baseName%.dat 3d_shell
```



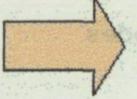
Asignación de las subrutinas al tipo de problema (3D Shell, Sehl2d, Asolid, Solid)

```
%ProblemDirectory%
Sap90 < datos
OPTIMIZE
SHELL
SOLVE
JOINTF
ELEMFF
SHELLF
```



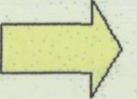
Proceso de cálculo con el programa Sap90

```
Eliminación de archivos innecesarios
del "DATOS.SAP"
del "DATOS.SOL"
del "DATOS.F5F"
RENAME 3d_shell.SAP DATOS.SAP
RENAME 3d_shell.SOL DATOS.SOL
RENAME 3d_shell.F4F DATOS.F4F
```



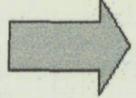
Configuración de los archivos obtenidos

```
Recordf4f.exe < c
del "Datos.res"
RENAME Momentos.dat f5f.dat
Trans6.exe
Rename f5f.res Momentos.res
del "f5f.dat"
Rename Fuerzas.dat f5f.dat
Trans6.exe
Rename f5f.res Fuerzas.res
del "f5f.dat"
Resshell.exe < c
```



Generación del archivo para su visualización en el postproceso de GiD

```
copy Flavia.res %Directory%\%baseName%.flavia.res
copy DATOS.sap %Directory%\%baseName%.sap
copy DATOS.sol %Directory%\%baseName%.sol
copy DATOS.f4f %Directory%\%baseName%.f4f
```



Limpieza y ordenación de archivos

Eliminación de archivos innecesarios

Fig. A.3 Proceso de cálculo de las interfaces GiD-Sap90-Sap2000

B

Anexo B para la configuración de las interfaces GiD-Sap2000, Sap2000-VRML-3DMax

Introducción

La interface *GiD-Sap2000*, se desarrollo como complemento a la de *sap90*, ya que es posible convertir al archivo original y darle el nuevo formato. Todo esto es factible gracia a que el programa *Sap2000* permite importar este tipo de archivos.

Una vez que *Sap2000* a convertido el archivo anterior, se inicia el proceso de revisión de datos generales, condiciones de borde, así como características de los materiales. En este proceso, el usuario puede realizar cambio al problema. A partir de ese momento, se esta en condiciones de realizar el análisis.

Por otra parte, una vez concluido el cálculo, se inicia la implementación de la interface *GiD-Sap2000*.

Este proceso, resumiéndolo, se desarrolla de la siguiente manera:

1. Edición de los archivos de resultados dentro del entorno de *Sap2000*, estos archivo son: desplazamiento, esfuerzos, tensiones y reacciones.
2. Ejecución de los programas, diseñados para esta interface, los cuales seleccionan la información y realizan la interpolación de los resultados numéricos.
