

CALSEF: Programa para Cálculo Estático Lineal de Sólidos y Estructuras para el Método de Elementos Finitos

E. Oñate
S. Botello

CALSEF: Programa para Cálculo Estático Lineal de Sólidos y Estructuras para el Método de Elementos Finitos

E. Oñate
S. Botello

Publicación CIMNE N^o-18, Febrero 1992

INDICE

pag.

CALSEF Programa para Cálculo Estático Lineal de Sólidos y Estructuras

1	INTRODUCCION	1
2	Características del programa CALSEF	2
3	Organización general de CALSEF	4
	3.1 Etapas básicas. Diagrama de flujo principal	4
	3.2 Selección de los nombres de las variables	6
	3.3 Transmisión de información entre subrutinas	7
	3.4 Listado de la subrutina principal de CALSEF	8
4	Descripción de la subrutina DATOS	10
	4.1 Parámetros de control	10
	4.2 Datos geométricos	10
	4.3 Condiciones de contorno	11
	4.4 Propiedades del material	11
	4.5 Subrutina GAUSS	12
	4.6 Preparación automática de datos	12
	4.7 Subrutina de control de datos	13
5	Matriz de rigidez: subrutina RIGIMAT	13
	5.1 Tensión y deformación plana	13
	5.2 Sólidos de revolución	14
	5.3 Sólidos tridimensionales	14
	5.4 Flexión de placas de Reissner-Mindlin. Elemento cuadrilátero de 4 nodos CLLL	17
	5.5 Láminas de revolución de Reissner-Mindlin. Elemento troncocónico de dos nodos	17
6	Subrutina FUERZAS	18
	6.1 Consideraciones generales	18
	6.2 Fuerzas puntuales nodales	20
	6.3 Peso propio	21
	6.4 Fuerzas distribuidas sobre un elemento	22
	6.5 Fuerzas repartidas sobre un lado	23
7	Solución del sistema de ecuaciones. Subrutina SOLUCION	25
8	Cálculo de las tensiones elementales. Subrutina TENSION	28
9	Ejemplos de utilización del programa CALSEF	30
	9.1 Cilindro de pared gruesa bajo presión interior	30

9.2	Placa cuadrada delgada simplemente apoyada bajo carga uniforme	35
9.3	Placa circular delgada empotrada bajo carga uniforme	39
10	Obtención del programa <i>CALSEF</i>	43
REFERENCIAS		45
APENDICE I. INSTRUCCIONES PARA ENTRADA DE DATOS Y LISTADO DE VARIABLES DEL PROGRAMA <i>CALSEF</i>		I.1
APENDICE II. LISTADO DEL PROGRAMA <i>CALSEF</i>		II.1
APENDICE III MANUAL DEL PROGRAMA DE POSTPROCESO GRAFICO <i>PCDIB</i>		III.1

1 INTRODUCCION

Una de las etapas fundamentales en la aplicación con éxito del método de elementos finitos (MEF) al cálculo de estructuras es la implementación de la teoría en un programa de ordenador eficiente. Por esta razón, y también debido a la creciente competitividad en el mercado del cálculo estructural por elementos finitos, en los últimos años se han efectuado considerables esfuerzos para desarrollar programas versátiles y eficaces que permitan obtener soluciones del MEF de forma más económica y competitiva. En la referencia [1] se presenta una relación detallada de los programas comerciales de elementos finitos más populares, siendo la mayoría de ellos aplicables al análisis de estructuras.

Pese a la existencia de dichos programas, un buen conocimiento de la programación del MEF puede ser de gran interés para el técnico, tanto o más, en algunos casos, que la propia teoría en que se basan los cálculos. En la Figura 1 se muestra un esquema del coste asociado al análisis de una estructura por elementos finitos, apreciándose que una parte del mismo se debe al uso de un programa de ordenador. Un porcentaje importante de dicho coste puede reducirse si el técnico es capaz de desarrollar su propio programa de acuerdo con sus necesidades específicas, pudiendo adquirir partes concretas del mismo (como la subrutina para solución de ecuaciones) en publicaciones especializadas [2], [3].

Así, pues, es importante que tanto el técnico que desarrolla programas de elementos finitos, como el que los utiliza para cálculo de estructuras, conozcan la mejor forma de programar el MEF, ya que para el primero la eficiencia del programa se traduce en mayor comercialidad, y para el segundo, representa la posibilidad de adaptarlo a su ordenador para incrementar su rendimiento.

En esta publicación se describen las etapas que intervienen en un programa de elementos finitos para cálculo de estructuras, incidiendo principalmente en la metodología general de la programación de las diferentes subrutinas, así como en las aplicaciones a varios problemas de cálculo de estructuras. En particular se describen con detalle las subrutinas fundamentales para análisis de problemas de tensión y deformación plana, sólidos de revolución, sólidos tridimensionales, flexión de placas y láminas de revolución (teoría de Reissner-Mindlin), utilizándose, por razones de brevedad, solamente algunos de los elementos más representativos. Todos los aspectos teóricos relacionados con la solución por el MEF de cada uno de esos problemas pueden encontrarse con detalle en la referencia [4]. En la última parte de esta publicación se presentan diversos ejemplos de aplicación del programa, así como un listado completo del mismo, una descripción de sus variables más significativas y las instrucciones para la entrada de datos. Más información sobre cualquier tema relacionado con el contenido de esta

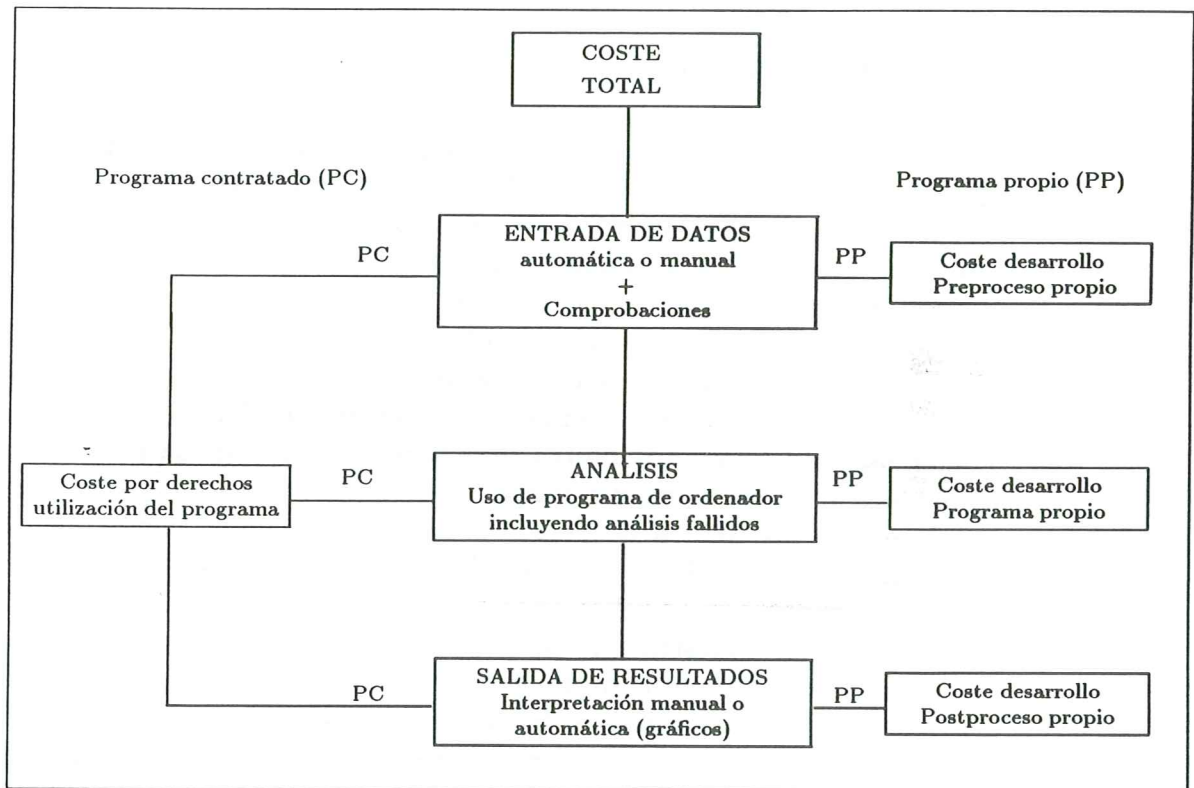


Figura 1 Coste asociado al análisis de una estructura por un programa de elementos finitos.

publicación puede obtenerse escribiendo directamente a cualquiera de sus autores.

Se espera que esta publicación sea de utilidad a los técnicos que, conociendo la teoría del MEF, estén interesados en su aplicación práctica para el cálculo de estructuras.

2 CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA *CALSEF*

En los apartados siguientes se presenta la descripción del programa *CALSEF* para Cálculo Lineal de Sólidos y Estructuras por el Método de Elementos Finitos con detalles de las subrutinas más relevantes del mismo. La versión de *CALSEF* que se presenta escrita en FORTRAN y tiene las siguientes características generales:

Tipologías de estructuras abordables

- Estructuras en tensión plana
- Estructuras en deformación plana
- Sólidos de revolución

- Sólidos tridimensionales
- Placas. Teoría de Reissner–Mindlin
- Láminas de revolución. Teoría de Reissner–Mindlin

Características del material

- Material elástico lineal isótropo.

Elementos utilizables

Para el análisis de cada tipología estructural pueden utilizarse los elementos isoparamétricos siguientes:

<u>Tipología</u>	<u>Elemento</u>
<i>Tensión y deformación plana</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elemento triangular de tres nodos - Elemento triangular de 6 nodos - Elementos cuadriláteros lagrangianos de 4 y 9 nodos - Elemento cuadrilátero serendípito de 8 nodos
<i>Sólidos de revolución</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Los mismos que para tensión y deformación plana
<i>Sólidos tridimensionales</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elemento hexagonal serendípito de 20 nodos
<i>Placas</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elemento cuadrilátero de 4 nodos CLLL
<i>Láminas de revolución</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Elemento troncocónico de dos nodos de Reissner–Mindlin

Tipos de cargas

Para cada problema se admiten únicamente cargas *estáticas* de los tipos siguientes:

<u>Problema</u>	<u>Tipos de carga</u>
<i>Tensión y deformación plana</i> <i>Sólidos de revolución</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas puntuales nodales - Peso propio - Carga uniformemente repartida sobre los lados de los elementos
<i>Sólidos tridimensionales</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas puntuales nodales - Peso propio

<i>Placas y</i>	- Cargas puntuales nodales
<i>Láminas de revolución</i>	- Peso propio
	- Carga uniformemente repartida sobre el elemento

Evidentemente, para cada uno de los problemas anteriores pueden utilizarse otros elementos [4]. Se han escogido aquí los que hemos considerado más adecuados atendiendo a razones de *eficacia y sencillez*. Una vez familiarizado el lector con los detalles del programa podrá modificarlo fácilmente para incluir otros tipos de elementos y de cargas, así como para extender su rango de aplicación a otros tipos de estructuras [4].

3 ORGANIZACION GENERAL DE *CALSEF*

3.1 Etapas básicas. Diagrama de flujo principal

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo principal del programa *CALSEF*. El lector familiarizado con el análisis de estructuras de barras advertirá la coincidencia con el diagrama de un programa para cálculo matricial de dichas estructuras. Para centrar conceptos definiremos seguidamente las etapas fundamentales asociadas al análisis de una estructura por un programa de elementos finitos, así como la relación de cada etapa con las subrutinas del diagrama de la Figura 2.

Etapas 1: Selección del elemento

La elección del elemento es función de la tipología de la estructura y de la precisión buscada. Una vez escogido el elemento quedan definidas sus funciones de forma. En el apartado anterior se han definido los tipos de estructuras y elementos incluidos en la versión del programa que aquí se presenta.

Etapas 2: Discretización de la estructura en elementos finitos

Esta etapa puede representar un porcentaje alto del esfuerzo total de cálculo si la geometría de la estructura es compleja. En ella hay que definir perfectamente la topología de la malla (que de nuevo depende de la geometría de la estructura y la precisión buscada), las coordenadas de los nodos, las propiedades del material de cada elemento y las condiciones de contorno. Esta etapa se denomina generalmente *preproceso* y puede automatizarse en gran manera si se dispone de los programas de generación de malla adecuados [5], [6], [7]. Esta automatización es mucho más esencial si se utilizan técnicas de solución adaptables.

Es importante destacar que el coste de la solución del sistema de ecuaciones global depende en gran manera de: a) la numeración de los nodos

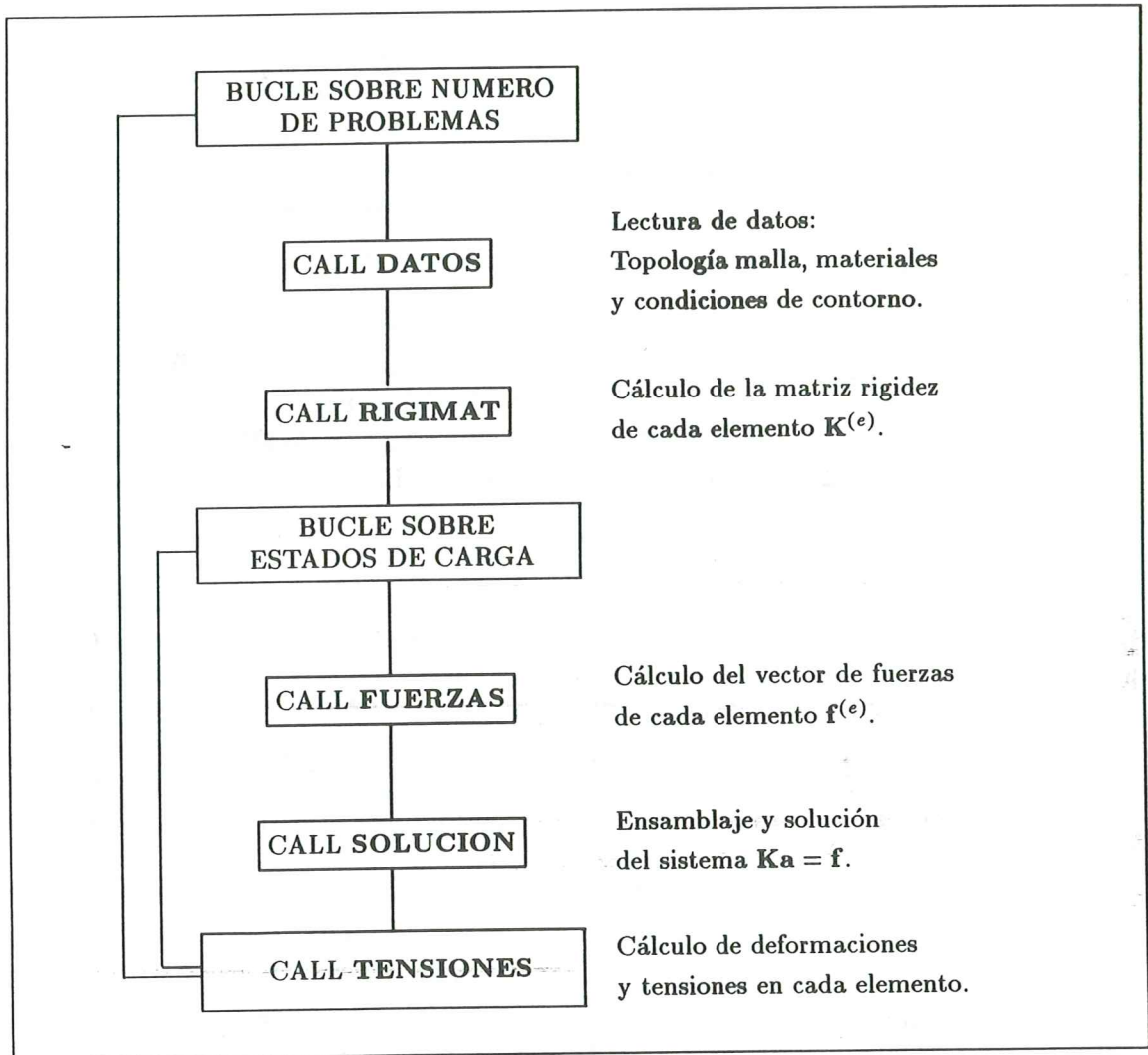


Figura 2 Diagrama de flujo del programa *CALSEF*.

de la malla (ejemplo: si se utiliza el método de eliminación de Gauss [2-4]), o b) la numeración de los elementos (ejemplo: si se utiliza el método frontal [2]). Conviene, por tanto, cuidar la topología de la malla y adecuarla en lo posible al método de solución de ecuaciones utilizado. Para ello puede hacerse uso de técnicas especiales de optimización de la numeración de nodos y/o elementos [2], [4]. En el Apartado 7 se volverá a tratar este tema.

Etapa 3: Entrada de datos (Subrutina DATOS)

Esta etapa consiste en la lectura por el ordenador de los datos generados en la etapa de discretización. Dicha lectura se efectúa en la subrutina **DATOS** que se detalla en el Apartado 4.

Etapa 4: Cálculo de la matriz de rigidez de los elementos (Subrutina RIGIMAT)

En la etapa siguiente se calculan las matrices de rigidez $K^{(e)}$ de cada uno de los elementos de la malla. Dicho cálculo se efectúa en la subrutina **RIGIMAT** y su mayor o menor complejidad depende del tipo de elemento utilizado. En el Apartado 5 se describe **RIGIMAT** para los diferentes elementos y problemas que permite la versión del programa que se presenta.

Etapa 5: Cálculo del vector de fuerzas nodales (Subrutina FUERZAS)

La siguiente etapa es el cálculo del vector de fuerzas nodales equivalentes $f^{(e)}$ para cada elemento y se efectúa en la subrutina **FUERZAS**. De nuevo su mayor o menor complejidad depende del elemento utilizado y también de las cargas exteriores consideradas. La descripción de **FUERZAS** para los diferentes problemas y elementos del programa se incluye en el Apartado 6.

Etapa 6: Solución del sistema de ecuaciones global (Subrutina SOLUCION)

Conocidas las matrices de rigidez y los vectores de fuerzas nodales de cada elemento la etapa siguiente es el ensamblaje de dichas matrices y vectores en la ecuación de equilibrio global $Ka = f$, y su solución para obtener los movimientos nodales a . Este proceso se efectúa en la subrutina **SOLUCION** y para el mismo puede utilizarse toda una variedad de técnicas de cálculo numérico perfectamente desarrolladas. En el Apartado 7 se hace referencia a algunas de ellas al tratar con más detalle el contenido de esta subrutina.

Etapa 7: Cálculo de deformaciones y tensiones (Subrutina TENSIONES)

La etapa final consiste en calcular las deformaciones y tensiones en los diferentes elementos a partir de los valores de los movimientos nodales. Dicho cálculo se lleva a cabo en la subrutina **TENSIONES** que se describe en el Apartado 8. Esta etapa de *postproceso* va también asociada en la práctica a la representación gráfica de los resultados del cálculo (desplazamientos, deformaciones y tensiones). La programación del postproceso no es un problema trivial, fundamentalmente en problemas tridimensionales, siendo necesario un conocimiento profundo de técnicas de dibujo por ordenador. No obstante, generalmente puede hacerse uso de programas comerciales "ad hoc" y el problema se reduce a compatibilizar los formatos de resultados del cálculo con los necesarios para su representación gráfica [5-9]. La versión 1/92 de **CALSEF** para ordenador PC compatible incluye software para representación gráfica de datos y resultados compatibles con las subrutinas gráficas de MICROSOFT 5.0.

3.2 Selección de los nombres de las variables

Una norma elemental de buena programación es mantener un criterio uniforme para escoger el nombre de las variables del programa [2]. Salvo

contadas excepciones, en *CALSEF* todas las variables tienen cinco letras y además se ha tratado de que el nombre de cada una esté lo más relacionado posible con su función en el programa. Por otro lado, todas las variables que empiezan con la letra N indican "número de", si empiezan con M indican "número máximo de" y si lo hacen con I, J, K, indican un valor determinado de la variable. Así, por ejemplo, NELEM es el número de elementos de la malla, MELEM es el número máximo de elementos que puede analizar el programa, IELEM es un elemento determinado de los NELEM, etc.

Estas normas pueden resultar algo tediosas a los que se inician en la programación del método de los elementos finitos. No obstante, su estricto cumplimiento es de gran utilidad, tanto para el estudio y utilización de un programa determinado, como para su posterior modificación por personas ajenas a su desarrollo inicial (e incluso para el propio autor).

En el Apéndice I se presenta una relación de las principales variables del programa juntamente con la explicación de su significado.

3.3 Transmisión de información entre subrutinas

En *CALSEF* se utilizan bloques COMMON para transmitir toda la información necesaria (escalar y vectorial) entre subrutinas. Dichos bloques son iguales en todas las subrutinas, y sus vectores se han dimensionado en función del problema de mayor tamaño que puede analizarse con el programa. Se ha escogido esta alternativa frente a otras opciones posibles (dimensionamiento dinámico, transmisión por argumentos, etc.) por su valor didáctico para los no iniciados en programación.

CALSEF utiliza fundamentalmente tres bloques COMMON. El primero denominado CONTROL almacena los parámetros de control definidos en la subrutina DATOS y que son necesarios en todo el programa. El bloque COMMON CONTROL tiene la forma siguiente:

```
COMMON/ CONTROL/ICARG, IPROB, ELONG, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
      NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD, NPRES, NPROB, NPROP,
      NTENS,NTIPO,RADIO
```

El segundo bloque COMMON se denomina DATA y almacena un conjunto de matrices y vectores relacionados con la geometría de la malla, las propiedades de los materiales, las condiciones de contorno, las cargas exteriores y los movimientos nodales. La forma de dicho bloque es

```
COMMON/ DATA/ CARGA (MELEM, NEVAB), COORD (MPNOD, MDIME),DESPL
      (MTOTV), INPRE (MPRES, MGDLN), LNODS (MELEM, MNODE), MATNU
      (MELEM), NODPR (MPRES), PRESC (MPRES, MGDLN), PROPS (MMATS,
      MPROP)
```

El tercer bloque COMMON se denomina CALCULO y almacena un conjunto de matrices y vectores que están específicamente relacionados con el cálculo

de la matriz de rigidez y el vector de fuerzas nodales. Dicho bloque tiene la forma general siguiente:

```
COMMON/ CALCULO/ BMATZ (MTENS, MEVAB), COREL (MDIME, MNODE),
CORPG (MDIME, MGASP), DBMAT (MTENS, MEVAB), DCART (MDIME,
MNODE), DERIV (MDIME, MNODE), DMATZ (MTENS, MTENS), FFORM
(MNODE), PESGT(MGAUS), PESPT(MGAUS), POSGT(MGAUS*MDIME),
POSPG (MGAUS), XJACI(MDIME,MDIME), XJACM(MDIME,MDIME).
```

Los argumentos de las matrices y vectores de los bloques COMMON se han dimensionado en el programa de manera que sirvan para todos los problemas resolubles. Dichos valores se muestran en la Figura 3.

MDIME = 3	MNODE = 27
MELEM = 400	MPNOD = 1000
MEVAB = 81	MPRES = 200
MGAUS = 7	MPROP = 5
MGDLN = 3	MTENS = 5
MMATS = 10	MTOTV = MPNOD × MGDLN
	= 3000

Figura 3 Dimensiones de las matrices y vectores de los bloques COMMON DATA y CALCULO.

En el Apéndice I puede encontrarse el significado de las variables de los bloques COMMON anteriores.

3.4 Listado de la subrutina principal de CALSEF

A continuación se muestra un listado de la subrutina principal de CALSEF incluyendo los bloques COMMON.

```
1      PROGRAM CALSEF
2      C*****
3      C
4      C*** SUBROUTINA PRINCIPAL
5      C
6      C*****
7      CHARACTER*80 TITULO
8      COMMON/CONTROL/ ICARG, IPROB, ELONG, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
9      .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
10     .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
11     COMMON/DATA/    CARGA(400,60), COORD(1000,3), DESPL(3000),
12     .                INPRE(200,3), LNODS(400,20), MATNU(400),
13     .                NODPR(200), PRESC(200,3), PROPS(10,5)
14     COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
15     .                DBMAT(6,60), DCART(3,20), DERIV(3,20)
```

INTRODUCCION

9

```
16          .          DMATZ(6,6),FFORM(20),PESGT(7),
17          .          PESPG(3),POSGT(21),POSPG(7),TENSZ(6,60,27)
18          C
19          C*** LEE NUMERO DE PROBLEMAS A ANALIZAR
20          C
21          READ(5,900) NPROB
22          900 FORMAT(I5)
23          WRITE(6,905) NPROB
24          905 FORMAT(//10X,'NUMERO DE PROBLEMAS= ',I5)
25          C
26          C*** BUCLE SOBRE NUMERO DE PROBLEMAS
27          C
28          DO 10 IPROB=1,NPROB
29          READ(5,901) TITUL
30          901 FORMAT(A80)
31          WRITE(6,902) IPROB, TITUL
32          902 FORMAT(/,'PROBLEMA',I5,/, 'A80', ///)
33          REWIND 1
34          REWIND 3
35          C
36          C*** LEE DATOS GEOMETRICOS Y DEL MATERIAL
37          C
38          CALL DATOS
39          C
40          C*** CALCULA LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE LOS ELEMENTOS
41          C
42          CALL RIGIMAT
43          C
44          C*** BUCLE SOBRE LOS ESTADOS DE CARGA
45          C
46          DO 10 ICARG=1,NCARG
47          C
48          C*** LEE DATOS DE CARGAS Y CALCULA VECTOR DE FUERZAS NODALES EQUIVALENTES
49          C
50          CALL FUERZAS
51          C
52          C*** ENSAMBLA Y RESUELVE LAS ECUACIONES DE RIGIDEZ POR ELIMINACION GAUSSIANA
53          C
54          CALL SOLUCION
55          C
56          C*** CALCULA LAS TENSIONES EN LOS ELEMENTOS
57          C
58          CALL TENSIONES
59          C
60          10 CONTINUE
61          STOP
62          END
```

4 DESCRIPCIÓN DE LA SUBROUTINA DATOS

Recordemos que en la subrutina DATOS se lee toda la información relacionada con la geometría de la malla y las propiedades de los materiales. DATOS está organizada de manera que sirva para cualquier problema de estructuras analizado con elementos uni, bi o tridimensionales. Seguidamente se describen las partes fundamentales de esta subrutina.

4.1 Parámetros de control

Dado que CALSEF se ha escrito para que pueda ser utilizable en más de un tipo de problemas, es esencial definir al principio una serie de parámetros de control que establezcan las características propias de cada problema. Dichos parámetros son los siguientes:

- Número total de puntos nodales en la malla (NPNOD)
- Número total de elementos en la malla (NELEM)
- Número total de nodos con movimientos prescritos (NPRES)
- Número total de estados de carga a analizar (NCASO)
- Indicador de tipo de problema (NTIPO, = 1 tensión plana, = 2 deformación plana, = 3 sólido de revolución, = 4 sólido tridimensional, = 5 placas, = 6 lámina de revolución)
- Número de nodos por elemento (NNODE)
- Número de grados de libertad por nodo (NGDLN)
- Número de materiales diferentes en la estructura (NMATS)
- Número de propiedades del material que intervienen en la matriz constitutiva (NPROP)
- Orden de la cuadratura de Gauss utilizada (NGAUS)
- Número de coordenadas necesarias para definir un nodo (NDIME)
- Número de componentes del vector de tensiones (NTENS)

Recordemos que cuando uno de dichos parámetros comienza por la letra M su valor es el *máximo* que admite el programa.

4.2 Datos geométricos

La geometría de la malla puede definirse a partir de las conexiones nodales de cada elemento y las coordenadas de los nodos.

a) Definición de las conexiones nodales de los elementos

La geometría de cada elemento se define listando de manera sistemática sus nodos. Como en principio cada elemento puede tener diferentes propiedades del material, es conveniente asignar un número de identificación del material a cada elemento. Por consiguiente, los datos a leer para cada elemento son:

Número del elemento (NUMEL)
 Número del tipo de material del elemento (MATNU (NUMEL))
 Lista de los nodos del elemento (LNODS (NUMEL, INODE), INODE
 = 1, NNODE)

La definición de los nodos del elemento debe seguir siempre un mismo orden. Por ejemplo, es conveniente seguir siempre una secuencia antihoraria comenzando por un nodo esquina cualquiera.

b) *Definición de las coordenadas de los nodos*

Las coordenadas de los nodos se definen siempre con relación a un sistema cartesiano global. La información a leer para cada nodo es la siguiente:

Número del nodo (IPNOD)
 Coordenadas cartesianas del nodo (COORD (IPNOD, IDIME),
 IDIME= 1, NDIME)

Si el elemento es de lados rectos sólo es necesario introducir las coordenadas de los nodos esquina, pudiendo interpolarse a partir de éstos las coordenadas de los nodos en el punto medio de los lados [2].

4.3 Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno en los NPRES nodos con movimientos prescritos se leen de acuerdo con la secuencia siguiente:

Número del nodo prescrito (NODPR (IPRES))
 Indicador de los movimientos nodales prescritos (INPRE (IPRES,
 IGDLN), IGDLN= 1, NGDLN)
 Valores de los movimientos nodales prescritos (PRESC (IPRES,
 IGDLN), IGDLN= 1, NGDLN)

Si INPRE (IPRES, IGDLN)= 1 indica que el grado de libertad IGDLN del nodo prescrito IPRES está coaccionado. Por el contrario INPRE= 0 denota que dicho grado de libertad está libre. Esto permite coaccionar de manera selectiva los movimientos de cada nodo.

4.4 Propiedades del material

Deben leerse los parámetros del material necesarios para formar la matriz constitutiva **D**. Así, para cada material diferente la información a suministrar es la siguiente:

Número del tipo de material (NUMAT)
 Propiedades del tipo de material en cuestión (PROPS (NUMAT,
 IPROP), IPROP= 1, NPROP)

El orden de lectura de las propiedades del material es el siguiente: Módulo de Young, coeficiente de Poisson, espesor y peso específico. La lectura del espesor, junto con las propiedades del material es de gran utilidad en problemas de tensión plana, placas y láminas de espesor constante o en el caso de que el número de elementos con espesores diferentes sea pequeño. Si el espesor fuese variable, sería más conveniente leer el espesor como una propiedad nodal más al mismo tiempo que las coordenadas de los nodos. Naturalmente, en problemas de deformación plana se asigna al espesor un valor unidad. Por otra parte, en los de sólidos de revolución y tridimensionales, la lectura del espesor es irrelevante.

4.5 Subrutina GAUSS

La función de esta subrutina es definir las coordenadas y los pesos de la cuadratura de Gauss seleccionada para las integrales del elemento. En elementos unidimensionales cuadriláteros y hexagonales el orden de la cuadratura utilizada lo define la variable **NGAUS**, siendo entonces la cuadratura de orden: **NGAUS** en una dimensión, **NGAUS** × **NGAUS** en dos dimensiones y **NGAUS** × **NGAUS** × **NGAUS** en tres dimensiones. Las coordenadas y los pesos de los puntos de integración se almacenan en las variables **POSGP(·)** y **PESPG(·)**.

En elementos triangulares **NGAUS** define asimismo el orden de la cuadratura, estando en este caso las coordenadas y los pesos de los puntos de integración asignados a las variables **POSGT(·)** y **PESGT(·)**.

La subrutina Gauss de la versión de **CALSEF** que se lista en el Apéndice II permite la utilización de cuadraturas con **NGAUS=1, 2 y 3** para elementos unidimensionales y cuadriláteros y hexagonales, y **NGAUS=1,3 y 7** para elementos triangulares.

4.6 Preparación automática de datos

En muchos casos el mayor esfuerzo en el análisis de una estructura por elementos finitos se invierte en la preparación de los datos. Por este motivo, es conveniente disponer de medios informáticos auxiliares que permitan automatizar gran parte de las operaciones de la entrada de datos. Ejemplos de esto son las pantallas gráficas, plotters, digitalizadores y copiadoras gráficas. Asimismo, es muy útil disponer de programas para generación automática de mallas en dos y tres dimensiones y para su representación gráfica [5-7]. Con estos medios se pueden conseguir importantes ahorros en el tiempo de preparación de datos, así como en el de detección de los errores que inevitablemente se producen.

Los programas de generación y dibujo de la malla se incluirían en una hipotética subrutina **GENER** que podría ser llamada por **DATOS**. La descripción de dicha subrutina cae fuera del alcance de este capítulo. Los lectores

interesados en este tema pueden encontrar abundante información en las referencias [2], [5-14].

4.7 Subrutina de control de datos

Una vez leídos los datos geométricos y del material de la malla es importante realizar una serie de comprobaciones básicas que garanticen mínimamente la ausencia de errores antes de comenzar el cálculo de las matrices y vectores de cada elemento. Dichas comprobaciones pueden ser tan simples como comprobar que no se han asignado valores absurdos a los parámetros de control; que dichos valores son compatibles con las dimensiones de los vectores de los bloques COMMON; que todos los nodos aparecen alguna vez en algún elemento; que no hay dos nodos con el mismo número o mismas coordenadas, etc. Asimismo, puede comprobarse que las dimensiones características de la matriz de rigidez global (ancho de banda [2], ancho de frente [2], perfil [15, 16], etc.) no son superiores a los límites establecidos de acuerdo con el método de solución del sistema de ecuaciones utilizado. Dichas comprobaciones podrían efectuarse en una subrutina auxiliar **COMPROB** que sería llamada por **DATOS** una vez leídos los datos fundamentales de la geometría y propiedades mecánicas de la malla.

Por razones de brevedad no se incluyen aquí subrutinas de control de datos. Dichas subrutinas son fáciles de escribir, aunque siempre deben adecuarse al sistema de generación de datos disponible (manual, automático, etc.). En [2] se pueden encontrar ejemplos de subrutinas de control de datos compatibles con la organización del programa aquí presentado.

5 MATRIZ DE RIGIDEZ: SUBRUTINA **RIGIMAT**

Describiremos brevemente las operaciones para el cálculo de la matriz de rigidez de diferentes elementos en la subrutina **RIGIMAT**.

5.1 Tensión y deformación plana

En todos los casos utilizaremos una formulación *isoparamétrica* [4]. Recordemos la expresión general de la matriz de rigidez de un elemento plano [4]:

$$\mathbf{K}_{ij}^{(e)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \mathbf{B}_i^T \mathbf{D} \mathbf{B}_j t^{(e)} |\mathbf{J}^{(e)}| d\xi d\eta \quad (1)$$

donde $t^{(e)}$ es el espesor del elemento para tensión plana y $t^{(e)} = 1$ para deformación plana. Las matrices \mathbf{B}_i y \mathbf{D} se muestran en la Figura 4 y $\mathbf{J}^{(e)}$ es la clásica matriz Jacobiano de la transformación de coordenadas cartesianas (x, y) a naturales (ξ, η) .

Los elementos de $\mathbf{K}_{ij}^{(e)}$ se calculan numéricamente. Así, denominando

$$\mathbf{T}_{ij}^{(e)}(\xi, \eta) = \mathbf{B}_i^T \mathbf{D} \mathbf{B}_j t^{(e)} | \mathbf{J}^{(e)} | \quad (2)$$

la integración numérica para un elemento *cuadrilátero* con una cuadratura de Gauss de orden $m \times m$ se escribe como

$$\mathbf{K}_{ij}^{(e)} = \sum_{p=1}^m \sum_{q=1}^m \mathbf{T}_{ij}^{(e)}(\xi_p, \eta_q) W_p W_q \quad (3)$$

donde ξ_p y η_q son las coordenadas naturales de los puntos de integración y W_p y W_q los correspondientes pesos [4].

