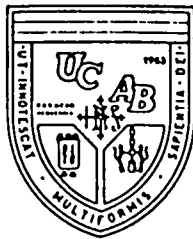


TESIS
ARF
1985



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

APLICACION DEL METODO DE
LOS ELEMENTOS FINITOS

REALIZADO POR

JUAN F. ANDRADE DIAZ
NELSON A. KOEN COHEN

PROFESOR GUIA

CELSO FORTOUL P.

FECHA

ENERO 1985

A nuestros padres

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero agradecimiento al Profesor Celso Fortoul Padrón quien en todo momento nos brindó su apoyo, y sin cuya colaboración, experiencia y conocimientos hubiera sido imposible la culminación de este trabajo.

INDICE

SINOPSIS.....	1
1 INTRODUCCION AL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS.....	2
1.1 La Discretización.....	2
1.2 Procedimiento de Análisis.....	4
1.2.1 Discretizar el Medio Continuo.....	4
1.2.2 Escoger las Funciones de Aproximación.....	5
1.2.3 Determinar las Prop. de los Elementos.....	7
1.2.4 Obtener las Ecuaciones del Recinto.....	8
1.2.5 Resolver el Sistema de Ecuaciones.....	8
1.2.6 Calcular Incógnitas Adicionales.....	8
1.2.7 Interpretación de Resultados.....	8
1.3 Requisitos para las Funciones de Aproximación.....	9
2 APLICACION A PROBLEMAS DE LA ELASTICIDAD LINEAL.....	11
2.1 Los Desplazamientos Supuestos.....	11
2.2 Tipos de Modelos.....	13
2.3 Principios.....	14
2.4 Determinación de la Matrix de Rigidez del Elemento Finito.....	16
2.4.1 Solución aplicando el Principio de los Trabajos Virtuales.....	18
2.4.2 Solución aplicando el Principio del Mínimo Potencial Total.....	19
2.5 Determinación de Fuerzas Primarias.....	21
2.6 Estudio del Triángulo Plano de Deformación Constante.....	24
2.7 Ejemplo 2.1.....	33

3	PROGRAMA DE APLICACION A LA ELASTICIDAD LINEAL	41
3.1	Estructuración del Programa	41
3.2	Descripción de Programas	43
3.2.1	EFM01 - Menú Principal	43
3.2.2	EFM02 - Menú de Datos Geométricos	43
3.2.3	EFM03 - Menú de Cargas	44
3.2.4	EFM04 - Menú para el Cálculo de la Estructura	44
3.2.5	EFID01 - Ingreso de Materiales y Tipo de Problema	44
3.2.6	EFID02 - Ingreso de Geometría Manual	45
3.2.7	EFID03 - Generación Automática. Coord. Cartesianas	47
3.2.8	EFID04 - Generación Automática. Coord. Polares	47
3.2.9	EFID05 - Modificación de Datos Geométricos	47
3.2.10	EFID06 - Ingreso de Restricciones en las Juntas	50
3.2.11	EFID07 - Listado de Nodos y/o Elementos y Graficación	50
3.2.12	EFID08 - Listado de Datos Geométricos y Generación de Propiedades Geométricas	51
3.2.13	EFIC01 - Ingreso de Cargas	51
3.2.14	EFIC02 - Modificación de Cargas	55
3.2.15	EFIC03 - Listado de Cargas	56

3.2.16	EFCE01 - Generación de la Matriz de Rigidez.....	56
3.2.17	EFCE02 - Cálculo del Vector Carga e Impresión de las Cargas.....	57
3.2.18	EFCE03 - Cálculo de los Desplazamientos.....	57
3.2.19	EFCE04 - Cálculo de las Tensiones, Fuerzas Axiales y Reacciones.....	57
3.2.20	EFSUBM - Subprograma que Calcula la Matriz de Rigidez de los Elementos.....	58
3.2.21	EFSUBS - Subprograma que Triangulariza la Matriz de Rigidez de la Estructura.....	58
3.2.22	EFSUBD - Subprograma que Calcula los Desplazamientos.....	58
3.3	Salida de Datos y Resultados.....	59
3.3.1	Propiedades de los Materiales.....	59
3.3.2	Datos de las Juntas.....	59
3.3.3	Propiedades de los Elementos.....	59
3.3.4	Casos de Carga.....	60
3.3.5	Vector Carga.....	61
3.3.6	Desplazamientos de las Juntas.....	62
3.3.7	Tensiones en los Elementos Triangulares.....	62
3.3.8	Tensiones Promedio en Juntas con Elementos Triangulares.....	62
3.3.9	Fuerzas Axiales en Elementos Rectilíneos.....	63
3.3.10	Cargas o Reacciones en las Juntas.....	63
3.3.11	Reacciones en las Juntas.....	63

3.4	Ejemplo 3.1.....	64
4	GENERACION AUTOMATICA DE LA MALLA.....	79
4.1	Coordenadas Cartesianas.....	79
4.2	Coordenadas Polares.....	82
4.3	Ingreso de Datos.....	83
4.3.1	Coordenadas Cartesianas.....	83
4.3.2	Coordenadas Polares.....	84
4.4	Ejemplos.....	85
4.4.1	Ejemplo 4.1.....	85
4.4.2	Ejemplo 4.2.....	98
5	APLICACION A PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO.....	101
5.1	Ecuaciones para el Medio Continuo General.....	101
5.2	Estudio del Elemento Triangular para el Recinto Bidimensional.....	108
6	PROGRAMA DE APLICACION AL MEDIO CONTINUO.....	113
6.1	Estructuración del Programa.....	113
6.2	Descripción de Programas.....	114
6.2.1	MCM01 - Menù Principal.....	114
6.2.2	MCM02 - Menù de Datos Geométricos.....	114
6.2.3	MCID01 - Ingreso de Constantes.....	115
6.2.4	MCID02 - Ingreso de Geometria Manual.....	115
6.2.5	MCID03 - Generación Automática. Coord. Cartesianas.....	116
6.2.6	MCID04 - Generación Automática. Coord. Polares.....	116
6.2.7	MCID05 - Modificación de Datos Geométricos.....	116
6.2.8	MCID06 - Ingreso de Valores Prescritos.....	116

6.2.9	MCID07 - Listado de Datos Geométricos y Generación de Propiedades Geométricas.....	117
6.2.10	MCCM01 - Cálculos e Impresión de Resultados.....	118
6.2.11	MCSUBS - Subprograma que Triangulariza la Matriz de Rigidez de la Estructura.....	118
6.2.12	MCSUBD - Subprograma que Calcula los Valores del Campo Variable en las Juntas.....	119
6.3	Salida de Datos y Resultados.....	119
6.3.1	Constantes de los Materiales.....	119
6.3.2	Datos de las Juntas.....	119
6.3.3	Propiedades de los Elementos.....	119
6.3.4	Matriz de Rigidez y Vectores P y Q	120
6.3.5	Valores de la Variable en las Juntas.....	120
6.3.6	Valores de las Derivadas en los Elementos.....	120
6.3.7	Valor de la Integral.....	120
6.4	Ejemplos.....	121
6.4.1	Ejemplo 6.1 - Torsión de Miembros Prismáticos.....	122
6.4.2	Ejemplo 6.2 - Transferencia de Calor.....	135
6.4.3	Ejemplo 6.3 - Filtración en un Medio Poroso.....	141
6.4.4	Ejemplo 6.4 - Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales.....	154