3. Ejecución del programa que edita el archivo con formato *GiD* para su postproceso.
4. Visualización de los resultados numéricos en el entorno *GiD*

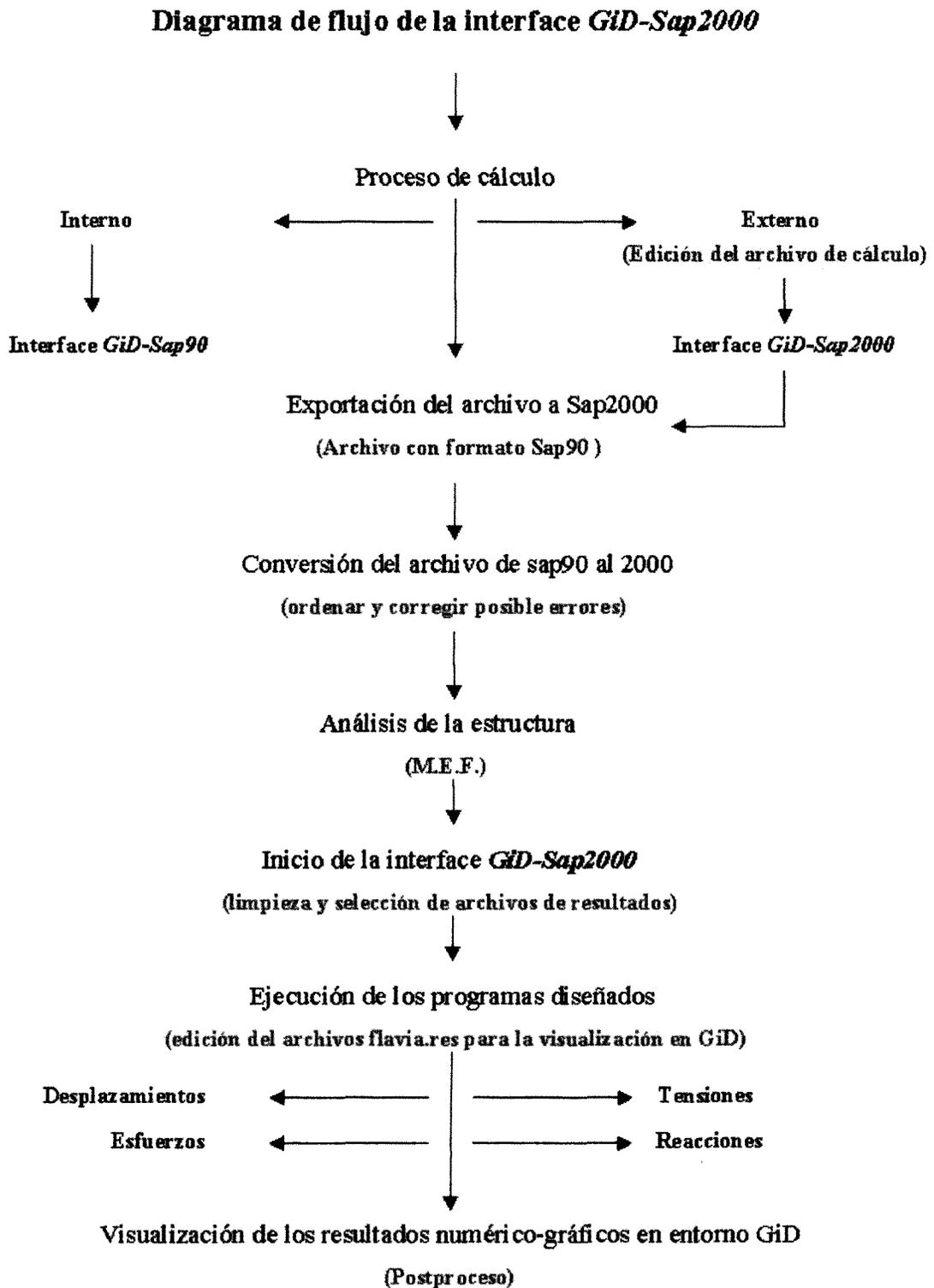


Fig. B.1 Diagrama de flujo de la interfaces *GiD-Sap2000*

Proceso en el desarrollo de la interface *GiD-Sap2000*

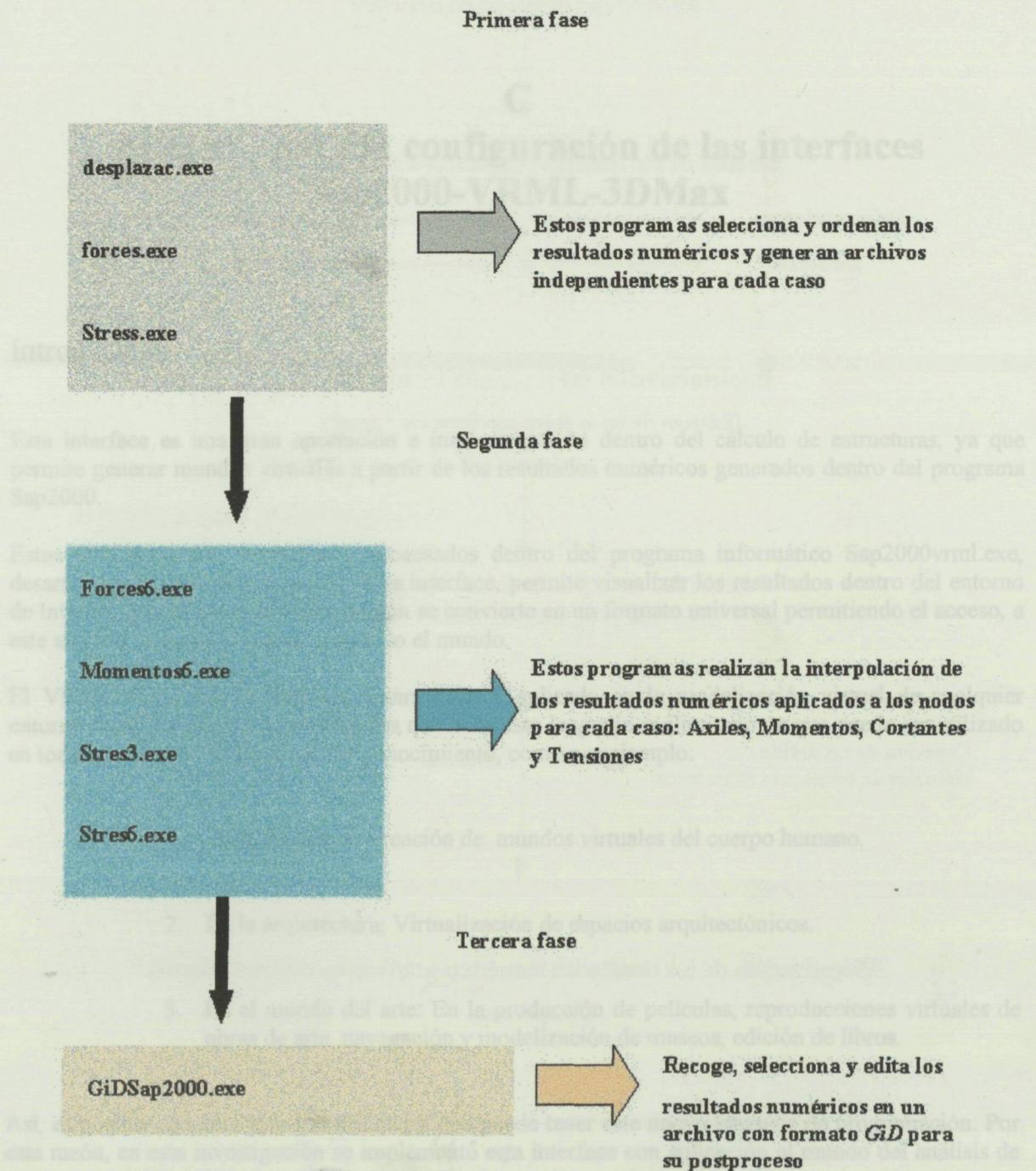


Fig. B.2 Diagrama de flujo de los programas diseñados para la interfaces *GiD-Sap2000*

El análisis de la estructura se realiza mediante el método de los elementos finitos (MEF) y se obtiene el campo de desplazamientos y tensiones en cada elemento de la estructura.

3.2. Modelización de la estructura de hormigón armado

La estructura de hormigón armado se modeliza mediante un elemento de tipo 8-node con propiedades de material de hormigón y acero. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

El elemento de tipo 8-node se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

El elemento de tipo 8-node se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

El elemento de tipo 8-node se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

El elemento de tipo 8-node se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

El elemento de tipo 8-node se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

El elemento de tipo 8-node se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes. El elemento se define mediante los nodos de la estructura y se asignan las propiedades de material correspondientes.

C

Anexo C para la configuración de las interfaces Sap2000-VRML-3DMax

Introducción

Esta interface es una gran aportación e implementación dentro del cálculo de estructuras, ya que permite generar mundos virtuales a partir de los resultados numéricos generados dentro del programa Sap2000.

Estos resultados son recogidos y procesados dentro del programa informático Sap2000vrml.exe, desarrollado en esta investigación. Esta interface, permite visualizar los resultados dentro del entorno de Internet; gracia a eso, la visualización se convierte en un formato universal permitiendo el acceso, a este archivo, a cualquier usuario en todo el mundo.

El VRML es un nuevo lenguaje desarrollado y aplicado en la modelización virtual de cualquier entorno físico y espacial. Las utilidades que tiene este lenguaje es ilimitado ya que puede ser utilizado en todas y cada una de las áreas del conocimiento, como por ejemplo:

1. En la medicina. Creación de mundos virtuales del cuerpo humano.
2. En la arquitectura: Virtualización de espacios arquitectónicos.
3. En el mundo del arte: En la producción de películas, reproducciones virtuales de obras de arte, navegación y modelización de museos, edición de libros.