Para un elemento *triangular* con una cuadratura de orden m se tiene

$$\mathbf{K}_{ij}^{(e)} = \sum_{p=1}^m \mathbf{T}_{ij}^{(e)}(\alpha_p, \beta_p) W_p \quad (4)$$

En el programa se incluyen los elementos de elasticidad plana cuadriláteros isoparamétricos serendípticos de cuatro y ocho nodos y el lagrangiano de nueve nodos, así como los triangulares de tres y seis nodos (Figura 5). En todos los elementos cuadriláteros se recomienda una cuadratura 2×2 . Por otra parte, los elementos triangulares lineal y cuadrático precisan cuadraturas de uno y tres puntos, respectivamente [4].

5.2 Sólidos de revolución

Las expresiones de $\mathbf{K}_{ij}^{(e)}$ y $\mathbf{T}_{ij}^{(e)}$ son idénticas a las (1) y (2) para tensión y deformación plana sustituyendo simplemente $t^{(e)}$ por $2\pi r$, siendo r la coordenada radial. Las matrices \mathbf{B}_i y \mathbf{D} para este caso se muestran en la Figura 4.

Los elementos de sólido de revolución que se incluyen en *CALSEF* son los mismos que para elasticidad plana. Asimismo, se recomienda utilizar las mismas cuadraturas de integración.

5.3 Sólidos tridimensionales

La expresión de la matriz de rigidez es

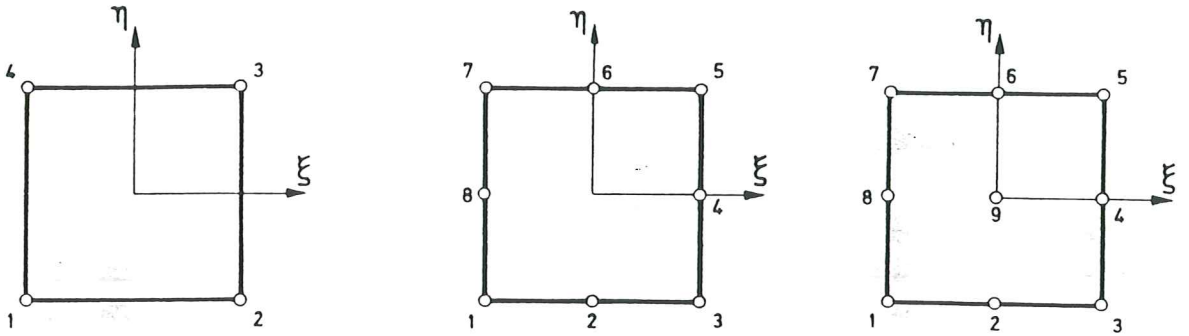
$$\mathbf{K}_{ij}^{(e)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \mathbf{T}_{ij}^{(e)} d\xi d\eta d\zeta \quad (5)$$

viniendo dado $\mathbf{T}_{ij}^{(e)}$ por (2), con $t^{(e)} = 1$. Las matrices \mathbf{B}_i y \mathbf{D} para este caso se muestran en la Figura 4.

	D	B_i
Tensión plana	$\frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} N_{i,x} & 0 \\ 0 & N_{i,y} \\ N_{i,y} & N_{i,x} \end{bmatrix}$
Deformación plana	$C_1 \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 \end{bmatrix}$ $C_1 = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad C_2 = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}$	$\begin{bmatrix} N_{i,x} & 0 \\ 0 & N_{i,y} \\ N_{i,y} & N_{i,x} \end{bmatrix}$
Sólidos de revolución	$C_1 \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} N_{i,r} & 0 \\ 0 & N_{i,z} \\ \frac{N_i}{r} & 0 \\ N_{i,z} & N_{i,r} \end{bmatrix}$
Elasticidad tridimensional	$C_1 \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} N_{i,x} & 0 & 0 \\ 0 & N_{i,y} & 0 \\ 0 & 0 & N_{i,z} \\ N_{i,y} & N_{i,x} & 0 \\ N_{i,z} & 0 & N_{i,x} \\ 0 & N_{i,z} & N_{i,y} \end{bmatrix}$
Placas (Reissner-Mindlin)	$\hat{\mathbf{D}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{D}}_f & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{D}}_c \end{bmatrix}$ $\hat{\mathbf{D}}_f = D_1 \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$ $\hat{\mathbf{D}}_c = D_2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ $D_1 = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}, \quad D_2 = \frac{Et\alpha}{2(1+\nu)}$	$\begin{bmatrix} 0 & -N_{i,x} & 0 \\ 0 & 0 & -N_{i,y} \\ 0 & -N_{i,y} & -N_{i,x} \end{bmatrix} \mathbf{B}_{f_i}$ $\begin{bmatrix} N_{i,x} & -N_i & 0 \\ N_{i,y} & 0 & -N_i \end{bmatrix} \mathbf{B}_{c_i}$
Láminas de revolución (Reissner Mindlin)	$\hat{\mathbf{D}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{D}}'_m & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{D}}'_f & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & D'_c \end{bmatrix}$ $\hat{\mathbf{D}}'_m = \frac{Et}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu \\ \nu & 1 \end{bmatrix}$ $\hat{\mathbf{D}}'_f = \frac{t^2}{12} \hat{\mathbf{D}}'_m, \quad D'_c = \frac{Et\alpha}{2(1+\nu)}$	$\begin{bmatrix} N_{i,s}C & N_{i,s}S & 0 \\ \frac{N_i}{x} & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{B}_{m_i}$ $\begin{bmatrix} 0 & 0 & -N_{i,s} \\ 0 & 0 & -\frac{N_i C}{x} \end{bmatrix} \mathbf{B}_{f_i}$ $\begin{bmatrix} -N_{i,s}S & N_{i,s}C & -N_i \end{bmatrix} \mathbf{B}_{s_i}$ $S = \text{sen } \phi, C = \text{cos } \phi$

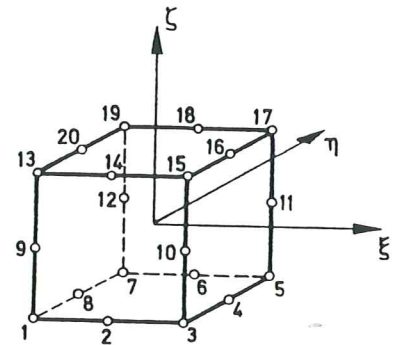
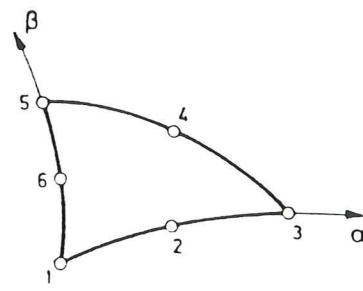
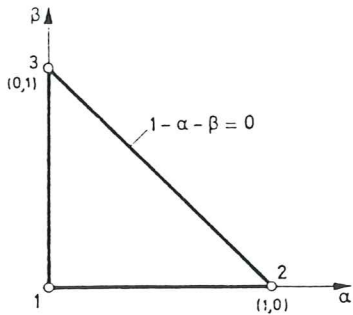
Figura 4 Matrices **D** y **B_i** para diferentes problemas ($N_{i,x} = \frac{\partial N_i}{\partial x}$, etc.).

Elementos cuadriláteros



Elementos triangulares

Elemento hexaédrico de 20 nodos



Elemento troncocónico de dos nodos

Elemento de placa de Reissner-Mindlin CLLL

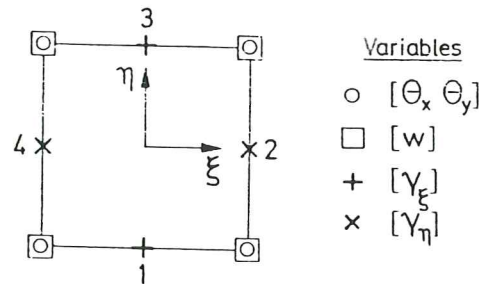
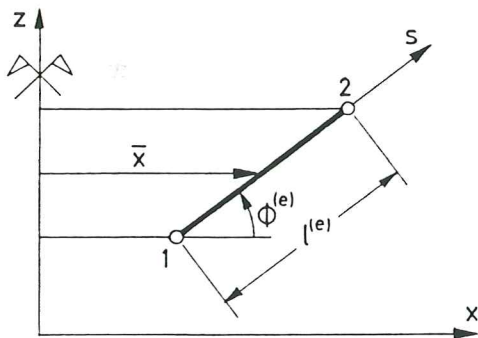


Figura 5 Elementos incluidos en el programa CALSEF.

En *CALSEF* se utiliza el elemento hexagonal isoparamétrico serendípito de veinte nodos (Figura 5) cuya matriz de rigidez se recomienda evaluar con una cuadratura de orden $2 \times 2 \times 2$ por

$$\mathbf{K}_{ij}^{(e)} = \sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^2 \sum_{r=1}^2 \mathbf{T}_{ij}^{(e)}(\xi_p, \eta_q, \zeta_r) W_p W_q W_r \quad (6)$$

5.4 Flexión de placas de Reissner-Mindlin. Elemento cuadrilátero de 4 nodos CLLL

Se incluye en el programa el elemento de placa de Reissner-Mindlin cuadrilátero de 4 nodos CLLL basado en una interpolación bi-lineal de los giros y la flecha y un campo de deformaciones de cortante impuesta también lineal. Los detalles de la formulación de este elemento pueden verse en la referencia [4].

Los términos *de flexión* de la matriz de rigidez se calculan por

$$\mathbf{K}_{fij}^{(e)} = \int_{-1}^{+1} \int_{-1}^{+1} \mathbf{B}_{f_i}^T \hat{\mathbf{D}}_f \mathbf{B}_{f_j} |\mathbf{J}^{(e)}| d\xi d\eta \quad (7)$$

donde la matrices \mathbf{B}_{f_i} y \mathbf{D}_f se muestran en la Figura 4. La matriz anterior se calcula por una cuadratura 2×2 como

$$\mathbf{K}_{fij}^{(e)} = \sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^2 [\mathbf{B}_{f_i}^T \hat{\mathbf{D}}_f \mathbf{B}_{f_j} |\mathbf{J}^{(e)}|]_{p,q} W_p W_q \quad (8)$$

Por otra parte, los términos de la matriz de rigidez de cortante se calculan también por una cuadratura 2×2 por

$$\mathbf{K}_{c_{ij}}^{(e)} = \sum_{p=1}^2 \sum_{q=1}^2 [\hat{\mathbf{B}}_{c_i}^T \hat{\mathbf{D}}_c \hat{\mathbf{B}}_{c_j} |\mathbf{J}^{(e)}|]_{p,q} W_p W_q \quad (9)$$

donde $\hat{\mathbf{B}}_c$ es la matriz de deformación de cortante sustitutiva. El cálculo de esta matriz se efectúa en la subrutina **BCORTE** (ver Figura 6).

5.5 Láminas de revolución de Reissner-Mindlin. Elemento troncocónico de dos nodos

El programa incluye el elemento de lámina de revolución de Reissner-Mindlin de dos nodos cuya matriz de rigidez viene dada por

$$\mathbf{K}_{ij}^{(e)} = 2\pi \int_{-1}^{+1} \mathbf{T}_{ij}^{(e)} r d\xi \quad (10)$$

siendo ahora $|J^{(e)}| = \frac{l^{(e)}}{2}$. Las matrices B_i y D para este caso se muestran en la Figura 4.

Como es bien conocido el buen funcionamiento de este elemento exige únicamente una cuadratura de un solo punto [4]. Por consiguiente

$$K_{ij}^{(e)} = 2\pi l^{(e)} [B_i^T D B_j r]_{\xi} = 0 \quad (11)$$

En la Figura 6 se presenta el diagrama de flujo de *RIGIMAT*. Obsérvese que se han supuesto propiedades del material constantes sobre el elemento y el cálculo de la matriz constitutiva D se efectúa antes del bucle sobre los puntos de integración. En el caso de propiedades variables bastaría con incluir la evaluación de D dentro de dicho bucle.

El contenido de las diferentes subrutinas que intervienen en *RIGIMAT* puede estudiarse con detalle en el listado que se presenta en el Apéndice II.

6 SUBROUTINA FUERZAS

6.1 Consideraciones generales.

Presentaremos seguidamente la subrutina de cálculo de fuerzas nodales equivalentes para los diferentes elementos considerados. Se tendrán en cuenta los siguientes tipos de fuerzas exteriores:

Fuerzas puntuales nodales (IPUNT \neq 0): para todos los elementos del programa.

Peso propio (IPESO \neq 0): para todos los elementos del programa.

Fuerzas distribuidas sobre el elemento (IDIST \neq 0): para los elementos de placa CLLL y tronco cónico de dos nodos.

Fuerzas repartidas sobre un lado (ILADO \neq 0): para los elementos de elasticidad bidimensional y sólidos de revolución.

La actuación de los distintos tipos de fuerzas se controla asignando un valor diferente de cero a los parámetros de control IPUNT, IPESO, IDIST y ILADO.

En la Figura 7 se presenta el diagrama de flujo de la subrutina *FUERZAS*. En los apartados siguientes se detallan los módulos de fuerzas puntuales, peso propio, fuerzas repartidas sobre un lado y fuerzas distribuidas sobre el elemento que integran las diferentes partes de dicha subrutina.

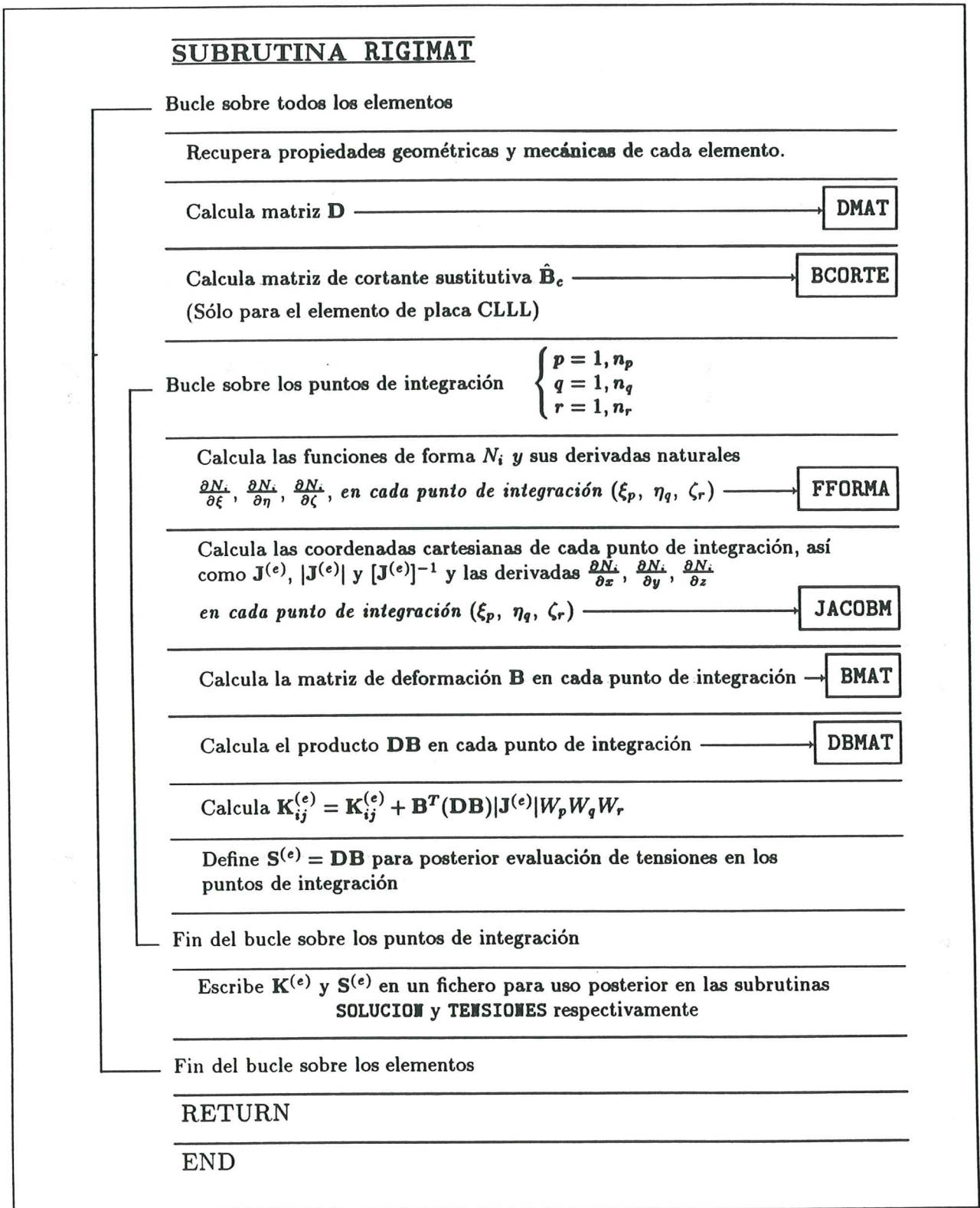


Figura 6 Diagrama de flujo de la subrutina RIGIMAT.

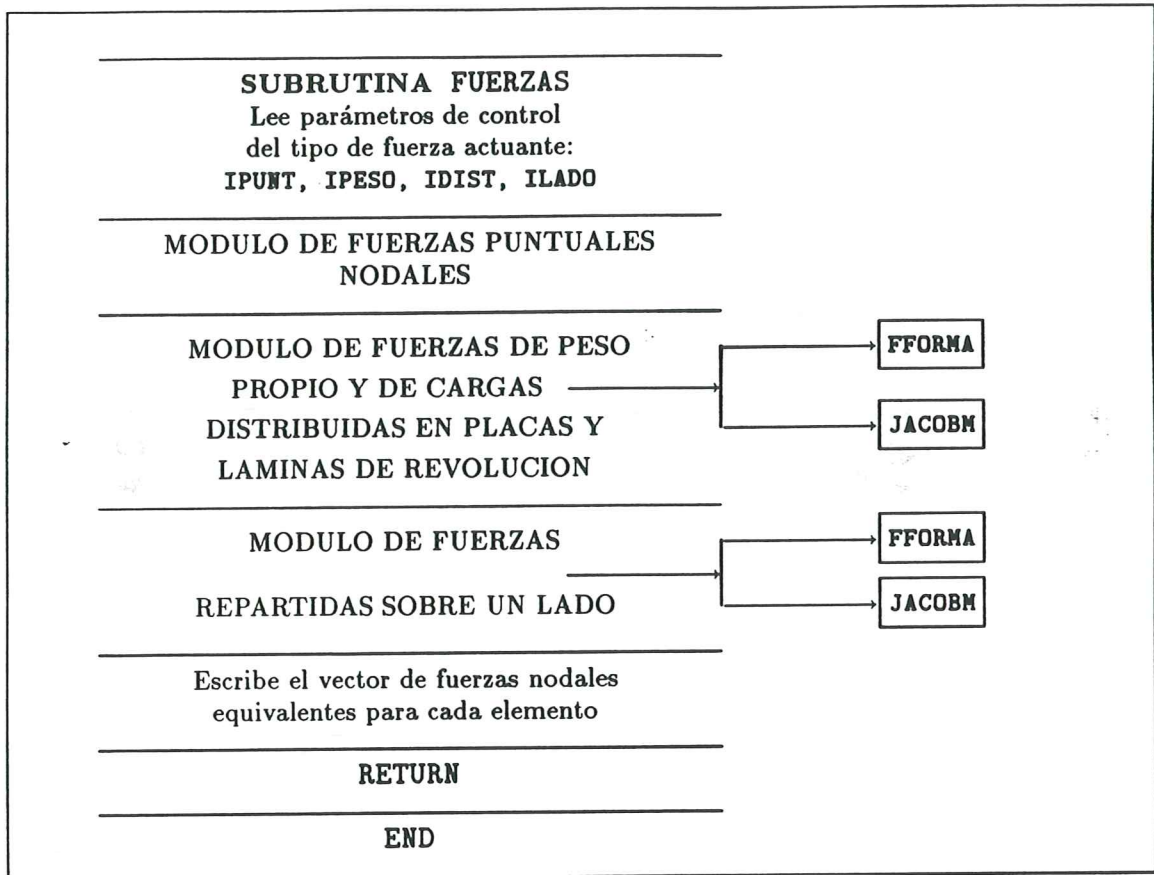


Figura 7 Diagrama de flujo de la subrutina **FUERZAS** para cálculo de fuerzas nodales equivalentes de cada elemento.

6.2 Fuerzas puntuales nodales

Para mayor sencillez consideraremos que las fuerzas puntuales exteriores actúan directamente sobre un nodo. El vector de fuerzas nodales es en este caso simplemente

$$\mathbf{f}_i = \mathbf{p}_i \quad (12)$$

siendo \mathbf{p}_i el vector de fuerzas puntuales actuando sobre el nodo de numeración global i .

Si las fuerzas puntuales no actúan sobre un nodo es preciso hacer uso del Principio de los Trabajos Virtuales. Así igualando el trabajo virtual de las fuerzas nodales con el de las puntuales exteriores \mathbf{p} , se encuentra

$$[\delta \mathbf{a}^{(e)}]^T \mathbf{f}^{(e)} = [\delta \mathbf{a}^{(e)}]^T \mathbf{N}^T(\xi_p, \eta_p) \mathbf{p} \quad (13)$$

y, por consiguiente

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = \mathbf{N}_i^T(\xi_p, \eta_p)\mathbf{P} \quad (14)$$

siendo ξ_p, η_p las coordenadas naturales del punto de aplicación de las fuerzas puntuales \mathbf{p} . Dichas coordenadas pueden calcularse resolviendo el sistema de ecuaciones (generalmente no lineal) obtenido de la definición isoparamétrica del elemento

$$\mathbf{x}_p = \mathbf{N}(\xi_p, \eta_p)\mathbf{x}^{(e)} \quad (15)$$

siendo \mathbf{x}_p las coordenadas cartesianas conocidas del punto de aplicación de la fuerza. La programación del cálculo de ξ_p y η_p no es complicada, aunque no se incluye en la versión del programa del Apartado II.

6.3 Peso propio

Las fuerzas de peso propio equivalen a una fuerza másica actuando por unidad de superficie/volumen en dirección de la gravedad, que para mayor sencillez supondremos vertical. Así, pues, las fuerzas de peso propio para los diferentes elementos de **CALSEF** se obtienen por [4]:

Elementos de elasticidad bidimensional, sólido de revolución y de placa

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = - \int \int_{A^{(e)}} \mathbf{N}_i^T \rho g \mathbf{c} dA = - \sum_{p=1}^{n_p} \sum_{q=1}^{n_q} (\mathbf{N}_i^T \rho g \mathbf{c} | \mathbf{J}^{(e)} |)_{p,q} W_p W_q \quad (16)$$

donde ρ es la densidad y g el valor de la constante de gravedad. Los valores del vector \mathbf{c} para cada tipo de problema se muestran en la Figura 8.

La cuadratura para el cálculo de (16) suele ser la misma que para el de la matriz de rigidez, aún a costa de introducir un cierto error en el cálculo. No obstante, este error es de poca importancia y suele compensarse con los errores en la evaluación de la matriz de rigidez.

	Deformación plana	Tensión plana	Sólido de revolución	Placas
\mathbf{c}	$[1, 0]^T$	$t^{(e)} [1, 0]^T$	$2\pi r [1, 0]^T$	$t^{(e)} [1, 0, 0]^T$

Figura 8 Valores del vector \mathbf{c} en (16).

Elementos de sólido tridimensional

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = - \int \int \int_{V^{(e)}} \mathbf{N}_i^T \rho g c dV = - \sum_{p=1}^{n_p} \sum_{q=1}^{n_q} \sum_{r=1}^{n_r} (\mathbf{N}_i^T \rho g c |J^{(e)}|)_{p,q,r} W_p W_q W_r \quad (17)$$

con $\mathbf{c} = [1, 0, 0]^T$. Para el elemento hexaédrico de 20 nodos es usual utilizar la misma cuadratura $2 \times 2 \times 2$ que para el cálculo de la matriz de rigidez.

Elemento de lámina de revolución troncocónico de dos nodos

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = 2\pi \int_{l^{(e)}} \mathbf{N}_i^T \mathbf{c} \rho g t^{(e)} r ds = \pi l^{(e)} \sum_{p=1}^{n_p} (\mathbf{N}_i^T \mathbf{c} \rho g t^{(e)} r)_p W_p \quad (18a)$$

con $\mathbf{c} = [1, 0]^T$. Si el espesor $t^{(e)}$ es constante una cuadratura de Gauss de dos puntos proporciona la integración exacta de (18). En el programa, no obstante, se utiliza la más sencilla expresión analítica para este caso dada por

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = \frac{\pi l^{(e)} c_i}{3} [t \mathbf{b}^{(e)} + t^{(e)}] + 2\pi x_i \mathbf{p}_i^{(e)} \quad , \quad i = 1, 2 \quad (18b)$$

6.4 Fuerzas distribuidas sobre un elemento

En placas y láminas de revolución es usual el caso de fuerzas distribuidas de intensidad q actuando sobre todo un elemento y en dirección normal al mismo. Los vectores de fuerzas nodales equivalentes se obtienen en cada caso por

Elemento de placa

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = \int \int_{A^{(e)}} N_i \begin{Bmatrix} q \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} dA = \sum_{p=1}^{n_p} \sum_{q=1}^{n_q} \left(N_i \begin{Bmatrix} q \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} |J^{(e)}| \right)_{p,q} W_p W_q \quad (19)$$

Para el elemento placa de 4 nodos CLLL utilizado en el programa se toma $n_p = n_q = 2$. Un valor positivo de q indica que el sentido de la fuerza coincide ahora con en el eje z .

Elemento de lámina de revolución

$$\mathbf{f}_i^{(e)} = 2\pi \int_{l^{(e)}} N_i \begin{Bmatrix} -qS^{(e)} \\ qC^{(e)} \\ 0 \end{Bmatrix} r ds = 2\pi \sum_{p=1}^{n_p} \left(N_i \begin{Bmatrix} -qS^{(e)} \\ qC^{(e)} \\ 0 \end{Bmatrix} \frac{ds}{d\xi} r \right)_p W_p \quad (20)$$

Para el elemento troncocónico de dos nodos utilizado en el programa se supone que q es constante, con lo que la expresión de $\mathbf{f}_i^{(e)}$ se deduce directamente de (18b). Obsérvese que el sentido de q coincide con el definido en la Figura 9.

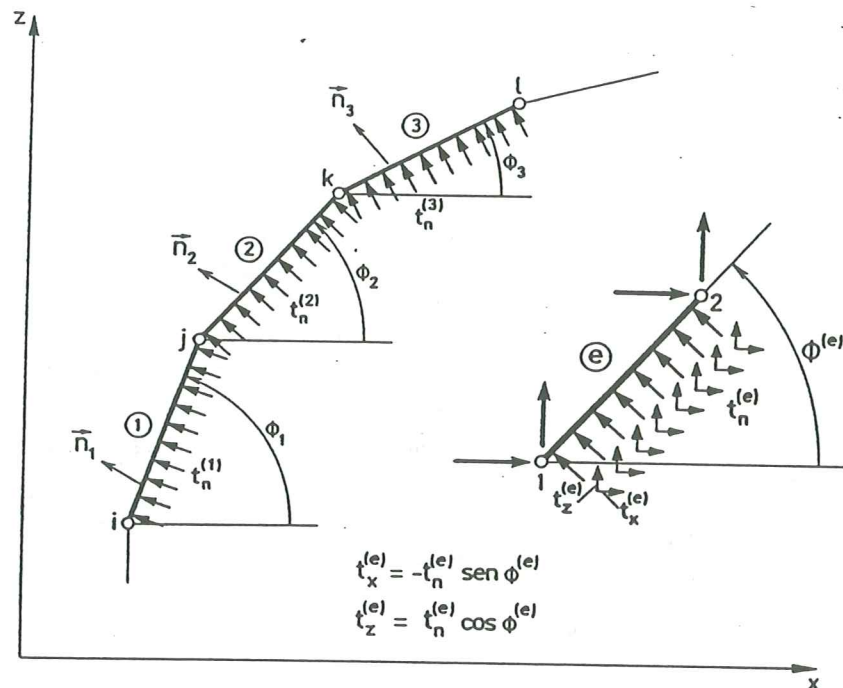


Figura 9 Presión interior en una lámina de revolución. Transformación a ejes globales.

6.5 Fuerzas repartidas sobre un lado

Sobre los lados de los elementos de elasticidad bidimensional y de sólidos de revolución puede actuar una carga repartida por *unidad de longitud* en direcciones normal y tangencial, como se muestra en la Figura 10. Estas cargas no tienen porqué ser uniformes y su intensidad puede variar a lo largo del lado. Dicha variación se define por los valores de las fuerzas en los nodos del lado cargado.

Para ser coherente con el orden de numeración de las conexiones nodales, los nodos del lado cargado deben listarse en una secuencia antihoraria. Así, considerando el elemento 2 de la Figura 10 el lado cargado sería el 6-7-8, y para el elemento 1, el 8-7-6.

Una presión normal a un lado se considerará positiva si va dirigida *hacia el interior* del elemento. Por otra parte, una carga tangencial será positiva si actúa en dirección antihoraria con respecto al lado cargado. Estas definiciones son necesarias para evitar confusiones cuando las fuerzas distribuidas actúan sobre lados comunes a dos elementos, siendo importante advertir que en dicho caso la carga sólo debe asignarse a un solo elemento. Así, por ejemplo, si en la Figura 10 las cargas se suponen actuando sobre el elemento 1, los valores de las presiones normales y tangenciales se considerarán negativos, mientras si se suponen actuando sobre el elemento 2 dichos valores serían positivos.

Denominaremos σ_i y τ_i , donde i varía de 1 al número de nodos en el lado, a los valores nodales de las cargas normales y tangenciales repartidas sobre

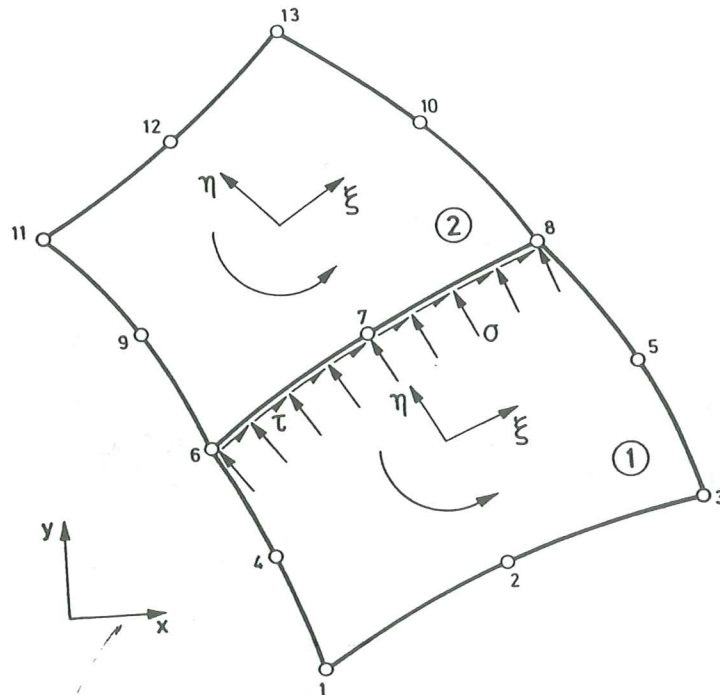


Figura 10 Fuerzas repartidas actuando sobre un lado de un elemento.

el lado n_l ($n_l = 2/3$ para los elementos lineales/ cuadráticos). La intensidad de carga repartida en cualquier punto del lado viene dada por

$$\begin{Bmatrix} \sigma \\ \tau \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^{n_l} N_i(\xi) \begin{Bmatrix} \sigma_i \\ \tau_i \end{Bmatrix} \quad (21)$$

donde $N_i(\xi)$ son las funciones de forma unidimensionales definidas por el número de nodos del lado cargado (lineales para $n_l = 2$ y cuadráticas para $n_l = 3$).

El vector de fuerzas equivalentes nodales en ejes x e y se obtiene como se explica con detalle en la referencia [4]. La expresión final de dicho vector puede escribirse como

$$\mathbf{f}_{t_i}^{(e)} = \sum_{p=1}^{n_p} \left[c N_i \begin{Bmatrix} \tau J_{11} - \sigma J_{12} \\ \tau J_{11} + \sigma J_{12} \end{Bmatrix} t \right]_p^{(e)} W_p \quad (22)$$

donde $c = 1$ para problemas de elasticidad plana y $c = 2\pi r$ para elasticidad de revolución; J_{ij} es el término ij de la matriz jacobiano y n_p el número de puntos de la cuadratura unidimensional sobre el lado cargado. Los valores de σ y τ en cada punto de integración se obtienen utilizando (21).

- 1) *Etapa de ensamblaje.* Consiste en ensamblar la matriz de rigidez global K y el vector de fuerzas nodales f a partir de las contribuciones de los diferentes elementos de la malla.
- 2) *Etapa de reducción.* Consiste en reducir el sistema de ecuaciones original $Ka = f$ a la forma (23). Esto se efectúa empleando la ecuación i -ésima para eliminar la variable a_i de todas las ecuaciones inferiores, es decir, de la ecuación $i + 1$ a la n . Formalmente esto puede efectuarse sustrayendo de la ecuación r -ésima ($i < r \leq n$) la ecuación i -ésima multiplicada por ${}^{(i)}K_{ri}/{}^{(i)}K_{ii}$, donde el índice i indica que dichos coeficientes se han modificado $i - 1$ veces antes de la eliminación de a_i . Por ejemplo, la primera ecuación se utiliza para eliminar a_1 de las ecuaciones 2 a n , como

$$\begin{aligned}
 K_{11}a_1 + K_{12}a_2 + K_{13}a_3 + \dots + K_{1n}a_n &= f_1 \\
 0 \cdot a_1 + \left(K_{22} - K_{12} \frac{K_{21}}{K_{11}}\right) a_2 + \left(K_{23} - K_{13} \frac{K_{21}}{K_{11}}\right) a_3 + \dots + \left(K_{2n} - K_{1n} \frac{K_{21}}{K_{11}}\right) a_n &= \\
 &= f_2 - f_1 \frac{K_{21}}{K_{11}} = f'_2 \\
 \dots & \\
 0 \cdot a_1 + \left(K_{n2} - K_{12} \frac{K_{n1}}{K_{11}}\right) a_2 + \left(K_{n3} - K_{13} \frac{K_{n1}}{K_{11}}\right) a_3 + \dots + \left(K_{nn} - K_{1n} \frac{K_{n1}}{K_{11}}\right) a_n &= \\
 &= f_n - f_1 \frac{K_{n1}}{K_{11}} = f'_n \qquad (24)
 \end{aligned}$$

A continuación se utiliza la ecuación 2 para eliminar a_2 de todas las ecuaciones y así sucesivamente. Adviértase que se mantiene la simetría en el sistema de ecuaciones modificado.