APENDICE 1

A.1	ANALISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS	160
A.1.1	Definiciones de la Mecánica.....	160
A.1.2	Definiciones de Teoría de las Estructuras.....	161
A.1.3	Problema Primario y Problema Complementario.....	162
A.1.4	Sistemas de Coordenadas.....	163
A.1.5	Transformación de Coordenadas.....	164
A.1.6	Matrices de Flexibilidad y Rigidez.....	165
A.1.7	Sistema de Coordenadas de Miembro.....	166
A.1.8	Relaciones entre las coordenadas de la estructura y las coordenadas de los miembros....	167
A.1.8.1	Matriz Carga-Fuerza.....	167
A.1.8.2	Matriz Desplazamiento-Deformación.....	168
A.1.9	Proceso de Síntesis.....	168
A.1.10	Método de los Desplazamientos.....	171

APENDICE 2

A.2	TEORIA DE LA ELASTICIDAD LINEAL	172
A.2.1	Las Ecuaciones de Equilibrio.....	172
A.2.1	Las Ecuaciones Geométricas.....	175
A.2.2	Las Ecuaciones Constitutivas.....	180
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	182

ANEXOS - Listado de Programas - TOMO II

SINOPSIS

El objetivo del presente trabajo es el análisis por el Método de los Elementos Finitos de problemas de la Elasticidad Lineal y del Medio Continuo, y el desarrollo de los programas necesarios para implementar su uso.

Se presenta una breve introducción al Método; en la cual se exponen las bases del mismo, el procedimiento de análisis empleado, sus requerimientos y limitaciones (Capítulo 1).

Se desarrolla de manera muy concisa la fundamentación teórica necesaria para la aplicación del Método a los problemas de la Elasticidad Lineal (Capítulo 2) y a los problemas del Medio Continuo (Capítulo 5). Se presentan los programas implementados para la aplicación del Método a la Elasticidad Lineal (Capítulo 3) y a los problemas del Medio Continuo (Capítulo 6); complementando en ambos casos la explicación acerca del uso de los programas con ejemplos ilustrativos.

Además, se dedica particular interés a la Generación Automática de la Malla (Capítulo 4); presentándose las técnicas desarrolladas durante la elaboración de la tesis para optimizar la generación automática de mallas, con el fin de minimizar el número de datos a ingresar.

Este trabajo puede servir de inicio para la comprensión y conocimiento del Método de los Elementos Finitos a personas interesadas en el estudio del mismo, y que pueden encontrar aquí una base para una profundización posterior.

Los Apéndices contienen un repaso de ciertos conceptos necesarios para la cabal comprensión del trabajo y sirven como una introducción a la notación empleada.

1 INTRODUCCION AL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

1.1 La Discretización

El Método de los Elementos Finitos es un procedimiento numérico que se aplica en la resolución aproximada de problemas del medio continuo.

La idea básica del método es la discretización.

Un modelo que representa al problema real utilizando un número finito de parámetros se denomina modelo discreto. Cuando el modelo necesita de infinitos valores para representar a la realidad (por ejemplo, debido a que las funciones que definen el problema varían de un punto del medio continuo a otro), se conoce como modelo continuo.

La gran mayoría de los problemas de la ingeniería se refieren al medio continuo; al tratar de resolverlos, se pueden escribir las ecuaciones que gobiernan el fenómeno (por lo general ecuaciones diferenciales) junto con sus condiciones de contorno; pero se advierte rápidamente que la solución de dichas ecuaciones resulta por lo general muy difícil, debido a lo particular (e irregular) de la geometría y a las condiciones de borde, que hacen que tan sólo un reducido número de problemas puedan resolverse directa y exactamente aplicando las ecuaciones que rigen el fenómeno.

Estas limitaciones hacen que los métodos de discretización (El Método de los Elementos Finitos es uno de ellos, ya que utiliza modelos discretos para representar la variación del campo variable dentro del medio continuo) se conviertan en una herramienta poderosa en la resolución de problemas. La desventaja

de estos métodos consiste en que al dividir el todo en un número de partes finitas es necesario efectuar aproximaciones con el fin de describir el campo variable del medio continuo en estudio de una manera discreta. (En función de un número finito de parámetros).

Para subsanar la desventaja que representa utilizar modelos aproximados, en el Método de los Elementos Finitos, se escogen las funciones de aproximación de manera que exista una convergencia monotónica, es decir que nos acerquemos a la solución a medida que los elementos escogidos sean de menor tamaño (cuando se aproximan cada vez más a la idea de los infinitésimos); o sea que cuando crezca el número de parámetros discretos para describir el fenómeno, el modelo (funciones de aproximación) se asemeje más a la realidad.

Un ejemplo de convergencia monotónica, es el problema de hallar el área de una circunferencia inscribiendo polígonos regulares dentro de ésta y calculando el área de los mismos como una aproximación del área de la circunferencia.

La Figura 1.1.(a) muestra una circunferencia de radio unitario en la cual se inscribieron 3 polígonos regulares de 4, 6 y 9 lados, mostrándose sus respectivas áreas; en la Figura 1.1.(b) se muestra este mismo proceso pero para polígonos circunscritos a la circunferencia. La Figura 1.1.(c) nos muestra como al tender a infinito el número de lados del polígono el área del polígono se acerca cada vez más al área exacta de la circunferencia.

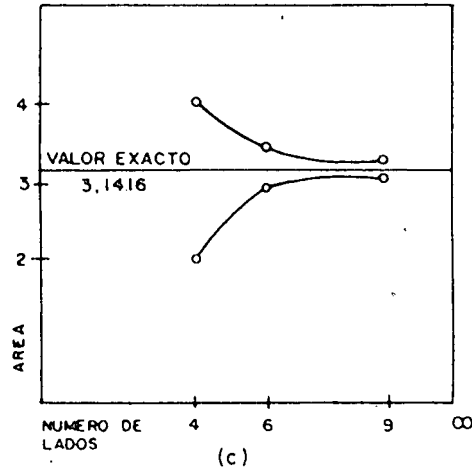
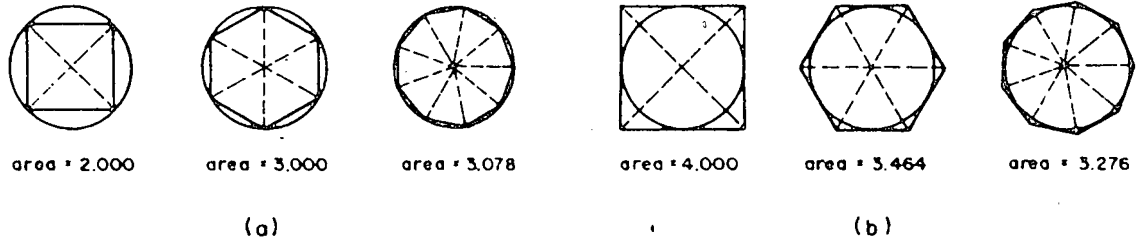


Figura 1.1

1.2 Procedimiento de Análisis

Como ya se mencionó, el Método de los Elementos Finitos, se aplica a problemas del medio continuo en general; aunque en la siguiente explicación del procedimiento que sigue el Método para la resolución de los problemas se haga un enfoque desde el punto de vista de la Mecánica de Sólidos y específicamente de la Teoría de las Estructuras, la metodología, deducciones y conclusiones dadas son aplicables a los otros campos de la Mecánica y a los problemas del medio continuo en general.