Así, es posible enumerar infinitas utilidades que puede tener este nuevo lenguaje de programación. Por esta razón, en esta investigación se implementó esta interface con aplicación al mundo del análisis de estructuras arquitectónicas.

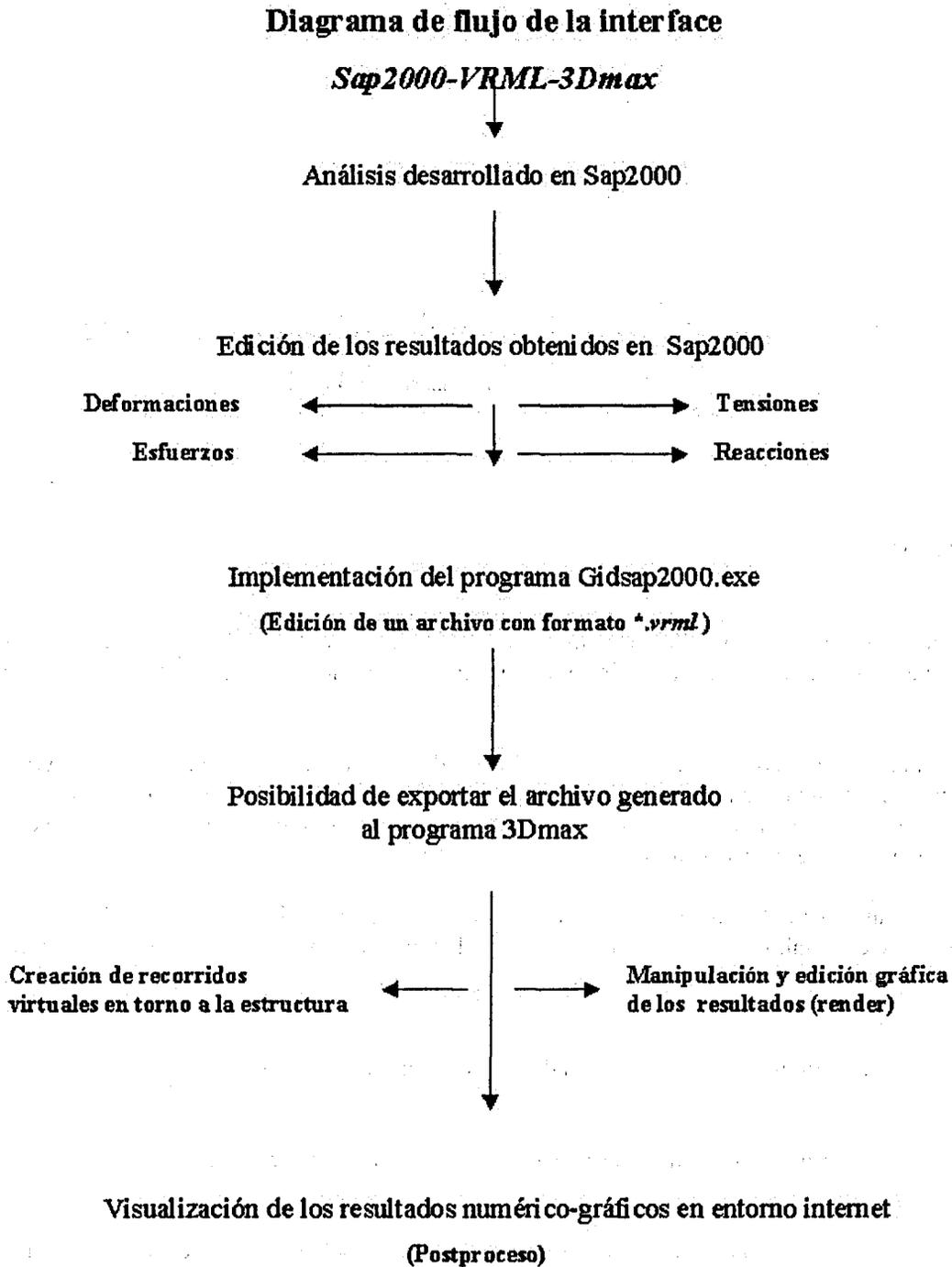


Fig. C.1 Diagrama de flujo del programa diseñados para la interfaces Sap2000-VRML

Bibliografía

Bibliografia

ALI, S. S. i PAGE, A.W. (1988)

*Finite element model for masonry

subjected to concentrated loads, *Journal of Structural Engineering*

ASCE, 144 (8), 1761-1784

ANTHOINE, A.