Si un movimiento está prescrito, por ejemplo $a_2 = \bar{a}_2$, la incógnita pasa a ser la reacción correspondiente f_2 . En este caso, la eliminación de a_2 es trivial y todo lo que hay que hacer es sustituir $a_2 = \bar{a}_2$ en todas las ecuaciones y transferir la cantidad conocida $K'_{r2}\bar{a}_2$ ($3 \leq r \leq n$) al segundo miembro de cada ecuación, como se ilustra seguidamente

$$\begin{aligned}
 K_{11}a_1 + K_{12}\bar{a}_2 + K_{13}a_3 + \dots + K_{1n}a_n &= f_1 \\
 0 \cdot a_1 + K'_{22}\bar{a}_2 + K'_{23}a_3 + \dots + K'_{2n}a_n &= f'_2 \\
 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + K'_{33}a_3 + \dots + K'_{3n}a_n &= f'_3 - K'_{32}\bar{a}_2 \\
 \dots & \\
 0 \cdot a_1 + 0 \cdot a_2 + K'_{n3}a_3 + \dots + K'_{nn}a_n &= f'_n - K'_{n2}\bar{a}_2
 \end{aligned} \qquad (25)$$

Si el movimiento está prescrito a un valor nulo es más sencillo prescindir directamente de la fila y columna correspondientes a dicho movimiento y calcular la reacción a posteriori una vez resuelto el sistema.

En el proceso de reducción puede hacerse uso de las ventajas de la *simetría* de la matriz de rigidez global. Ello permite reducir sólo los términos

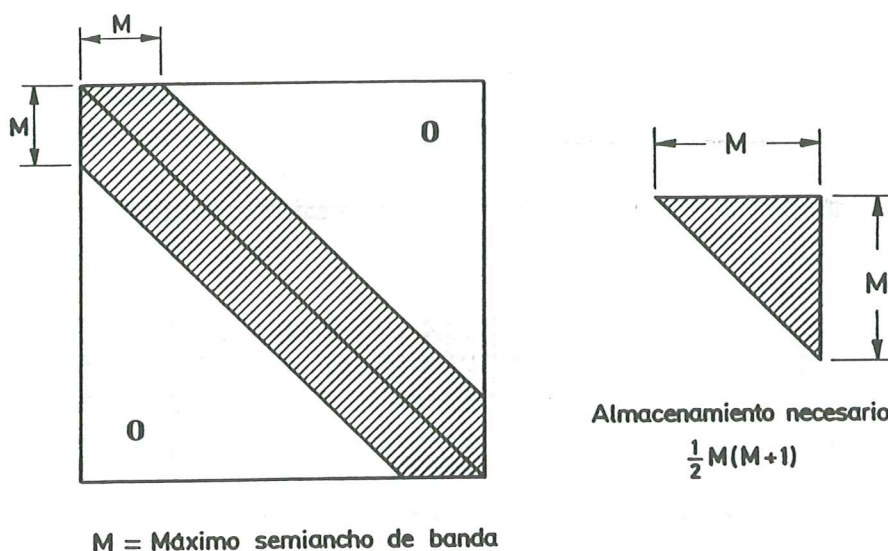


Figura 11 Matriz de rigidez en banda.

sobre y por arriba de la diagonal principal de \mathbf{K} , obteniéndose el resto por simetría, con el consiguiente ahorro de cálculo.

En la mayor parte de los problemas estructurales \mathbf{K} tiene forma de banda, con ceros fuera de una banda simétrica con respecto a la diagonal principal (Figura 11). Dicha forma en banda permite introducir considerables economías en el proceso de solución del sistema, ya que en cada instante sólo es necesario almacenar la matriz triangular superior de una submatriz de dimensiones $M \times M$, siendo M el semi-ancho de banda. Por consiguiente, los requisitos de almacenaje son de $\frac{1}{2}M(M + 1)$ números. El valor de M depende de cómo se numeran los nodos en la malla. Puede demostrarse que $M = (D + 1) \cdot \text{NDGDL}$ siendo D la máxima diferencia entre los números de dos nodos pertenecientes a cualquiera de los elementos de la malla [2].

Lo anterior evidencia la importancia de escoger una numeración nodal tal que el valor de M sea mínimo. Esto en general no es sencillo, sobre todo para mallas grandes, y en estos casos suele acudir a programas que automáticamente proporcionan una numeración nodal óptima. Una alternativa es utilizar otros métodos de solución en los que el orden de numeración nodal sea irrelevante. Entre éstos se encuentra el método **FRONTAL** en el que la capacidad de almacenamiento necesaria viene condicionada por la numeración de los elementos y no de los nodos, lo que facilita la etapa de preproceso. El método **FRONTAL** es una modificación del de eliminación Gaussiana y se basa en realizar el ensamblaje de las ecuaciones y la eliminación de las variables de manera simultánea. Así, una vez ensamblada la matriz de rigidez de un nuevo elemento, se eliminan las

variables nodales que no se verán afectadas por posteriores ensamblajes, con lo que el espacio asignado a los coeficientes de rigidez de dichas variables puede ser ocupado por el de nuevas variables al ensamblar las ecuaciones, de otro elemento, y así sucesivamente. Esto reduce considerablemente los requisitos de almacenaje y el número de operaciones aritméticas, a costa, sin embargo, de incrementar sensiblemente la complejidad del algoritmo de solución. Una descripción detallada del método **FRONTAL** puede encontrarse en la referencia [2].

En el Apéndice II se presenta el listado de las subrutinas **SOLUCION**, **ENSAMBLA**, **REDUCE** y **SUSTITUIR** para resolver el sistema de ecuaciones utilizando el método de eliminación Gaussiana explicado. Como nota característica se destaca que en dichas subrutinas los términos de la matriz de rigidez se almacenan en un vector siguiendo una secuencia a lo largo de la banda, prescindiéndose de los coeficientes nulos situados fuera de la misma, con la consiguiente economía de

8 CALCULO DE LAS TENSIONES ELEMENTALES. SUBROUTINA TENSION

Como es usual las tensiones se calculan inicialmente en los puntos de integración y a partir de dichos valores se procede a su extrapolación a los nodos y al subsecuente alisado nodal si se desea [4]. Así, las tensiones en el punto de Gauss p se obtienen por

$$(\sigma)_p = \sum_{i=1}^n (DB_i)_p a_i \quad (26)$$

Recordemos que durante el cálculo de la matriz de rigidez en **RIGIMAT** se evalúa el producto **DB** en cada punto de Gauss, almacenándose la matriz resultante en un fichero, juntamente con las coordenadas cartesianas de los puntos de Gauss. Por consiguiente, para efectuar los productos de (26) basta con leer para cada elemento la información almacenada en dicho fichero, evitándose así repetir el cálculo de las matrices **B** y **D** en cada punto de Gauss.

En el Apéndice II se presenta el listado de la subrutina **TENSIONES** donde se efectúan esas operaciones. No se incluye en la misma el cálculo de tensiones principales, estando este incluido en el programa de postproceso gráfico **PCDIB** que se adjunta con **CALSEF** y cuya descripción se presenta en el Apéndice III.

Si se incluye en **CALSEF**, sin embargo, una subrutina de extrapolación de los valores de las tensiones de los valores de las tensiones en los puntos de Gauss a los nodos siguiendo la técnica de extrapolación y alisado global descritas en la referencia [4].

9 EJEMPLOS DE UTILIZACION DEL PROGRAMA *CALSEF*

A efectos meramente ilustrativos se presentan tres sencillos ejemplos de aplicación del programa *CALSEF* a los problemas siguientes:

- Cilindro de pared gruesa bajo presión interior analizado con una malla de 2×2 elementos cuadriláteros Serendíptos de 8 nodos.
- Placa cuadrada gruesa simplemente apoyada bajo carga uniforme, analizada con una malla de 2×2 elementos cuadriláteros de Reissner-Mindlin de 4 nodos CLLL.
- Placa circular delgada empotrada bajo carga uniforme analizada con una malla de 10 elementos de placa de revolución (truncocónicos) de Reissner-Mindlin de dos nodos.

Para cada problema analizado se presentan los listados de los datos y de la salida de resultados. Las tensiones nodales que se listan se han obtenido mediante la técnica de extrapolación y alisado global, utilizando un campo *lineal* de tensiones. Esto proporciona directamente los valores alisados de las tensiones en los nodos esquina de cada elemento. En elementos cuadráticos, las tensiones en los nodos intermedios laterales se han obtenido por simple interpolación lineal de los valores en los nodos esquina correspondientes.

9.1 Cilindro de pared gruesa bajo presión interior.

Dada la geometría del problema basta con analizar un cuarto de la estructura. La geometría y la malla de 2×2 elementos cuadriláteros Serendíptos de 8 nodos utilizada se muestran en la Figura 12a, así como las propiedades del material. En la Figura 12b se han representado los resultados obtenidos con las malla de 2×2 y 3×3 elementos para la variación de las tensiones nodales σ_x y σ_y a lo largo de la línea radial $y = 0$. En esa línea ambas tensiones coinciden precisamente con los valores radial y circunferencial, respectivamente. Se observa la buena coincidencia de estos resultados con la solución teórica [20].

A continuación se presentan los listados de los datos del problema y de la salida de resultados.

LISTADO DE DATOS (CILINDRO DE PARED GRUESA)

1

CILINDRO DE PARED GRUESA BAJO PRESION INTERNA

21	4	10	1	2	8	2	1	5	2	2	3	1	1
1	1	1	10	2	13	5	15	4	12				
2	1	2	11	3	14	6	16	5	13				
3	1	4	15	5	18	8	20	7	17				

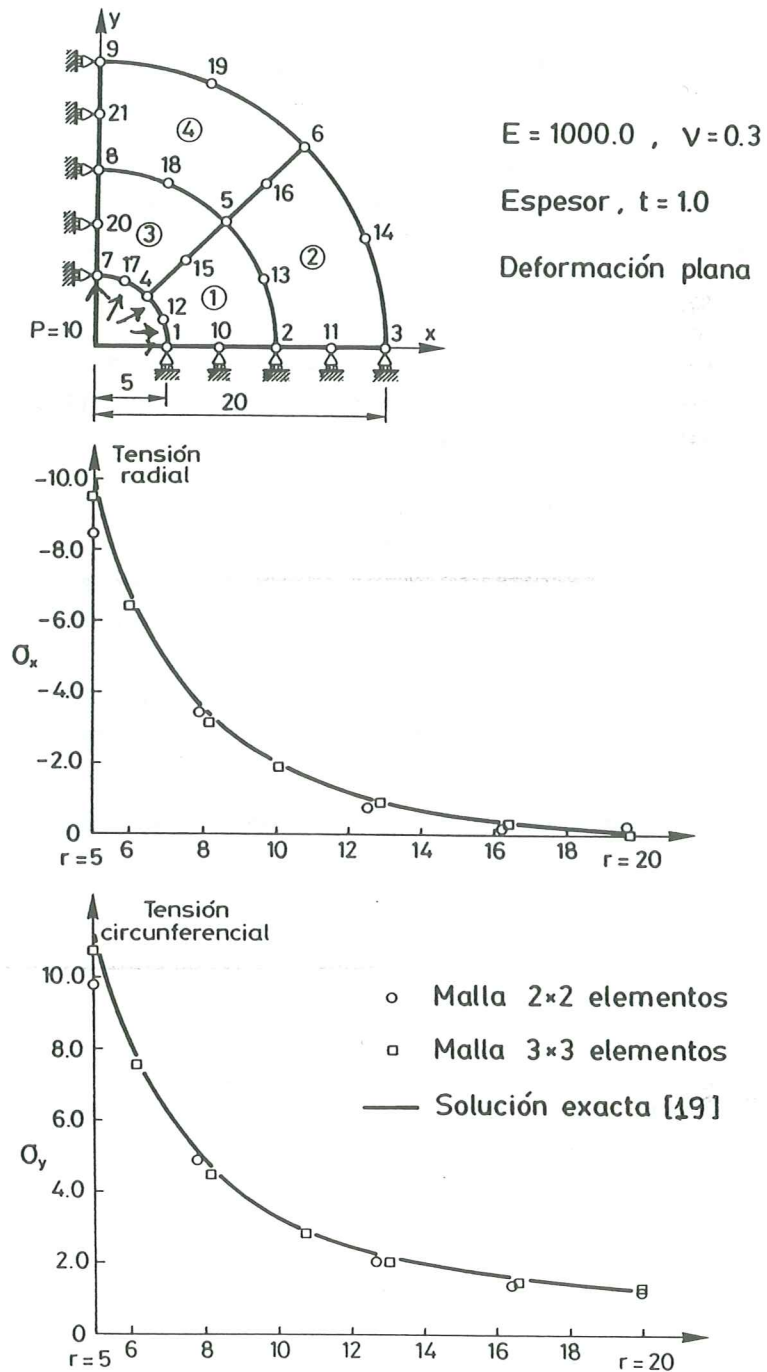


Figura 12 Cilindro de pared gruesa bajo presión interior analizado con elementos de deformación plana Serendípticos de 8 nodos. Resultados de las tensiones σ_x y σ_y a lo largo de la línea $y = 0$.

4	1	5	16	6	19	9	21	8	18
1	5.00000	0.00000							
2	12.50000	0.00000							
3	20.00000	0.00000							
4	3.53600	3.53600							
5	8.83900	8.83900							
6	14.14200	14.14200							
7	0.00000	5.00000							
8	0.00000	12.50000							
9	0.00000	20.00000							
10	8.75000	0.00000							
11	16.25000	0.00000							
12	4.61900	1.91300							
13	11.54800	4.78400							
14	18.47800	7.65400							
15	6.18700	6.18700							
16	11.49000	11.49000							
17	1.91300	4.61900							
18	4.78400	11.54800							
19	7.65400	18.47800							
20	0.00000	8.75000							
21	0.00000	16.25000							
1	01								
2	01								
3	01								
7	10								
8	10								
9	10								
10	01								
11	01								
20	10								
21	10								
1		1.0e+03			0.3		1.0		18000.0

PRESION INTERIOR

0	0	1							
2	3								
1	4	12	1						
10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		
3	7	17	4						
10.0000	10.0000	10.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		

LISTADO DE RESULTADOS(CILINDRO DE PARED GRUESA)

CILINDRO DE PARED GRUESA BAJO PRESION INTERNA

NPNOB = 21	NELEM = 4	NPRES = 10	NCARG = 1	NTIPO = 2
NNOB = 8	NGDLN = 2	NMATS = 1	NPROP = 5	NGAUS = 2
NDIME = 2	NTENS = 3	NEVAB = 16	IWRIT = 1	

ELEMENTO	PROPIEDAD	NUMERO DE NODOS							
1	1	1	10	2	13	5	15	4	12
2	1	2	11	3	14	6	16	5	13
3	1	4	15	5	18	8	20	7	17
4	1	5	16	6	19	9	21	8	18

COORDENADAS DE PUNTOS NODALES

NODO	X	Y
1	5.000	0.000
2	12.500	0.000
3	20.000	0.000
4	3.536	3.536
5	8.839	8.839
6	14.142	14.142
7	0.000	5.000
8	0.000	12.500
9	0.000	20.000
10	8.750	0.000
11	16.250	0.000
12	4.619	1.913
13	11.548	4.784
14	18.478	7.654
15	6.187	6.187
16	11.490	11.490
17	1.913	4.619
18	4.784	11.548
19	7.654	18.478
20	0.000	8.750
21	0.000	16.250

NODOS RESTRINGIDOS Y PRESCRIPCIONES

NODO	CODIGO	VALORES PRESCRITOS	
1	01	0.00000	0.00000
2	01	0.00000	0.00000
3	01	0.00000	0.00000
7	10	0.00000	0.00000
8	10	0.00000	0.00000
9	10	0.00000	0.00000
10	01	0.00000	0.00000
11	01	0.00000	0.00000
20	10	0.00000	0.00000
21	10	0.00000	0.00000

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

NUMERO	PROPIEDADES				
1	0.10000E+04	0.30000E+00	0.10000E+01	0.18000E+05	0.00000E+00
PRESION INTERIOR		CASO DE CARGA=			1
0	0	1	0		

NUMERO DE LADOS CARGADOS= 2
 NUMERO DE NODOS EN LADO= 3

LADOS CARGADOS Y CARGAS ACTUANTES

1	4	12	1			
10.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000	
3	7	17	4			
10.000	10.000	10.000	0.000	0.000	0.000	

DESPLAZAMIENTOS

NODO	X-DESP.	Y-DESP.
1	0.715931E-01	0.000000E+00
2	0.322482E-01	0.000000E+00
3	0.242626E-01	0.000000E+00
4	0.506223E-01	0.506223E-01
5	0.228008E-01	0.228008E-01
6	0.171576E-01	0.171576E-01
7	0.000000E+00	0.715931E-01
8	0.000000E+00	0.322482E-01
9	0.000000E+00	0.242626E-01
10	0.425419E-01	0.000000E+00
11	0.269922E-01	0.000000E+00
12	0.653934E-01	0.270816E-01
13	0.295317E-01	0.122348E-01
14	0.224177E-01	0.928497E-02
15	0.300814E-01	0.300814E-01
16	0.190871E-01	0.190871E-01
17	0.270816E-01	0.653934E-01
18	0.122348E-01	0.295317E-01
19	0.928497E-02	0.224177E-01
20	0.000000E+00	0.425419E-01
21	0.000000E+00	0.269922E-01

REACCIONES

NODO	X-FUERZA	Y-FUERZA
1	0.000000E+00	-0.106784E+02
2	0.000000E+00	-0.434477E+01
3	0.000000E+00	-0.155403E+01
7	-0.106784E+02	0.000000E+00
8	-0.434477E+01	0.000000E+00
9	-0.155403E+01	0.000000E+00
10	0.000000E+00	-0.247160E+02
11	0.000000E+00	-0.870688E+01
20	-0.247160E+02	0.000000E+00
21	-0.870688E+01	0.000000E+00

TENSIONES EN PUNTOS DE INTEGRACION

P.G.	X-COORD	Y-COORD	X-TENS.	Y-TENS.	XY-TENS.	Z-TENS.
------	---------	---------	---------	---------	----------	---------

ELEMENTO NO.= 1

1	6.4857	1.1116	-0.53466E+01	0.66785E+01	-0.21277E+01	0.39958E+00
2	5.3722	3.7999	-0.14615E+01	0.27954E+01	-0.60130E+01	0.40018E+00
3	10.7508	1.8431	-0.13675E+01	0.27007E+01	-0.71229E+00	0.39997E+00
4	8.9050	6.2991	-0.45475E-01	0.13789E+01	-0.20341E+01	0.40003E+00

ELEMENTO NO.= 2

1	13.8732	2.3784	-0.60570E+00	0.19388E+01	-0.45448E+00	0.39992E+00
2	11.4913	8.1285	0.21227E+00	0.11207E+01	-0.12721E+01	0.39988E+00
3	18.1387	3.1095	-0.72053E-01	0.14052E+01	-0.25779E+00	0.39995E+00
4	15.0245	10.6272	0.40902E+00	0.92436E+00	-0.73872E+00	0.40001E+00

ELEMENTO NO.= 3

1	3.7999	5.3722	0.27954E+01	-0.14615E+01	-0.60130E+01	0.40018E+00
2	1.1116	6.4857	0.66785E+01	-0.53466E+01	-0.21277E+01	0.39958E+00
3	6.2991	8.9050	0.13789E+01	-0.45475E-01	-0.20341E+01	0.40003E+00
4	1.8431	10.7508	0.27007E+01	-0.13675E+01	-0.71229E+00	0.39997E+00

ELEMENTO NO.= 4

1	8.1285	11.4913	0.11207E+01	0.21227E+00	-0.12721E+01	0.39988E+00
2	2.3784	13.8732	0.19388E+01	-0.60570E+00	-0.45448E+00	0.39992E+00
3	10.6272	15.0245	0.92436E+00	0.40902E+00	-0.73872E+00	0.40001E+00
4	3.1095	18.1387	0.14052E+01	-0.72053E-01	-0.25779E+00	0.39995E+00

TENSIONES NODALES ALISADAS

NODO	X-TENS.	Y-TENS.	XY-TENS.	Z-TENS.
------	---------	---------	----------	---------

1	-0.85835E+01	0.99143E+01	-0.83305E+00	0.39923E+00
2	-0.74741E+00	0.20809E+01	-0.12796E+00	0.40003E+00
3	-0.25427E+00	0.15872E+01	-0.79151E-01	0.39988E+00
4	0.66763E+00	0.66763E+00	-0.88329E+01	0.40058E+00
5	0.66642E+00	0.66642E+00	-0.13500E+01	0.39985E+00
6	0.66680E+00	0.66680E+00	-0.88137E+00	0.40008E+00
7	0.99143E+01	-0.85835E+01	-0.83305E+00	0.39923E+00
8	0.20809E+01	-0.74741E+00	-0.12796E+00	0.40003E+00
9	0.15872E+01	-0.25427E+00	-0.79151E-01	0.39988E+00
10	-0.46655E+01	0.59976E+01	-0.48050E+00	0.39963E+00
11	-0.50084E+00	0.18340E+01	-0.10356E+00	0.39995E+00
12	0.20492E+00	0.53379E+00	-0.44164E+01	0.20029E+00
13	0.20431E+00	0.53318E+00	-0.67500E+00	0.19993E+00
14	0.20626E+00	0.11270E+01	-0.48026E+00	0.39998E+00
15	0.66703E+00	0.66703E+00	-0.50914E+01	0.40022E+00
16	0.66661E+00	0.66661E+00	-0.11157E+01	0.39997E+00
17	0.48282E+01	-0.40918E+01	-0.41652E+00	0.19961E+00
18	0.91153E+00	-0.17373E+00	-0.63981E-01	0.20002E+00

19 0.11270E+01 0.20626E+00-0.48026E+00 0.39998E+00
 20 0.59976E+01-0.46655E+01-0.48050E+00 0.39963E+00
 21 0.18340E+01-0.50084E+00-0.10356E+00 0.39995E+00

9.2 Placa cuadrada delgada simplemente apoyada bajo carga uniforme

La geometría y las propiedades mecánicas de la placa se muestran en el Figura 13, así como la malla de 2 x 2 elementos de placa de Reissner-Mindlin CLLL utilizada. De nuevo, por simetría, basta con analizar un cuarto de la estructura. Osérvese la precisión obtenida en la flecha entral (-0.396×10^8) con un error del 2.4% con respecto al valor teórico (-0.406×10^8) [20]. En la Figura 13 se han representado también los resultados obtenidos para la ley de flechas, momentos flectores M_x y esfuerzos cortantes Q_x a lo largo de la línea central obtenidos con mallas de 2 x 2 y 4 x 4 elementos.

En los listados que se presentan a continuación se incluyen todos los datos y resultados del cálculo. para la malla de 2 x 2 elementos.

LISTADO DE DATOS (PLACA CUADRADA)

PLACA APOYADA BAJO CARGA UNIFORME (2 X 2 ELEMENTOS CLLL)

9	4	8	1	5	4	3	1	5	2	2	5	1
1	1	1	2	5	4							
2	1	2	3	6	5							
3	1	4	5	8	7							
4	1	5	6	9	8							
1	0.00000	0.00000	0.00000									
2	2.50000	0.00000	0.00000									
3	5.00000	0.00000	0.00000									
4	0.00000	2.50000	0.00000									
5	2.50000	2.50000	0.00000									
6	5.00000	2.50000	0.00000									
7	0.00000	5.00000	0.00000									
8	2.50000	5.00000	0.00000									
9	5.00000	5.00000	0.00000									
1	111	0.0	0.0	0.0								
2	110	0.0	0.0	0.0								
3	110	0.0	0.0	0.0								
4	101	0.0	0.0	0.0								
6	010	0.0	0.0	0.0								
7	101	0.0	0.0	0.0								
8	001	0.0	0.0	0.0								
9	011	0.0	0.0	0.0								

1 10.92 0.3 0.01 18000.0

CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA EN TODOS LOS ELEMENTOS

0	0	0	1
4	-1.0		

LISTADO DE RESULTADOS (PLACA CUADRADA)

PLACA APOYADA BAJO CARGA UNIFORME (2 X 2 ELEMENTOS CLLL)

NPNOD = 9 NELEM = 4 NPRES = 8 NCARG = 1 NTIPO = 5
 NNODE = 4 NGDLN = 3 NMATS = 1 NPROP = 5 NGAUS = 2
 NDIME = 2 NTENS = 5 NEVAB = 12 IWRT = 1

ELEMENTO	PROPIEDAD	NUMERO DE NODOS			
1	1	1	2	5	4
2	1	2	3	6	5
3	1	4	5	8	7
4	1	5	6	9	8

COORDENADAS DE PUNTOS NODALES

NODO	X	Y
1	0.000	0.000
2	2.500	0.000
3	5.000	0.000
4	0.000	2.500
5	2.500	2.500
6	5.000	2.500
7	0.000	5.000
8	2.500	5.000
9	5.000	5.000

NODOS RESTRINGIDOS Y PRESCRIPCIONES

NODO	CODIGO	VALORES PRESCRITOS		
1	111	0.000000	0.000000	0.000000
2	110	0.000000	0.000000	0.000000
3	110	0.000000	0.000000	0.000000
4	101	0.000000	0.000000	0.000000
6	010	0.000000	0.000000	0.000000
7	101	0.000000	0.000000	0.000000
8	001	0.000000	0.000000	0.000000
9	011	0.000000	0.000000	0.000000

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

NUMERO	PROPIEDADES				
1	0.10920E+02	0.30000E+00	0.10000E-01	0.18000E+05	0.00000E+00

CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA CARG DE CARGA= 1
 0 0 0 1

NUMERO DE LADOS CARGADOS= 4

NUMERO DE NODOS EN LADO= 4

DESPLAZAMIENTOS

NODO	DESP. W	ROT. XZ	ROT. YZ
1	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	0.000000E+00	0.000000E+00	-0.957850E+07

3	0.000000E+00	0.000000E+00	-0.134024E+08
4	0.000000E+00	-0.957850E+07	0.000000E+00
5	-0.200974E+08	-0.649932E+07	-0.649932E+07
6	-0.282216E+08	0.000000E+00	-0.917475E+07
7	0.000000E+00	-0.134024E+08	0.000000E+00
8	-0.282216E+08	-0.917475E+07	0.000000E+00
9	-0.396901E+08	0.000000E+00	0.000000E+00

REACCIONES

NODO	FUERZA	XZ-MOMENTO	YZ-MOMENTO
1	0.312500E+01	0.313585E+01	0.313585E+01
2	0.669643E+01	0.437274E+01	0.000000E+00
3	0.424107E+01	0.281156E+01	0.000000E+00
4	0.669643E+01	0.000000E+00	0.437274E+01
6	0.000000E+00	0.833000E+01	0.000000E+00
7	0.424107E+01	0.000000E+00	0.281156E+01
8	0.000000E+00	0.000000E+00	0.833000E+01
9	0.000000E+00	0.590342E+01	0.590342E+01

TENSIONES EN PUNTOS DE INTEGRACION

P.G.	x	y	M_x	M_y	M_{xy}	Q_x	Q_y
ELEMENTO NO. = 1							
1	0.5283	0.5283	-0.33837E+00	-0.33837E+00	0.24998E+01	-0.39623E+00	-0.39623E+00
2	0.5283	1.9717	-0.10495E+01	-0.55170E+00	0.22509E+01	-0.14788E+01	-0.39623E+00
3	1.9717	0.5283	-0.55170E+00	-0.10495E+01	0.22509E+01	-0.39623E+00	-0.14788E+01
4	1.9717	1.9717	-0.12628E+01	-0.12628E+01	0.20020E+01	-0.14788E+01	-0.14788E+01
ELEMENTO NO. = 2							
1	3.0283	0.5283	-0.94801E+00	-0.14936E+01	0.12190E+01	-0.94342E-01	-0.20071E+01
2	3.0283	1.9717	-0.24490E+01	-0.19439E+01	0.11262E+01	-0.35209E+00	-0.20071E+01
3	4.4717	0.5283	-0.10276E+01	-0.17588E+01	0.69365E+00	-0.94342E-01	-0.23679E+01
4	4.4717	1.9717	-0.25285E+01	-0.22091E+01	0.60082E+00	-0.35209E+00	-0.23679E+01
ELEMENTO NO. = 3							
1	0.5283	3.0283	-0.14936E+01	-0.94801E+00	0.12190E+01	-0.20071E+01	-0.94342E-01
2	0.5283	4.4717	-0.17588E+01	-0.10276E+01	0.69365E+00	-0.23679E+01	-0.94342E-01
3	1.9717	3.0283	-0.19439E+01	-0.24490E+01	0.11262E+01	-0.20071E+01	-0.35209E+00
4	1.9717	4.4717	-0.22091E+01	-0.25285E+01	0.60082E+00	-0.23679E+01	-0.35209E+00
ELEMENTO NO. = 4							
1	3.0283	3.0283	-0.36736E+01	-0.36736E+01	0.59081E+00	-0.50303E+00	-0.50303E+00
2	3.0283	4.4717	-0.42915E+01	-0.38590E+01	0.37456E+00	-0.65768E+00	-0.50303E+00
3	4.4717	3.0283	-0.38590E+01	-0.42915E+01	0.37456E+00	-0.50303E+00	-0.65768E+00
4	4.4717	4.4717	-0.44769E+01	-0.44769E+01	0.15831E+00	-0.65768E+00	-0.65768E+00

TENSIONES NODALES ALISADAS

NODO	M_x	M_y	M_{xy}	Q_x	Q_y
1	-0.53373E+00	-0.53373E+00	0.23946E+01	-0.62500E+00	-0.62500E+00
2	-0.96945E+00	-0.12945E+01	0.16696E+01	-0.38691E+00	-0.16667E+01
3	-0.13280E+01	-0.17979E+01	0.78505E+00	-0.14881E+00	-0.22917E+01
4	-0.12945E+01	-0.96945E+00	0.16696E+01	-0.16667E+01	-0.38691E+00
5	-0.22410E+01	-0.22410E+01	0.11690E+01	-0.10417E+01	-0.10417E+01
6	-0.30725E+01	-0.31290E+01	0.55301E+00	-0.41667E+00	-0.14583E+01
7	-0.17979E+01	-0.13280E+01	0.78505E+00	-0.22917E+01	-0.14881E+00
8	-0.31290E+01	-0.30725E+01	0.55301E+00	-0.14583E+01	-0.41667E+00
9	-0.43071E+01	-0.43071E+01	0.24971E+00	-0.62500E+00	-0.62500E+00

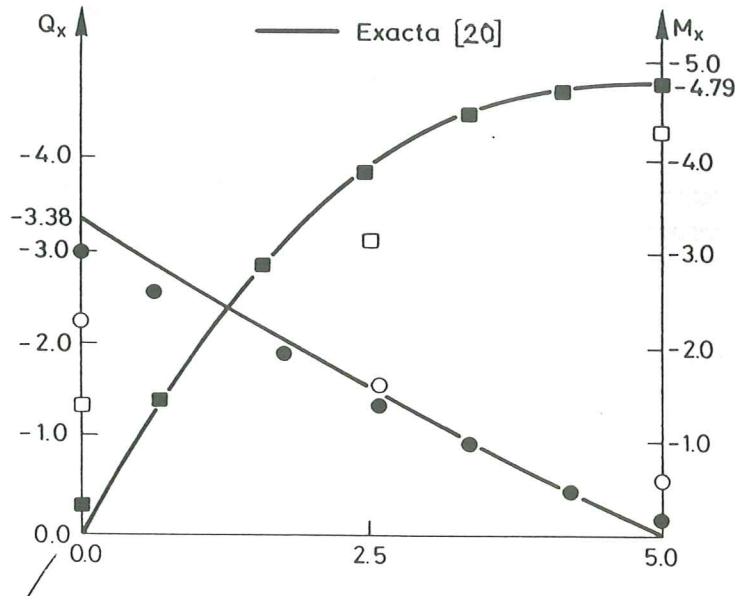
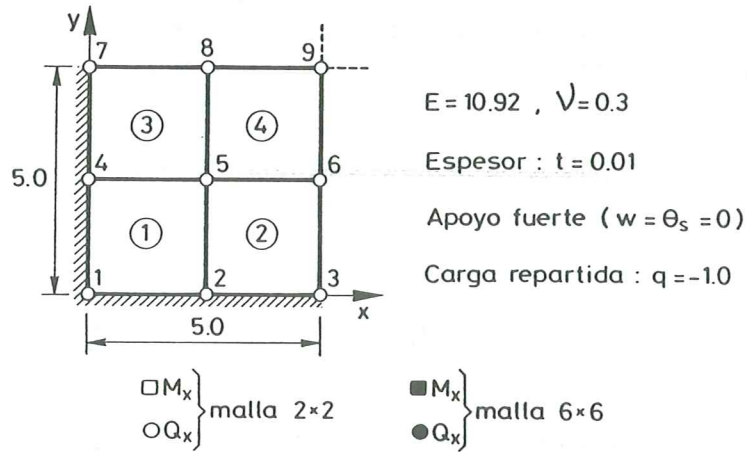


Figura 13 Cuadrante de placa cuadrada delgada simplemente apoyada bajo carga uniforme analizada con elementos CLLL. Resultados para el momento M_x y el esfuerzo cortante Q_x a lo largo de la línea central ($y = 5.0$) con mallas de 2×2 y 6×6 elementos.

9.3 Placa circular delgada empotrada bajo carga uniforme

El último ejemplo es el análisis de la placa circular empotrada bajo carga uniforme de la Figura 14. El análisis se ha efectuado con 8 elementos de placa de revolución de dos nodos con integración reducida uniforme de un sólo punto. En la Figura 14 pueden verse los resultados obtenidos para las leyes de la flecha y el momento flector M_x a lo largo de una línea radial. La coincidencia de los valores del cálculo con la solución analítica [20], es prácticamente total.

El resto de resultados puede extraerse del listado que a continuación se presenta.