A continuación se describe el procedimiento de análisis que sigue el Método de los Elementos Finitos:

1.2.1 Discretizar el Medio Continuo

Esto consiste en dividir al medio en estudio en un número finito de partes, cada una de estas subregiones se denomina ELEMENTO FINITO (de ahí el nombre del método). Los puntos de

conexión entre los elementos se denominan NODOS ó JUNTAS. Al realizar esta discretización se escoge el tipo, forma, número de nodos y modelo con el cual se describirá el comportamiento de los elementos, y el número de coordenadas generalizadas que se establecen por el elemento para describir el fenómeno según el modelo escogido.

Estas coordenadas generalizadas vienen dadas por los valores del campo variable o de sus derivadas en los nodos del elemento. Si las coordenadas generalizadas están dadas solamente por los valores del campo variable en los nodos del elemento se habla de un modelo de continuidad C^0 . Si las coordenadas generalizadas incluyen las primeras derivadas del campo variable en los nodos del elemento se habla de continuidad C^1 , y en general se habla de continuidad C^i siendo i la derivada de más alto orden del campo variable contenida en las coordenadas generalizadas.

La escogencia está basada en el tipo de problema que se desee resolver y en la experiencia de la persona que lo vaya a resolver.

1.2.2 Escoger las Funciones de Aproximación

Para describir el campo variable (en el caso de la Teoría de las Estructuras, y en los problemas de la Elasticidad Lineal, el campo variable es el campo de los desplazamientos; en problemas de Termodinámica el campo variable puede ser la temperatura, etc.) del medio continuo en estudio, dentro del elemento, se escogen unas funciones denominadas funciones de interpolación o funciones de forma, que resultan ser una aproximación (en general) de la variación de dicho campo variable en cada uno de

Los puntos del elemento y que dependen de las coordenadas del punto escogido del elemento. (O sea que son funciones de posición, en lo sucesivo a cualquier función de posición se le añadirá el subíndice (X)).

Cuando el campo variable se expresa como el producto de las funciones de aproximación multiplicadas por los valores que toma dicho campo variable en los nodos del elemento las funciones de aproximación se denominan funciones de interpolación, cuando las funciones de aproximación están multiplicadas por parámetros arbitrarios se denominan funciones de forma.

Ejemplo: Sea el elemento bidimensional de 4 nodos, de la Figura 1.2.(a), y el campo variable en estudio es el campo de los desplazamientos.

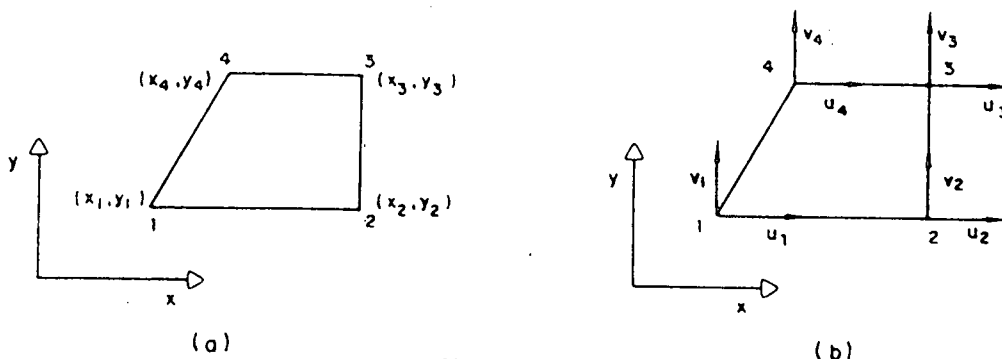


Figura 1.2

Sean u_1, u_2, u_3, u_4 los desplazamientos según x , y v_1, v_2, v_3, v_4 los desplazamientos según y en los nodos 1, 2, 3 y 4 respectivamente (el elemento así definido tiene 8 grados de libertad).

Si $u_x(x)$ es una función de posición que representa el desplazamiento según x en cualquier punto del elemento (interior, del borde e incluso un nodo) y $u_y(x)$ es también una función de posición que representa el desplazamiento según y en cualquier

punto del elemento, se puede escribir entonces :

$$u_{x(x)} = \phi_1 a_1 + \phi_2 a_2 + \phi_3 a_3 + \phi_4 a_4 = \sum_{i=1}^4 \phi_i a_i \quad (1.1)$$

$$u_{y(x)} = \phi_5 a_5 + \phi_6 a_6 + \phi_7 a_7 + \phi_8 a_8 = \sum_{i=5}^8 \phi_i a_i \quad (1.2)$$

Siendo ϕ_i ($i = 1, 8$) las denominadas funciones de forma que dependen de las coordenadas x e y del punto, y a_i ($i = 1, 8$) parámetros arbitrarios independientes.

Se puede escribir $u_{x(x)}$ y $u_{y(x)}$ también como:

$$u_{x(x)} = \varphi_1^{(x)} u_1 + \varphi_2^{(x)} u_2 + \varphi_3^{(x)} u_3 + \varphi_4^{(x)} u_4 = \sum_{i=1}^4 \varphi_i^{(x)} u_i \quad (1.3)$$

$$u_{y(x)} = \varphi_1^{(y)} v_1 + \varphi_2^{(y)} v_2 + \varphi_3^{(y)} v_3 + \varphi_4^{(y)} v_4 = \sum_{i=1}^4 \varphi_i^{(y)} v_i \quad (1.4)$$

donde $\varphi_i^{(x)}$ y $\varphi_i^{(y)}$ ($i = 1, 4$) son las denominadas funciones de interpolación, ya que están multiplicadas por los valores de los desplazamientos de las juntas.

De las Ecuaciones 1.3 y 1.4 se puede deducir que las funciones de interpolación valen uno al ser evaluadas en el nodo por cuyo desplazamiento están multiplicados y cero en los demás nodos, ya que si por ejemplo evaluamos $u_{x(x)}$ y $u_{y(x)}$ en el nodo 3 obtendríamos:

$$u_{x(x=x_3, y=y_3)} = 0 \cdot u_1 + 0 \cdot u_2 + 1 \cdot u_3 + 0 \cdot u_4 = u_3$$

$$u_{y(x=x_3, y=y_3)} = 0 \cdot v_1 + 0 \cdot v_2 + 1 \cdot v_3 + 0 \cdot v_4 = v_3$$

Entonces $\varphi_3^{(x)} = 1$ para el nodo 3 y $\varphi_i^{(x)} = 0$ para $i \neq 3$, y

$\varphi_3^{(y)} = 1$ para el nodo 3 y $\varphi_i^{(y)} = 0$ para $i \neq 3$.

1.2.3 Determinar las Propiedades de los Elementos

Después de escoger las funciones de aproximación se pueden determinar las propiedades de los ELEMENTOS FINITOS, a partir del modelo escogido y de las ecuaciones que rigen el problema.

Por lo general, la ecuación que rige el problema es una función potencial que debe ser minimizada y en la cual se sustituyen las funciones de interpolación para luego ser derivadas. Debido a la sencillez para derivar funciones polinómicas se acostumbra a usarlas como funciones de interpolación.