*In plane behaviour of masonry: a literature review

Commission of the European Communities, Industrial Processes, Luxemburgo

ARCHER, J.S.

*Consistent matrix formulations for structural analysis finite element

techniques, *AIAA journal*, 3 1910-1918

ASTM STANDARD

*In situ compressive stress within solid unit masonry estimated using

flatjack measurements, 1196-91

ASTM STANDARD

*In situ measurement of masonry deformability properties using

flatjack method, c 1197-91

ATKINSON, R. H., AMADEI, B.P., SAEB, S. i STURE, S.

*Response of masonry Bed joints in direct shear, *Journal of structural*

Engineering ASCE, 115, (9), 2276-2296.

ATKINSON, R. H. i NOLAND, J.L.

*A proposed failure theory for brick masonry in compression, *Proc. 3rd*

Canadian Masonry Symposium.

BARBAT, A. H. y MIQUEL, J.

*Estructuras sometidas a acciones sísmicas CIMNE, BARCELONA.

BIOLZI, L.

*Evaluation of Compressive Strength of Masonry Wall by Limit Analysis, Journal of Structural Engineering ASCE, 114, (10), 2179-2189.

BRIDLE, R.J. i HUGHEN, T.G.

*An energy method for arch bridge analysis, Proc. Instn. Civ. Engrs, Part 2, 89, 375-385.

CALDERBANK, V. J.

*Programación en Fortran.

(Incluye fortran 77).

Colección CIENCIA INFORMATICA.

Editorial Gustavo Gili, S. A.

CARDELLACH, FELIX

*Filosofía de las estructuras: filiación racional de las formas resistentes empleadas en la ingeniería y en la Arq. histórica y moderna : síntesis de susprocedimientos verificativos / Felix Cardellach. Publicación : Barcelona: Librería de Agustín Bosch, 1910

CASALS, A., GONZALEZ, J.L. y ROCA, P.

*Análisis estructural de la Cripta de la colonia Güell, Quaderns Científics i Tècnics, Diputació de Barcelona.

CASALS, A., GONZALEZ, J.L. y ROCA, P.

*La necesaria comprensión previa de la realidad constructiva del momento: el caso singular de la Cripta de la colonia Güell, Informes de la Construcción, 45, (427), 17-29.

CASTELLÓ I SEGOVIA, INMACULADA

*Visualitzador interactiu de fitxers DXF amb JAVA / Alumna: Immaculada Castelló i Segovia; director/ponent: Luís Solano Albajés, 1998

CATEDRAL METROPOLITANA

*Corrección geométrica, informe técnico.

(Enrique Tamez, Enrique Santoyo, Roberto Meli, Roberto Sánchez, Fernando López Carmona, Evangelina Gutiérrez, Hilario Prieto, Jorge Díaz Padilla, Sergio Saldivar.)

Asociación Amigos de la Catedral Metropolitana de México, A. C.

CHIOSTRINI, S. , FORABOSCHI, P. y SORACE, S.

*Problems Connected with the Arrangement of a Non-linear Finite Element Method to the Analysis of masonry Structures, Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings , Computational Mechanics Publications, 525-534.

CHIOSTRINI, S. i VIGNOLI, A.

*Application of a Numerical Method to the Study of Masonry Panels with Various Geometry under Sismic Loads, Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings, Computational Mechanics Publication, 309-317.

CHOO, B.S. COUTIE, M. G. y GONG, N. G.

*Finite-element analysis of Masonry arch bridges using tapered elements, Proc Instn. Civ. Engrs, part 2, 91 ,755-770.

COLINDRES SELVA, RAFAEL.