LISTADO DE DATOS (PLACA CIRCULAR)

PLACA CIRCULAR BAJO CARGA UNIFORME

11	10	2	1	6	2	3	1	5	0	2	5	1
1	1	1	2									
2	1	2	3									
3	1	3	4									
4	1	4	5									
5	1	5	6									
6	1	6	7									
7	1	7	8									
8	1	8	9									
9	1	9	10									
10	1	10	11									
1	0.00000	0.00000										
2	1.00000	0.00000										
3	2.00000	0.00000										
4	3.00000	0.00000										
5	4.00000	0.00000										
6	5.00000	0.00000										
7	6.00000	0.00000										
8	7.00000	0.00000										
9	8.00000	0.00000										
10	9.00000	0.00000										
11	10.00000	0.00000										
1	101	0.0	0.0	0.0								
11	111	0.0	0.0	0.0								
1		1.0E7		0.3				0.1		18000.0		

CARGA UNIFORMRMENTE REPARTIDA EN CARA

0	0	0	1
10		-1.0	

LISTADO DE RESULTADOS (PLACA CIRCULAR)

PLACA CIRCULAR BAJO CARGA UNIFORME

NPNOD = 11 NELEM = 10 NPRES = 2 WCARG = 1 NTIPO = 6
 NNODE = 2 NGDLN = 3 NMATS = 1 WPROP = 5 NGAUS = 0
 NDIME = 2 NTENS = 5 NEVAB = 6 IWRT = 1

ELEMENTO	PROPIEDAD	NUMERO DE NODOS	
1	1	1	2
2	1	2	3
3	1	3	4
4	1	4	5
5	1	5	6
6	1	6	7
7	1	7	8
8	1	8	9
9	1	9	10
10	1	10	11

COORDENADAS DE PUNTOS NODALES

NODO	X	Y
1	0.000	0.000
2	1.000	0.000
3	2.000	0.000
4	3.000	0.000
5	4.000	0.000
6	5.000	0.000
7	6.000	0.000
8	7.000	0.000
9	8.000	0.000
10	9.000	0.000
11	10.000	0.000

NODOS RESTRINGIDOS Y PRESCRIPCIONES

NODO	CODIGO	VALORES PRESCRITOS		
1	101	0.00000	0.00000	0.00000
11	111	0.00000	0.00000	0.00000

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

NUMERO	PROPIEDADES				
1	0.10000E+08	0.30000E+00	0.10000E+00	0.18000E+05	0.00000E+00

CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA CARG DE CARGA= 1
 0 0 0 1
 NUMERO DE LADOS CARGADOS= 10
 NUMERO DE NODOS EN LADO= 2

DESPLAZAMIENTOS

NODO	DESP. U	DESP. V	GIRO
1	0.000000E+00	-0.171250E+00	0.000000E+00
2	0.000000E+00	-0.167762E+00	0.697324E-02
3	0.000000E+00	-0.157573E+00	0.134005E-01
4	0.000000E+00	-0.141387E+00	0.189632E-01
5	0.000000E+00	-0.120266E+00	0.232671E-01
6	0.000000E+00	-0.956704E-01	0.259103E-01
7	0.000000E+00	-0.694628E-01	0.264877E-01
8	0.000000E+00	-0.439123E-01	0.245930E-01
9	0.000000E+00	-0.216947E-01	0.198188E-01
10	0.000000E+00	-0.589343E-02	0.117572E-01
11	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

REACCIONES

NODO	X-FUERZA	Z-FUERZA	MOMENTO
1	0.000000E+00	0.000000E+00	-0.523599E+00
11	0.000000E+00	0.314159E+03	-0.782780E+03

TENSIONES

P.G.	x	z	N_x	N_θ	M_x	M_θ	Q_x
ELEMENTO NO. = 1							
1	0.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.83015E+01	-0.83015E+01	0.33333E+00
ELEMENTO NO. = 2							
1	1.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.77515E+01	-0.79848E+01	0.77778E+00
ELEMENTO NO. = 3							
1	2.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.68723E+01	-0.74556E+01	0.12667E+01
ELEMENTO NO. = 4							
1	3.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.55987E+01	-0.67070E+01	0.17619E+01
ELEMENTO NO. = 5							
1	4.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.39216E+01	-0.57299E+01	0.22593E+01
ELEMENTO NO. = 6							
1	5.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.18374E+01	-0.45208E+01	0.27576E+01
ELEMENTO NO. = 7							
1	6.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.65561E+00	-0.30777E+01	0.32564E+01
ELEMENTO NO. = 8							
1	7.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.35586E+01	-0.13997E+01	0.37556E+01
ELEMENTO NO. = 9							
1	8.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.68721E+01	0.51380E+00	0.42549E+01
ELEMENTO NO. = 10							
1	9.5000	0.0000	0.00000E+00	0.00000E+00	0.10597E+02	0.26633E+01	0.47544E+01

TENSIONES NODALES ALISADAS					
NODO	x	N_θ	M_x	M_θ	Q_x
1	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.83015E+01	-0.83015E+01	0.33333E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.80265E+01	-0.81431E+01	0.55556E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.73119E+01	-0.77202E+01	0.10222E+01
4	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.62355E+01	-0.70813E+01	0.15143E+01
5	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.47602E+01	-0.62185E+01	0.20106E+01
6	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.28795E+01	-0.51254E+01	0.25084E+01
7	0.00000E+00	0.00000E+00	-0.59092E+00	-0.37992E+01	0.30070E+01
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.21071E+01	-0.22387E+01	0.35060E+01
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.52154E+01	-0.44297E+00	0.40052E+01
10	0.00000E+00	0.00000E+00	0.87344E+01	0.15886E+01	0.45046E+01
11	0.00000E+00	0.00000E+00	0.10597E+02	0.26633E+01	0.47544E+01

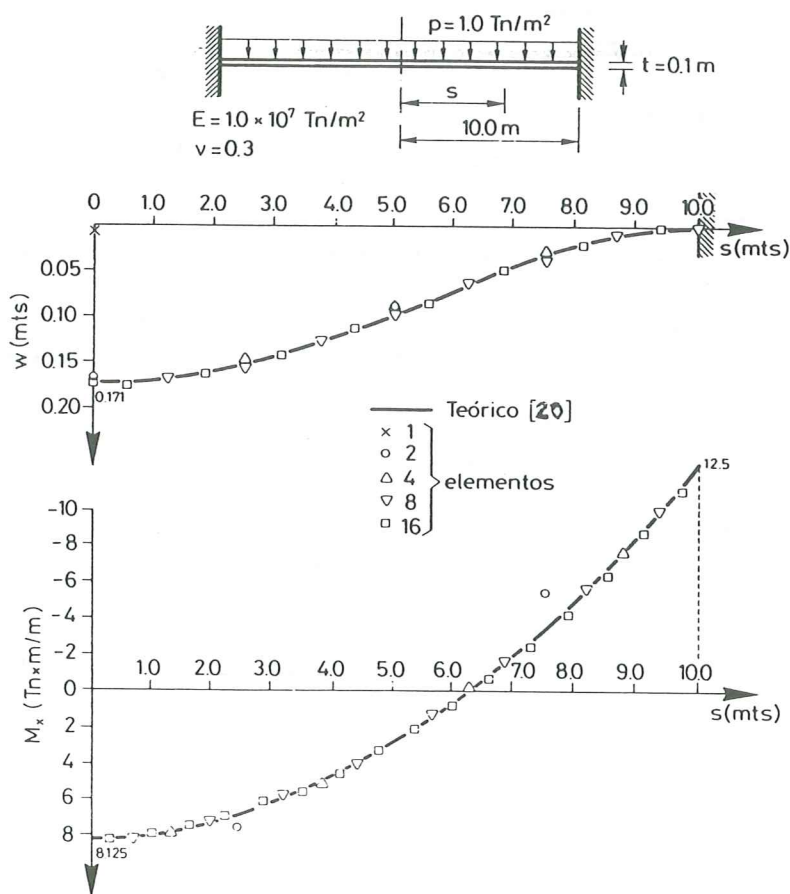


Figura 14 Análisis de una placa circular empotrada bajo carga uniforme con mallas de 1, 2, 4, 8 y 16 elementos de placa de revolución de dos nodos de Reissner-Mindlin [4].

10 OBTENCION DEL PROGRAMA *CALSEF*

Los interesados en obtener una copia del programa *CALSEF* descrito en esta publicación para utilización en ordenador PC compatible, Macintosh, o en otro tipo de ordenador, deben remitir su solicitud a:

Programa *CALSEF*
Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería
Edificio C1, Campus Norte UPC
c/Gran Capitán s/n
08034 Barcelona, España

Tel: 34-3-2057016 ; Fax: 34-3-4016517

En la dirección anterior puede obtenerse cualquier información adicional sobre el programa *CALSEF*.

Se destaca que la versión 1/92 de *CALSEF* para ordenador PC compatible incluye software para representación gráfica de datos y resultados basado en las subrutinas gráficas de MICROSOFT 5.0. En breve plazo se dispondrá también de subrutinas para representación gráfica en otros tipos de ordenadores.

REFERENCIAS

1. Mackerle, J. y Fredriksson B., *Handbook of Finite Element Software*, Chartwell-Bratt Ltd., Bromley, U.K., 1990.
2. Hinton, E. y Owen, D.R.J., *Finite element programming*, Academic Press, 1979.
3. Pres, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., *Numerical Recipes. The art of Scientific Computing*, Cambridge Univ. Press, 1986.
4. Oñate, E. "Cálculo de estructuras por el método de los elementos finitos", CIMNE, Barcelona, 1992.
5. FEMGEM/FEMVIEW, The Finite Element Pre and Post-processor, User Manual, Femview Limited, Leicester, U.K., 1991.
6. I-DEAS, General capabilities, P-0100, Structural Dynamics Research Corporation, Milford, Ohio, USA, 1991.
7. PATRAN Plus Users Manual, PDA Engineering, PATRAN Division, Costa Mesa, California, USA, 1991.
8. Bugada, G., 'FLAVIA. Programa para visualización gráfica en 2 y 3 dimensiones', Publicación Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, 1992.
9. Fong, H.M., "Interactive graphics and commercial finite element codes", *Mechanical Engng.*, 106(6), pp. 18-27, 1989.
10. Bonet, J. y Peraire, J., "An alternate digital tree algorithm for geometric searching and intersection problems", *Int. J. Num. Meth, Engng.*, Vol. 31, pp. 1-17, 1991.
11. Hinton, E. y Owen, D.R.J., *Introduction to finite element computations*, Pineridge Press, 1980.
12. Nguyen, V.P., "Automatic mesh generation with tetraedon elements", *Int. J. Num. Meth. Engng.*, Vol. 18, pp. 273-89, 1982.
13. Peiró, J. *A finite element procedure for the solution of the Euler equations on unstructured meshes*, Ph.D. Thesis, Civil Eng. Dpt., Univ. College of Swansea, U.K., 1989.

14. Pissanetzky, S., "Kubik: An automatic three dimensional mesh generator", *Int. J. Num. Meth. Engng.*, Vol. 17, pp. 255-69, 1987.
15. Zienkiewicz, O.C., *El Método de los Elementos Finitos*, 3^{era} Edición, Ed. Reverté, Barcelona, 1979.
16. Zienkiewicz, O.C. y Taylor, R.L. *The Finite Element Method*, 4^a. Ed., Mc Graw Hill, Vol. I, 1989, Vol. II, 1991.
17. Ralston, A., *Introducción al análisis numérico*, Limusa-Wiley, 1970.
18. Irons, B.M. y Ahmad, S., *Techniques of finite elements*, Ellis Harwood, Chichester, 1980.
19. Timoshenko, S.P. y Goodier, J.N., *Teoría de la elasticidad*, Edic. Urmo, 1968.
20. Timoshenko S.P. y Woinowsky-Krieger S., *Teoría de Placas y Láminas*, Ediciones Urmo, Bilbao, 1990.

APENDICE I

INSTRUCCIONES PARA ENTRADA DE DATOS Y LISTADO DE VARIABLES DEL PROGRAMA *CALSEF*

I.1 INSTRUCCIONES PARA ENTRADA DE DATOS

Las intrucciones se han agrupado en "tarjetas" formateadas. Cada "grupo de tarjetas" incluye un conjunto de datos similares; ejemplo: coordenadas nodales, cargas puntuales, etc.

GRUPO DE TARJETAS 1. NUMERO DE PROBLEMAS Y TITULO DE CADA PROBLEMA

Tarjeta 1.1	I5	NPROB	Número de problemas a analizar
Tarjeta 1.2	A80	TITULO	Título de cada problema

NOTA: Tantas tarjetas 1.2 como número de problemas a analizar.

GRUPO DE TARJETAS 2. PARAMETROS DE CONTROL

Tarjeta 2.1	13I5	NPNOD	Número de puntos nodales
		NELEM	Número de elementos
		NPRES	Número de nodos con movimiento prescrito
		NCARG	Número de casos de carga
		NTIPO	Tipo de problema
		=1	Tensión plana
		=2	Deformación plana
		=3	Sólidos de revolución
		=4	Sólidos tridimensionales
		=5	Placas
		=6	Láminas de revolución
		NNODE	Número de nodos por elemento
		NGDLN	Número de grados de libertad
		NMATS	Número de materiales
		NPROP	Número de propiedades
		NGAUS	Número de puntos de Gauss
		NDIME	Número de dimensiones
		NTENS	Número de tensiones
		IWRIT	Indicador para escritura de datos
		=1	Escribe datos en fichero de resultados

GRUPO DE TARJETAS 3. CONECTIVIDADES NODALES DE CADA ELEMENTO

Tarjeta 3.1	13I5	NUMEL	Número de elemento
		MATNU(NUMEL)	Tipo de material en elemento
		LNODS(NUMEL, INODE)	Conectividades (bucle sobre INODE)
Tarjeta 3.2	13I5		Continúan conectividades (en elementos 3D)

NOTAS:

- Tantas tarjetas 3.1 como número de elementos (**NELEM**)
- La tarjeta 3.2 se utilizará solamente para **INODE=20**

GRUPO DE TARJETAS 4. COORDENADAS NODALES

Tarjeta 4.1	I5,3F10.0	IPNOD	Número de nodo
		COORD(IPNOD,1)	Coordenada X del nodo
		COORD(IPNOD,2)	Coordenada Y del nodo (en 2D)
		COORD(IPNOD,3)	Coordenada Z del nodo (en 3D)

NOTA: Tantas tarjetas 4.1 como número de nodos (**NPNOD**).

GRUPO DE TARJETAS 5. MOVIMIENTOS PRESCRITOS

Tarjeta 5.1	I5,3X,2I1,2F10.5		(Para NGDLN=2)
	I5,2X,3I1,3F10.5		(Para NGDLN=3)
		NODPR(IPRES)	Nodo
		INPRE(IPRES, NGLDN)	Código de movimiento prescrito (Bucle sobre NGDLN)
			=0 Movimiento libre
			=1 Movimiento prescrito
		PRESC(IPRES, NGLDN)	Valor del movimiento prescrito (bucle sobre NGDLN)

NOTA: Tantas tarjetas 5.1 como número de nodos prescritos (**NPRES**).

GRUPO DE TARJETAS 6. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Tarjeta 6.1	I5,4E15.5	NUMAT	NUMERO DE MATERIAL
		PROPS(NUMAT, IPROP)	Propiedades del material
		PROPS(NUMAT, 1)	=1 Módulo de Young
		PROPS(NUMAT, 2)	=2 Coeficiente de Poisson
		PROPS(NUMAT, 3)	=3 Espesor
		PROPS(NUMAT, 4)	=4 Peso específico

NOTA: Tantas tarjetas 6.1 como número de materiales diferentes (**NUMAT**).

GRUPO DE TARJETAS 7. PARAMETROS DEL ESTADO DE CARGAS

Tarjeta 7.1	A20	TITULO	Titulo del estado de carga
Tarjeta 7.2	4I5	IPUNT	Indicador de carga puntual
		IPESO	Indicador de peso propio
		IDIST	Indicador de carga distribuida en placas y láminas de revolución
		ILADO	Indicador de carga repartida sobre un lado (en elementos sólidos 2D y sólidos de revolución)
			=0 No actúa carga
			≠ 0 Actúa carga

NOTA: Tantas tarjetas 7.1 y 7.2 como número de estados de carga (**NCARG**).

GRUPO DE TARJETAS 8. FUERZAS PUNTUALES

Tarjeta 8.1	I5,3F10.0	LODPT	Nodo cargado
		PNOTD(1)	Componente X de fuerza puntual nodal
		PNOTD(2)	Componente Y de fuerza puntual nodal (en 2D) Momento M_x en placas
		PNOTD(3)	Componente Z de fuerza puntual nodal (en 3D) Momento M_y en placas Momento $M_{x'}$ en láminas de revolución

NOTAS:

- Se repite la tarjeta 8.1 para cada nodo cargado. La última tarjeta 8.1 debe corresponder al nodo de mayor numeración, con independencia de que esté o no cargado (en este último caso **PNOTD=0.0**).
- Si **IPUNT=0** se omite este grupo de tarjetas.

GRUPO DE TARJETAS 9. FUERZAS DISTRIBUIDAS EN PLACAS Y LAMINAS DE REVOLUCION

Tarjeta 9.1	2I5	NELCA	Número de elementos cargados
		CAREP	Valor de la carga
Tarjeta 9.2	I5,3F10.3	NEASS	Carga distribuida sobre algunos elementos Número del elemento
		CARUN(NEASS)	Intensidad de la carga distribuida

NOTAS:

- Sólo tendrá sentido la variable **CAREP** si **NELCA=NELEM** (todos los lados cargados), en cuyo caso se omitirá la tarjeta 9.2.
- Tantas tarjetas 9.2 como número de elementos cargados (**NELCA**)
- La carga distribuida se supone actuando siempre sobre la dirección normal al elemento y en el mismo sentido de la normal exterior (Apartado 6.6.4).

- Si IDIST=0 se omite el grupo de tarjetas 9.

GRUPO DE TARJETAS 10. FUERZAS REPARTIDAS SOBRE UN LADO DE UN ELEMENTO SOLIDO 2D Y SOLIDO DE REVOLUCION

Tarjeta 10.1 2I5

NEDGE Número de lados cargados
NODEG Número de nodos en lado

Tarjeta 10.2 4I5

NEASS Número del elemento cargado
NOPRS(1) Nodo 1 del lado cargado
NOPRS(2) Nodo 2 del lado cargado
NOPRS(3) Nodo 3 del lado cargado (**NODEG=3**)

Tarjeta 10.3 6F10.0

Intensidad de la carga
PRESS(1,1) Presión normal en nodo 1 del lado cargado
PRESS(2,1) Presión normal en nodo 2 del lado cargado
PRESS(3,1) Presión normal en nodo 3 del lado cargado
PRESS(1,1) Presión tangencial en nodo 1 del lado cargado
PRESS(2,1) Presión tangencial en nodo 2 del lado cargado
PRESS(3,1) Presión tangencial en nodo 3 del lado cargado

NOTAS:

- La presión normal es positiva si va dirigida hacia el interior del elemento. La carga tangencial es positiva si actúa en dirección antihoraria con respecto al lado considerado (Figura 16.8).
- Si ILADO=0 se omite el grupo de tarjetas 10.

I.II LISTADO DE VARIABLES DEL PROGRAMA CALSEF

VARIABLES ESCALARES

NOMBRE	DESCRIPCION
CARG1	Peso específico en elemento CLLL
CAREP	Valor de carga repartida en elementos troncocónico y CLLL
CORDX	Coordenada radial
COSAN	Coseno del ángulo con eje x (elemento troncocónico)
DAREA	Diferencial de área
DJACB	Determinante del Jacobiano
DVOLU	Diferencial de volumen
EGASP	Coordenada η del punto de Gauss
ELONG	Longitud del elemento (elem. troncocónico)
ESPEL	Espesor
ETPUN	Coordenada η de punto de cortante en elemento CLLL
ETASP	Coordenada η del punto de Gauss
EXISP	Coordenada ξ del punto de Gauss
EXPUN	Coordenada ξ de punto de cortante en elemento CLLL

ILADO	Indicador de carga distribuida sobre un lado
IDIST	Indicador de carga distribuida sobre el elemento
IPESO	Indicador de carga de peso propio
IPUNT	Indicador de carga puntual
IWRIT	Indicador para escritura de datos
KCONT	Contador sobre grados de libertad
KPGAU	Contador sobre puntos de integración numérica
LCONT	Contador sobre grados de libertad
LNOD1	Contador para lectura de conectividades nodales
LNOD2	Contador para lectura de conectividades nodales
LODPT	Elemento en que se aplica carga repartida sobre un lado
LPROP	Tipo de material para cada elemento
MCONT	Contador sobre grados de libertad
NCARG	Número de casos de carga
NCONT	Contador sobre grados de libertad
NDIME	Número de dimensiones del problema
NELCA	Número de elementos con carga repartida
NELEM	Número de elementos total
NEVAB	Número de variables por elemento
NGAUS	Orden de la cuadratura de integración numérica
NGDLN	Número de grados de libertad por nodo
NLOCA	Localizador de nodo donde se aplica la carga puntual
NMATS	Número de materiales diferentes
NNOD1	Variable temporal para lectura de datos
NNOD2	Variable temporal para lectura de datos
NNODE	Número de nodos por elemento
NPNOD	Número de puntos nodales
NPONT	Puntos de cortante en el elemento de placa CLLL (=4)
NPOSN	Localizador de nodo al aplicar carga repartida sobre un lado
NPRES	Número de nodos prescritos
NPROB	Número de problemas a resolver
NPROP	Número de propiedades del material
NSTR1	Número de tensiones (o esfuerzos) finales
NSVAB	Rango de la matriz de rigidez global
NTENS	Número de tensiones (o esfuerzos) en el análisis
NTIPO	Número correspondiente al tipo de elemento a utilizar
NTOTV	Número total de movimientos
NUMEL	Número de elementos
PESPP	Peso específico en elementos de sólido 2D y 3D
POISS	Coefficiente de Poisson
PXCOM	Componente X de la carga distribuida sobre el elemento
PYCOM	Componente Y de la carga distribuida sobre el elemento
RADI1	Coordenada radial del nodo 1 en elemento troncocónico
RADIO	Coordenada radial del nodo 2 en elemento troncocónico
SINAN	Seno del ángulo con eje x (elem. troncocónico)
TITUL	Título del problema a resolver
XDIST	Distancia radial entre nodos (elem. troncocónico)
YDIST	Distancia vertical entre nodos (elem. troncocónico)
YOUNG	Módulo de Young

VARIABLES VECTORIALES

NOMBRE	DIMENSIONES	DESCRIPCION
A	(2, 6)	Matriz A para elemento de placa CLLL
APTCB	(2, 18)	Producto $AP^{-1}TC\bar{B}$ para elemento de placa CLLL
ASLOD	(2000)	Vector de fuerzas nodales equivalentes global
ASTIF	(2000, 2000)	Matriz de rigidez global
BMATS	(2, 27, 9)	Matriz B_c en los puntos de cortante (el. placa CLLL)
BMATZ	(6, 60)	Matriz \hat{B}_c para cálculo de matriz de rigidez
BSMAT	(18, 27)	Matriz B en elemento placa CLLL
C	(12, 12)	Matriz C para elemento de placa CLLL
CARGA	(400, 60)	Matriz para almacenar cargas en elementos
CARUN	(5000)	Cargas distribuídas sobre el elemento
CB	(12, 18)	Matriz CB para elemento de placa CLLL
COORD	(1000, 3)	Coordenadas de los nodos
COREL	(3, 20)	Coordenadas de los nodos de cada elemento
CORPG	(3, 27)	Coordenadas de los puntos de integración
DBMAT	(6, 60)	Matriz del producto D por B
DCART	(3, 20)	Derivadas cartesianas de las funciones de forma
DERIV	(3, 20)	Derivadas naturales de las funciones de forma
DESPL	(3000)	Movimientos nodales
DGASH	(3)	Fuerzas repartidas sobre un lado
DMATZ	(6, 6)	Matriz constitutiva (Matriz D)
FFORM	(20)	Funciones de forma
FIXED	(2000)	Vector de movimientos restringidos globales
IFFIX	(200, 3)	Indicador de movimientos restringidos globales
INPRE	(200, 3)	Indicador de movimientos restringidos del elemento
LNODS	(400, 20)	Conectividades nodales
MATNU	(400)	Tipo de material por elemento
NODPR	(200)	Números de nodos prescritos
P	(6, 6)	Matriz P para elemento de placa CLLL
PESGT	(7)	Pesos de los puntos de integración en triángulos
PESPG	(3)	Pesos de los puntos de integración en cuadriláteros
PNODT	(3)	Conectividades para carga repartida
POSGT	(14)	Coordenadas de los puntos de integración para triángulos
POSPG	(3)	Coordenadas de los puntos de integración para cuadriláteros
PRESC	(200, 3)	Valores de los movimientos restringidos
PROPS	(10, 5)	Propiedades del material
PT	(4, 8)	Matriz $P^{-1}T$ para elemento de placa CLLL
PTCB	(6, 18)	Matriz $PT^{-1}C\bar{B}$ para elemento de placa CLLL
REACT	(2000)	Vector de reacciones global
RIGID	(60, 60)	Matriz de rigidez del elemento
TENSG	(6)	Tensiones en cada punto de integración
TENSZ	(6, 60, 27)	Tensiones elementales en cada punto de integración
TCB	(6, 18)	Matriz $TC\bar{B}$ para elemento de placa CLLL
TREAC	(3)	Vector de reacciones de un nodo
VCOOR	(4, 2)	Coordenadas naturales de puntos cortante (el. CLLL)
VELEX	(2, 2, 9)	Jacobiano inverso en puntos de cortante (el. CLLL)
XJACI	(3, 3)	Matriz jacobiano inversa
XJACM	(3, 3)	Matriz jacobiano

APENDICE II

LISTADO DEL PROGRAMA *CALSEF*


```

1      PROGRAM CALSEF
2      C*****
3      C
4      C*** SUBROUTINA PRINCIPAL
5      C
6      C*****
7          COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8              .           NGAUS, NGDLN, NMATS, NMODE, NPNOD,
9              .           NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
10         COMMON/DATA/   COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
11             .           INPRE(100,3), MODPR(100), LMODS(200,20),
12             .           MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
13         COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
14             .           DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
15             .           DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
16             .           POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
17         INTEGER*2 MPROB
18         CHARACTER*80 TITULO
19         CHARACTER*10 INPUT, OUTPUT
20         OPEN (2, FILE='COMAN.DAT', FORM='FORMATTED')
21         READ(2,800) INPUT
22         READ(2,800) OUTPUT
23         CLOSE(2, STATUS='KEEP')
24     800 FORMAT(A10)
25         OPEN (5, FILE=INPUT, FORM='FORMATTED')
26         OPEN (6, FILE=OUTPUT, FORM='FORMATTED')
27         OPEN (1, FILE='TEMP1.TMP', FORM='UNFORMATTED')
28         OPEN (3, FILE='TEMP3.TMP', FORM='UNFORMATTED')
29         OPEN (10, FILE='TEMP10.TMP', FORM='UNFORMATTED')
30         OPEN (29, FILE='CALSEF.POS', FORM='UNFORMATTED')
31     C
32     C*** LEE NUMERO DE PROBLEMAS A ANALIZAR
33     C
34         READ(5,900) NPROB
35     900 FORMAT(I5)
36         WRITE(6,905) NPROB
37     905 FORMAT(//10X, 'NUMERO DE PROBLEMAS= ', I5)
38     C
39     C*** BUCLE SOBRE NUMERO DE PROBLEMAS
40     C
41         MPROB=INT2(NPROB)
42         WRITE(29) MPROB
43         DO 10 IPROB=1, NPROB
44             REWIND 1
45             REWIND 3
46             WRITE(6,910) IPROB
47     910 FORMAT(///// , 6X, 'PROBLEMA NO. ', I3, ///)
48             READ(5,915) TITULO
49     915 FORMAT(A80)
50             WRITE(6,920) TITULO
51     920 FORMAT(A80, ///)
52     C
53     C*** LEE DATOS GEOMETRICOS Y DEL MATERIAL
54     C
55         CALL DATOS
56     C
57     C*** CALCULA LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE LOS ELEMENTOS
58     C
59         CALL RIGIMAT
60     C
61     C*** BUCLE SOBRE LOS ESTADOS DE CARGA
62     C
63         DO 10 ICARG=1, NCARG
64     C
65     C*** LEE DATOS DE CARGAS Y CALCULA VECTOR DE FUERZAS NODALES EQUIVALENTES
66     C
67         CALL FUERZAS
68     C

```

```

69      C*** ENSAMBLA Y RESUELVE LAS ECUACIONES DE RIGIDEZ POR ELIMINACION GAUSSIANA
70      C
71          CALL SOLUCION
72      C
73      C*** CALCULA LAS TENSIONES EN LOS ELEMENTOS
74      C
75          CALL TENSIONES
76      C
77      C*** SUAVISADO DE TENSIONES
78      C
79          CALL SUAV1
80      10 CONTINUE
81          CLOSE(1,STATUS='DELETE')
82          CLOSE(3,STATUS='DELETE')
83          CLOSE(10,STATUS='DELETE')
84          CLOSE(29,STATUS='KEEP')
85          CLOSE(5,STATUS='KEEP')
86          CLOSE(6,STATUS='KEEP')
87      STOP
88      END
    
```

```

1      SUBROUTINE BCORTE(BSMAT, VELEX, IELEM, EXISP, ETASP, EGASP, KPGAU)
2      C*****
3      C
4      C***      MATRIZDE DEFORMACION DE CORTANTE SUSTITUTIVA Bc
5      C
6      C*****
7      DIMENSION BSMAT(18,27), VELEX(2,2,9)
8      . , A(2,6), C(12,12), PT(4,8), CB(12,18), PTCB(6,18)
9      . , APTCB(2,18), VCOOR(4,2), BMATS(2,27,9)
10     COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
11     .                 NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
12     .                 NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
13     COMMON/DATA/     COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
14     .                 INPRE(100,3), NODPR(100), LNODS(200,20),
15     .                 MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
16     COMMON/CALCULO/  BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
17     .                 DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
18     .                 DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
19     .                 POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
20     COMMON/PLACORT/ XJACI(3,3), XJACH(3,3)
21     IF(KPGAU.GT.1) GO TO 100
22     C
23     C*** CALCULA LOS PUNTOS DE COLOCACION DE LA DEFORMACION DE CORTANTE
24     C
25     VCOOR(1,1)=0.
26     VCOOR(1,2)=1.
27     VCOOR(2,1)=-1.
28     VCOOR(2,2)=0.
29     VCOOR(3,1)=0.
30     VCOOR(3,2)=-1.
31     VCOOR(4,1)=1.0
32     VCOOR(4,2)=0.
33     NPONT=4
34     DO 10 INODE=1,NNODE
35     LNODE=LNODS(IELEM,INODE)
36     DO 10 IDIME=1,NDIME
37     10 COREL(IDIME,INODE)=COORD(LNODE,IDIME)
38     DO 66 IPONT=1,NPONT
39     EXP=VCOOR(IPONT,1)
40     ETP=VCOOR(IPONT,2)
41     CALL FFORMA(EXP,ETP,EGASP)
42     CALL JACOBM(IELEM,DJACB,0)
43     CALL BMAT(IELEM,IPONT)
44     K=0
45     DO 61 I=4,5
46     K=K+1
47     DO 61 J=1,NEVAB
48     BMATS(K,J,IPONT)=BMATZ(I,J)
49     61 CONTINUE
50     DO 62 I=1,2
51     DO 62 J=1,2
52     62 VELEX(I,J,IPONT)=XJACH(I,J)
53     DO 63 I=1,NPONT
54     K=2*I-1
55     DO 64 J=1,NEVAB
56     BSMAT(K,J)=BMATS(1,J,I)
57     64 BSMAT(K+1,J)=BMATS(2,J,I)
58     63 CONTINUE
59     66 CONTINUE
60     100 CONTINUE
61     C
62     C***      MATRIZ A
63     C
64     CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
65     CALL JACOBM(IELEM,DJACB,0)
66     CALL BMAT(IELEM,IPONT)
67     DO 110 I=1,2
68     DO 110 J=1,4

```

```

69      110 A(I,J)=0.
70      A(1,1)=1.
71      A(1,2)=ETASP
72      A(2,3)=1.
73      A(2,4)=EXISP
74      C
75      C***  MATRIZ C
76      C
77      DO 120 I=1,12
78      DO 120 J=1,12
79      120 C(I,J)=0.
80      DO 140 IPONT=1, NPONT
81      DO 130 IDIME=1, NDIME
82      I=2*IPONT+IDIME-2
83      DO 130 JDIME=1, NDIME
84      J=2*IPONT+JDIME-2
85      130 C(I,J)=VELEX(IDIME, JDIME, IPONT)
86      140 CONTINUE
87      C
88      C***  MATRIZ PT
89      C
90      DO 150 I=1,4
91      DO 150 J=1,8
92      150 PT(I,J)=0.
93      PT(1,1)=.5
94      PT(1,5)=0.5
95      PT(2,1)=0.5
96      PT(2,5)=-0.5
97      PT(3,4)=0.5
98      PT(3,8)=0.5
99      PT(4,4)=-0.5
100     PT(4,8)=0.5
101     C
102     C***  MATRIZ CB
103     C
104     DO 160 I=1,8
105     DO 160 J=1, NEVAB
106     CB(I,J)=0.
107     DO 160 K=1,8
108     CB(I,J)=CB(I,J)+C(I,K)*BSMAT(K,J)
109     160 CONTINUE
110     C
111     C***  MATRIZ PTCB
112     C
113     DO 170 I=1,4
114     DO 170 J=1, NEVAB
115     PTCB(I,J)=0.
116     DO 170 K=1,8
117     170 PTCB(I,J)=PTCB(I,J)+PT(I,K)*CB(K,J)
118     C
119     C***  MATRIZ APTCB
120     C
121     DO 180 I=1,2
122     DO 180 J=1, NEVAB
123     APTCB(I,J)=0.
124     DO 180 K=1,4
125     180 APTCB(I,J)=APTCB(I,J)+A(I,K)*PTCB(K,J)
126     C
127     C***  MATRIZ B=JAPTCB
128     C
129     DO 190 I=1,2
130     KCONT=3+I
131     DO 190 J=1, NEVAB
132     BMATZ(KCONT,J)=0.
133     DO 190 K=1,2
134     190 BMATZ(KCONT,J)=BMATZ(KCONT,J)+XJACI(I,K)*APTCB(K,J)
135     RETURN
136     END

```

```

1      SUBROUTINE BMAT(IELEM,KPGAU)
2      C*****
3      C
4      C***      MATRIZ DE DEFORMACION B
5      C
6      C*****
7          COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, MELEM, NEVAB,
8          .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
9          .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
10         COMMON/DATA/   COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
11         .                INPRE(100,3), NODPR(100), LNODS(200,20),
12         .                MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
13         COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
14         .                DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
15         .                DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
16         .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
17         KCONT=0
18         DO 10 ITENS=1,NTENS
19         DO 10 IEVAB=1,MEVAB
20     10  BMATZ(ITENS,IEVAB)=0.0
21         DO 90 INODE=1,NNODE
22         LCONT=KCONT+1
23         MCONT=LCONT+1
24         NCONT=MCONT+1
25         IF(NTIPO.GT.2) GO TO 20
26     C
27     C*** TENSION Y DEFORMACION PLANA
28     C
29         BMATZ(1,LCONT)=DCART(1,INODE)
30         BMATZ(2,MCONT)=DCART(2,INODE)
31         BMATZ(3,LCONT)=DCART(2,INODE)
32         BMATZ(3,MCONT)=DCART(1,INODE)
33         GO TO 70
34     20 IF(NTIPO.NE.3) GO TO 30
35     C
36     C*** SOLIDO DE REVOLUCION
37     C
38         BMATZ(1,LCONT)=DCART(1,INODE)
39         BMATZ(2,MCONT)=DCART(2,INODE)
40         BMATZ(3,LCONT)=FFORM(INODE)/CORPG(1,KPGAU)
41         BMATZ(4,LCONT)=DCART(2,INODE)
42         BMATZ(4,MCONT)=DCART(1,INODE)
43         GO TO 70
44     30 IF(NTIPO.NE.4) GO TO 40
45     C
46     C*** SOLIDO TRIDIMENSIONAL
47     C
48         BMATZ(1,LCONT)=DCART(1,INODE)
49         BMATZ(2,MCONT)=DCART(2,INODE)
50         BMATZ(3,NCONT)=DCART(3,INODE)
51         BMATZ(4,LCONT)=DCART(2,INODE)
52         BMATZ(4,MCONT)=DCART(1,INODE)
53         BMATZ(5,LCONT)=DCART(3,INODE)
54         BMATZ(5,NCONT)=DCART(1,INODE)
55         BMATZ(6,MCONT)=DCART(3,INODE)
56         BMATZ(6,NCONT)=DCART(2,INODE)
57         GO TO 70
58     40 IF(NTIPO.NE.5) GO TO 50
59     C
60     C*** FLEXION DE PLACAS (TEORIA DE REISSNER MINDLIN)
61     C
62         BMATZ(1,MCONT)=-DCART(1,INODE)
63         BMATZ(2,NCONT)=-DCART(2,INODE)
64         BMATZ(3,MCONT)=BMATZ(2,NCONT)
65         BMATZ(3,NCONT)=BMATZ(1,MCONT)
66         BMATZ(4,LCONT)=DCART(1,INODE)
67         BMATZ(4,MCONT)=-FFORM(INODE)
68         BMATZ(5,LCONT)=DCART(2,INODE)