1.2.4 Obtener las Ecuaciones del Recinto

Por medio de un proceso de síntesis se ensamblan las ecuaciones obtenidas para los elementos con el fin de obtener las ecuaciones que rigen el fenómeno en el Recinto en estudio.

1.2.5 Resolver el Sistema de Ecuaciones

El Método conduce a un sistema simultáneo de ecuaciones y al resolverlo se obtienen los valores del campo variable en los nodos de los elementos.

1.2.6 Calcular Incógnitas Adicionales

Luego de conocidos los valores del campo variable en los nodos de los elementos se pueden realizar cálculos adicionales para obtener otros valores de interés del medio continuo en estudio.

Por ejemplo, en el Método de los Desplazamientos, luego de calculados los desplazamientos en los nodos se pueden calcular las tensiones en los elementos.

1.2.7 Interpretación de Resultados

Los resultados obtenidos se pueden presentar en forma tabulada o de gráficas para ser interpretados. Estos resultados se utilizarán en el análisis y el diseño.

Pueden haber casos en que el modelo escogido no sea el más conveniente, por lo que sería necesario escoger otro modelo y comenzar de nuevo; en otros casos puede ser necesario un mayor

refinamiento de la malla (aumentar el número de elementos y nodos), para obtener una solución mas exacta. La escogencia de cualquiera de las alternativas anteriores estará basada en el grado de precisión deseado.

1.3 Requisitos para las Funciones de Aproximación

Los principales requisitos para las funciones de aproximación resultan de la necesidad de asegurar una convergencia monotónica.

El primer requisito consiste en que las funciones de aproximación que describen el campo variable y sus derivadas, hasta un orden de un grado menor que el mayor grado de derivada con el que aparecen en las funciones potenciales mencionadas en el Aparte 1.2.3, deben ser continuas en los bordes del elemento.

Este requerimiento es conocido con el nombre de compatibilidad y los elementos cuyas funciones de aproximación lo satisfacen se llaman elementos compatibles.

Los elementos compatibles aseguran la no existencia de grietas entre elementos cuando se efectúa el ensamblaje entre ellos para formar el cuerpo completo.

Si nuestro campo variable fuera el de los desplazamientos, y en la función potencial aparece una segunda derivada del mismo, se debe chequear la compatibilidad en los bordes del elemento hasta la primera derivada.

El segundo requisito expresa que todos los estados uniformes (constantes) del campo variable y sus derivadas, hasta el mismo orden que el grado con el que aparecen en la función potencial, deben tener representación en las funciones de aproximación escogidas.

Este segundo requisito es conocido con el nombre de totalidad o entereza (completeness, en inglés) y los elementos cuyas funciones de aproximación lo satisfacen se denominan completos.

Desde el punto de vista estructural el requisito de entereza significa que las funciones de aproximación, para el campo de los desplazamientos de los elementos, son capaces de representar los desplazamientos como cuerpo rígido y los estados de deformación constante a lo largo del mismo. Esta capacidad es importante ya que al incrementar el número de elementos empleados, para representar el medio, el campo variable (los desplazamientos) tienden hacia un valor constante dentro del elemento (ya que el tamaño del mismo es cada vez menor) y de esta manera se puede representar cualquier variación continua de dicho campo de una forma discreta.

Además de estos requisitos que deben cumplir las funciones de aproximación, para garantizar la convergencia monotónica también debe cumplirse que:

(a) cualquier punto del medio continuo debe pertenecer a un elemento, sin importar cuán pequeños sean los elementos.

(b) todas las mallas anteriores deben estar contenidas en la malla refinada.

(c) no se deben variar las funciones de interpolación durante el proceso de refinamiento.

2 APLICACION A PROBLEMAS DE LA ELASTICIDAD LINEAL

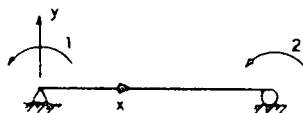
2.1 Los Desplazamientos Supuestos

El estudio de una estructura o de un problema de la elasticidad lineal por el Método de los Elementos Finitos se realiza siguiendo en esencia el mismo procedimiento dado para el Método de los Desplazamientos en el Apéndice 1.

Cuando, por ejemplo, se aplica el Método de los Desplazamientos a una estructura formada por miembros rectilíneos sometidos a flexión en su mismo plano no se necesita realizar ninguna aproximación para describir el comportamiento de los miembros, ya que se conoce de Resistencia de Materiales que la ecuación que gobierna el fenómeno, despreciando las deformaciones por corte, es:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (2.1)$$

Sea el sistema $\underline{P} - \underline{p}$, para el miembro (de rigidez axial infinita), mostrado en la Figura 2.1:



$\underline{P} - \underline{p}$

Figura 2.1

A continuación se obtendrá la matriz de rigidez del elemento a partir de la Ecuación 2.1.

La matriz de rigidez es de 2×2 .

Hallemos k_{11} y k_{12} , para ello $p_1 = 1$ y $p_2 = 0$.

k_{11} = momento flector para $x = 0$

k_{12} = momento flector para $x = L$

(siendo L la longitud del miembro)

El momento flector en una sección cualquiera es $V_i \cdot x - M_i$,

como $M_i = k_{11}$ y $V_i = (k_{11} + k_{12})/L$ sustituyendo en la Ecuación 2.1 se obtiene :

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{k_{11} + k_{12}}{L} x - k_{11} \quad (2.2)$$

integrando la Ecuación 2.2 :

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{k_{11} + k_{12}}{L} \frac{x^2}{2} - k_{11} x + C_1 \quad (2.3)$$

como $\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x=0} = p_1 = 1$ se tiene que evaluando la Ecuación 2.3 :

$$C_1 = EI$$

integrando nuevamente la Ecuación 2.3 se obtiene :

$$EI y = \frac{k_{11} + k_{12}}{L} \frac{x^3}{6} - k_{11} \frac{x^2}{2} + EI x + C_2 \quad (2.4)$$

como $y_{x=0} = 0$ evaluando la Ecuación 2.4 se obtiene que

$$C_2 = 0$$

Evaluando la Ecuación 2.3 para $x=L$ y la Ecuación 2.4 , también para $x=L$ se obtienen las siguientes expresiones :

$$0 = \frac{k_{11} + k_{12}}{2} L - k_{11} L + EI \quad (2.5)$$

$$0 = \frac{k_{11} + k_{12}}{6} L^2 - \frac{k_{11} L^2}{2} + EIL \quad (2.6)$$

resolviendo el sistema de ecuaciones formado por las Ecuaciones 2.5 y 2.6 se obtiene que :

$$k_{11} = \frac{4EI}{L} ; \quad k_{12} = \frac{2EI}{L}$$

de igual manera se puede hallar que :

$$k_{21} = \frac{2EI}{L} ; \quad k_{22} = \frac{4EI}{L}$$

Con lo que la matriz de rigidez del miembro de la Figura 2.1 resulta ser:

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Si no se conociera la Ecuación 2.1 no se hubiera podido obtener la matriz de rigidez del miembro de la manera mostrada.

El Método de los Elementos Finitos se aplicará cuando no se conozca o sea muy complicado hallar y resolver una ecuación similar a la Ecuación 2.1 para describir el fenómeno a estudiar.

Si el miembro a estudiar fuera una placa triangular de espesor t constante, en vez de un miembro rectilíneo no se podría hallar la matriz de rigidez del miembro de la manera anteriormente mostrada.