*Dinámica de suelos y estructuras
(Aplicación a la ingeniería sísmica.)
Editorial LIMUSA, México.
Primera edición 1983

COULOMB (1773)

*Aproximación a la Resistencia de los arcos de Masonería

COURBON, J.

*Resistence des Materiaux, Tehth Edition, 2, Ed. Dunod , Paris.

CRISFIELD, M. A. Y WILLS, J.

*Nonlinear Analysis of Concrete and Masonry Structures, Proc. of the Europe-Us Symposium on Finite Element Methods for Nonlinear Problems.

CROCI, G., D'ASDIA, P. y VISKOVIC, A.

*Methods for the analysis and safety evaluation of masonry Structures subjected to sismic Action, structural Analysis of Historical Buildings iv , 1, Computational Mechanics Publications, 329-337.

D'ASDIA, PP.

*Analysis of the sismic response of Masonry structures, Proceeding of IABSE Symposium Structural Preservation of the Architectural Heritage, Roma, 281-288.

DE VEKET, R.C.

*Non destructive tests methods for masonry structures, Proc. 8th I.B.Ma.C., 3.

DE VEKET, R.C.

*In situ tests for masonry, Proc. 9th I.B.Ma.C. Pub. Deutsche Gesellschaft für Mauerwerksbau, 1, 620-627.

DHANASEKAR, M. , KLEEMAN, P.W. y PAGE, A. W.

*Biaxial stress-strain relation for brick masonry, Journal of Structural Engineering ASCE, 111, (5), 228-244.

DHANASEKAR, M. PEGE, A.W. , y KLEEMAN, P.W.

*The failure of brick masonry under biaxial stresses, Proc. Instn. Civ. Engrs., part2, 79, 296-313.

DHANASEKAR, M. y PEGE, A.W.

*The influence of brick masonry infill properties on the behaviour of infilled frames, Proc. Instn. Civ. Engrs. , part 2,81, 593-605.

DIALER, C.

*Some remarks on the strength and deformation behaviour of shear stressed masonry panels under static monotonic loading,
Proc. of the 9th IBMaC, 276-283

DIMITRY, DONALD L.

*Introducción a la programación mediante fortran / Donald L. Dimitry ; Thomas H. Mott ; traducido al español por Ernesto Bollo. 1a edición
México : Interamericana, [1972]

DRYSDALE, R.G. y HAMID, A.A.

*Tension failure criteria for plain concrete masonry, Journal of structural -Engineering ASCE, 110, (2), 288-244.

EUROCODE No 6

*Common unified rules for masonry structures, Report EUR 9888 EN.

FITCHEN, J.

*The construction of gothic cathedrals (Oxford: Clarendon Press, 1962).

FLÜGGE, W.

*Stresses in shells (Berlín: Springer, 1961)

FLÜGGE, W.

*Handbook of engineering mechanics (Nueva York: McGraw-Hill, 1962); Stresses in shells (Berlín: Springer, 1961).

GARCÍA DE ARANGOÁ, ANTONIO.

*Elasticidad

(Teoría y Experimental), Fundamentos aplicaciones.

Editorial DOSSAT, S. A.

Madrid 1945.

GARCIA PERERA, XAVIER

*Modelización del refuerzo a flexión de puentes con materiales tipo composite mediante elementos finitos / Xavier Garcia Perera ; tutors: Gonzalo Ramos, Joan Ramos Casas, 2000

GASANZ DÍEZ, RAUL

Modelización y animación bajo 3D Studior4 de un brazo mecánico operando en entorno industrial / Raúl Gasanz Díez ; profesor ponente: Manuel López Membrilla, 1997

GREGORY, M. S.

*Philosophy of engineering design of structures. "Proceedings of the American Society of Civil Engineers ".(1963)

GIFFORD W. H. Y TAYLOR, P

*The restoration of ancient buildings, *Structural Engineer* 42 (1964): 327 y 55.

GIL HUGUET, JORDI

*Visualització de formats gràfics sota X Window / Jordi Gil ; ponent: Manuel López Membrilla , 1997

GÓMEZ, JOSEP. COLL, JORDI. MELERO C., JUAN. BURRY C., MARK

*La Sagrada Familia. De Gaudí al Cad.