```



```

69          BMATZ(5, NCONT)=BMATZ(4, MCONT)
70
71          GO TO 70
72          50 IF(NTIPO.NE.6) GO TO 60
73          C
74          C*** LAMINAS DE REVOLUCION (ELEMENTO TRONCOCONICO DE REISSNER MINDLIN)
75          C
76          C
77          C*** CALCULA COORDENADAS DEL CENTRO DEL ELEMENTO
78          C
79          LNOD1=LNODES(IELEM, 1)
80          LNOD2=LNODES(IELEM, 2)
81          X1=COORD(LNOD2, 1)-COORD(LNOD1, 1)
82          Y1=COORD(LNOD2, 2)-COORD(LNOD1, 2)
83          ELONG=SQRT(X1*X1+Y1*Y1)
84          COSAN=X1/ELONG
85          SINAN=Y1/ELONG
86          CORPG(1, 1)=(COORD(LNOD2, 1)+COORD(LNOD1, 1))/2.0
87          CORPG(2, 1)=(COORD(LNOD2, 2)+COORD(LNOD1, 2))/2.0
88          RADIO=CORPG(1, 1)
89          BMATZ(1, LCONT)=$((-1.)*INODE)*COSAN/ELONG
90          BMATZ(1, MCONT)=$((-1.)*INODE)*SINAN/ELONG
91          BMATZ(2, LCONT)=0.5/RADIO
92          BMATZ(3, NCONT)=$((-1.)*INODE)/ELONG
93          BMATZ(4, NCONT)=-0.5*COSAN/RADIO
94          BMATZ(5, LCONT)=-BMATZ(1, MCONT)
95          BMATZ(5, MCONT)=BMATZ(1, LCONT)
96          BMATZ(5, NCONT)=-0.5
97          GO TO 70
98          60 WRITE(6, 900)
99          900 FORMAT(5X, 'ERROR EN LA SELECCION DE TIPOLOGIA ESTRUCTURAL')
100         STOP
101         70 IF(NGDLN.EQ.3) GO TO 80
102         KCONT=MCONT
103         GO TO 90
104         80 KCONT=NCONT
105         90 CONTINUE
106         RETURN
107         END

```

```

1      SUBROUTINE DATOS
2      C*****
3      C
4      C***      LEE DATOS DE LA TIPOLOGIA DE LA MALLA, CONDICIONES DE
5      C          CONTORNO Y PROPIEDADES DEL MATERIAL
6      C
7      C*****
8          COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
9          .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
10         .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
11         COMMON/DATA/   COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
12         .                IMPRE(100,3), MODPR(100), LNODS(200,20),
13         .                MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
14         COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
15         .                DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
16         .                DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
17         .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
18         INTEGER*2 IX(24,200), NN(12), IIODR, IIODE, IILEM, IIME, IINOD
19         DIMENSION X(3,500)
20     C
21     C
22     C          TIPO DE PROBLEMA
23     C
24     C          1  TENSION PLANA
25     C          2  DEFORMACION PLANA
26     C          3  SOLIDOS DE REVOLUCION
27     C          4  SOLIDO TRIDIMENSIONAL
28     C          5  PLACAS
29     C          6  LAMINA DE REVOLUCION
30     C
31     C          TIPOS DE ELEMENTOS
32     C
33     C          +  ELEMENTO TRIANGULAR DE 3 NODOS
34     C          +  ELEMENTO TRIANGULAR DE 6 NODOS
35     C          +  ELEMENTO CUADRILATERO LAGRANGIANO DE 4 NODOS
36     C          +  ELEMENTO CUADRILATERO LAGRANGIANO DE 9 NODOS
37     C          +  ELEMENTO CUADRILATERO SERENDIPITIO DE 8 NODOS
38     C          +  ELEMENTO HEXAGONAL SERENDIPITO DE 20 NODOS
39     C          +  ELEMENTO DE PLACA CUADRILATERO DE 4 NODOS CLLL
40     C          +  ELEMENTO TRONCOCONICO DE DOS NODOS DE REISSNER-MINDLIN
41     C
42     C
43     C*** LEE PARAMETROS DE CONTROL
44     C
45         READ(5,900) NPNOD, NELEM, NPRES, NCARG, NTIPO, NNODE, NGDLN, NMATS,
46         .          NPROP, NGAUS, NDIME, NTENS, IWRT
47         900 FORMAT(13I5)
48         NEVAB=NGDLN*NNODE
49         WRITE(6,905) NPNOD, NELEM, NPRES, NCARG, NTIPO, NNODE, NGDLN, NMATS,
50         .          NPROP, NGAUS, NDIME, NTENS, NEVAB, IWRT
51         905 FORMAT(5X, 'NPNOD =', I4, 4X, 'NELEM =', I4, 4X, 'NPRES =', I4,
52         .          4X, 'NCARG =', I4, 4X, 'NTIPO =', I4, //,
53         .          5X, 'NNODE =', I4, 4X, 'NGDLN =', I4, 4X, 'NMATS =', I4,
54         .          4X, 'NPROP =', I4, 4X, 'NGAUS =', I4, //,
55         .          5X, 'NDIME =', I4, 4X, 'NTENS =', I4, 4X, 'NEVAB =', I4,
56         .          4X, 'IWRT =', I4)
57     C
58     C*** LEE Y ESCRIBE CONEXIONES NODALES Y NUMERO DE PROPIEDAD DE MATERIAL
59     C
60         WRITE(6,910)
61         910 FORMAT('//ELEMENTO', 2X, 'PROPIEDAD', 4X, 'NUMERO DE NODOS')
62         IF(NNODE.GT.13)GO TO 11
63         DO 10 IELEM=1, NELEM
64         READ(5,903) NUMEL, MATNU(NUMEL), (LNODS(NUMEL, INODE), INODE=1, NNODE)
65         903 FORMAT(15I5)
66         10 CONTINUE
67         GO TO 13
68         11 NNOD1=13

```

```

69      NNOD2=14
70      DO 12 IELEM=1,NELEM
71      READ(5,903) NUMEL,MATNU(NUMEL),(LNODS(NUMEL,INODE),INODE=1,NNOD1)
72      READ(5,904) (LNODS(NUMEL,INODE),INODE=NNOD2,NNODE)
73      904 FORMAT(10X,15I5)
74      12 CONTINUE
75      13 IF(IWRIT.EQ.0) GO TO 18
76      IF(NNODE.GT.13)GO TO 16
77      DO 15 IELEM=1,NELEM
78      WRITE(6,915) IELEM,MATNU(IELEM),(LNODS(IELEM,INODE),INODE=1,
79      .NNODE)
80      915 FORMAT(1X,I5,I9,5X,10I5)
81      15 CONTINUE
82      GO TO 18
83      16 NNOD1=10
84      NNOD2=11
85      DO 17 IELEM=1,NELEM
86      WRITE(6,915) IELEM,MATNU(IELEM),(LNODS(IELEM,INODE),INODE=1,
87      .NNOD1)
88      WRITE(6,916) (LNODS(IELEM,INODE),INODE=NNOD2,NNODE)
89      916 FORMAT(20X,10I5)
90      17 CONTINUE
91      18 CONTINUE
92      DO 20 IPNOD=1,NPNOD
93      DO 20 IDIME=1,NDIME
94      20 COORD(IPNOD,IDIME)=0.0
95      C
96      C*** LEE Y ESCRIBE COORDENADAS NODALES, TERMINANDO POR EL ULTIMO NODO
97      C
98      WRITE(6,920)
99      920 FORMAT(//'COORDENADAS DE PUNTOS NODALES')
100     WRITE(6,925)
101     925 FORMAT(' NODO',7X,'X',9X,'Y')
102     30 READ(5,930) IPNOD,(COORD(IPNOD,IDIME),IDIME=1,NDIME)
103     930 FORMAT(I5,5F10.5)
104     IF(IPNOD.NE.NPNOD) GO TO 30
105     IF(IWRIT.EQ.0) GO TO 52
106     DO 50 IPNOD=1,NPNOD
107     50 WRITE(6,935) IPNOD,(COORD(IPNOD,IDIME),IDIME=1,NDIME)
108     935 FORMAT(1X,I5,3F10.3)
109     52 CONTINUE
110     C
111     C*** LEE Y ESCRIBE MOVIMIENTOS PRESCRITOS
112     C
113     WRITE(6,940)
114     940 FORMAT(//,'NODOS RESTRINGIDOS Y PRESCRIPCIONES')
115     IF(NTIPO.EQ.5) GO TO 960
116     WRITE(6,945)
117     945 FORMAT('NODO',1X,'CODIGO',3X,'VALORES PRESCRITOS')
118     IF(NGDLN.NE.2) GO TO 70
119     DO 60 IPRES=1,NPRES
120     READ(5,950) NODPR(IPRES),(INPRE(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN),
121     . (PRESC(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
122     950 FORMAT(1X,I4,3X,2I1,2F10.5)
123     60 CONTINUE
124     IF(IWRIT.EQ.0) GO TO 90
125     DO 65 IPRES=1,NPRES
126     WRITE(6,950) NODPR(IPRES),(INPRE(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN),
127     . (PRESC(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
128     65 CONTINUE
129     GO TO 90
130     DO 80 IPRES=1,NPRES
131     READ(5,955) NODPR(IPRES),(INPRE(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN),
132     . (PRESC(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
133     80 CONTINUE
134     IF(IWRIT.EQ.0) GO TO 90
135     DO 85 IPRES=1,NPRES
136     WRITE(6,955) NODPR(IPRES),(INPRE(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN),

```

```

137 . (PRES(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
138 85 CONTINUE
139 955 FORMAT(1X,I4,2X,3I1,3F10.5)
140 90 CONTINUE
141 GO TO 130
142 960 WRITE(6,965)
143 965 FORMAT(' NODO',1X,'CODIGO',6X,'VALORES PRESCRITOS')
144 DO 95 IPRES=1,NPRES
145 READ(5,970) NODPR(IPRES),(INPRE(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN),
146 .(PRES(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
147 IF(IWRIT.EQ.0) GO TO 95
148 WRITE(6,970) NODPR(IPRES),(INPRE(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN),
149 .(PRES(IPRES,IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
150 95 CONTINUE
151 970 FORMAT(1X,I4,2X,3I1,3F10.6)
152 C
153 C*** LEE Y ESCRIBE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES
154 C
155 130 WRITE(6,980)
156 980 FORMAT('//PROPIEDADES DE LOS MATERIALES')
157 WRITE(6,985)
158 985 FORMAT('NUMERO',7X,'PROPIEDADES')
159 DO 100 IMATS=1,NMATS
160 READ(5,990) NUMAT,(PROPS(NUMAT,IPROP),IPROP=1,NPROP)
161 990 FORMAT(1X,I4,5E15.5)
162 100 CONTINUE
163 IF(IWRIT.EQ.0) GO TO 120
164 DO 110 IMATS=1,NMATS
165 WRITE(6,990) IMATS,(PROPS(IMATS,IPROP),IPROP=1,NPROP)
166 110 CONTINUE
167 C
168 C*** CALCULA COORDENADAS Y PESOS DE LA CUADRATURA DE GAUSS
169 C
170 120 CALL GAUSSQ
171 C
172 C*** ESCRITURA PARA POSTPROCESO
173 C
174 MNODE=MNODE
175 IF(MNODE.EQ.6)MNODE=8
176 IIODR=INT2(MNODE+4)
177 IF((MNODE.EQ.6).OR.(MNODE.EQ.8).OR.(MNODE.EQ.9)) THEN
178 NNON=MNODE
179 IF(MNODE.EQ.6) THEN
180 DO IELEM=1,NELEM
181 IX(1,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,1))
182 IX(2,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,3))
183 IX(3,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,5))
184 IX(4,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,1))
185 IX(5,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,2))
186 IX(6,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,4))
187 IX(7,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,6))
188 IX(8,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,1))
189 IX(12,IELEM)=INT2(MATNU(IELEM))
190 ENDDO
191 ELSE
192 IF(MNODE.EQ.9)NNON=8
193 DO IELEM=1,NELEM
194 ICONT=0
195 DO INODE=1,NNON,2
196 ICONT=ICONT+1
197 IX(ICONT,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,INODE))
198 ENDDO
199 DO INODE=2,NNON,2
200 ICONT=ICONT+1
201 IX(ICONT,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,INODE))
202 ENDDO
203 IF(MNODE.EQ.9) IX(9,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,9))
204 IX(IIODR,IELEM)=INT2(MATNU(IELEM))

```

```

205         ENDDO
206     ENDIF
207 ELSEIF (NNODE.EQ.20) THEN
208     DO IELEM=1,NELEM
209         IX(1,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,1))
210         IX(2,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,3))
211         IX(3,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,5))
212         IX(4,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,7))
213         IX(5,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,13))
214         IX(6,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,15))
215         IX(7,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,17))
216         IX(8,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,19))
217         IX(9,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,2))
218         IX(10,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,4))
219         IX(11,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,6))
220         IX(12,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,8))
221         IX(13,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,9))
222         IX(14,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,10))
223         IX(15,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,11))
224         IX(16,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,12))
225         IX(17,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,14))
226         IX(18,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,16))
227         IX(19,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,18))
228         IX(20,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,20))
229         IX(24,IELEM)=INT2(MATNU(IELEM))
230     ENDDO
231 ELSE
232     DO IELEM=1,NELEM
233         DO INODE=1,MNODE
234             IX(INODE,IELEM)=INT2(LNODS(IELEM,INODE))
235         ENDDO
236         IX(IIODR,IELEM)=INT2(MATNU(IELEM))
237     ENDDO
238 ENDIF
239 DO IPNOD=1,NPNOD
240     DO IDIME=1,NDIME
241         X(IDIME,IPNOD)=COORD(IPNOD,IDIME)
242     ENDDO
243 ENDDO
244 NN(1)=INT2(NPNOD)
245 NN(2)=INT2(NELEM)
246 NN(3)=INT2(NPRES)
247 NN(4)=INT2(NCARG)
248 NN(5)=INT2(NTIPO)
249 NN(6)=INT2(MNODE)
250 NN(7)=INT2(NGDLN)
251 NN(8)=INT2(NMATS)
252 NN(9)=INT2(NGAUS)
253 NN(10)=INT2(NDIME)
254 NN(11)=INT2(NTENS)
255 NN(12)=INT2(NEVAB)
256 WRITE(29) (NN(IIODE),IIODE=1,12)
257 WRITE(29) (IILEM,(IX(IIODE,IILEM),IIODE=1,IIODR),
258           IILEM=1,NN(2))
259 WRITE(29) (IINOD,(X(IIIME,IINOD),IIIME=1,NN(10)),
260           IINOD=1,NN(1))
261 RETURN
262 END

```

```

1      SUBROUTINE DBMATX
2      C*****
3      C
4      C***   MULTIILCA MATRICES D y B
5      C
6      C*****
7      COMMON/CONTROL/  ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8      .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPMOD,
9      .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
10     COMMON/DATA/    COORD(500, 3), CARGA(200, 60), DESPL(1500),
11     .                INPRE(100, 3), MODPR(100), LNODS(200, 20),
12     .                MATNU(200), PROPS(10, 5), PRESC(100, 3)
13     COMMON/CALCULO/  BMATZ(6, 60), COREL(3, 20), CORPG(3, 27),
14     .                DERIV(3, 20), DBMAT(6, 60), DCART(3, 20),
15     .                DMATZ(6, 6), FFORM(20), POSGT(14),
16     .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6, 60, 27)
17     C
18     C***   CALCULA D X B
19     C
20     DO 10 ITENS=1, NTENS
21     DO 10 IEVAB=1, NEVAB
22     DBMAT(ITENS, IEVAB)=0.0
23     DO 10 JTENS=1, NTENS
24     DBMAT(ITENS, IEVAB)=DBMAT(ITENS, IEVAB)+
25     .DMATZ(ITENS, JTENS)*BMATZ(JTENS, IEVAB)
26     10 CONTINUE
27     RETURN
28     END

```

```

1      SUBROUTINE DMAT(LPROP)
2      C*****
3      C
4      C***   MATRIZ CONSTITUTIVA D
5      C
6      C*****
7          COMMON/CONTROL/  ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8              .           NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
9              .           NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
10         COMMON/DATA/    COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
11             .           INPRE(100,3), NODPR(100), LNODS(200,20),
12             .           MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
13         COMMON/CALCULO/  BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
14             .           DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
15             .           DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
16             .           POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
17         YOUNG=ABS(PROPS(LPROP,1))
18         POISS=PROPS(LPROP,2)
19         DO 5 ITENS=1, NTEMS
20         DO 5 JTENS=1, NTEMS
21         DMATZ(ITENS, JTENS)=0.0
22     5  CONTINUE
23         IF(NTIPO.NE.1) GO TO 20
24     C
25     C*** MATRIZ D PARA TENSION PLANA
26     C
27         CONST=YOUNG/(1.0-POISS*POISS)
28         DMATZ(1,1)=CONST
29         DMATZ(2,2)=CONST
30         DMATZ(1,2)=CONST*POISS
31         DMATZ(2,1)=CONST*POISS
32         DMATZ(3,3)=(1.0-POISS)*CONST/2.0
33         GO TO 10
34     20 IF(NTIPO.NE.2) GO TO 30
35     C
36     C*** MATRIZ D PARA DEFORMACION PLANA
37     C
38         CONST=YOUNG*(1.0-POISS)/((1.0+POISS)*(1.0-2.0*POISS))
39         DMATZ(1,1)=CONST
40         DMATZ(2,2)=CONST
41         DMATZ(1,2)=CONST*POISS/(1.0-POISS)
42         DMATZ(2,1)=CONST*POISS/(1.0-POISS)
43         DMATZ(3,3)=CONST*(1.0-2.0*POISS)/(2.0*(1.0-POISS))
44         GO TO 10
45     30 IF(NTIPO.NE.3) GO TO 40
46     C
47     C*** MATRIZ D PARA SOLIDOS DE REVOLUCION
48     C
49         FACT=YOUNG*(1.0-POISS)/((1.0+POISS)*(1.0-2.0*POISS))
50         FACT1=FACT*POISS/(1.0-POISS)
51         FACT2=FACT*(1.0-2.0*POISS)/(2.0*(1.0-POISS))
52         DMATZ(1,1)=FACT
53         DMATZ(2,2)=FACT
54         DMATZ(3,3)=FACT
55         DMATZ(4,4)=FACT2
56         DMATZ(1,2)=FACT1
57         DMATZ(1,3)=FACT1
58         DMATZ(2,1)=FACT1
59         DMATZ(2,3)=FACT1
60         DMATZ(3,1)=FACT1
61         DMATZ(3,2)=FACT1
62         GO TO 10
63     40 IF(NTIPO.NE.4) GO TO 50
64     C
65     C*** MATRIZ D PARA SOLIDOS TRIDIMENSIONALES
66     C
67         FACT1=YOUNG*(1-POISS)/((1+POISS)*(1-2*POISS))
68         FACT2=(POISS/(1-POISS))*FACT1

```

```

69          FACT3=(1-2*POISS)/(2-2*POISS)
70          DMATZ(1,1)=FACT1
71          DMATZ(1,2)=FACT2
72          DMATZ(2,1)=FACT2
73          DMATZ(1,3)=FACT2
74          DMATZ(3,1)=FACT2
75          DMATZ(2,2)=FACT1
76          DMATZ(2,3)=FACT2
77          DMATZ(3,2)=FACT2
78          DMATZ(3,3)=FACT1
79          DMATZ(4,4)=FACT1*FACT3
80          DMATZ(5,5)=FACT1*FACT3
81          DMATZ(6,6)=FACT1*FACT3
82          GO TO 10
83          50 IF(NTIPO.NE.5) GO TO 60
84          C
85          C*** MATRIZ D PARA FLEXION DE PLACAS (TEORIA DE REISSNER MINDLIN)
86          C
87          THICK=PROPS(LPROP,3)
88          DMATZ(1,1)=YOUNG*THICK*THICK*THICK/(12.0*(1.0-POISS*POISS))
89          DMATZ(1,2)=POISS*DMATZ(1,1)
90          DMATZ(2,1)=DMATZ(1,2)
91          DMATZ(2,2)=DMATZ(1,1)
92          DMATZ(3,3)=DMATZ(1,1)*0.5*(1.0-POISS)
93          DMATZ(4,4)=YOUNG*THICK/(2.4*(1.0+POISS))
94          DMATZ(5,5)=DMATZ(4,4)
95          GO TO 10
96          60 IF(NTIPO.NE.6) GO TO 10
97          C
98          C*** MATRIZ D PARA LAMINAS DE REVOLUCION (TEORIA DE REISSNER MINDLIN)
99          C
100         THICK=PROPS(LPROP,3)
101         DMATZ(1,1)=YOUNG*THICK/(1.0-POISS*POISS)
102         DMATZ(1,2)=POISS*DMATZ(1,1)
103         DMATZ(2,1)=DMATZ(1,2)
104         DMATZ(2,2)=DMATZ(1,1)
105         DMATZ(3,3)=DMATZ(1,1)*THICK*THICK/12.0
106         DMATZ(3,4)=POISS*DMATZ(3,3)
107         DMATZ(4,3)=DMATZ(3,4)
108         DMATZ(4,4)=DMATZ(3,3)
109         DMATZ(5,5)=YOUNG*THICK/(2.4*(1.0+POISS))
110         10 CONTINUE
111         RETURN
112         END

```



```

1      SUBROUTINE FFORM(S,T,Q)
2      C*****
3      C
4      C***   FUNCIONES DEFORMA DE LOS ELEMENTOS
5      C
6      C*****
7      COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8      .               NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
9      .               NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
10     COMMON/DATA/   COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
11     .               INPRE(100,3), NODPR(100), LNODS(200,20),
12     .               MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
13     COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
14     .               DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
15     .               DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
16     .               POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
17     S1=S+1.0
18     T1=T+1.0
19     S2=S*2.0
20     T2=T*2.0
21     Q2=Q*2.0
22     SS=S*S
23     TT=T*T
24     QQ=Q*Q
25     ST=S*T
26     SST=S*S*T
27     STT=S*T*T
28     ST2=S*T*2.0
29     S9=S-1.0
30     T9=T-1.0
31     IF(NNODE.NE.2) GO TO 20
32     C
33     C*** ELEMENTO UNIDIMENSIONAL DE DOS NODOS
34     C
35     FFORM(1)=(1-S)/2.0
36     FFORM(2)=(1+S)/2.0
37     DERIV(1,1)=-1/2.0
38     DERIV(1,2)=1/2.0
39     GO TO 10
40     20 IF(NNODE.NE.3) GO TO 30
41     C
42     C*** ELEMENTO TRIANGULAR DE 3 NODOS
43     C
44     FFORM(1)=1.0-S-T
45     FFORM(2)=S
46     FFORM(3)=T
47     DERIV(1,1)=-1.0
48     DERIV(1,2)=1.0
49     DERIV(1,3)=0.0
50     DERIV(2,1)=-1.0
51     DERIV(2,2)=0.0
52     DERIV(2,3)=1.0
53     GO TO 10
54     30 IF(NNODE.NE.4) GO TO 40
55     C
56     C*** ELEMENTO CUADRILATERO DE 4 NODOS
57     C
58     FFORM(1)=(1.0-S-T+ST)/4.0
59     FFORM(2)=(1.0+S-T-ST)/4.0
60     FFORM(3)=(1.0+S+T+ST)/4.0
61     FFORM(4)=(1.0-S+T-ST)/4.0
62     DERIV(1,1)=(-1+T)/4.0
63     DERIV(1,2)=(1-T)/4.0
64     DERIV(1,3)=(1+T)/4.0
65     DERIV(1,4)=(-1-T)/4.0
66     DERIV(2,1)=(-1+S)/4.0
67     DERIV(2,2)=(-1-S)/4.0
68     DERIV(2,3)=(1+S)/4.0

```

```

69         DERIV(2,4)=(1-S)/4.0
70         GO TO 10
71     40 IF(NNODE.NE.6) GO TO 50
72     C
73     C*** ELEMENTO TRIANGULAR DE 6 NODOS
74     C
75         FFORM(1)=1.0-(S+T)*3.0+(SS+TT)*2.0+ST*4.0
76         FFORM(2)=(S-SS-ST)*4.0
77         FFORM(3)=SS*2.0-S
78         FFORM(4)=4.0*ST
79         FFORM(5)=TT*2.0-T
80         FFORM(6)=(T-TT-ST)*4.0
81         DERIV(1,1)=-3.0+S*4.0+T*4.0
82         DERIV(1,2)=(1.0-S*2.0-T)*4.0
83         DERIV(1,3)=S*4.0-1.0
84         DERIV(1,4)=T*4.0
85         DERIV(1,5)=0.0
86         DERIV(1,6)=-T*4.0
87         DERIV(2,1)=-3.0+T*4.0+S*4.0
88         DERIV(2,2)=-S*4.0
89         DERIV(2,3)=0.0
90         DERIV(2,4)=4.0*S
91         DERIV(2,5)=T*4.0-1.0
92         DERIV(2,6)=(1.0-T*2.0-S)*4.0
93         GO TO 10
94     50 IF(NNODE.NE.8) GO TO 60
95     C
96     C*** ELEMENTO CUADRILATERO SERENDIPITO DE 8 NODOS
97     C
98         FFORM(1)=(-1.0+ST+SS+TT-SST-STT)/4.0
99         FFORM(2)=(1.0-T-SS+SST)/2.0
100        FFORM(3)=(-1.0-ST+SS+TT-SST+STT)/4.0
101        FFORM(4)=(1.0+S-TT-STT)/2.0
102        FFORM(5)=(-1.0+ST+SS+TT+SST+STT)/4.0
103        FFORM(6)=(1.0+T-SS-SST)/2.0
104        FFORM(7)=(-1.0-ST+SS+TT+SST-STT)/4.0
105        FFORM(8)=(1.0-S-TT+STT)/2.0
106        DERIV(1,1)=(T+S2-ST2-TT)/4.0
107        DERIV(1,2)=-S+ST
108        DERIV(1,3)=(-T+S2-ST2+TT)/4.0
109        DERIV(1,4)=(1.0-TT)/2.0
110        DERIV(1,5)=(T+S2+ST2+TT)/4.0
111        DERIV(1,6)=-S-ST
112        DERIV(1,7)=(-T+S2+ST2-TT)/4.0
113        DERIV(1,8)=(-1.0+TT)/2.0
114        DERIV(2,1)=(S+T2-SS-ST2)/4.0
115        DERIV(2,2)=(-1.0+SS)/2.0
116        DERIV(2,3)=(-S+T2-SS+ST2)/4.0
117        DERIV(2,4)=-T-ST
118        DERIV(2,5)=(S+T2+SS+ST2)/4.0
119        DERIV(2,6)=(1.0-SS)/2.0
120        DERIV(2,7)=(-S+T2+SS-ST2)/4.0
121        DERIV(2,8)=-T+ST
122        GO TO 10
123    60 IF(NNODE.NE.9) GO TO 70
124    C
125    C*** ELEMENTO CUADRILATERO LAGRANGIANO DE 9 NODOS
126    C
127        FFORM(1)=0.25*S9*ST*T9
128        FFORM(2)=0.5*(1.0-SS)*T*T9
129        FFORM(3)=0.25*S1*ST*T9
130        FFORM(4)=0.5*S*S1*(1.0-TT)
131        FFORM(5)=0.25*S1*ST*T1
132        FFORM(6)=0.5*(1.0-SS)*T*T1
133        FFORM(7)=0.25*S9*ST*T1
134        FFORM(8)=0.5*S*S9*(1.0-TT)
135        FFORM(9)=(1.0-SS)*(1.0-TT)
136        DERIV(1,1)=0.25*T*T9*(-1.0+S2)

```

```

137         DERIV(1,2)=-ST*T9
138         DERIV(1,3)=0.25*(1.0+S2)*T*T9
139         DERIV(1,4)=0.5*(1.0+S2)*(1.0-TT)
140         DERIV(1,5)=0.25*(1.0+S2)*T*T1
141         DERIV(1,6)=-ST*T1
142         DERIV(1,7)=0.25*(-1.0+S2)*T*T1
143         DERIV(1,8)=0.5*(-1.0+S2)*(1.0-TT)
144         DERIV(1,9)=-S2*(1.0-TT)
145         DERIV(2,1)=0.25*(-1.0+T2)*S*S9
146         DERIV(2,2)=0.5*(1.0-SS)*(-1.0+T2)
147         DERIV(2,3)=0.25*S*S1*(-1.0+T2)
148         DERIV(2,4)=-ST*S1
149         DERIV(2,5)=0.25*S*S1*(1.0+T2)
150         DERIV(2,6)=0.5*(1.0-SS)*(1.0+T2)
151         DERIV(2,7)=0.25*S*S9*(1.0+T2)
152         DERIV(2,8)=-ST*S9
153         DERIV(2,9)=-T2*(1.0-SS)
154     70 IF(NNODE.NE.20) GO TO 10
155     C
156     C*** ELEMENTO SOLIDO TRIDIMENSIONAL HEXAGONAL SERENDIPITO DE 20 NODOS
157     C
158         FFORM(1)=(1+S)*(1-T)*(1-Q)*(S-T-Q-2)*.125
159         FFORM(2)=(1-TT)*(1+S)*(1-Q)*.25
160         FFORM(3)=(1+S)*(1+T)*(1-Q)*(S+T-Q-2)*.125
161         FFORM(4)=(1-SS)*(1+T)*(1-Q)*.25
162         FFORM(5)=(1-S)*(1+T)*(1-Q)*(-S+T-Q-2)*.125
163         FFORM(6)=(1-TT)*(1-S)*(1-Q)*.25
164         FFORM(7)=(1-S)*(1-T)*(1-Q)*(-S-T-Q-2)*.125
165         FFORM(8)=(1-SS)*(1-T)*(1-Q)*.25
166         FFORM(9)=(1-QQ)*(1+S)*(1-T)*.25
167         FFORM(10)=(1-QQ)*(1+S)*(1+T)*.25
168         FFORM(11)=(1-QQ)*(1-S)*(1+T)*.25
169         FFORM(12)=(1-QQ)*(1-S)*(1-T)*.25
170         FFORM(13)=(1+S)*(1-T)*(1+Q)*(S-T+Q-2)*.125
171         FFORM(14)=(1-TT)*(1+S)*(1+Q)*.25
172         FFORM(15)=(1+S)*(1+T)*(1+Q)*(S+T+Q-2)*.125
173         FFORM(16)=(1-SS)*(1+T)*(1+Q)*.25
174         FFORM(17)=(1-S)*(1+T)*(1+Q)*(-S+T+Q-2)*.125
175         FFORM(18)=(1-TT)*(1-S)*(1+Q)*.25
176         FFORM(19)=(1-S)*(1-T)*(1+Q)*(-S-T+Q-2)*.125
177         FFORM(20)=(1-SS)*(1-T)*(1+Q)*.25
178         DERIV(1,1)=.125*(1-T)*(1-Q)*(S2-T-Q-1)
179         DERIV(2,1)=.125*(1+S)*(1-Q)*(-S+T2+Q+1)
180         DERIV(3,1)=.125*(1+S)*(1-T)*(-S+T+Q2+1)
181         DERIV(1,2)=.25*(1-TT)*(1-Q)
182         DERIV(2,2)=.25*(-T2)*(1+S)*(1-Q)
183         DERIV(3,2)=.25*(TT-1)*(1+S)
184         DERIV(1,3)=.125*(1+T)*(1-Q)*(S2+T-Q-1)
185         DERIV(2,3)=.125*(1+S)*(1-Q)*(S+T2-Q-1)
186         DERIV(3,3)=.125*(1+S)*(1+T)*(-S-T+Q2+1)
187         DERIV(1,4)=.25*(-S2)*(1+T)*(1-Q)
188         DERIV(2,4)=.25*(1-SS)*(1-Q)
189         DERIV(3,4)=-.25*(1-SS)*(1+T)
190         DERIV(1,5)=.125*(1+T)*(1-Q)*(S2-T+Q+1)
191         DERIV(2,5)=.125*(1-S)*(1-Q)*(-S+T2-Q-1)
192         DERIV(3,5)=.125*(1-S)*(1+T)*(S-T+Q2+1)
193         DERIV(1,6)=-.25*(1-TT)*(1-Q)
194         DERIV(2,6)=-.25*(T2)*(1-S)*(1-Q)
195         DERIV(3,6)=-.25*(1-TT)*(1-S)
196         DERIV(1,7)=.125*(1-T)*(1-Q)*(S2+T+Q+1)
197         DERIV(2,7)=-.125*(1-S)*(1-Q)*(-S-T2-Q-1)
198         DERIV(3,7)=-.125*(1-S)*(1-T)*(-S-T-Q2-1)
199         DERIV(1,8)=-.25*(S2)*(1-T)*(1-Q)
200         DERIV(2,8)=-.25*(1-SS)*(1-Q)
201         DERIV(3,8)=-.25*(1-SS)*(1-T)
202         DERIV(1,9)=.25*(1-QQ)*(1-T)
203         DERIV(2,9)=-.25*(1-QQ)*(1+S)
204         DERIV(3,9)=-.25*(Q2)*(1+S)*(1-T)

```

```

205     DERIV(1,10)=.25*(1-QQ)*(1+T)
206     DERIV(2,10)=.25*(1-QQ)*(1+S)
207     DERIV(3,10)=-.25*(Q2)*(1+S)*(1+T)
208     DERIV(1,11)=-.25*(1-QQ)*(1+T)
209     DERIV(2,11)=.25*(1-QQ)*(1-S)
210     DERIV(3,11)=-.25*(Q2)*(1-S)*(1+T)
211     DERIV(1,12)=-.25*(1-QQ)*(1-T)
212     DERIV(2,12)=-.25*(1-QQ)*(1-S)
213     DERIV(3,12)=-.25*(Q2)*(1-S)*(1-T)
214     DERIV(1,13)=.125*(1-T)*(1+Q)*(S2-T+Q-1)
215     DERIV(2,13)=-.125*(1+S)*(1+Q)*(S-T2+Q-1)
216     DERIV(3,13)=.125*(1+S)*(1-T)*(S-T+Q2-1)
217     DERIV(1,14)=.25*(1-TT)*(1+Q)
218     DERIV(2,14)=-.25*(T2)*(1+S)*(1+Q)
219     DERIV(3,14)=.25*(1-TT)*(1+S)
220     DERIV(1,15)=.125*(1+T)*(1+Q)*(S2+T+Q-1)
221     DERIV(2,15)=.125*(1+S)*(1+Q)*(S+T2+Q-1)
222     DERIV(3,15)=.125*(1+S)*(1+T)*(S+T+Q2-1)
223     DERIV(1,16)=-.25*(S2)*(1+T)*(1+Q)
224     DERIV(2,16)=.25*(1-SS)*(1+Q)
225     DERIV(3,16)=.25*(1-SS)*(1+T)
226     DERIV(1,17)=-.125*(1+T)*(1+Q)*(-S2+T+Q-1)
227     DERIV(2,17)=.125*(1-S)*(1+Q)*(-S+T2+Q-1)
228     DERIV(3,17)=.125*(1-S)*(1+T)*(-S+T+Q2-1)
229     DERIV(1,18)=-.25*(1-TT)*(1+Q)
230     DERIV(2,18)=-.25*(T2)*(1-S)*(1+Q)
231     DERIV(3,18)=.25*(1-TT)*(1-S)
232     DERIV(1,19)=-.125*(1-T)*(1+Q)*(-S2-T+Q-1)
233     DERIV(2,19)=-.125*(1-S)*(1+Q)*(-S-T2+Q-1)
234     DERIV(3,19)=.125*(1-S)*(1-T)*(-S-T+Q2-1)
235     DERIV(1,20)=-.25*(S2)*(1-T)*(1+Q)
236     DERIV(2,20)=-.25*(1-SS)*(1+Q)
237     DERIV(3,20)=.25*(1-SS)*(1-T)
238     10 CONTINUE
239     RETURN
240     END