El Método de los Elementos Finitos establece que para estudiar el campo de los desplazamientos (que es el campo variable para este caso) se escogen unas funciones (funciones de interpolación o de forma) que describen de una manera aproximada (en general) la variación del campo variable en cada uno de los puntos del elemento; por eso se dice que se debe suponer una variación del campo de los desplazamientos.

2.2 Tipos de Modelos

Existen varios tipos de modelos, que en el Método de los Elementos Finitos, permiten hallar las propiedades de los elementos.

Se clasifican en :

Modelos	}	compatibles
		de equilibrio
		híbridos
		mixtos

En los modelos compatibles se asume una función aproximada que describa el campo de los desplazamientos y se conduce finalmente al Método de los Desplazamientos, descrito en el Apéndice 1.

En los modelos de equilibrio se asume una función aproximada que describa el campo de las tensiones y se conduce finalmente al Método de las Fuerzas.

Los modelos híbridos y mixtos son una combinación de los modelos compatibles y de equilibrio.

El uso de los modelos compatibles satisficará las Ecuaciones Geométricas y las Constitutivas, mencionadas en el Apéndice 2 (Teoría de la Elasticidad Lineal), mas no las Ecuaciones de Equilibrio.

El uso de los modelos de equilibrio satisficará las Ecuaciones de Equilibrio y las Constitutivas, mas no las Ecuaciones Geométricas.

Se usarán aquí solamente los modelos compatibles, por lo que el campo que se describirá aproximadamente es el de los desplazamientos.

2.3 Principios

Para derivar las propiedades de los elementos utilizando un modelo compatible se aplica el Principio de los Trabajos Virtuales o el Principio de la Mínima Energía Potencial Total, ambos principios conducen a resultados idénticos.

El Principio de los Trabajos Virtuales aplicado a la estática (también se puede aplicar a la dinámica) establece que :

"Es condición necesaria y suficiente para el equilibrio de un sistema material que la suma de los trabajos virtuales de todas

las fuerzas, externas e internas, sea nulo para cualquier sistema de desplazamientos virtuales".

Lo que puede expresarse como:

$$\delta W_e + \delta W_i = 0 \quad (2.8)$$

El Principio de la Mínima Energía Potencial Total establece que:

"Entre todas las configuraciones de desplazamiento que satisfacen las condiciones de la compatibilidad interna y de la cinemática del contorno, aquellas que también satisfagan las ecuaciones de equilibrio hacen el potencial total un valor estacionario. Si el valor estacionario es un mínimo, el equilibrio es estable."

La Energía Potencial Total, Π , de un sistema elástico está formada por su energía de deformación más el potencial de las fuerzas o cargas externas.

La Energía de Deformación, U , es igual al trabajo negativo de las fuerzas internas ($U = -W_i$); el Potencial de las fuerzas externas, W_e , se define como el trabajo negativo realizado por las fuerzas externas, las cuales permanecen constantes entre sus posiciones inicial y final.

La Energía Potencial Total puede expresarse, entonces, como:

$$\Pi = U + W_e$$

y el Principio de la Mínima Energía Potencial Total establece que:

$$\delta \Pi = 0$$

por lo que

$$\delta (U + W_e) = \delta U + \delta W_e = 0 \quad (2.9)$$

Si tenemos un sistema material descrito por n coordenadas generalizadas (q_1, q_2, \dots, q_n) , el Potencial Total se podrá escribir en función de esas coordenadas generalizadas como:

$$\Pi = f(q_1, q_2, \dots, q_n)$$

Aplicando el Principio de la Mínima Energía Potencial Total, y por diferenciación, se tiene que:

$$\delta \Pi = \frac{\partial \Pi}{\partial q_1} q_1 + \frac{\partial \Pi}{\partial q_2} q_2 + \dots + \frac{\partial \Pi}{\partial q_n} q_n \quad (2.10)$$

como q_1, q_2, \dots, q_n son independientes y arbitrarias la Ecuación 2.10 se puede expresar como:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial q_j} = 0 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \quad (2.11)$$

2.4 Determinación de la Matriz de Rigidez del Elemento Finito

Se determinará a continuación la matriz de rigidez de un elemento finito aplicando el Principio de los Trabajos Virtuales y el Principio de la Mínima Energía Potencial Total, para demostrar que el resultado es similar, no influyendo sobre este el principio empleado.

Sea un elemento finito genérico, y definamos el sistema $\underline{P} - \underline{p}$ como el mostrado en la Figura 2.2 (a); estudiémoslo bajo el problema complementario, ya que el estudio del problema primario sería tan complicado como el problema real.

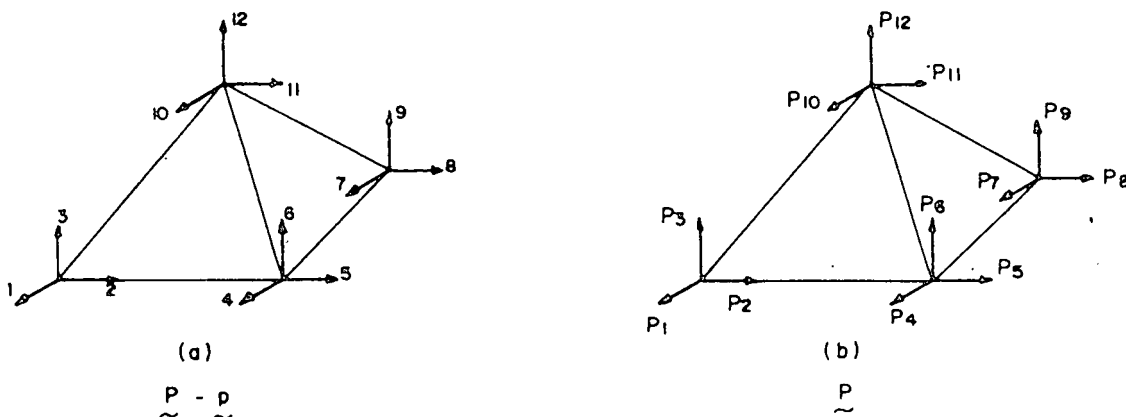


Figura 2.2

A partir de las Ecuaciones 1.3 y 1.4 podemos escribir en forma matricial :

$$\underline{u}(x) = \underline{N}_{(x)} \underline{p} \quad (2.12)$$

donde $\underline{u}(x)$ (es el mismo vector definido en el Apéndice 2, Aparte A.2.2) :

$$\underline{u}(x) = \begin{bmatrix} u_x(x) \\ u_y(x) \\ u_z(x) \end{bmatrix}$$

$\underline{N}_{(x)}$ es :

$$\underline{N}_{(x)} = \begin{bmatrix} \varphi_1(x) & 0 & 0 & \varphi_2(x) & 0 & 0 & \varphi_3(x) & 0 & 0 & \varphi_4(x) & 0 & 0 \\ 0 & \varphi_1(y) & 0 & 0 & \varphi_2(y) & 0 & 0 & \varphi_3(y) & 0 & 0 & \varphi_4(y) & 0 \\ 0 & 0 & \varphi_1(z) & 0 & 0 & \varphi_2(z) & 0 & 0 & \varphi_3(z) & 0 & 0 & \varphi_4(z) \end{bmatrix}$$

para este caso de 4 nodos el orden de $\underline{N}_{(x)}$ es de 3×12 , para un caso de n nodos, con continuidad C^0 y 3 grados de libertad por nodo el orden de $\underline{N}_{(x)}$ será de $3 \times 3n$.