Col·lecció d'Art

Disseny, Arquitectura i Urbanisme

Edicions UPC

HARRIS, BRYAN

*Structure and properties of engineering materials ; B. Harris and A. R. Bunsell

London. : Longman Group Ltd., 1977

HARVEY, W.

*Models of buildings: how to make and use them (Londres: The Architectural Press, 1927).

HEYMAN, JACQUES.

*Estructuras de Fabrica Teoría, historia y restauración.

Jacques Heyman, edición a cargo de: Santiago huerta Fernández

Publicación : Madrid, Juan Herrera, Escuela Técnica Superior de Madrid

HEYMAN, J.

*The stone skeleton, *International Journal of Solids and Structures* 2 (1966)

HEYMAN, J.

*On shell solutions of masonry domes, *International Journal of Solids and Structures* 3 (1967)

HUGHES, THOMAS J. R.

*The finite element method linear static and Dynamic

Finite element analysis Thomas J: R: Hughes.

Publicacion : Englewood Cliffs, N. J: Prentice-Hall International.

IMCYC. (Instituto Mexicano del cemento y del concreto)

*Diseño de estructuras resistentes a sismos

Editor Emilio Rosenblueth

Noriega Editores

Editorial LIMUSA, México, 1982

INTEMAC No 17, Cuadernos

*TEMA: Contribución al estudio de las inclusiones de sillería en él

comportamiento de los muros de mampostería en la rehabilitación de edificios históricos .José Ma. Izquierdo Bernardo de Quiros (Ingeniero de Caminos)

KELLEY, AL

*Lenguaje C : introducción a la programación ; Al Kelley, Ira Pohl ; versión en español de Addison-Wesley Iberoamericana ; con la colaboración de Joaquín Ortega Benítez, Guillermo Levine Gutiérrez, Alejandro González Hernández... [et al.] Wilmington, DE : Addison-Wesley Iberoamericana México D.F. : Sistemas Técnicos de Edición, cop. 1987

LESAIN, A.

*Numerical flow visualization of high Reynolds number recirculated flows using an animation technique. Visualisation numerique et animation d'écoulements a grands nombres de Reynolds avec circulations; A. Lesain, Yves Gagnon

Châtillon : ONERA, 1991

LOPEZ-REY LAURENS, JAVIER

*Apuntes de cálculo matricial de barras.

E.T.S.A.B. U.P.C., Barcelona.

LOVE. A. E. H.

*A Treatise on the Mathematical theory of Elasticity, Inc. New York, 1944

MADINAVEITIA J., MIGUEL Y RODRIGUEZ A., GUILLERMO.

*Resistencia a cargas verticales de muros fabricados con materiales usuales en el Distrito Federal.

Profesores investigadores, Facultad de ingeniería UNAM

MANUAL DE GID

*Manual de referencias

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

MELI PIRALLA, ROBERTO.

*Diseño Estructural

Editorial LIMUSA, México 1987

MODELIZACIÓN Y ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

[Madrid]: Instituto de Ciencias de la construcción Eduardo Torroja : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1998

Nota: Recull dels materials presentats al seminari s5 del 14è Curso de Estudios Mayores de la Construcción

MOLDES TEO, F. JAVIER

*Lenguaje C / F. Javier Moldes Teo

Madrid : Anaya Multimedia, cop. 199

MOSELEY, H.

*The mechanical principles of engineering and architecture (Londres: Longman, Brown, Green and Longmans, 1843).

MUÑOZ SALINAS, FRANCISCO. MARISTANY i CARRERAS, JORDI.

*Pre y Postprocesadores para el cálculo de estructuras. Interface GiD-Sap90

Monografía CIMNE N° 52, Julio 1999, Barcelona.

OLLER MARTÍNEZ, SERGIO

*Modelización numérica de materiales friccionales / S. Oller

Barcelona : CIMNE, 1991

OÑATE, E., HANGANU, A. BARBAT, A., OLLER, S., VITALIANI, R. Y SAETTA, A.