```

```

1      SUBROUTINE FUERZAS
2      C*****
3      C
4      C***      CALCULO DE FUERZAS NODALES EQUIVALENTES
5      C
6      C*****
7      DIMENSION PNODT(3),PRESS(3,3),PGASH(3),DGASH(3),
8              NOPRS(3),CARUN(200)
9      COMMON/CONTROL/ ELONG,ICARG,IPROB,NCARG,NDIME,NELEM,NEVAB,
10             .
11             .
12             .
13             .
14             .
15             .
16             .
17             .
18             .
19      CHARACTER*20 TITULO
20      EGASP=0.0
21      PI2=2.0*3.14159265
22      C
23      C*** INICIALIZA VECTOR DE FUERZAS NODALES EQUIVALENTES
24      C
25             DO 10 IELEM=1,NELEM
26             DO 10 IEVAB=1,NEVAB
27             10 CARGA(IELEM,IEVAB)=0.0
28             READ(5,900) TITULO
29             900 FORMAT(A20)
30             WRITE(6,905) TITULO,ICARG
31             905 FORMAT(/,'0',A20,5X,'CARG DE CARGA=',I5,/)
32      C
33      C*** LEE PARAMETROS DE TIPO DE CARGA
34      C
35             READ(5,910) IPUNT,IPESO,IDIST,ICARA
36             WRITE(6,910) IPUNT,IPESO,IDIST,ICARA
37             910 FORMAT(4I5)
38      C
39      C*** LEE CARGAS PUNTUALES
40      C
41             IF(IPUNT.EQ.0) GO TO 500
42             20 READ(5,915) LODPT,(PNODT(IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
43             WRITE(6,915) LODPT,(PNODT(IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
44             915 FORMAT(I5,5F10.3)
45      C
46      C*** ASOCIA LAS CARGAS PUNTUALES NODALES CON UN ELEMENTO
47      C
48             DO 30 IELEM=1,NELEM
49             DO 30 INODE=1,NNODE
50             NLOCA=LNODS(IELEM,INODE)
51             IF(LODPT.EQ.NLOCA) GO TO 40
52             30 CONTINUE
53             40 DO 50 IGDLN=1,NGDLN
54             NCONT=(INODE-1)*NGDLN+IGDLN
55             CARGA(IELEM,NCONT)=PNODT(IGDLN)
56             50 CONTINUE
57             IF(NTIPO.EQ.3.OR.NTIPO.EQ.6)
58             .CARGA(IELEM,NCONT)=PI2*COORD(NLOCA,1)*PNODT(IGDLN)
59             IF(LODPT.LT.NPNOD) GO TO 20
60             500 CONTINUE
61             IF(NTIPO.GT.4) GO TO 800
62             IF(IPESO.EQ.0) GO TO 600
63      C
64      C
65      C*** CARGAS DE PESO PROPIO
66      C
67      C
68             DO 90 IELEM=1,NELEM

```

```

69         LPROP=ABS(MATNU(IELEM))
70         ESPES=PROPS(LPROP,3)
71         PESPP=PROPS(LPROP,4)
72         IF(PESPP.EQ.0.0) GO TO 90
73     C
74     C*** CALCULA COORDENADAS DE LOS PUNTOS NODALES
75     C
76         DO 60 INODE=1,NNODE
77         LNODE=LNODS(IELEM,INODE)
78         DO 60 IDIME=1,NDIME
79         60 COREL(IDIME,INODE)=COORD(LNODE,IDIME)
80         IF(NTIPO.GT.3) GO TO 67
81         IF(NNODE.EQ.3.OR.NNODE.EQ.6) GO TO 65
82     C
83     C*** BUCLE DE INTEGRACION NUMERICA PARA ELEMENTOS CUADRILATEROS
84     C
85         DO 80 IGAUS=1,NGAUS
86         DO 80 JGAUS=1,JGAUS
87         EXISP=POSPG(IGAUS)
88         ETASP=POSPG(JGAUS)
89     C
90     C*** CALCULA FUNCIONES DE FORMA EN LOS PUNTOS DE INTEGRACION Y
91     C EL VOLUMEN ELEMENTAL
92     C
93         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
94         KPGAU=1
95         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
96         DVOLU=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)
97         IF(ESPES.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*ESPES
98         IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORPG(1,1)*DVOLU
99     C
100    C*** CALCULA LAS CARGAS NODALES EQUIVALENTES PARA CADA ELEMENTO CUADRILATERO
101    C
102        DO 70 INODE=1,NNODE
103        MCONT=(INODE-1)*NGDLN+2
104        70 CARGA(IELEM,MCONT)=CARGA(IELEM,MCONT)+PESPP*FFORM(INODE)*DVOLU
105        80 CONTINUE
106        GO TO 90
107        65 CONTINUE
108    C
109    C*** BUCLE DE INTEGRACION NUMERICA PARA ELEMENTOS TRIANGULARES
110    C
111        DO 81 IGAUS=1,NGAUS
112        EXISP=POSGT(IGAUS)
113        ETASP=POSGT(NNODE+IGAUS)
114    C
115    C*** CALCULA FUNCIONES DE FORMA EN LOS PUNTOS DE INTEGRACION Y
116    C EL VOLUMEN ELEMENTAL
117    C
118        CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
119        KPGAU=1
120        CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
121        DVOLU=DJACB*PESGT(IGAUS)
122        IF(ESPES.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*ESPES
123        IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORPG(1,1)*DVOLU
124    C
125    C*** CALCULA LAS CARGAS NODALES EQUIVALENTES PARA CADA ELEMENTO TRIANGULAR
126    C
127        DO 71 INODE=1,NNODE
128        MCONT=(INODE-1)*NGDLN+2
129        71 CARGA(IELEM,MCONT)=CARGA(IELEM,MCONT)+PESPP*FFORM(INODE)*DVOLU
130        81 CONTINUE
131        GO TO 90
132    C
133    C*** BUCLE DE INTEGRACION NUMERICA PARA ELEMENTOS DE SOLIDO
134    C
135        67 KPGAU=0
136        DO 82 IGAUS=1,NGAUS

```

```

137         DO 82 JGAUS=1,NGAUS
138         DO 82 KGAUS=1,NGAUS
139         KPGAU=KPGAU+1
140         EXISP=POSPG(IGAUS)
141         ETASP=POSPG(JGAUS)
142         EGISP=POSPG(KGAUS)
143     C
144     C*** CALCULA FUNCIONES DE FFORM EN LOS PUNTOS DE INTEGRACION Y
145     C     EL VOLUMEN ELEMENTAL
146     C
147         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGISP)
148         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
149         DVOLU=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)*PESPG(KGAUS)
150     C
151     C*** CALCULA LAS CARGAS EQUIVALENTES NODALES PARA CADA ELEMENTO CUADRATICO
152     C
153         DO 85 INODE=1,NNODE
154         MCONT=(INODE-1)*MGDLN+3
155         85 CARGA(IELEM,MCONT)=CARGA(IELEM,MCONT)+PESPP*FFORM(INODE)*DVOLU
156         82 CONTINUE
157         90 CONTINUE
158     600 IF(IDIST.EQ.0) GO TO 850
159     C
160     C
161     C*** CARGAS REPARTIDAS SOBRE EL LADO DE UN ELEMENTO
162     C
163     C
164         READ(5,930) NEDGE,NODEG
165         930 FORMAT(2I5)
166         WRITE(6,935) NEDGE,NODEG
167         935 FORMAT('0',5X,'NUMERO DE LADOS CARGADOS=',I5,/,
168         . '0',5X,'NUMERO DE NODOS EN LADO='I5,///)
169         WRITE(6,940)
170         940 FORMAT('0',5X,'LADOS CARGADOS Y CARGAS ACTUANTES')
171     C
172     C*** BUCLE SOBRE CADA LADO CARGADO
173     C
174         DO 160 IDIST=1,NEDGE
175     C
176     C*** LEE DATOS SOBRE EL LADO CARGADO Y EL VALOR DE LA CARGA
177     C
178         READ(5,945) NEASS,(NOPRS(IODEG),IODEG=1,NODEG)
179         945 FORMAT(4I5)
180         WRITE(6,950) NEASS,(NOPRS(IODEG),IODEG=1,NODEG)
181         950 FORMAT(I10,5X,3I5)
182         READ(5,955) ((PRESS(IODEG,IGDLN),IODEG=1,NODEG),IGDLN=1,NGDLN)
183         WRITE(6,955) ((PRESS(IODEG,IGDLN),IODEG=1,NODEG),IGDLN=1,NGDLN)
184         955 FORMAT(6F10.3)
185     C
186     C*** CALCULA LAS COORDENADAS DE LOS NODOS DEL LADO CARGADO
187     C
188         DO 100 IODEG=1,NODEG
189         LNODE=NOPRS(IODEG)
190         DO 100 IDIME=1,NDIME
191         100 COREL(IDIME,IODEG)=COORD(LNODE,IDIME)
192     C
193     C*** BUCLE DE INTEGRACION NUMERICA
194     C
195         DO 160 IGAUS=1,NGAUS
196         EXISP=POSPG(IGAUS)
197     C
198     C*** CALCULA FUNCIONES DE FORMA EN PUNTOS DE INTEGRACION
199     C
200         IF(NODEG.EQ.3)GO TO 140
201         FFORM(1)=(1-EXISP)*0.5
202         FFORM(2)=(1+EXISP)*0.5
203         DERIV(1,1)=-0.5
204         DERIV(1,2)=0.5

```

```

205          GO TO 150
206      140 FFORM(1)=(EXISP*EXISP-EXISP)*0.5
207          FFORM(2)=(1-EXISP*EXISP)
208          FFORM(3)=(EXISP*EXISP+EXISP)*0.5
209          DERIV(1,1)=EXISP-0.5
210          DERIV(1,2)=-2.0*EXISP
211          DERIV(1,3)=EXISP+0.5
212      150 CONTINUE
213      C
214      C*** CALCULA LAS FUERZAS NODALES EQUIVALENTES
215      C
216          DO 110 IGDLN=1,NGDLN
217          PGASH(IGDLN)=0.0
218          DGASH(IGDLN)=0.0
219          CORD=0.0
220          DO 110 IODEG=1,NODEG
221          PGASH(IGDLN)=PGASH(IGDLN)+PRESS(IODEG,IGDLN)*FFORM(IODEG)
222          CORD=CORD+COREL(1,IODEG)*FFORM(IODEG)
223      110 DGASH(IGDLN)=DGASH(IGDLN)+COREL(IGDLN,IODEG)*DERIV(1,IODEG)
224          DVOLU=PESPG(IGAUS)
225          IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORD*DVOLU
226          PYCOM=DGASH(1)*PGASH(2)-DGASH(2)*PGASH(1)
227          PYCOM=DGASH(1)*PGASH(1)+DGASH(2)*PGASH(2)
228      C
229      C*** ASOCIA LAS FUERZAS NODALES EQUIVALENTES DE BORDE A UN ELEMENTO
230      C
231          DO 120 INODE=1,NNODE
232          NLOCA=LNODS(NEASS,INODE)
233          IF(NLOCA.EQ.NOPRS(1)) GO TO 130
234      120 CONTINUE
235      130 JNODE=INODE+NODEG-1
236          KOUNT=0
237          DO 160 KNODE=INODE,JNODE
238          KOUNT=KOUNT+1
239          NCONT=(KNODE-1)*NGDLN+1
240          MCONT=(KNODE-1)*NGDLN+2
241          IF(KNODE.GT.NNODE.OR.(NNODE.EQ.9.AND.KNODE.EQ.9)) NCONT=1
242          IF(KNODE.GT.NNODE.OR.(NNODE.EQ.9.AND.KNODE.EQ.9)) MCONT=2
243          CARGA(NEASS,NCONT)=CARGA(NEASS,NCONT)+FFORM(KOUNT)*PYCOM*DVOLU
244          CARGA(NEASS,MCONT)=CARGA(NEASS,MCONT)+FFORM(KOUNT)*PYCOM*DVOLU
245      160 CONTINUE
246          GO TO 850
247      800 IF(IPESO.EQ.0.AND.ICARA.EQ.0) GO TO 850
248      C
249      C
250      C      CARGAS DE PESO PROPIO Y REPARTIDAS PARA ELEMENTOS PLACA CLLL
251      C      (CARGA VERTICAL) Y TRONCOCONICO DE DOS NODOS (CARGA NORMAL)
252      C
253          DO 805 IELEM=1,NELEM
254      805 CARUN(IELEM)=0.0
255          IF(ICARA.EQ.0) GO TO 810
256      C
257      C*** BUCLE SOBRE CADA LADO CARGADO
258      C
259          READ(5,931) NELCA,CAREP
260      931 FORMAT(I5,F10.3)
261          WRITE(6,935) NELCA,NNODE
262          IF(NELCA.EQ.NELEM) GO TO 953
263          DO 803 IELCA=1,NELCA
264          READ(5,946) NEASS,CARUN(NEASS)
265          WRITE(6,946) NEASS,CARUN(NEASS)
266      946 FORMAT(I5,F10.3)
267      803 CONTINUE
268          GO TO 810
269      953 DO 954 IELEM=1,NELEM
270      954 CARUN(IELEM)=CAREP
271      C
272      C*** BUCLE SOBRE CADA ELEMENTO

```



```

273 C
274 810 DO 845 IELEM=1,NELEM
275     LPROP=ABS(MATNU(IELEM))
276     CAR1=0.0
277     IF(IPESO.EQ.0) GO TO 820
278 C
279 C     CALCULA LA CARGA DE PESO PROPIO
280 C
281     ESPES=PROPS(LPROP,3)
282     CAR1=PROPS(LPROP,4)
283     IF(ESPES.NE.0) CAR1=CAR1*ESPES
284 820 IF(NTIPO.EQ.6) GO TO 252
285     DO 101 INODE=1,NNODE
286     DO 101 IDIME=1,NDIME
287     LNODE=LNODS(IELEM,INODE)
288 101 COREL(IDIME,INODE)=COORD(LNODE,IDIME)
289 C
290 C*** BUCLE DE INTEGRACION NUMERICA ELEMENTO PLACA CLLL
291 C
292     KPGAU=1
293     DO 326 IGAUS=1,NGAUS
294     DO 326 JGAUS=1,NGAUS
295     EXISP=POSPG(IGAUS)
296     ETASP=POSPG(JGAUS)
297 C
298 C*** CALCULA FUNCIONES DE FORMA EN LOS PUNTOS DE INTEGRACION Y
299 C     EL VOLUMEN ELEMENTAL
300 C
301     CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
302     CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
303     DAREA=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)
304 C
305 C*** ASOCIA LAS FUERZAS MODALES EQUIVALENTES A CADA ELEMENTO
306 C
307     DO 326 INODE=1,NNODE
308     NPOSN=(INODE-1)*NGDLM+1
309     CARGA(IELEM,NPOSN)=CARGA(IELEM,NPOSN)+FFORM(INODE)*
310     .(CAR1+CARUN(IELEM))*DAREA
311 326 CONTINUE
312     GO TO 850
313 C
314 C*** ELEMENTO TRONCOCONICO DE DOS NODOS
315 C
316 252 LNOD1=LNODS(IELEM,1)
317     LNOD2=LNODS(IELEM,2)
318     X1=COORD(LNOD2,1)-COORD(LNOD1,1)
319     Y1=COORD(LNOD2,2)-COORD(LNOD1,2)
320     ELONG=SQRT(X1*X1+Y1*Y1)
321     COSAN=X1/ELONG
322     SINAN=Y1/ELONG
323     RADIO=(COORD(LNOD2,1)+COORD(LNOD1,1))/2.0
324     X1=(2.0*RADIO-ELONG/3.0)*PI2*ELONG/4.0
325     X2=(2.0*RADIO+ELONG/3.0)*PI2*ELONG/4.0
326 C
327 C*** ASOCIA LAS FUERZAS MODALES EQUIVALENTES DE CARA A CADA ELEMENTO
328 C
329     CARGA(IELEM,1)=CARGA(IELEM,1)+(CARUN(IELEM)*SINAN)*X1
330     CARGA(IELEM,2)=CARGA(IELEM,2)+(CAR1+CARUN(IELEM)*COSAN)*X1
331     CARGA(IELEM,4)=CARGA(IELEM,4)+(CARUN(IELEM)*SINAN)*X2
332     CARGA(IELEM,5)=CARGA(IELEM,5)+(CAR1+CARUN(IELEM)*COSAN)*X2
333 845 CONTINUE
334 850 CONTINUE
335     WRITE(6,970)
336 970 FORMAT(/,'0',5X,'FUERZAS TOTALES MODALES EQUIVALENTES
337     .           ELEMENTALES',/)
338     DO 290 IELEM=1,NELEM
339 290 WRITE(6,975) IELEM,(CARGA(IELEM,IEVAB),IEVAB=1,NEVAB)
340 975 FORMAT(1X,I4,5X,5E12.4,11(/,10X,5E12.4))

```

341
342

RETURN
END

```

1      SUBROUTINE GAUSSQ
2      C*****
3      C
4      C***      CALCULA COORDENADAS Y PESOS DE LA CUADRATURA DE GAUSS
5      C
6      C*****
7      COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8      .              NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
9      .              NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
10     COMMON/DATA/   COORD(500, 3), CARGA(200, 60), DESPL(1500),
11     .              INPRE(100, 3), NODPR(100), LNODS(200, 20),
12     .              MATNU(200), PROPS(10, 5), PRESC(100, 3)
13     COMMON/CALCULO/ BMATZ(6, 60), COREL(3, 20), CORPG(3, 27),
14     .              DERIV(3, 20), DBMAT(6, 60), DCART(3, 20),
15     .              DMATZ(6, 6), FFORM(20), POSGT(14),
16     .              POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6, 60, 27)
17     IF(NGAUS.NE.1) GO TO 5
18     C
19     C*** CUADRATURA DE 1 PUNTO o 1X1 PUNTOS
20     C
21     POSPG(1)=0
22     PESPG(1)=2
23     IF(NNODE.EQ.3.OR.NNODE.EQ.6)GO TO 35
24     GO TO 50
25     5   IF(NGAUS.NE.2) GO TO 10
26     C
27     C*** ELEMENTOS 1D, CUADRILATEROS, HEXAGONALES
28     C
29     C
30     C*** CUADRATURA DE 2 PUNTOS o 2X2 PUNTOS o 2X2X2 PUNTOS
31     C
32     POSPG(1)=-0.577350269189626
33     PESPG(1)=1.0
34     GO TO 20
35     C
36     C*** CUADRATURA DE 3 PUNTOS o 3X3 PUNTOS o 3X3X3 PUNTOS
37     C
38     10  POSPG(1)=-0.774596669241483
39     POSPG(2)=0.0
40     PESPG(1)=0.5555555555555556
41     PESPG(2)=0.8888888888888889
42     20  KGAUS=NGAUS/2
43     DO 30 IGASH=1, KGAUS
44     JGASH=NGAUS+1-IGASH
45     POSPG(JGASH)=-POSPG(IGASH)
46     PESPG(JGASH)=PESPG(IGASH)
47     30  CONTINUE
48     IF(NNODE.EQ.3.OR.NNODE.EQ.6)GO TO 35
49     GO TO 50
50     C
51     C*** ELEMENTOS TRIANGULARES
52     C
53     35  IF(NGAUS.GT.1) GO TO 36
54     C
55     C*** CUADRATURA DE 1 PUNTO
56     C
57     POSGT(1)=1.0/3.0
58     POSGT(2)=1.0/3.0
59     PESGT(1)=1.0/2.0
60     GO TO 50
61     36  IF(NGAUS.GT.3) GO TO 40
62     C
63     C*** CUADRATURA DE 3 PUNTOS
64     C
65     POSGT(1)=1.000/6.000
66     POSGT(2)=2.000/3.000
67     POSGT(3)=POSGT(1)
68     POSGT(4)=POSGT(1)

```

```
69          POSGT(5)=POSGT(1)
70          POSGT(6)=POSGT(2)
71          PESGT(1)=1.0D0/6.0D0
72          PESGT(2)=PESGT(1)
73          PESGT(3)=PESGT(1)
74          GO TO 50
75      40    IF(NGAUS.EQ.7) GO TO 50
76          C
77      C*** CUADRATURA DE 7 PUNTOS
78          C
79          POSGT(1)=0.1012865073235D0
80          POSGT(2)=0.7974269853531D0
81          POSGT(3)=POSGT(1)
82          POSGT(4)=0.4701420641051D0
83          POSGT(5)=POSGT(4)
84          POSGT(6)=0.0597158717898D0
85          POSGT(7)=1.0D0/3.0D0
86          POSGT(8)=POSGT(1)
87          POSGT(9)=POSGT(1)
88          POSGT(10)=POSGT(2)
89          POSGT(11)=POSGT(6)
90          POSGT(12)=POSGT(4)
91          POSGT(13)=POSGT(4)
92          POSGT(14)=POSGT(7)
93          PESGT(1)=0.1259391805448D0/2.0D0
94          PESGT(2)=PESGT(1)
95          PESGT(3)=PESGT(1)
96          PESGT(4)=0.1323941527885D0/2.0D0
97          PESGT(5)=PESGT(4)
98          PESGT(6)=PESGT(4)
99          PESGT(7)=0.225D0/2.0D0
100      50    CONTINUE
101          RETURN
102          END
```

```

1      SUBROUTINE JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
2      C*****
3      C
4      C***      CALCULA EL JACOBIANO, SU DETERMINANTE E INVERSA,
5      C          Y DERIVADAS CARTESIANAS DE LAS FUNCIONES DE FORMA
6      C
7      C*****
8          COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, ICARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
9          .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
10         .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
11         COMMON/DATA/    COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
12         .                INPRE(100,3), MODPR(100), LNODS(200,20),
13         .                MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
14         COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
15         .                DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
16         .                DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
17         .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
18         COMMON/PLACORT/ XJACI(3,3), XJACM(3,3)
19     C
20     C***      CALCULA COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE INTEGRACION
21     C
22     IF(KPGAU.EQ.0) GO TO 20
23     DO 10 IDIME=1,NDIME
24     CORPG(IDIME,KPGAU)=0.0
25     DO 10 INODE=1,NNODE
26     CORPG(IDIME,KPGAU)=CORPG(IDIME,KPGAU)+COREL(IDIME,INODE)
27     .*FFORM(INODE)
28     10 CONTINUE
29     C
30     C***      CALCULA MATRIZ JACOBIANO 2D Y 3D
31     C
32     20 DO 30 IDIME=1,NDIME
33     DO 30 JDIME=1,NDIME
34     XJACM(IDIME,JDIME)=0.0
35     DO 30 INODE=1,NNODE
36     XJACM(IDIME,JDIME)=XJACM(IDIME,JDIME)+DERIV(IDIME,INODE)*
37     .COREL(JDIME,INODE)
38     30 CONTINUE
39     IF(NDIME.EQ.3)GO TO 50
40     C
41     C***      CALCULA EL DETERMINANTE Y LA INVERSA DEL JACOBIANO EN 2D
42     C
43     DJACB=XJACM(1,1)*XJACM(2,2)-XJACM(1,2)*XJACM(2,1)
44     IF(DJACB.LE.0.0) GO TO 70
45     XJACI(1,1)=XJACM(2,2)/DJACB
46     XJACI(2,2)=XJACM(1,1)/DJACB
47     XJACI(1,2)=-XJACM(1,2)/DJACB
48     XJACI(2,1)=-XJACM(2,1)/DJACB
49     GO TO 60
50     C
51     C***      CALCULA EL DETERMINANTE Y LA INVERSA DEL JACOBIANO EN 3D
52     C
53     50 DJACB=XJACM(1,1)*XJACM(2,2)*XJACM(3,3)+XJACM(1,3)*XJACM
54     . (2,1)*XJACM(3,2)+XJACM(3,1)*XJACM(1,2)*XJACM(2,3)-
55     . XJACM(3,1)*XJACM(2,2)*XJACM(1,3)-XJACM(3,3)*XJACM
56     . (1,2)*XJACM(2,1)-XJACM(1,1)*XJACM(2,3)*XJACM(3,2)
57     IF(DJACB.LE.0.0) GO TO 70
58     XJACI(1,1)= (XJACM(2,2)*XJACM(3,3)-XJACM(3,2)*XJACM(2,3))/DJACB
59     XJACI(1,2)=- (XJACM(1,2)*XJACM(3,3)-XJACM(1,3)*XJACM(3,2))/DJACB
60     XJACI(1,3)= (XJACM(1,2)*XJACM(2,3)-XJACM(2,2)*XJACM(1,3))/DJACB
61     XJACI(2,1)=- (XJACM(2,1)*XJACM(3,3)-XJACM(3,1)*XJACM(2,3))/DJACB
62     XJACI(2,2)= (XJACM(1,1)*XJACM(3,3)-XJACM(1,3)*XJACM(3,1))/DJACB
63     XJACI(2,3)=- (XJACM(1,1)*XJACM(2,3)-XJACM(2,1)*XJACM(1,3))/DJACB
64     XJACI(3,1)= (XJACM(2,1)*XJACM(3,2)-XJACM(3,1)*XJACM(2,2))/DJACB
65     XJACI(3,2)=- (XJACM(1,1)*XJACM(3,2)-XJACM(3,1)*XJACM(1,2))/DJACB
66     XJACI(3,3)= (XJACM(1,1)*XJACM(2,2)-XJACM(1,2)*XJACM(2,1))/DJACB
67     C
68     C***      CALCULA LAS DERIVADAS CARTESIANAS DE LAS FUNCIONES DE FORMA

```

```

69      C
70      60 DO 40 IDIME=1,NDIME
71          DO 40 INODE=1,NNODE
72          DCART(IDIME,INODE)=0.0
73          DO 40 JDIME=1,NDIME
74          DCART(IDIME,INODE)=DCART(IDIME,INODE)+XJACI(IDIME,JDIME)*
75          .DERIV(JDIME,INODE)
76      40 CONTINUE
77          GO TO 80
78      70 WRITE(6,900) IELEM
79      900 FORMAT(//,'PROGRAMA DETENIDO EN SUBROUTINA JACOBM',/,11X,
80          . ' DETERMINANTE DEL JACOBIANO CERO O NEGATIVO',/,10X,
81          . ' EN ELEMENTO NUMERO',I5)
82          STOP
83      80 CONTINUE
84          RETURN
85          END
    
```

```

1      SUBROUTINE RIGIMAT
2      C*****
3      C
4      C***      CALCULA MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA ELEMENTO
5      C
6      C*****
7      DIMENSION RIGID(60,60),VELEX(2,2,9),BSMAT(18,27)
8      COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, MCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
9      .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
10     .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
11     COMMON/DATA/   COORD(500,3),CARGA(200,60),DESPL(1500),
12     .                IMPRE(100,3),NODPR(100),LNODS(200,20),
13     .                MATNU(200),PROPS(10,5),PRESC(100,3)
14     COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60),COREL(3,20),CORPG(3,27),
15     .                DERIV(3,20),DBMAT(6,60),DCART(3,20),
16     .                DMATZ(6,6),FFORM(20),POSGT(14),
17     .                POSPG(3),PESGT(7),PESPG(3),TENSZ(6,60,27)
18     COMMON/PLACORT/ XJACI(3,3),XJACH(3,3)
19     EGASP=0.0
20     PI2=2.0*3.14159265
21     C
22     C*** BUCLE SOBRE CADA ELEMENTO
23     C
24     DO 700 IELEM=1,NELEM
25     LPROP=ABS(MATNU(IELEM))
26     C
27     C*** CALCULA LAS COORDENADAS DE LOS PUNTOS NODALES DEL ELEMENTO
28     C
29     DO 10 INODE=1,NNODE
30     LNODE=LNODS(IELEM,INODE)
31     DO 10 IDIME=1,NDIME
32     10 COREL(IDIME,INODE)=COORD(LNODE, IDIME)
33     C
34     C*** CALCULA LA MATRIZ D
35     C
36     CALL DMAT(LPROP)
37     C
38     C*** INICIALIZA LA MATRIZ DE RIGIDEZ ELEMENTAL
39     C
40     DO 20 IEVAB=1,NEVAB
41     DO 20 JEVAB=1,NEVAB
42     20 RIGID(IEVAB,JEVAB)=0.0
43     THICK=PROPS(LPROP,3)
44     KPGAU=0
45     IF(NTIPO.GT.3) GO TO 100
46     C
47     C*** BUCLE PARA INTEGRACION NUMERICA EN ELEMENTOS CUADRILATEROS O
48     C TRIANGULARES DE TENSION PLANA, DEFORMACION PLANA Y SOLIDO DE REVOLUCION
49     C
50     IF(NNODE.EQ.3.OR.NNODE.EQ.6) GO TO 50
51     C
52     C*** ELEMENTOS CUADRILATEROS
53     C
54     DO 40 IGAUS=1,NGAUS
55     DO 40 JGAUS=1,NGAUS
56     KPGAU=KPGAU+1
57     EXISP=POSPG(IGAUS)
58     ETASP=POSPG(JGAUS)
59     CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
60     CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
61     DVOLU=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)
62     IF(NTIPO.EQ.3) GO TO 25
63     IF(THICK.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*THICK
64     25 IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORPG(1,KPGAU)*DVOLU
65     CALL BMAT(IELEM,KPGAU)
66     CALL DBMATX
67     DO 30 IEVAB=1,NEVAB
68     DO 30 JEVAB=IEVAB,NEVAB

```

```

69         DO 30 ITENS=1,NTENS
70         30 RIGID(IEVAB,JEVAB)=RIGID(IEVAB,JEVAB)+BMATZ(ITENS,IEVAB)*
71         .DBMAT(ITENS,JEVAB)*DVOLU
72         DO 35 ITENS=1,NTENS
73         DO 35 IEVAB=1,NEVAB
74         35 TENSZ(ITENS,IEVAB,KPGAU)=DBMAT(ITENS,IEVAB)
75         40 CONTINUE
76         GO TO 500
77     C
78     C*** ELEMENTOS TRIANGULARES
79     C
80     50 DO 70 IGAUS=1,NGAUS
81         KPGAU=KPGAU+1
82         EXISP=POSGT(IGAUS)
83         ETASP=POSGT(NGAUS+IGAUS)
84         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
85         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
86         DVOLU=DJACB*PESGT(IGAUS)
87         IF(NTIPO.EQ.3) GO TO 55
88         IF(THICK.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*THICK
89         55 IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORPG(1,KPGAU)*DVOLU
90         CALL BMAT(IELEM,KPGAU)
91         CALL DBMATX
92         DO 60 IEVAB=1,NEVAB
93         DO 60 JEVAB=IEVAB,NEVAB
94         DO 60 ITENS=1,NTENS
95         60 RIGID(IEVAB,JEVAB)=RIGID(IEVAB,JEVAB)+BMATZ(ITENS,IEVAB)*
96         .DBMAT(ITENS,JEVAB)*DVOLU
97         DO 85 ITENS=1,NTENS
98         DO 85 IEVAB=1,NEVAB
99         85 TENSZ(ITENS,IEVAB,KPGAU)=DBMAT(ITENS,IEVAB)
100        70 CONTINUE
101        GO TO 500
102        100 IF(NTIPO.NE.4) GO TO 200
103    C
104    C*** BUCLE PARA INTEGRACION NUMERICA EN ELEMENTOS SOLIDOS
105    C TRIDIMENSIONALES HEXAGONALES
106    C
107        DO 120 IGAUS=1,NGAUS
108        DO 120 JGAUS=1,NGAUS
109        DO 120 KGAUS=1,NGAUS
110        KPGAU=KPGAU+1
111        EXISP=POSPG(IGAUS)
112        ETASP=POSPG(JGAUS)
113        EGASP=POSPG(KGAUS)
114        CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
115        CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
116        DVOLU=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)*PESPG(KGAUS)
117        CALL BMAT(IELEM,KPGAU)
118        CALL DBMATX
119        DO 110 IEVAB=1,NEVAB
120        DO 110 JEVAB=IEVAB,NEVAB
121        DO 110 ITENS=1,NTENS
122        110 RIGID(IEVAB,JEVAB)=RIGID(IEVAB,JEVAB)+BMATZ(ITENS,IEVAB)*
123        .DBMAT(ITENS,JEVAB)*DVOLU
124        DO 135 ITENS=1,NTENS
125        DO 135 IEVAB=1,NEVAB
126        135 TENSZ(ITENS,IEVAB,KPGAU)=DBMAT(ITENS,IEVAB)
127        120 CONTINUE
128        GO TO 500
129        200 IF(NTIPO.NE.5) GO TO 300
130    C
131    C*** BUCLE PARA INTEGRACION NUMERICA EN ELEMENTO DE PLACA CLLL
132    C
133        DO 230 IGAUS=1,NGAUS
134        DO 230 JGAUS=1,NGAUS
135        KPGAU=KPGAU+1
136        EXISP=POSPG(IGAUS)

```



```

137      ETASP=POSPG(JGAUS)
138      CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
139      CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
140      DAREA=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)
141      C
142      C*** CALCULA LA MATRIZ DE DEFORMACION CORTANTE SUSTITUTIVA
143      C
144      CALL BCORTE(BSMAT,VELEX,IELEM,EXISP,ETASP,EGASP,KPGAU)
145      CALL DBMATX
146      DO 210 IEVAB=1,NEVAB
147      DO 210 JEVAB=IEVAB,NEVAB
148      DO 210 ITENS=1,NTENS
149      210 RIGID(IEVAB,JEVAB)=RIGID(IEVAB,JEVAB)+BMTZ(ITENS,IEVAB)*
150      .DBMAT(ITENS,JEVAB)*DAREA
151      DO 240 ITENS=1,NTENS
152      DO 240 IEVAB=1,NEVAB
153      240 TENSZ(ITENS,IEVAB,KPGAU)=DBMAT(ITENS,IEVAB)
154      230 CONTINUE
155      GO TO 500
156      300 IF(NTIPO.NE.6) GO TO 400
157      C
158      C*** MATRIZ DE RIGIDEZ DEL ELEMENTO LAMINA DE REVOLUCION TRONCOCONICO
159      C DE REISSNER-MINDLIN
160      C
161      CALL BMAT(IELEM,KPGAU)
162      DVOLU=ELONG*PI2*RADIO
163      CALL DBMATX
164      DO 330 IEVAB=1,NEVAB
165      DO 330 JEVAB=IEVAB,NEVAB
166      DO 330 ITENS=1,NTENS
167      330 RIGID(IEVAB,JEVAB)=RIGID(IEVAB,JEVAB)+BMTZ(ITENS,IEVAB)*
168      .DBMAT(ITENS,JEVAB)*DVOLU
169      DO 335 ITENS=1,NTENS
170      DO 335 IEVAB=1,NEVAB
171      335 TENSZ(ITENS,IEVAB,1)=DBMAT(ITENS,IEVAB)
172      GO TO 500
173      400 WRITE(6,900)
174      900 FORMAT(1X,'ERROR EN LA SELECCION DE TIPO DE ANALISIS')
175      STOP
176      500 CONTINUE
177      C
178      C*** CALCULO DE LA PARTE TRIANGULAR INFERIOR DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ
179      C
180      DO 600 IEVAB=1,NEVAB
181      DO 600 JEVAB=IEVAB,NEVAB
182      600 RIGID(JEVAB,IEVAB)=RIGID(IEVAB,JEVAB)
183      C
184      C*** ALMACENA LA MATRIZ DE RIGIDEZ ELEMENTAL, LA MATRIZ DB PARA EL CALCULO DE
185      C TENSIONES Y LAS COORDENADAS DE LOS PUNTOS DE INTEGRACION
186      C
187      WRITE(1) RIGID
188      WRITE(3) TENSZ,CORPG
189      700 CONTINUE
190      RETURN
191      END