Y \underline{p} :

$$\underline{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_m \end{bmatrix}$$

siendo m igual al número de juntas (n) por el número de grados de libertad por junta (3 desplazamientos por junta para el caso tridimensional de continuidad C^0 ; para la Figura 2.2 $m=12$)

Sustituyendo la Ecuación 2.12 en la Ecuación A.2.30 se obtiene :

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{\nabla}} \underline{\underline{N}}_{(x)} \underline{\underline{p}} \quad (2.13)$$

por lo que observamos que se pueden expresar las deformaciones en función de los desplazamientos de las juntas.

La Ecuación 2.13 se escribe también como :

$$\underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{b}}_{(x)} \underline{\underline{p}} \quad (2.14)$$

donde

$$\underline{\underline{b}}_{(x)} = \underline{\underline{\nabla}} \underline{\underline{N}}_{(x)} \quad (2.15)$$

2.4.1 Solución Aplicando el Principio de los Trabajos Virtuales

Supóngase que bajo el sistema de cargas del problema complementario (solamente cargas en las juntas) se da un sistema de desplazamientos virtuales, $\delta \underline{\underline{p}}$, el trabajo realizado por las fuerzas externas (cargas) es :

$$\delta W_e = \delta \underline{\underline{p}}^t \underline{\underline{P}} \quad (2.16)$$

y el trabajo realizado por las fuerzas internas es :

$$\delta W_i = - \int_V \delta \underline{\underline{\varepsilon}}^t \underline{\underline{\nabla}} dV \quad (2.17)$$

donde $\delta \underline{\underline{\varepsilon}}^t$ son las deformaciones unitarias virtuales producidas por el sistema de desplazamientos virtuales y que según la Ecuación 2.14 vienen dados por :

$$\delta \underline{\underline{\varepsilon}} = \underline{\underline{b}}_{(x)} \delta \underline{\underline{p}} \quad (2.18)$$

y $\delta \underline{\underline{\varepsilon}}^t$ es entonces

$$\delta \underline{\underline{\varepsilon}}^t = \delta \underline{\underline{p}}^t \underline{\underline{b}}_{(x)}^t \quad (2.19)$$

sustituyendo la Ecuación 2.19 y la Ecuación A.2.38 en la Ecuación 2.17 se obtiene :

$$\delta W_i = - \int_V \delta \underline{p}^t \underline{b}_{(x)}^t \underline{\chi} \underline{\varepsilon} dV \quad (2.20)$$

Sustituyendo $\underline{\varepsilon}$ por la Ecuación 2.14 en la Ecuación 2.20 y sacando de la integral los términos constantes se obtiene :

$$\delta W_i = - \delta \underline{p}^t \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\chi} \underline{b}_{(x)} dV \underline{p} \quad (2.21)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 2.16 y 2.21 en la Ecuación 2.8 (Principio de los Trabajos Virtuales) se tiene :

$$\delta \underline{p}^t \underline{P} = \delta \underline{p}^t \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\chi} \underline{b}_{(x)} dV \underline{p}$$

como $\delta \underline{p}^t$ es arbitrario se puede simplificar, obteniéndose :

$$\underline{P} = \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\chi} \underline{b}_{(x)} dV \underline{p} \quad (2.22)$$

si se denomina :

$$\underline{k} = \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\chi} \underline{b}_{(x)} dV \quad (2.23)$$

entonces se obtiene :

$$\underline{P} = \underline{k} \underline{p}$$

siendo \underline{k} (similarmente a la Ecuación A.1.1) la matriz de rigidez del miembro.

2.4.2 Solución Aplicando el Principio de la Mínima Energía Potencial Total

La Energía Potencial Total para el elemento de la Figura 2.2(b) es :

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_V \underline{\varepsilon}^t \underline{\sigma} dV - \underline{p}^t \underline{P} \quad (2.24)$$

donde :

$$U = \frac{1}{2} \int_V \underline{\underline{\varepsilon}}^t \underline{\underline{\nu}} \, dV = \frac{1}{2} \int_V \underline{\underline{\varepsilon}}^t \underline{\underline{\chi}} \underline{\underline{\varepsilon}} \, dV \quad (2.25)$$

y

$$W_e = - \underline{\underline{p}}^t \underline{\underline{P}} \quad (2.26)$$

de la Ecuación 2.14 se obtiene :

$$\underline{\underline{\varepsilon}}^t = \underline{\underline{p}}^t \underline{\underline{b}}_{(x)}^t \quad (2.27)$$

sustituyendo las Ecuaciones 2.14 y 2.27 en la Ecuación 2.25 se obtiene :

$$U = \frac{1}{2} \underline{\underline{p}}^t \int_V \underline{\underline{b}}_{(x)}^t \underline{\underline{\chi}} \underline{\underline{b}}_{(x)} \, dV \underline{\underline{p}}$$

Por lo que la Energía Potencial Total se expresa como :

$$\pi = \frac{1}{2} \underline{\underline{p}}^t \int_V \underline{\underline{b}}_{(x)}^t \underline{\underline{\chi}} \underline{\underline{b}}_{(x)} \, dV \underline{\underline{p}} - \underline{\underline{p}}^t \underline{\underline{P}} \quad (2.28)$$

El Principio de la Mínima Energía Potencial Total exige minimizar la Energía Potencial, por lo que derivando la Ecuación 2.28 con respecto a $\underline{\underline{p}}$ e igualando a cero se obtiene :

$$\int_V \underline{\underline{b}}_{(x)}^t \underline{\underline{\chi}} \underline{\underline{b}}_{(x)} \, dV \underline{\underline{p}} - \underline{\underline{P}} = 0$$

reordenando términos :

$$\underline{\underline{P}} = \int_V \underline{\underline{b}}_{(x)}^t \underline{\underline{\chi}} \underline{\underline{b}}_{(x)} \, dV \underline{\underline{p}}$$

expresión similar a la Ecuación 2.22, por lo que la matriz de rigidez del elemento finito resulta ser la misma que la expresada por la Ecuación 2.23.

2.5 Determinación de las Fuerzas Primarias

Consideremos un elemento finito de una estructura; las solicitaciones sobre ésta pueden ser movimientos de apoyo, fuerzas puntuales, fuerzas de superficie, fuerzas de volumen y tensiones iniciales.

El objetivo es hallar las fuerzas primarias (\underline{P}_0) o sea las fuerzas que se generan en las juntas de los elementos en el problema primario al impedir el desplazamiento de las juntas. Determinadas estas fuerzas primarias y como ya es conocida la matriz de rigidez de los elementos (Ver Aparte 2.4) el resto del proceso de síntesis es similar al explicado en el Apéndice 1.

Separemos las fuerzas primarias producidas por los movimientos de apoyo de las producidas por las demás solicitaciones, entonces:

$$\underline{P}_0 = \underline{P}_0^{(a)} + \underline{P}_0^{(b)} \quad (2.29)$$

donde

$\underline{P}_0^{(a)}$ = fuerzas primarias producidas por los movimientos de apoyo

$\underline{P}_0^{(b)}$ = fuerzas primarias producidas por las demás solicitaciones

si los movimientos de apoyo de la estructura producen unas deformaciones \underline{D}_0 en el elemento, entonces se pueden calcular las fuerzas primarias producidas por ellas como :

$$\underline{P}_0^{(a)} = \underline{k} \underline{D}_0 \quad (2.30)$$

donde \underline{k} es la matriz de rigidez del miembro.