*Structural analysis and durability assesment of historical constructions

using a finete element damage model, structural analysis of historical

construccion, Editor: P. Roca, CIMNE, Barcelona..

PAGE, J.

*Masonry arch, bridges by J. Page (editor)
Publicaciones London Hmsco cop. 1993.

PÉREZ-CAMPANERO ATANASIO, JUAN ANTONIO

*Lenguaje C / Juan Antonio Pérez-Campanero Atanasio
Madrid : Anaya Multimedia, cop. 1993

PIPPARD, A. J. S. Y ASBBY, R. J.

*An experimental study of the voussoir arch, *Journal of the Institution of Civil Engineers* 10 (1938).

PIPPARD, A. J. S.

*Strain-energy methods of stress analysis (Londres: Longmans, Green & Co., 1928).

QUATRANI, TERRY

*Visual modeling with rational rose and UML / Terry Quatrani ; [foreword by Grady Booch]
Reading, Mass. : Addison Wesley, cop. 1998

RAMOS ROSA, JUAN MANUEL

*Visualitzador gràfic i convertidor de formats / alumne: Juan Manuel Ramos Rosa ; director/ponent:
Antoni. Grau Saldes , 2000

SAP 90, SAP2000 ETABS SAFE.

*Computer Software for
Structural & Earthquake Engineering.
Developed and written in U. S. A.

SEEL Y FRED B., M. S. Y ENSIGN NEWTON E., M. A.

*Mecánica analítica para ingenieros.

UTEHA.

3a. Edición.

SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE
CONSTRUCCIONES HISTÓRICAS.

*Posibilidades de las técnicas numéricas y experimentales
E.T.S.E.C.C.P., U.P.C.Barcelona, 8, 9, 10 de Noviembre 1995.

SHEPPARD, STEPHEN R.J.

*Visual simulation : a user's guide for architects, engineers, and planners / Stephen R.J. Sheppard
New York: Van Nostrand Reinhold, 1989.

SIGGRAPH : 1997 : NOVA YORK, ESTATS UNITS D'AMÈRICA)

*Visual proceedings : the art and interdisciplinary programs of Siggraph'97 : computer graphics annual conference series 1997 / Association for Computing Machinery ; edited by Lynn Pocock [et al.] New York, NY: Association for Computing Machinery, cop. 1997

STRAUB, H.

*A history of civil engineering. (Londres: Leonard Hill, 1952).

✓ TIMOSHENKO, S. P.; JAMES M. GERE.

*Mecanica de Materiales.

México, UTEHA, 1974

TIMOSHENKO, S. P.; JAMES M. GERE.

*History of strength of material, mc Graw-Hill Book Co., Inc New York.

TIMOSHENKO, S. P. Y GOODIER, J.N.

*Theory of Elasticity, 3a edición

Mc Graw-Hill book Co. , Inc., New York, 1970

TODHUNTER, I.

* A History of the theory of elasticity and of the strength of materials: From Galilei to lord Kelvin / Isaac Todhunter ; edited and completed for the syndics of the Cambridge University Press by Karl Pearson.

1 : Galilei to Saint-Venant: 1639-1850.

New York: Dover Publications, (1960)

TODHUNTER, I.

* A History of the theory of elasticity and of the strength of materials: From Galilei to lord Kelvin / Isaac Todhunter ; edited and completed for the syndics of the Cambridge University Press by Karl Pearson.

2 : Saint -Venant to Lord Kevin

New York: Dover Publications, (1960)

TORROJA, EDUARDO

*Philosophy of structures (University of California Press: 1958). Traducción al inglés de Razón y ser de los tipos estructurales (Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1957)1

TORROJA, EDUARDO.

*Elasticidad.

Con aplicación a la técnica de la construcción

Numerario de la Real Academia de Ciencias. Editorial Dossat S. A. Segunda Edición.

WHITE, EDWARD T.

*Introducción a la programación arquitectónica / Edward T White

México, D.F. : Trillas, 1979

WOOLLEY, BENJAMIN

*Virtual worlds : a journey in hype and hyperreality / Benjamin Woolley

Oxford [etc.] : Blackwell, 1992