```

```

1      SUBROUTINE SOLUCION
2      C*****
3      C
4      C***      ENSAMBLA Y RESUELVE EL SISTEMA DE ECUACIONES MATRICIALES
5      C
6      C*****
7      COMMON/CONTROL/  ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8      .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
9      .                NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
10     COMMON/DATA/    COORD(500, 3), CARGA(200, 60), DESPL(1500),
11     .                INPRE(100, 3), NODPR(100), LNODS(200, 20),
12     .                MATNU(200), PROPS(10, 5), PRESC(100, 3)
13     COMMON/CALCULO/  BMATZ(6, 60), COREL(3, 20), CORPG(3, 27),
14     .                DERIV(3, 20), DBMAT(6, 60), DCART(3, 20),
15     .                DMATZ(6, 6), FFORM(20), POSGT(14),
16     .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6, 60, 27)
17     COMMON/SOLU     /ASLOD(200), ASTIF(200, 200), IFFIX(200),
18     .                FIXED(200), NSVAB, REACT(200), RIGID(60, 60),
19     .                TREAC(3)
20     C
21     C***      SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES UTILIZANDO ELIMINACION
22     C      GAUSSIANA DIRECTA
23     C
24     CALL ENSAMBLA
25     CALL REDUCE
26     CALL SUSTITUIR
27     RETURN
28     END
29     SUBROUTINE ENSAMBLA
30     C*****
31     C
32     C***      ENSAMBLA LAS MATRICES DE RIGIDEZ Y LOS VECTORES DE FUERZAS
33     C
34     C*****
35     COMMON/CONTROL/  ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
36     .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
37     .                NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
38     COMMON/DATA/    COORD(500, 3), CARGA(200, 60), DESPL(1500),
39     .                INPRE(100, 3), NODPR(100), LNODS(200, 20),
40     .                MATNU(200), PROPS(10, 5), PRESC(100, 3)
41     COMMON/CALCULO/  BMATZ(6, 60), COREL(3, 20), CORPG(3, 27),
42     .                DERIV(3, 20), DBMAT(6, 60), DCART(3, 20),
43     .                DMATZ(6, 6), FFORM(20), POSGT(14),
44     .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6, 60, 27)
45     COMMON/SOLU     /ASLOD(200), ASTIF(200, 200), IFFIX(200),
46     .                FIXED(200), NSVAB, REACT(200), RIGID(60, 60),
47     .                TREAC(3)
48     INTEGER*2 MTOTV, JFFIX(200)
49     NTOTV=NPNOD*NGDLN
50     MTOTV=INT2(NTOTV)
51     REWIND 1
52     DO 10 ITOTV=1, NTOTV
53     ASLOD(ITOTV)=0.0
54     DESPL(ITOTV)=0.0
55     FIXED(ITOTV)=0
56     IFFIX(ITOTV)=0
57     DO 10 JTOTV=1, NTOTV
58     ASTIF(ITOTV, JTOTV)=0.0
59     10 CONTINUE
60     C
61     C***      ENSAMBLA VECTOR DE FUERZAS ELEMENTALES
62     C
63     NSVAB=1
64     DO 15 IPRES=1, NPRES
65     NLOCA=(NODPR(IPRES)-1)*NGDLN
66     DO 15 IGDLN=1, NGDLN
67     NCONT=NLOCA+IGDLN
68     IFFIX(NCONT)=INPRE(IPRES, IGDLN)

```

```

69     15  FIXED(NCONT)=PRESC(IPRES,IGDLN)
70     DO 30 IELEM=1,NELEM
71     READ(1) RIGID
72     DO 20 INODE=1,NNODE
73     NODEI=LNODS(IELEM,INODE)
74     DO 20 IGDLN=1,NGDLN
75     NROWS=((NODEI-1)*MGDLN)+IGDLN
76     NROWE=((INODE-1)*MGDLN)+IGDLN
77     ASLOD(NROWS)=ASLOD(NROWS)+CARGA(IELEM,NROWE)
78     IF(NROWS.GT.NSVAB) NSVAB=NROWS
79     C
80     C***  ENSAMBLA LAS MATRICES DE RIGIDECEZ ELEMENTALES
81     C
82     DO 20 JNODE=1,NNODE
83     NODEJ=LNODS(IELEM,JNODE)
84     DO 20 JGDLN=1,NGDLN
85     NCOLS=(NODEJ-1)*MGDLN+JGDLN
86     NCOLE=(JNODE-1)*MGDLN+JGDLN
87     B=RIGID(NROWE,NCOLE)
88     ASTIF(NROWS,NCOLS)=ASTIF(NROWS,NCOLS)+B
89     20  CONTINUE
90     30  CONTINUE
91     DO ITOTV=1,NTOTV
92     IF(IFFIX(ITOTV).EQ.0) THEN
93     JFFIX(ITOTV)=1
94     ELSE
95     JFFIX(ITOTV)=0
96     ENDDIF
97     ENDDO
98     IF(ICARG.EQ.1) WRITE(29) MTOTV,(JFFIX(ITOTV),ITOTV=1,NTOTV)
99     WRITE(29) MTOTV,(ASLOD(ITOTV),ITOTV=1,NTOTV)
100    RETURN
101    END
102    SUBROUTINE REDUCE
103    C*****
104    C
105    C***      REDUCE EL SISTEMA DE ECUACIONES GLOBALES POR ELIMINACION
106    C          GAUSSIANA DIRECTA
107    C
108    C*****
109    COMMON/CONTROL/ ELONG,ICARG,IPROB,NCARG,NDIME,NELEM,NEVAB,
110    .              NGAUS,NGDLN,NMATS,NNODE,NPNOD,
111    .              NPRES,NPROB,NPROP,NTENS,MTIPO,RADIO
112    COMMON/DATA/   COORD(500,3),CARGA(200,60),DESPL(1500),
113    .              IMPRE(100,3),NODPR(100),LNODS(200,20),
114    .              MATNU(200),PROPS(10,5),PRESC(100,3)
115    COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60),COREL(3,20),CORPG(3,27),
116    .              DERIV(3,20),DBMAT(6,60),DCART(3,20),
117    .              DMATZ(6,6),FFORM(20),POSGT(14),
118    .              POSPG(3),PESGT(7),PESPG(3),TENSZ(6,60,27)
119    COMMON/SOLU   /ASLOD(200),ASTIF(200,200),IFFIX(200),
120    .              FIXED(200),NSVAB,REACT(200),RIGID(60,60),
121    .              TREAC(3)
122    NEONS=NSVAB
123    DO 50 IEONS=1,NEONS
124    IF(IFFIX(IEONS).EQ.1) GOTO 30
125    C
126    C***  REDUCE ECUACIONES
127    C
128    PIVOT=ASTIF(IEONS,IEONS)
129    IF(ABS(PIVOT).LT.1.0E-10) GOTO 60
130    IF(IEONS.EQ.NEONS) GOTO 50
131    IEON1=IEONS+1
132    DO 20 IROWS=IEON1,NEONS
133    FACTR=ASTIF(IROWS,IEONS)/PIVOT
134    IF(FACTR.EQ.0.0) GOTO 20
135    DO 10 ICOLS=IEONS,NEONS
136    ASTIF(IROWS,ICOLS)=ASTIF(IROWS,ICOLS)-FACTR*ASTIF(IEONS,ICOLS)

```

```

137      10 CONTINUE
138      ASLOD(IROWS)=ASLOD(IROWS)-FACTR*ASLOD(IEONS)
139      20 CONTINUE
140      GO TO 50
141      C
142      C*** AJUSTA EL VECTOR DE CARGAS PARA DESPLAZAMIENTOS PRESCRITOS
143      C
144      30 DO 40 IROWS=IEONS,NEONS
145      BB=ASTIF(IROWS,IEONS)*FIXED(IEONS)
146      ASLOD(IROWS)=ASLOD(IROWS)-BB
147      ASTIF(IROWS,IEONS)=0.0
148      40 CONTINUE
149      GO TO 50
150      60 WRITE(6,900) PIVOT,IEONS
151      900 FORMAT(5X,'INCORRECT PIVOTE INCORRECTO=',E20.6,5X,'EQUACION No.='
152      ,I5)
153      STOP
154      50 CONTINUE
155      RETURN
156      END
157      SUBROUTINE SUSTITUIR
158      C*****
159      C
160      C*** REALIZA LA SUSTITUCION HACIA ATRAS
161      C
162      C*****
163      COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
164      . NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, MPNOD,
165      . NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
166      COMMON/DATA/ COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
167      . INPRE(100,3), NODPR(100), LNODES(200,20),
168      . MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
169      COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
170      . DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
171      . DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
172      . POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
173      COMMON/SOLU /ASLOD(200), ASTIF(200,200), IFFIX(200),
174      . FIXED(200), NSVAB, REACT(200), RIGID(60,60),
175      . TREAC(3)
176      INTEGER*2 MPNOD
177      NEONS=NSVAB
178      DO 5 IEONS=1,NEONS
179      REACT(IEONS)=0.0
180      5 CONTINUE
181      NEON1=NEONS+1
182      DO 30 IEONS=1,NEONS
183      NBACK=NEON1-IEONS
184      PIVOT=ASTIF(NBACK,NBACK)
185      RESID=ASLOD(NBACK)
186      IF(NBACK.EQ.NEONS) GO TO 20
187      NBAC1=NBACK+1
188      DO 10 ICOLS=NBAC1,NEONS
189      RESID=RESID-ASTIF(NBACK,ICOLS)*DESPL(ICOLS)
190      10 CONTINUE
191      20 IF(IFFIX(NBACK).EQ.0) DESPL(NBACK)=RESID/PIVOT
192      IF(IFFIX(NBACK).EQ.1) DESPL(NBACK)=FIXED(NBACK)
193      IF(IFFIX(NBACK).EQ.1) REACT(NBACK)=-RESID
194      30 CONTINUE
195      KOUNT=0
196      WRITE(6,900)
197      900 FORMAT(/,'0',5X,'DESPLAZAMIENTOS')
198      IF(NGDLN.NE.2) GO TO 430
199      IF(NDIME.NE.1) GO TO 420
200      WRITE(6,905)
201      905 FORMAT('0',5X,'NODO',2X,'DESPLAZAMIENTO',2X,'ROTACION')
202      GO TO 440
203      420 WRITE(6,910)
204      910 FORMAT('0',5X,'NODO',5X,'X-DESP.',7X,'Y-DESP.')
```

```

205          GO TO 440
206      430 IF (NDIME.EQ.3) GO TO 435
207          IF (NTIPO.EQ.6) GO TO 436
208          WRITE(6,915)
209      915 FORMAT('0',5X,'NODO',6X,'DESP. W',6X,'ROT. XZ',7X,'ROT. YZ')
210          GO TO 440
211      436 WRITE(6,916)
212      916 FORMAT('0',5X,'NODO',6X,'DESP. U',6X,'DESP. V',9X,'ROT. ')
213          GO TO 440
214      435 WRITE(6,917)
215      917 FORMAT('0',5X,'NODO',6X,'DESP.-X',6X,'DESP.-Y',7X,'DESP.-Z')
216      440 CONTINUE
217          DO 450 IPNOD=1,MPNOD
218          NCONT=IPNOD*NGDLN
219          NGISH=NCONT-NGDLN+1
220          MPNOD=INT2(IPNOD)
221          WRITE(6,920) IPNOD,(DESPL(IGASH),IGASH=NGISH,NCONT)
222          WRITE(29) MPNOD,(DESPL(IGASH),IGASH=NGISH,NCONT)
223      450 CONTINUE
224      920 FORMAT(I10,3E14.6)
225          WRITE(6,925)
226      925 FORMAT(/,'0',5X,'REACCIONES')
227          IF (NGDLN.NE.2) GO TO 470
228          IF (NDIME.NE.1) GO TO 460
229          WRITE(6,930)
230      930 FORMAT('0',5X,'NODO',6X,'FUERZA',6X,'MOMENTO')
231          GO TO 480
232      460 WRITE(6,935)
233      935 FORMAT('0',5X,'NODO',5X,'X-FUERZA',5X,'Y-FUERZA')
234          GO TO 480
235      470 IF (NDIME.EQ.2) GO TO 490
236          WRITE(6,936)
237      936 FORMAT('0',5X,'NODO',5X,'X-FUERZA',7X,'Y-FUERZA',7X,'Z-FUERZA')
238          GO TO 480
239      490 IF (NTIPO.EQ.6) GO TO 495
240          WRITE(6,940)
241      940 FORMAT('0',5X,'NODO',6X,'FUERZA',3X,'XZ-MOMENTO',5X,'YZ-MOMENTO')
242          GO TO 480
243      495 WRITE(6,491)
244      491 FORMAT('0',5X,'NODO',6X,'X-FUERZA',2X,'Z-FUERZA',5X,'MOMENTO')
245      480 CONTINUE
246          MCONT=0
247          DO 481 IPNOD=1,MPNOD
248          NLOCA=(IPNOD-1)*NGDLN
249          DO 484 IGDLN=1,NGDLN
250          NGUSH=NLOCA+IGDLN
251          IF (IFFIX(NGUSH).GT.0) GO TO 483
252      484 CONTINUE
253          GO TO 481
254      483 MCONT=MCONT+1
255          DO 482 IGDLN=1,NGDLN
256          NCONT=NLOCA+IGDLN
257      482 TREAC(IGDLN)=REACT(NCONT)
258          WRITE(6,945) IPNOD,(TREAC(IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)
259      481 CONTINUE
260      C      WRITE(29)MCONT
261      C      DO 591 IPNOD=1,MPNOD
262      C      NLOCA=(IPNOD-1)*NGDLN
263      C      DO 594 IGDLN=1,NGDLN
264      C      NGUSH=NLOCA+IGDLN
265      C      IF (IFFIX(NGUSH).GT.0) GO TO 593
266      c 594 CONTINUE
267      C      GO TO 591
268      c 593 DO 592 IGDLN=1,NGDLN
269      C      NCONT=NLOCA+IGDLN
270      c 592 TREAC(IGDLN)=REACT(NCONT)
271      C      MPNOD=INT2(IPNOD)
272      C      WRITE(29)MPNOD,(TREAC(IGDLN),IGDLN=1,NGDLN)

```

```
273      c 591 CONTINUE
274      945 FORMAT(I10,3E14.6)
275          RETURN
276          END
```

```

1      SUBROUTINE SUAV1
2      C*****
3      C
4      C***      CALCULA LAS TENSIONES SUAVIZADAS EN LOS NODOS
5      C
6      C*****
7      COMMON/CONTROL/  ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
8      .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOD,
9      .                NPRES, NPROB, NPROP, NTENS, NTIPO, RADIO
10     COMMON/DATA/    COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
11     .                INPRE(100,3), NODPR(100), LNODS(200,20),
12     .                MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
13     COMMON/CALCULO/  BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
14     .                DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
15     .                DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
16     .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
17     COMMON/SOLU     /TENS1(120), XFORT(120,6), SMOTI(1500), NAUXI(1500),
18     .                XFORM(6,120), TENSG(6), TENST(1500), TEMPO(1500),
19     .                XMASA(120,120), XINV(120,120), NTNOD, IERROR
20     INTEGER*2 MPNOD
21     IF(NNODE.EQ.20) THEN
22     WRITE(29) INT2(0)
23     RETURN
24     ENDDIF
25     REWIND (10)
26     EGASP=0.0
27     PI2=2.0*3.14159265
28     NSTR1=NTENS
29     MPOST=0
30     C
31     C*** CALCULO DE TENSIONES PERPENDICULARES AL PLANO EN DEFORMACION PLANA
32     C
33     IF(NTIPO.EQ.3.OR.NTIPO.EQ.2.OR.NTIPO.EQ.1)NSTR1=NSTR1+1
34     WRITE(29)NSTR1
35     MTNOD=NSTR1*MPNOD
36     DO 5 ITNOD=1,MTNOD
37     NAUXI(ITNOD)=0
38     TENST(ITNOD)=0.0
39     5 SMOTI(ITNOD)=0.0
40     INDC=0
41     NNOD1=0
42     IF(NNODE.NE.8.AND.NNODE.NE.9) GO TO 6
43     INDC=1
44     NNOD1=7
45     NNOD2=8
46     IF(NNODE.EQ.9) NNOD2=9
47     NNODE=4
48     6 IF(NNODE.NE.6) GO TO 7
49     INDC=1
50     NNOD1=5
51     NNOD2=5
52     NNODE=3
53     7 IF(INDC.EQ.0) GO TO 9
54     OPEN(11,FILE='TENS.TMP',FORM='UNFORMATTED')
55     WRITE(11) LNODS
56     DO 8 IELEM=1,NELEM
57     ICONT=0
58     DO 8 INODE=1,NNOD1,2
59     ICONT=ICONT+1
60     8 LNODS(IELEM,ICONT)=LNODS(IELEM,INODE)
61     9 CONTINUE
62     NTNOD=NSTR1*NNODE
63     C
64     C*** BUCLE SOBRE CADA ELEMENTO
65     C
66     DO 700 IELEM=1,NELEM
67     LPROP=ABS(MATNU(IELEM))
68     ESPES=PROPS(LPROP,3)

```

```

69      C
70      C*** CALCULA LAS COORDENADAS DE LOS PUNTOS NODALES DEL ELEMENTO
71      C
72          DO 10 INODE=1,NNODE
73          LNODE=LNODS(IELEM,INODE)
74          DO 10 IDIME=1,NDIME
75          10 COREL(IDIME,INODE)=COORD(LNODE,IDIME)
76      C
77      C*** INICIALIZA LAS MATRIZ DE SUAVIZADO ELEMENTALES
78      C
79          DO 13 ITNOD=1,NTNOD
80          TENS1(ITNOD)=0.0
81          DO 11 JTNOD=1,NTNOD
82          11 XMASA(ITNOD,JTNOD)=0.0
83          DO 12 ISTR1=1,NSTR1
84          XFORT(ITNOD,ISTR1)=0.0
85          12 XFORM(ISTR1,ITNOD)=0.0
86          13 CONTINUE
87          KPGAU=0
88          IF(NTIPO.GT.3) GO TO 100
89      C
90      C*** BUCLE PARA INTEGRACION NUMERICA EN ELEMENTOS CUADRILATEROS O
91      C      TRIANGULARES DE TENSION PLANA, DEFORMACION PLANA Y SOLIDO DE REVOLUCION
92      C
93          IF(NNODE.EQ.3.OR.NNODE.EQ.6) GO TO 50
94      C
95      C*** ELEMENTOS CUADRILATEROS
96      C
97          DO 40 IGAUS=1,NGAUS
98          DO 40 JGAUS=1,NGAUS
99          KPGAU=KPGAU+1
100         EXISP=POSPG(IGAUS)
101         ETASP=POSPG(JGAUS)
102         READ(10)TENSG
103         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
104         DO 21 ITNOD=1,NTNOD
105         DO 21 ISTR1=1,NSTR1
106         XFORM(ISTR1,ITNOD)=0.0
107         21 XFORT(ITNOD,ISTR1)=0.0
108         DO 22 INODE=1,NNODE
109         MTENS=(INODE-1)*NSTR1
110         DO 22 ISTR1=1,NSTR1
111         XFORM(ISTR1,MTENS+ISTR1)=FFORM(INODE)
112         22 XFORT(MTENS+ISTR1,ISTR1)=FFORM(INODE)
113         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
114         DVOLU=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)
115         IF(NTIPO.EQ.3) GO TO 25
116         IF(ESPES.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*ESPES
117         25 IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORPG(1,KPGAU)*DVOLU
118         DO 30 ITNOD=1,NTNOD
119         DO 30 JSTR1=1,NSTR1
120         TENS1(ITNOD)=TENS1(ITNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*TENSG(JSTR1)*DVOLU
121         DO 30 KTNOD=1,NTNOD
122         30 XMASA(ITNOD,KTNOD)=XMASA(ITNOD,KTNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*
123         .XFORM(JSTR1,KTNOD)*DVOLU
124         40 CONTINUE
125         GO TO 500
126      C
127      C*** ELEMENTOS TRIANGULARES
128      C
129         50 DO 70 IGAUS=1,NGAUS
130         KPGAU=KPGAU+1
131         EXISP=POSGT(IGAUS)
132         ETASP=POSGT(NGAUS+IGAUS)
133         READ(10)TENSG
134         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
135         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
136         DVOLU=DJACB*PESGT(IGAUS)

```



```

137         DO 42 ITNOD=1,NTNOD
138         DO 42 ISTR1=1,NSTR1
139         XFORM(ISTR1,ITNOD)=0.0
140         42 XFORT(ITNOD,ISTR1)=0.0
141         DO 44 INODE=1,NNODE
142         MTENS=(INODE-1)*NSTR1
143         DO 44 ISTR1=1,NSTR1
144         XFORM(ISTR1,MTENS+ISTR1)=FFORM(INODE)
145         44 XFORT(MTENS+ISTR1,ISTR1)=FFORM(INODE)
146         IF(NTIPO.EQ.3) GO TO 55
147         IF(ESPES.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*ESPES
148         55 IF(NTIPO.EQ.3) DVOLU=PI2*CORPG(1,KPGAU)*DVOLU
149         DO 60 ITNOD=1,NTNOD
150         DO 60 JSTR1=1,NSTR1
151         TENS1(ITNOD)=TENS1(ITNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*TENSG(JSTR1)*DVOLU
152         DO 60 KTNOD=1,NTNOD
153         60 XMASA(ITNOD,KTNOD)=XMASA(ITNOD,KTNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*
154         .XFORM(JSTR1,KTNOD)*DVOLU
155         70 CONTINUE
156         GO TO 500
157         100 IF(NTIPO.NE.4) GO TO 200
158         C
159         C*** BUCLE PARA INTEGRACION NUMERICA EN ELEMENTOS SOLIDOS
160         C TRIDIMENSIONALES HEXAGONALES
161         C
162         DO 120 IGAUS=1,NGAUS
163         DO 120 JGAUS=1,NGAUS
164         DO 120 KGAUS=1,NGAUS
165         KPGAU=KPGAU+1
166         EXISP=POSPG(IGAUS)
167         ETASP=POSPG(JGAUS)
168         EGASP=POSPG(KGAUS)
169         READ(10)TENSG
170         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
171         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
172         DVOLU=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)*PESPG(KGAUS)
173         DO 101 ITNOD=1,NTNOD
174         DO 101 ISTR1=1,NSTR1
175         XFORM(ISTR1,ITNOD)=0.0
176         101 XFORT(ITNOD,ISTR1)=0.0
177         DO 105 INODE=1,NNODE
178         MTENS=(INODE-1)*NSTR1
179         DO 105 INSTR1=1,NSTR1
180         XFORM(INSTR1,MTENS+INSTR1)=FFORM(INODE)
181         105 XFORT(MTENS+INSTR1,INSTR1)=FFORM(INODE)
182         DO 110 ITNOD=1,NTNOD
183         DO 110 JSTR1=1,NSTR1
184         TENS1(ITNOD)=TENS1(ITNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*TENSG(JSTR1)*DVOLU
185         DO 110 KTNOD=1,NTNOD
186         110 XMASA(ITNOD,KTNOD)=XMASA(ITNOD,KTNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*
187         .XFORM(JSTR1,KTNOD)*DVOLU
188         120 CONTINUE
189         GO TO 500
190         200 IF(NTIPO.NE.5) GO TO 300
191         C
192         C*** BUCLE PARA INTEGRACION NUMERICA EN ELEMENTO DE PLACA CLLL
193         C
194         DO 230 IGAUS=1,NGAUS
195         DO 230 JGAUS=1,NGAUS
196         KPGAU=KPGAU+1
197         EXISP=POSPG(IGAUS)
198         ETASP=POSPG(JGAUS)
199         READ(10)TENSG
200         CALL FFORMA(EXISP,ETASP,EGASP)
201         CALL JACOBM(IELEM,DJACB,KPGAU)
202         DAREA=DJACB*PESPG(IGAUS)*PESPG(JGAUS)*ESPES
203         DO 201 ITNOD=1,NTNOD
204         DO 201 ISTR1=1,NSTR1

```

```

205         XFORM(ISTR1,ITNOD)=0.0
206     201 XFORT(ITNOD,ISTR1)=0.0
207         DO 205 INODE=1,NNODE
208             MTENS=(INODE-1)*NSTR1
209             DO 205 ISTR1=1,NSTR1
210                 XFORM(ISTR1,MTENS+ISTR1)=FFORM(INODE)
211     205 XFORT(MTENS+ISTR1,ISTR1)=FFORM(INODE)
212         DO 210 ITNOD=1,NTNOD
213             DO 210 JSTR1=1,NSTR1
214                 TENS1(ITNOD)=TENS1(ITNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*TENSG(JSTR1)*DAREA
215             DO 210 KTNOD=1,NTNOD
216     210 XMASA(ITNOD,KTNOD)=XMASA(ITNOD,KTNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*
217         .XFORM(JSTR1,KTNOD)*DAREA
218     230 CONTINUE
219         GO TO 500
220     300 IF(NTIPO.NE.6) GO TO 400
221 C
222 C*** ELEMENTO LAMINA DE REVOLUCION TRONCOCONICO
223 C DE REISSNER-MINDLIN
224 C
225         READ(10)TENSG
226         CALL BMAT(IELEM,KPGAU)
227         DVOLU=ELONG
228         DO 310 INODE=1,NNODE
229             MTENS=(INODE-1)*NSTR1
230             DO 310 ISTR1=1,NSTR1
231                 XFORM(ISTR1,MTENS+ISTR1)=0.5
232     310 XFORT(MTENS+ISTR1,ISTR1)=0.5
233         DO 320 ITNOD=1,NTNOD
234             DO 320 JSTR1=1,NSTR1
235                 TENS1(ITNOD)=TENS1(ITNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*TENSG(JSTR1)*DVOLU
236             DO 320 KTNOD=1,NTNOD
237     320 XMASA(ITNOD,KTNOD)=XMASA(ITNOD,KTNOD)+XFORT(ITNOD,JSTR1)*
238         .XFORM(JSTR1,KTNOD)*DVOLU
239         GO TO 500
240     400 WRITE(6,900)
241     900 FORMAT(1X,'ERROR EN LA SELECCION DE TIPO DE ANALISIS')
242         STOP
243     500 CONTINUE
244         IF(INDC.NE.0) GO TO 1000
245 C
246 C*** ENSAMBLAJE MATRICES DE SUAVIZADO
247 C
248         DO 600 ITNOD=1,NTNOD
249         DO 600 JTNOD=1,NTNOD
250         IF(ITNOD.EQ.JTNOD) GO TO 600
251         XMASA(ITNOD,ITNOD)=XMASA(ITNOD,ITNOD)+XMASA(ITNOD,JTNOD)
252         XMASA(ITNOD,JTNOD)=0.0
253     600 CONTINUE
254         DO 650 INODE=1,NNODE
255             LNOD1=(LNODS(IELEM,INODE)-1)*NSTR1
256             DO 650 ISTR1=1,NSTR1
257                 LPOS1=(INODE-1)*NSTR1+ISTR1
258                 MPOS1=LNOD1+ISTR1
259                 IF(MPOS1.GT.MPOST) MPOST=MPOS1
260                 TENST(MPOS1)=TENST(MPOS1)+TENS1(LPOS1)
261                 SMOTI(MPOS1)=SMOTI(MPOS1)+XMASA(LPOS1,LPOS1)
262     650 CONTINUE
263         GO TO 1010
264     1000 CALL INVER
265         IF(IERROR.EQ.0) GO TO 720
266         WRITE(6,710)
267     710 FORMAT('ERROR EN EL LA INVERCION DE LA MATRIZ DE ALISADO
268         . DE TENSIONES')
269     720 DO 1740 ITNOD=1,NTNOD
270         TEMPO(ITNOD)=0.0
271         DO 1740 JTNOD=1,NTNOD
272     1740 TEMPO(ITNOD)=TEMPO(ITNOD)+XINV(ITNOD,JTNOD)*TENS1(JTNOD)

```

```

273 C
274 C*** ENSAMBLAJE DE TENSIONES
275 C
276 DO 1650 INODE=1,NNODE
277 LNOD1=(LNODS(IELEM,INODE)-1)*NSTR1
278 DO 1650 ISTR1=1,NSTR1
279 LPOS1=(INODE-1)*NSTR1+ISTR1
280 MPOS1=LNOD1+ISTR1
281 IF(MPOS1.GT.MPOST)MPOST=MPOS1
282 TENST(MPOS1)=TENST(MPOS1)+TEMPO(LPOS1)
283 NAUXI(MPOS1)=NAUXI(MPOS1)+1
284 1650 CONTINUE
285 1010 CONTINUE
286 700 CONTINUE
287 IF(INDC.NE.0) GO TO 1020
288 DO 705 IPOST=1,MPOST
289 TENST(IPOST)=TENST(IPOST)/SMOTI(IPOST)
290 705 CONTINUE
291 C DO 730 IPOST=1,MPOST
292 C 730 TEMPO(IPOST)=TENST(IPOST)
293 C DO 740 IPOST=1,MPOST
294 C TENST(IPOST)=0.0
295 C 740 TENST(IPOST)=TENST(IPOST)+XINV(IPOST,IPOST)*TEMPO(IPOST)
296 GO TO 1030
297 1020 DO 1705 IPOST=1,MPOST
298 IF(NAUXI(IPOST).EQ.0) GO TO 1705
299 TENST(IPOST)=TENST(IPOST)/FLOAT(NAUXI(IPOST))
300 1705 CONTINUE
301 C
302 C**** INTERPOLA RESULTADOS SI ES NECESARIO
303 C
304 1030 IF(INDC.EQ.0) GO TO 799
305 REWIND(11)
306 READ(11) LNODS
307 DO 760 IELEM=1,NELEM
308 DO 760 INODE=1,NNOD1,2
309 LNOD1=LNODS(IELEM,INODE)-1
310 LNOD2=LNODS(IELEM,INODE+1)-1
311 IF(INODE.EQ.NNOD1)THEN
312 LNOD3=LNODS(IELEM,1)-1
313 ELSE
314 LNOD3=LNODS(IELEM,INODE+2)-1
315 ENDDIF
316 DO 760 ISTR1=1,NSTR1
317 LPOS1=LNOD1*NSTR1+ISTR1
318 MPOS1=LNOD3*NSTR1+ISTR1
319 NPOS1=LNOD2*NSTR1+ISTR1
320 760 TENST(NPOS1)=(TENST(LPOS1)+TENST(MPOS1))/2.0
321 CLOSE(11,STATUS='DELETE')
322 IF(NNOD2.EQ.9) GO TO 770
323 NNODE=NNOD1+1
324 GO TO 799
325 770 NNODE=9
326 DO 780 IELEM=1,NELEM
327 DO 780 ISTR1=1,NSTR1
328 LNODE=LNODS(IELEM,9)
329 NPOS1=LNODE*NSTR1+ISTR1
330 TENST(NPOS1)=0.0
331 DO 775 INODE=1,NNOD1,2
332 LPOS1=(LNODS(IELEM,INODE)-1)*NSTR1+NSTR1
333 775 TENST(NPOS1)=TENST(NPOS1)+TENST(LPOS1)
334 780 TENST(NPOS1)=TENST(NPOS1)/4.0
335 C
336 C
337 C*** IMPRESION DE TENSIONES SUAVIZADAS
338 C
339 799 WRITE(6,904)
340 904 FORMAT(/,10X,'TENSIONES ALISADAS NODALES',/)

```

```

341         IF(NTIPO.EQ.1.OR.NTIPO.EQ.2) WRITE(6,905)
342         IF(NTIPO.EQ.3) WRITE(6,906)
343         IF(NTIPO.EQ.4) WRITE(6,907)
344         IF(NTIPO.EQ.5) WRITE(6,908)
345         IF(NTIPO.EQ.6) WRITE(6,909)
346     905 FORMAT('0','NODO',2X,'X-TENS.',5X,'Y-TENS.',5X,'XY-TENS.',
347           .5X,'Z-TENS. ')
348     906 FORMAT('0','NODO',2X,'R-TENS.',5X,'Z-TENS.',5X,'T-TENS.',
349           .5X,'RT-TENS. ')
350     907 FORMAT('0','NODO',2X,'X-TENS.',4X,'Y-TENS.',4X,'Z-TENS.',
351           .4X,'XY-TENS.',4X,'XZ-TENS.',4X,'YZ-TENS. ')
352     908 FORMAT('0','NODO',2X,'X-MOMEN',4X,'Y-MOMEN',4X,'XY-MOMEN',
353           .4X,'XZ-CORTE',4X,'YZ-CORTE')
354     909 FORMAT('0','NODO',,'X-AXIL',4X,'T-AXIL',4X,'X-MOMEN',
355           .4X,'T-MOMEN',4X,'Z-CORTE')
356         DO 810 IPNOD=1,MPNOD
357         NPOSI=(IPNOD-1)*NSTR1
358         DO 800 ISTR1=1,NSTR1
359         MPOSI=MPOSI+ISTR1
360     800 TENSG(ISTR1)=TENST(MPOSI)
361         WRITE(6,920) IPNOD,(TENSG(ISTR1),ISTR1=1,NSTR1)
362         MPNOD=INT2(IPNOD)
363         WRITE(29) MPNOD,(TENSG(ISTR1),ISTR1=1,NSTR1)
364     810 CONTINUE
365     920 FORMAT(I5,6E12.5)
366         RETURN
367         END
368         SUBROUTINE INVER
369 C*****
370 C           SUBROUTINA PARA INVERSION DE MATRICES POR ELIMINACION
371 C           GAUSIANA
372 C           PARAMETROS:
373 C
374 C           A ---->  MATRIZ A INVERTIR
375 C           B ---->  MATRIZ INVERTIDA
376 C           N ---->  ORDEN DE LA MATRIZ
377 C           IERROR  INDICADOR DE ERROR
378 C*****
379         COMMON/SOLU /TENS1(120),XFORT(120,6),SMOTI(1500),NAUXI(1500),
380           XFORM(6,120),TENSG(6),TENST(1500),TEMPO(1500),
381           A(120,120),B(120,120),N,IERROR
382         DATA TOLER /1.0E-32/
383         DO I=1,N
384             IF(A(I,I).LT.TOLER) THEN
385                 DO J=1,N
386                     A(I,J)=0.0
387                     IF(J.EQ.I) A(I,I)=1.0
388                 ENDDO
389             ENDIF
390         ENDDO
391         IERROR=0
392         DO I=1,N
393             DO J=1,N
394                 B(I,J)=0.0
395                 IF(I.EQ.J) THEN
396                     B(I,J)=1.
397                 ENDIF
398             ENDDO
399         ENDDO
400         DO I=1,N
401             P=A(I,I)
402             IF(ABS(P).LT.TOLER) THEN
403                 WRITE(6,900)
404                 IERROR=1
405                 RETURN
406             ENDIF
407             DO J=1,N
408                 B(I,J)=B(I,J)/P

```

```

409          A(I,J)=A(I,J)/P
410          ENDDO
411          DO K=1,N
412             IF(K.NE.I) THEN
413                P=A(K,I)
414                DO J=1,N
415                   A(K,J)=A(K,J)-P*A(I,J)
416                   B(K,J)=B(K,J)-P*B(I,J)
417                ENDDO
418             ENDIF
419          ENDDO
420          RETURN
421
422          C
423          900  FORMAT('ERROR EN LA RutINA DE INVERSION DE MATRICES')
424          END