Sea el elemento finito de la Figura 2.3, en el cual están restringidos los desplazamientos de sus juntas; y se encuentra sometido a unas fuerzas de volumen \underline{W}_V , fuerzas de superficie \underline{W}_S

y tensiones iniciales $\underline{\underline{v}}_0$, siendo $\underline{\underline{P}}_0^{(b)}$ las fuerzas primarias producidas por el sistema de cargas mencionado.

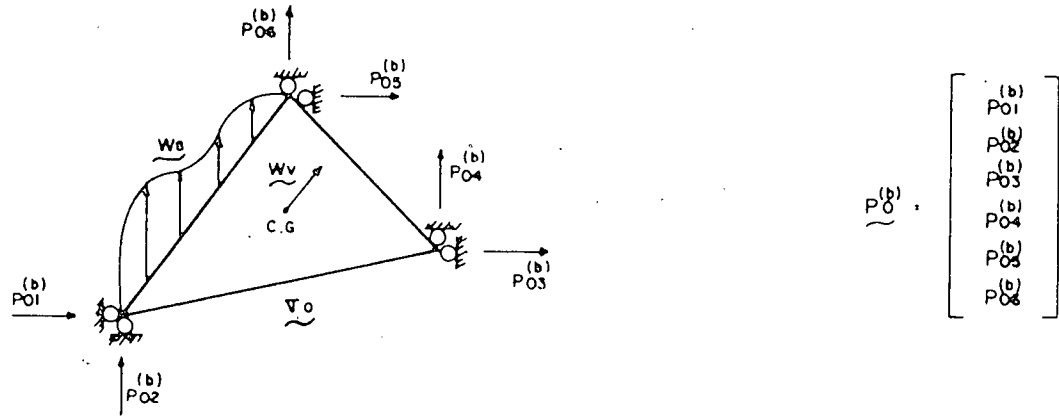


Figura 2.3

Demos un sistema de desplazamientos virtuales $\delta \underline{\underline{p}}$ y apliquemos el Principio de los Trabajos Virtuales.

El Trabajo Externo está formado por tres términos, el producido por las fuerzas primarias $\underline{\underline{P}}_0^{(b)}$, el producido por las fuerzas de volumen y el producido por las fuerzas de superficie, en la Ecuación 2.31 se indican estos tres términos respectivamente :

$$\delta W_e = \delta \underline{\underline{P}}^t \underline{\underline{P}}_0^{(b)} + \int_V \delta \underline{\underline{u}}^t_{(x)} \underline{\underline{W}}_V dV + \int_S \delta \underline{\underline{u}}^t_{(x)} \underline{\underline{W}}_S dS \quad (2.31)$$

De la Ecuación 2.12 se deduce que :

$$\delta \underline{\underline{u}}_{(x)} = \underline{\underline{N}}_{(x)} \delta \underline{\underline{p}}$$

y entonces

$$\delta \underline{\underline{u}}^t_{(x)} = \delta \underline{\underline{p}}^t \underline{\underline{N}}^t_{(x)} \quad (2.32)$$

sustituyendo la Ecuación 2.32 en la Ecuación 2.31 se tiene :

$$\delta W_e = \delta \underline{\underline{P}}^t \underline{\underline{P}}_0^{(b)} + \delta \underline{\underline{P}}^t \int_V \underline{\underline{N}}^t_{(x)} \underline{\underline{W}}_V dV + \delta \underline{\underline{P}}^t \int_S \underline{\underline{N}}^t_{(x)} \underline{\underline{W}}_S dS \quad (2.33)$$

El Trabajo Interno es :

$$\delta W_i = - \int_V \delta \underline{\underline{\epsilon}}^t (\underline{\underline{v}}_0 + \underline{\underline{v}}) dV \quad (2.34)$$

donde $\underline{\underline{v}}_0$ son las tensiones iniciales y $\underline{\underline{v}}$ las tensiones elásticas producidas por el sistema de cargas, en el problema primario; como los desplazamientos de las juntas están restringidos ($\underline{p}=\underline{0}$) en el problema primario, entonces se toma $\underline{\underline{v}} = \underline{0}$ ya que:

$$\underline{\underline{\epsilon}} = \underline{b}_{(x)} \underline{p}$$

y

$$\underline{\underline{v}} = \underline{\chi} \underline{\underline{\epsilon}}$$

por lo que:

$$\underline{\underline{v}} = \underline{\chi} \underline{b}_{(x)} \underline{p} \quad ; \quad \text{si } \underline{p}=\underline{0} \rightarrow \underline{\underline{v}} = \underline{0}$$

El tomar $\underline{\underline{v}} = \underline{0}$ para los elementos en el problema primario puede interpretarse también como una aproximación, que al incrementar el número de elementos es más exacta; ya que las tensiones en los elementos en el problema primario tenderían a cero al ir disminuyendo el tamaño de éstos.

Sustituyendo la Ecuación 2.19 en la Ecuación 2.34, y como $\underline{\underline{v}} = \underline{0}$ entonces se obtiene:

$$\int \underline{w}_i = - \int \underline{p}^t \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\underline{v}}_0 \, dV \quad (2.35)$$

y por el Principio de los Trabajos Virtuales se obtiene a partir de las Ecuaciones 2.34 y 2.35 la siguiente expresión:

$$\int \underline{p}^t \underline{p}_0^{(b)} + \int \underline{p}^t \int_V \underline{N}_{(x)}^t \underline{w}_V \, dV + \int \underline{p}^t \int_S \underline{N}_{(x)}^t \underline{w}_S \, dS - \int \underline{p}^t \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\underline{v}}_0 \, dV = 0$$

debido a su carácter arbitrario $\int \underline{p}^t$ se puede simplificar; y ordenando términos se obtiene:

$$\underline{p}_0^{(b)} = - \int_V \underline{N}_{(x)}^t \underline{w}_V \, dV - \int_S \underline{N}_{(x)}^t \underline{w}_S \, dS + \int_V \underline{b}_{(x)}^t \underline{\underline{v}}_0 \, dV \quad (2.36)$$

Y con las Ecuaciones 2.30 y 2.36 se podrán entonces determinar las fuerzas primarias que se aplicarán con sentido contrario en el problema complementario.

2.6 Estudio del Triangulo Plano de Deformación Constante

Conocida la formulación del Método de los Elementos Finitos para un medio elástico, se determinarán a continuación las propiedades para un recinto bidimensional elástico que se divide en elementos triangulares, se considerará continuidad C^0 .

Sea el elemento triangular plano de espesor constante t , cuyos nodos (i, j, k) y sus respectivas coordenadas se muestran en la Figura 2.4.