```

```

1      SUBROUTINE TENSIONES
2      C*****
3      C
4      C***      CALCULA LAS TENSIONES Y ESFUERZOS EN LOS PUNTOS DE GAUSS
5      C
6      C*****
7      DIMENSION DESEL(3,20), TENS(6)
8      COMMON/CONTROL/ ELONG, ICARG, IPROB, NCARG, NDIME, NELEM, NEVAB,
9      .                NGAUS, NGDLN, NMATS, NNODE, NPNOB,
10     .                NPRES, NPROB, NPROP, NTEMS, NTIPO, RADIO
11     COMMON/DATA/     COORD(500,3), CARGA(200,60), DESPL(1500),
12     .                INPRE(100,3), NODPR(100), LNODS(200,20),
13     .                MATNU(200), PROPS(10,5), PRESC(100,3)
14     COMMON/CALCULO/ BMATZ(6,60), COREL(3,20), CORPG(3,27),
15     .                DERIV(3,20), DBMAT(6,60), DCART(3,20),
16     .                DMATZ(6,6), FFORM(20), POSGT(14),
17     .                POSPG(3), PESGT(7), PESPG(3), TENSZ(6,60,27)
18     REWIND(3)
19     REWIND(10)
20     WRITE(6,900)
21     900 FORMAT(/,10X,'TENSIONES',/)
22     C
23     C*** SELECCION DE TIPO DE ANALISIS
24     C
25     IF(NTIPO.EQ.1.OR.NTIPO.EQ.2) WRITE(6,905)
26     IF(NTIPO.EQ.3) WRITE(6,906)
27     IF(NTIPO.EQ.4) WRITE(6,907)
28     IF(NTIPO.EQ.5) WRITE(6,908)
29     IF(NTIPO.EQ.6) WRITE(6,909)
30     NSTR1=NTENS
31     IF(NTIPO.EQ.3) NSTR1=4
32     905 FORMAT('0','G.P.',2X,'X-COORD',2X,'Y-COORD',4X,'X-TENS.',5X,
33     .          'Y-TENS.',5X,'XY-TENS.',5X,'Z-TENS.')
34     906 FORMAT('0','G.P.',2X,'R-COORD',2X,'Z-COORD',4X,'R-TENS.',5X,
35     .          'Z-TENS.',5X,'T-TENS.',5X,'RT-TENS.')
36     907 FORMAT('0',2X,'G.P.',2X,'X-COORD',2X,'Y-COORD',2X,'Z-COORD',3X,
37     .          'X-TENS.',4X,'Y-TENS.',4X,'Z-TENS.',4X,'XY-TENS.',4X,
38     .          'XZ-TENS.',4X,'YZ-TENS.')
39     908 FORMAT('0',2X,'G.P.',2X,'X-COORD',2X,'Y-COORD',2X,
40     .          'X-MOMEN',4X,'Y-MOMEN',4X,'XY-MOMEN',4X,'XZ-CORTE',4X,'YZ-CORTE')
41     909 FORMAT('0',2X,'G.P.',2X,'X-COORD',2X,'Z-COORD',2X,
42     .          'X-AXIL',4X,'T-AXIL',4X,'X-MOMEN',4X,'T-MOMEN',4X,
43     .          'Z-CORTE')
44     C
45     C*** BUCLE SOBRE CADA ELEMENTO
46     C
47     DO 600 IELEM=1,NELEM
48     LPROP=ABS(MATNU(IELEM))
49     POISS=PROPS(LPROP,2)
50     C
51     C*** LEE LA MATRIZ DB, Y LAS COORD. DE LOS PUNTOS DE INTEGRACION
52     C
53     READ(3) TENSZ,CORPG
54
55     WRITE(6,910) IELEM
56     910 FORMAT(/,5X,'ELEMENTO NO.=',I5)
57     C
58     C*** IDENTIFICA LOS DESPLAZAMIENTOS Y LOS PUNTOS NODALES DEL ELEMENTO
59     C
60     DO 10 INODE=1,NNODE
61     LNODE=LNODS(IELEM,INODE)
62     NPOSN=(LNODE-1)*NGDLN
63     DO 10 IGDLN=1,NGDLN
64     NPOSN=NPOSN+1
65     DESEL(IGDLN,INODE)=DESPL(NPOSN)
66     10 CONTINUE
67     KPGAU=0
68     IF(NTIPO.EQ.4) GO TO 300

```

```

69         IF(NTIPO.EQ.6) GO TO 500
70         IF(NNODE.EQ.3.OR.NNODE.EQ.6)GO TO 55
71     C
72     C*** BUCLE SOBRE CADA PUNTO DE INTEGRACCION EN ELEMENTOS CUADRILATEROS
73     C     (SOLIDO 2D, SOLIDO DE REVOLUCION Y PLACA)
74     C
75         DO 50 IGAUS=1,NGAUS
76         DO 50 JGAUS=1,NGAUS
77         KPGAU=KPGAU+1
78     C
79     C*** CALCULO DE TENSIONES EN LOS PUNTOS DE INTEGRACCION
80     C
81         DO 20 ITENS=1,NTENS
82         TENSG(ITENS)=0.0
83         KCONT=0
84         DO 20 INODE=1,NNODE
85         DO 20 IGDLM=1,NGDLM
86         KCONT=KCONT+1
87         TENSG(ITENS)=TENSG(ITENS)+TENSZ(ITENS,KCONT,KPGAU)*
88         .DESEL(IGDLM,INODE)
89     20 CONTINUE
90     C
91     C*** CALCULO DE TENSIONES PERPENDICULARES AL PLANO EN DEFORMACION PLANA
92     C
93         NNTRE=NTENS
94         IF(NTIPO.EQ.2.OR.NTIPO.EQ.1)NNTRE=NTENS+1
95         IF(NTIPO.EQ.2) TENSG(4)=POISS*(TENSG(1)+TENSG(2))
96         IF(NTIPO.EQ.1) TENSG(4)=0.0
97     C
98     C*** ESCRIBE RESULTADOS
99     C
100        WRITE(6,920) KPGAU,(CORPG(IDIME,KPGAU),IDIME=1,NDIME),
101        *(TENSG(ITENS),ITENS=1,NNTRE)
102        WRITE(10)TENSG
103    50 CONTINUE
104        GO TO 600
105    55 CONTINUE
106    C
107    C*** BUCLE SOBRE CADA PUNTO DE INTEGRACION EN ELEMENTOS TRIANGULARES
108    C
109        DO 100 IGAUS=1,NGAUS
110        KPGAU=KPGAU+1
111    C
112    C*** CALCULO DE TENSIONES EN LOS PUNTOS DE INTEGRACCION
113    C
114        DO 70 ITENS=1,NTENS
115        TENSG(ITENS)=0.0
116        KCONT=0
117        DO 70 INODE=1,NNODE
118        DO 70 IGDLM=1,NGDLM
119        KCONT=KCONT+1
120        TENSG(ITENS)=TENSG(ITENS)+TENSZ(ITENS,KCONT,KPGAU)*
121        .DESEL(IGDLM,INODE)
122    70 CONTINUE
123    C
124    C*** CALCULO DE TENSIONES PERPENDICULARES AL PLANO EN DEFORMACION PLANA
125    C
126        NNTRE=NTENS
127        IF(NTIPO.EQ.2.OR.NTIPO.EQ.1)NNTRE=NTENS+1
128        IF(NTIPO.EQ.2) TENSG(4)=POISS*(TENSG(1)+TENSG(2))
129        IF(NTIPO.EQ.1) TENSG(4)=0.0
130    C
131    C*** SALIDA DE TENSIONES
132    C
133        WRITE(6,920) KPGAU,(CORPG(IDIME,KPGAU),IDIME=1,NDIME),
134        *(TENSG(ITENS),ITENS=1,NNTRE)
135        WRITE(10)TENSG
136    100 CONTINUE

```

```

137         GO TO 600
138     C
139     C*** BUCLE SOBRE CADA PUNTO DE INTEGRACION EN ELEMENTOS SOLIDOS
140     C     TRIDIMENSIONALES
141     C
142         300 DO 350 IGAUS=1,NGAUS
143             DO 350 JGAUS=1,NGAUS
144             DO 350 KGAUS=1,NGAUS
145             KPGAU=KPGAU+1
146     C
147     C*** CALCULO DE TENSIONES EN PUNTOS DE INTEGRACION
148     C
149         DO 320 ITENS=1,NTENS
150             TENSG(ITENS)=0.0
151             KCONT=0
152             DO 320 INODE=1,NNODE
153             DO 320 IGDLN=1,NGDLN
154             KCONT=KCONT+1
155             TENSG(ITENS)=TENSG(ITENS)+TENSZ(ITENS,KCONT,KPGAU)*
156             .DESEL(IGDLN,INODE)
157         320 CONTINUE
158     C
159     C*** ESCRIBE RESULTADOS
160     C
161         WRITE(6,930) KPGAU,(CORPG(IDIME,KPGAU),IDIME=1,NDIME),
162         *(TENSG(ITENS),ITENS=1,NTENS)
163         WRITE(10)TENSG
164         350 CONTINUE
165         GO TO 600
166     C
167     C*** ESFUERZOS EN ELEMENTO LAMINA DE REVOLUCION TRONCOCONICO DE 2 NODOS
168     C
169         500 CONTINUE
170     C
171     C*** CALCULO DE ESFUERZOS EN EL CENTRO DEL ELEMENTO
172     C
173         KPGAU=1
174         DO 520 ITENS=1,NTENS
175             TENSG(ITENS)=0.0
176             KCONT=0
177             DO 520 INODE=1,NNODE
178             DO 520 IGDLN=1,NGDLN
179             KCONT=KCONT+1
180             TENSG(ITENS)=TENSG(ITENS)+TENSZ(ITENS,KCONT,KPGAU)*
181             .DESEL(IGDLN,INODE)
182         520 CONTINUE
183     C
184     C*** ESCRIBE RESULTADOS
185     C
186         WRITE(6,940) KPGAU,(CORPG(IDIME,1),IDIME=1,NDIME),
187         *(TENSG(ITENS),ITENS=1,NTENS)
188         WRITE(10)TENSG
189         600 CONTINUE
190         920 FORMAT(I5,2F10.4,6E12.5,F10.4)
191         930 FORMAT(I5,3F10.4,6E12.5)
192         940 FORMAT(I5,2F10.4,5E12.5)
193         RETURN
194         END

```


APENDICE III

MANUAL DEL PROGRAMA DE POSTPROCESO GRAFICO *PCDIB*

El programa de postproceso gráfico *PCDIB* funciona en forma interactiva, permitiendo al usuario trabajar rápida y eficazmente para observar de forma gráfica los resultados que más le interesen de un análisis estructural utilizando el programa *CALSEF* (deformada, líneas de igual desplazamiento, variación de desplazamientos a lo largo de una línea, líneas de igual tensión, tensiones principales y sus direcciones, variación de tensiones a lo largo de una línea, etc.). Para ello se utilizan **COMANDOS** mediante los cuales se obtiene la representación gráfica deseada. Al entrar en el modo gráfico, aparece un indicador **prompt** indicando que se está esperando información, en esta etapa deberemos introducir el **COMANDO** deseado y a su vez pueden introducirse dos parámetros adicionales, separados por comas, y que dependen del **COMANDO** que se utilice. A continuación se presenta un listado de los **COMANDOS** que pueden utilizarse seguido de una descripción de cada uno.

ACER, BNOD, BORR, CART, CONT, DDIV, DEFO, DESP, DMAX, DNOD,
ESCA, EJES, ELEM, FACT, FUEL, FUER, ISOM, MALL, MARC, NODO,
REST, ROTO, ROT1, ROT2, ROT3, TDIV, TENS, TEXT, ZOOM

ACER

[acer] Mediante este comando se puede realizar un acercamiento de una parte cualquiera de la malla de elementos finitos. Se definirá la región que se desea agrandar mediante las teclas que permiten el movimiento del cursor arriba, abajo, derecha o izquierda, o también mediante el uso del ratón, en cualquier caso, indicando mediante dos puntos los extremos de una diagonal inscrita a una región rectangular. Después de que la región se ha posicionado y marcado, aparecerá en un recuadro cuál es exactamente la región por agrandar. Todos y cada uno de los siguientes dibujos se realizarán sobre la zona agrandada. Para volver a la vista original ver el comando **ZOOM**.

BNOD

[bnod] indica el número del nodo especificado mediante movimientos con el teclado o del ratón. Se utiliza antes que **DNOD** para conocer el desplazamiento de un nodo.

BORR

[borr] Limpia la pantalla

CART

[cart] Todos los dibujos que se realicen tendrán como base el sistema cartesiano. Esta es una opción por defecto. Si desea obtener una vista isométrica ver comando ISOM.

CONT

[cont,n1,n2] Dibuja utilizando contornos coloreados para las líneas de igual desplazamiento correspondientes al grado de libertad indicado por 'n1'. El número de contornos puede ser especificado por la variable 'n2' (en caso de ser cero, el programa construye 4 contornos utilizando el color azul para los valores más pequeños y el amarillo para los mayores; los valores menores o iguales que los especificados como más pequeños los dibuja en blanco y los mayores o iguales en rojo, en total se dibujan 6 tipos de contornos). Después del comando 'cont,n1,n2', hay que indicar para cada línea solicitada el valor mínimo a partir del cual se utilizará esta línea. Para facilitar esta información aparecerá en pantalla información sobre los valores máximo y mínimo. El número máximo de colores que pueden utilizarse son 7. Este comando no está implementado en el caso de sólidos tridimensionales.

DDIV

[ddiv,n1,n2] Este comando permite construir la variación de los desplazamientos para el grado de libertad 'n1' a lo largo de una línea. Después de introducir el comando deberá indicarse cuáles son los puntos inicial y final de la línea (marcar los puntos A y B) mediante teclado o con el ratón. El segundo parámetro indica el número de línea que se dibuja (y por defecto el color asociado)

DEFO

[defo] Dibuja la configuración deformada de la malla de elementos finitos, y su escala puede ser modificada por el comando SCAL.

DESP

[desp] Muestra los vectores de los desplazamientos nodales donde la magnitud de cada uno de ellos es proporcional a la magnitud real.

DMAX

[dmax] Indica cual es el nodo con el desplazamiento máximo.

DNOD

[dnod] indica los desplazamientos del nodo señalado por el comando BNOD

ESCA

[esca, v1] Los desplazamientos son escalados por el valor 'v1'. El valor por defecto de 'v1' es 1.0.

EJES

[ejes, v1, v2] .Presenta las direcciones de los ejes coordenados. El origen del sistema estara dado por: $x='v1'$, $y='v2'$. Si se trabaja en tres dimensiones se recomienda no fijar el punto de origen del sistema coordenado.

ELEM

[elem] Muestra los números de cada uno de los elementos que se encuentran en la región visible de la pantalla. Al utilizar los comandos ACE y/o ZOOM algunas regiones pueden aparecer como no cerradas.

FACT

[fact, v1] Los dibujos serán escalados por 'v1' (por defecto 1.0). Usualmente es más recomendable utilizar el comando SCAL para permitir la entrada de la región deformada en la pantalla.

FUEL

[fuel, n1] Dibuja el contorno de la parte indicada con material 'n1', si 'n1'=0 aparecerá el contorno de toda la malla de elementos finitos (por defecto 'n1'=0).

FUER

[fuer] Dibuja las cargas nodales utilizando vectores, conservando entre si la relación entre magnitud de carga y tamaño del vector.

ISOM

[isom] Todas las vistas de los dibujos se realizarán en perspectiva isométrica. La otra opción es un sistema cartesiano (CART). Esta opción deberá utilizarse en dibujos tridimensionales.

III.4

CALSEF:PROGRAMA PARA CALCULO ESTATICO LINEAL

MALL

[mall] Dibuja la malla de elementos finitos.

MARC

[marc, n1] Define una ventana sobre la pantalla en la que puede realizarse el dibujo. El valor de n1 indicará la ventana que se desea:

n1=0 Toda la pantalla

n1=1 esquina superior izquierda de la pantalla

n1=2 esquina superior derecha de la pantalla

n1=3 esquina inferior izquierda de la pantalla

n1=4 esquina inferior derecha de la pantalla

NODO

[nodo, 1] Dibuja los nodos (si 'n1' es diferente de cero los números también se presentan). Solamente los nodos que aparezcan en la pantalla son dibujados.

REST

[rest] Se indicarán las restricciones nodales mediante una línea corta en cada uno de los nodos impuestos y en dirección del grado de libertad coartado. Esta opción funciona bien para 1 o 2 grados de libertad por nodo.

ROTO

[rot0] Regresa la malla a posición original. Restituye las matrices de rotación que se indicaron en ROT1, ROT2, ROT3.

ROT1

[rot1, n1] Permite la rotación de un dibujo tridimensional sobre el eje 1. El parametro 'n1' indica la magnitud de dicha rotación en grados.

ROT2

[rot2, n1] Este comando permite la rotación de un dibujo tridimensional sobre el eje 2. El parametro 'n1' indica la magnitud de dicha rotación en grados.

ROT3

[rot3, n1] Realiza la rotación de un dibujo tridimensional sobre el eje 3. El parámetro 'n1' indica la magnitud de dicha rotación en grados.

TDIV

[tdiv,n1,n2] Este comando permite dibujar la variación de la tensión 'n1' a lo largo de una línea. Después de introducir el comando deberá indicarse cuales son los puntos inicial y final de la línea (marcar los puntos A y B) mediante teclado o con el ratón. El segundo parámetro indica el número de línea que se dibuja (y por defecto el color asociado)

TENS

[tens,n1,n2] Dibuja líneas de igual tensión, en donde el parámetro 'n1' indica la componente de tensión a dibujar y 'n2' el número de líneas (de forma idéntica a como se definió en CONT).

Para los casos de tensión plana, deformación plana o simetría de revolución se tiene:

- n1 = 1 dibuja tensión 11
- n1 = 2 dibuja tensión 12
- n1 = 3 dibuja tensión 22
- n1 = 4 dibuja tensión 33
- n1 = 5 dibuja tensión principal 1
- n1 = 6 dibuja tensión principal 2
- n1 = 7 dibuja tensión de corte maxima
- n1 = 20 dibuja las trayectorias de las tensiones principales (isolásticas)
(azul tracción, rojo compresión),
(las escalas de las trayectorias puede modificarse usando 'n2')

Para el caso de placas:

- n1 = 1 dibuja tensión generalizada M_{xx}
- n1 = 2 dibuja tensión generalizada M_{yy}
- n1 = 3 dibuja tensión generalizada M_{xy}
- n1 = 4 dibuja tensión generalizada Q_x
- n1 = 5 dibuja tensión generalizada Q_y

Para el caso de lámina de revolución:

- n1 = 1 dibuja tensión generalizada A_x
- n1 = 2 dibuja tensión generalizada A_t
- n1 = 3 dibuja tensión generalizada M_x
- n1 = 4 dibuja tensión generalizada M_t
- n1 = 5 dibuja tensión generalizada Q_z

Esta opción no está implementada para sólidos tridimensionales.

TEXT

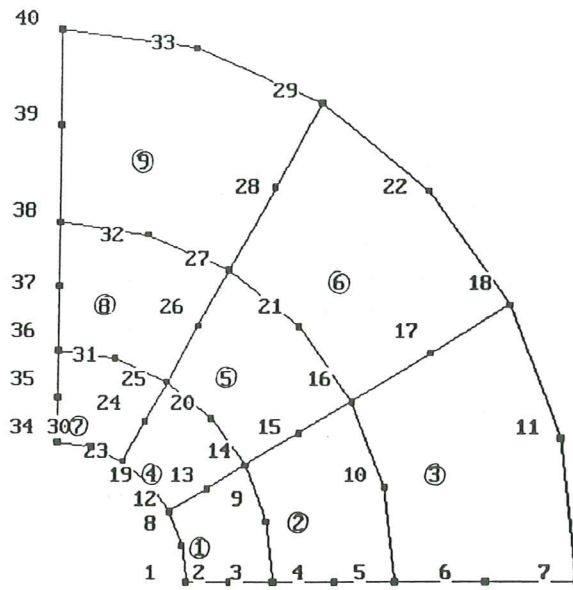
[text] Introduce el texto que debe aparecer en el dibujo. Al introducir el comando deberemos indicar la posición extrema izquierda del texto ya sea mediante el teclado o con el ratón.

ZOOM

[zoom,n1,n2] permite realizar un zoom de una parte de la malla o de los resultados. Los parámetros 'n1' y 'n2' indican la región donde se realiza el acercamiento (si estos valores son cero se regresa a la posición inicial). Es preferible usar el comando ACER.

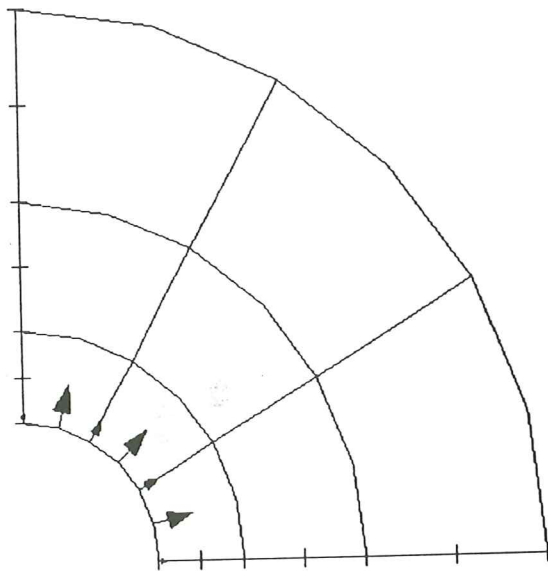
En las páginas siguientes se presentan, diversos ejemplos de resultados del programa de postproceso *PCDIB* para los ejemplos que se presentan en el Apartado 9.

a)



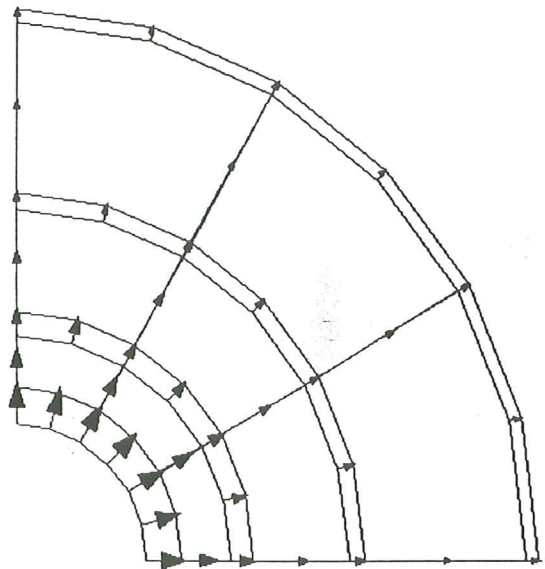
CALSEF

b)



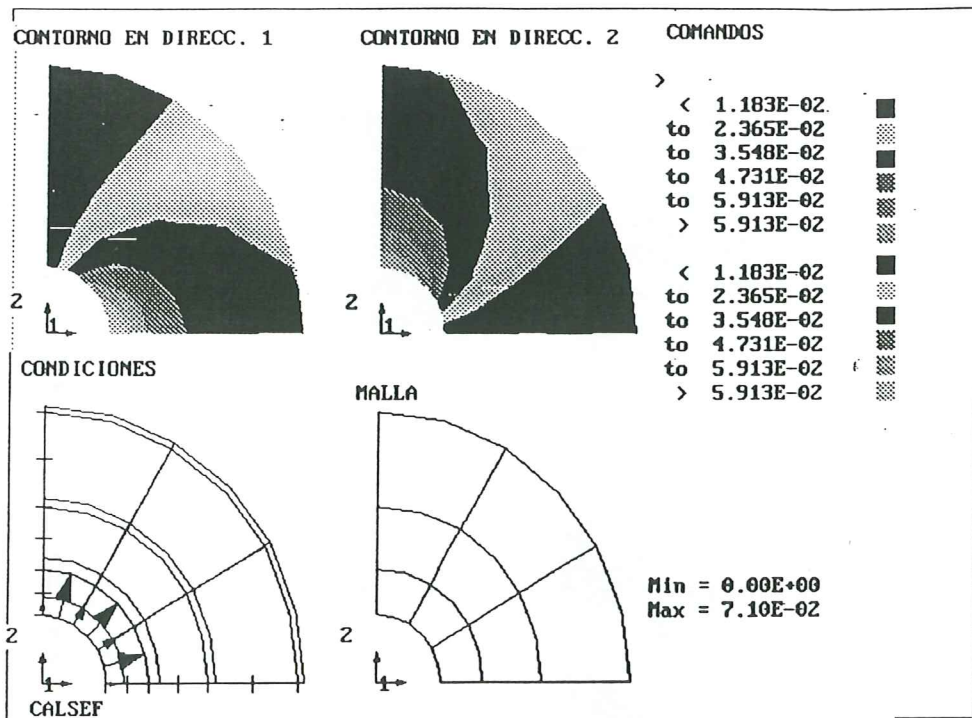
CALSEF

c)

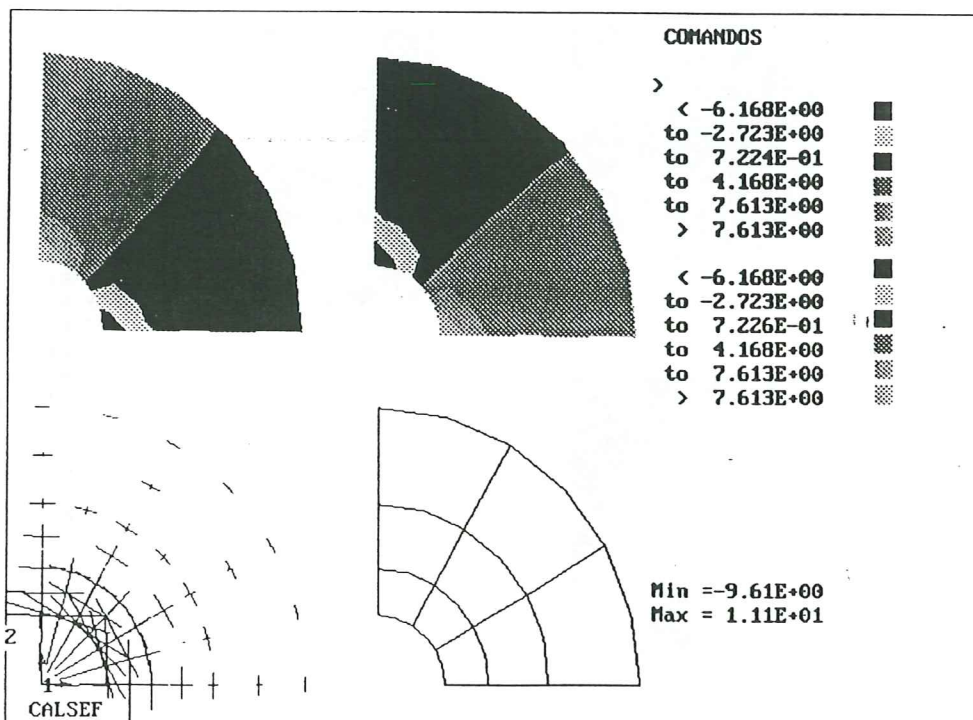


CALSEF

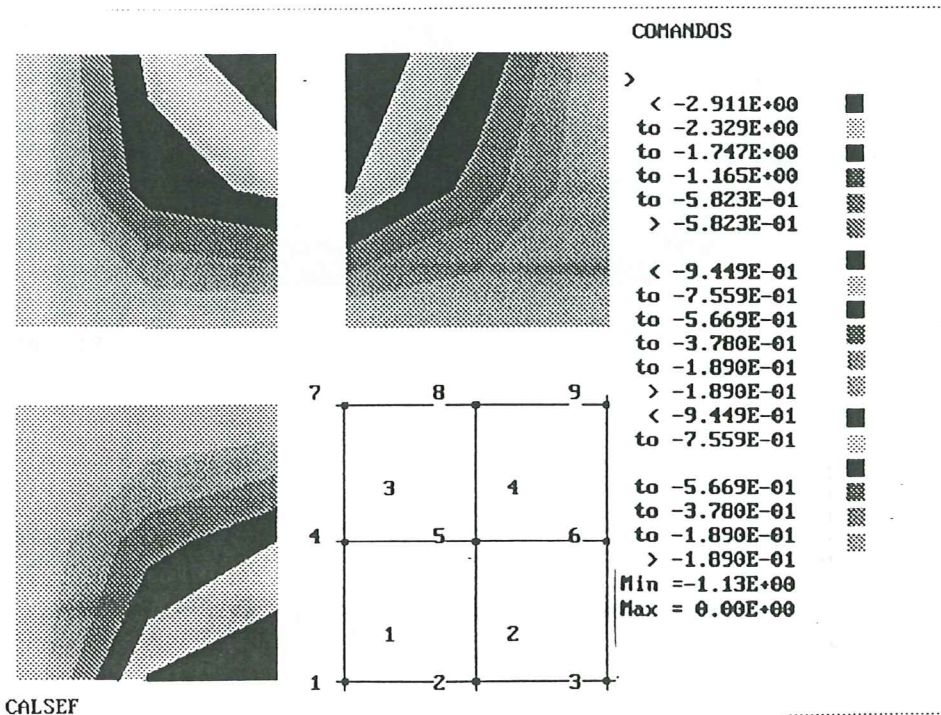
Cilindro bajo presión interior analizado con elementos Serendípticos de 8 nodos. (ver Figura 12). a) Malla, b) Fuerzas nodales equivalentes, c) Deformada y vectores de desplazamientos.



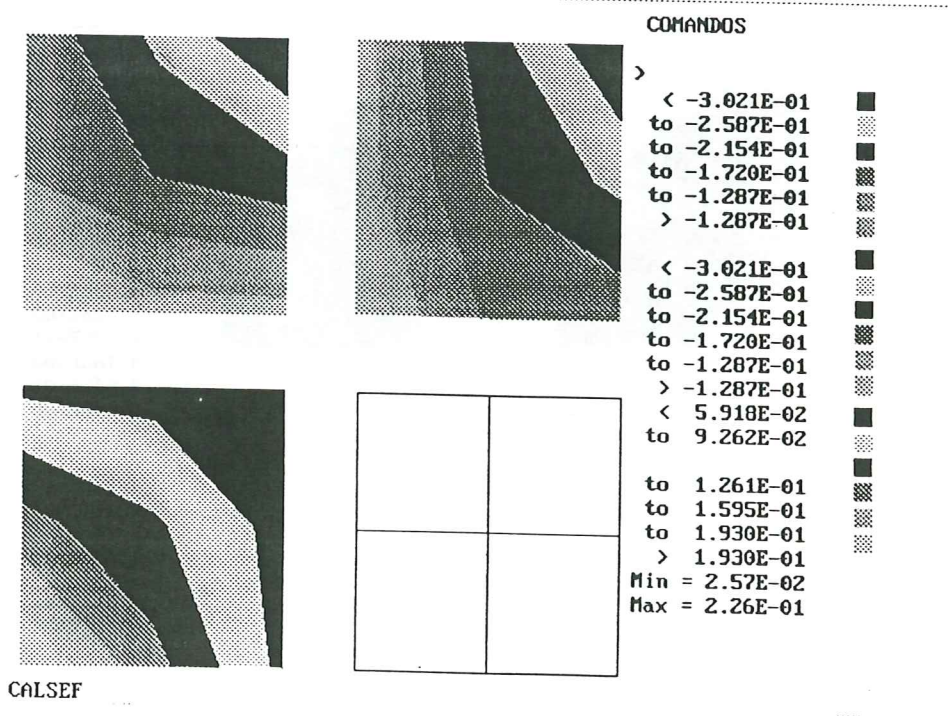
Cilindro bajo presión interior (ver Figura 12). Marco 1: Desplazamiento en dirección x ; Marco 2: Desplazamiento en dirección y ; Marco 3: Deformada y vectores de desplazamientos; Marco 4: Malla.



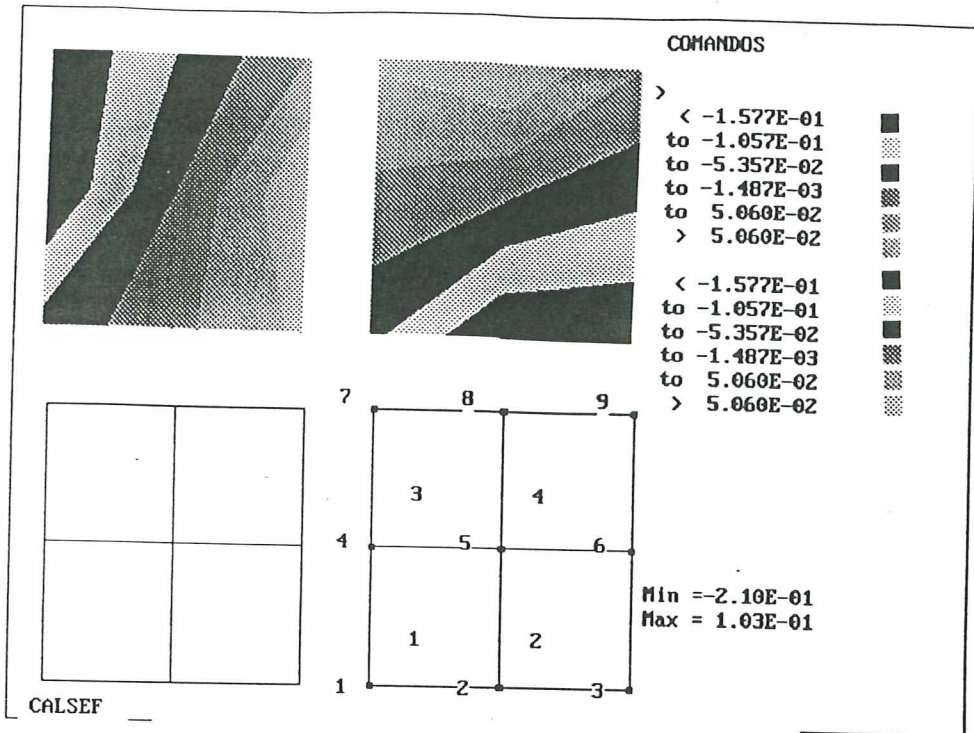
Cilindro bajo presión interior (ver Figura 12). Marco 1: Líneas de igual tensión principal σ_{11} ; Marco 2: Líneas de igual tensión principal σ_{22} ; Marco 3: Tensiones principales; Marco 4: Malla.



Cuadrante de placa cuadrada simplemente apoyada bajo carga uniforme (ver Figura 13). Marco 1: Líneas de igual flecha, Marco 2: Líneas de igual giro θ_x ; Marco 3: Líneas de igual giro θ_y ; Marco 4: Malla de 4 elementos de placa CLLL.



Cuadrante de placa cuadrada simplemente apoyada bajo carga uniforme (ver Figura 13). Marco 1: Líneas de igual momento M_{xx} , Marco 2: Líneas de igual momento M_{yy} ; Marco 3: Líneas de igual momento M_{xy} ; Marco 4: Malla de 4 elementos de placa CLLL.



Cuadrante de placa cuadrada simplemente apoyada bajo carga uniforme (ver Figura 13). Marco 1: Líneas de igual esfuerzo cortante θ_x ; Marco 2: Líneas de igual esfuerzo cortante θ_y ; Marco 3: Líneas Malla de 4 elementos de placa CLLL; Marco 4: Malla con numeración de nodos y elementos.