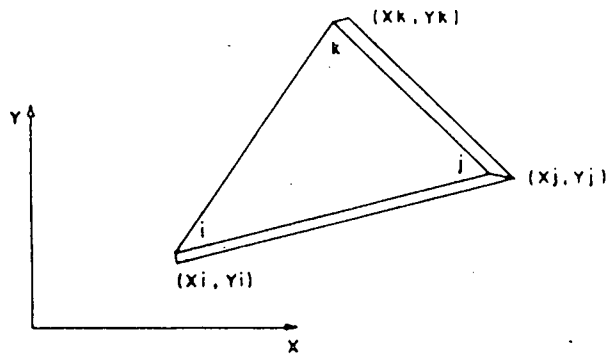


Figura 2.4

Se establecen por conveniencia las siguientes constantes :

$$\alpha_{ij} = x_j - x_i$$

$$\alpha_{ik} = x_k - x_i$$

$$\alpha_{jk} = x_k - x_j$$

$$\gamma_{ij} = y_j - y_i$$

$$\gamma_{ik} = y_k - y_i$$

$$\gamma_{jk} = y_k - y_j$$

$$A_{ijk} = \text{Area del triángulo}$$

$$A_{ijk} = \frac{x_{ij} \cdot y_{ik} - x_{ik} \cdot y_{ij}}{2} \quad (2.37)$$

Para el elemento de la Figura 2.4 se define el sistema $\underline{P}-\underline{p}$ mostrado en la Figura 2.5 :

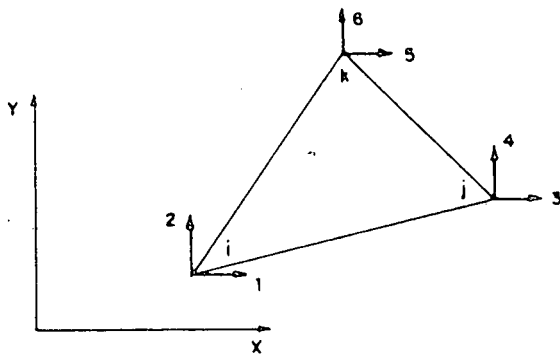


Figura 2.5

\underline{P} = vector fuerza

\underline{p} = vector deformación

$$\underline{P} = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} \quad \underline{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{bmatrix}$$

El campo variable en estudio es el campo de los desplazamientos, y como se está estudiando un medio elástico bidimensional el campo variable tendrá dos componentes (según x , y según y ; respectivamente $u_x(x)$ y $u_y(x)$); se puede organizar el campo variable en el vector $\underline{u}(x)$ (de manera similar a la mostrada en el Apéndice 2, Ecuación A.2.29), sólo que será bidimensional:

$$\underline{u}(x) = \begin{bmatrix} u_x(x) \\ u_y(x) \end{bmatrix}$$

El Método de los Elementos Finitos establece que se debe suponer una función aproximada que describa el campo variable en estudio; se supondrá entonces una variación lineal de los desplazamientos dentro del elemento, expresándose como :

$$u_x(x) = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad (2.38)$$

$$u_y(x) = a_4 + a_5 x + a_6 y$$

siendo a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 y a_6 parámetros arbitrarios pero independientes, las Ecuaciones 2.38 se pueden escribir en forma matricial :

$$\underline{u}(x) = \underline{M}(x) \underline{a} \quad (2.39)$$

donde

$$\underline{M}(x) = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x & y \end{bmatrix}$$

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}$$

según la notación empleada en las Ecuaciones 1.1 y 1.2 se observa que para este caso :

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \phi_4 = 1 \\ \phi_2 &= \phi_5 = x \\ \phi_3 &= \phi_6 = y \end{aligned}$$

por lo que se nota que las funciones de aproximación escogidas son similares para los desplazamientos según x y según y , de esto se concluye que es conveniente que las dimensiones de los elementos en ambas direcciones sean lo más semejantes posible para ser congruentes con la hipótesis de que el elemento se comportará de manera similar en ambos sentidos.

Para llegar a una expresión similar a la Ecuación 2.12, se evalúa la Ecuación 2.38 para los 3 nodos del elemento, obteniéndose (en forma matricial) :

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \\ p_5 \\ p_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_k & y_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix}$$

y de manera más compacta :

$$\underline{p} = \underline{c}^{-1} \underline{a} \quad (2.40)$$

siendo

$$\underline{c}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x_k & y_k \end{bmatrix}$$

De la Ecuación 2.40 se concluye que :

$$\underline{a} = \underline{c} \underline{p} \quad (2.41)$$

Por lo que invirtiendo \underline{c}^{-1} se obtiene \underline{c} . Entonces
sustituyendo la Ecuación 2.41 en la Ecuación 2.39 se obtiene :

$$\underline{u}(x) = \underline{M}(x) \underline{c} \underline{p}$$

si llamamos $\underline{N}(x)$:

$$\underline{N}(x) = \underline{M}(x) \underline{c} \quad (2.42)$$

se obtiene entonces la Ecuación 2.12 :

$$\underline{u}(x) = \underline{N}(x) \underline{p}$$

invirtiendo la matriz \underline{c}^{-1} se obtiene :

$$\underline{c} = \frac{1}{2A_{ijk}} \begin{bmatrix} x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i & 0 \\ -y_{jk} & 0 & y_{ik} & 0 & -y_{ij} & 0 \\ x_{jk} & 0 & -x_{ik} & 0 & x_{ij} & 0 \\ 0 & x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i \\ 0 & -y_{jk} & 0 & y_{ik} & 0 & -y_{ij} \\ 0 & x_{jk} & 0 & -x_{ik} & 0 & x_{ij} \end{bmatrix}$$

y sustituyendo $\underline{M}_{(x)}$ y \underline{c} en la Ecuación 2.42 se obtiene :

$$\underline{N}_{(x)} = \frac{1}{2A_{ijk}} \begin{bmatrix} x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - x_i y_k & 0 & x_i y_j - x_j y_i & 0 \\ -y_{jk} x + x_{jk} y & 0 & +y_{ik} x - x_{ik} y & 0 & -y_{ij} x + x_{ij} y & 0 \\ 0 & x_j y_k - x_k y_j & 0 & x_k y_i - y_k x_i & 0 & x_i y_j - x_j y_i \\ 0 & -y_{jk} x + x_{jk} y & 0 & +y_{ik} x - x_{ik} y & 0 & -y_{ij} x + x_{ij} y \end{bmatrix}$$

El operador diferencial $\underline{\nabla}$ (Ver Apéndice 2) para problemas planos es :

$$\underline{\nabla} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

Sustituyendo $\underline{\nabla}$ y $\underline{N}_{(x)}$ en la Ecuación 2.15 se obtiene :

$$\underline{b}_{(x)} = \frac{1}{2A_{ijk}} \begin{bmatrix} -y_{jk} & 0 & y_{ik} & 0 & -y_{ij} & 0 \\ 0 & x_{jk} & 0 & -x_{ik} & 0 & x_{ij} \\ x_{jk} & -y_{jk} & -x_{ik} & y_{ik} & x_{ij} & -y_{ij} \end{bmatrix}$$

La matriz $\underline{\chi}$ (Ver Apéndice 2) para problemas planos es :

$$\underline{\chi} = \frac{E}{(1 + \mu) e_2} \begin{bmatrix} e_1 & \mu & 0 \\ \mu & e_1 & 0 \\ 0 & 0 & e_3 \end{bmatrix}$$

donde $E =$ Módulo de Young

$\mu =$ Coeficiente de Poisson

Para problemas de tensión plana ($\epsilon_z = 0$):

$$e_1 = 1 \quad ; \quad e_2 = 1 - \mu \quad ; \quad e_3 = e_2 / 2$$

Para problemas de deformación plana ($\sigma_z = 0$):

$$e_1 = 1 - \mu \quad ; \quad e_2 = 1 - 2\mu \quad ; \quad e_3 = e_2 / 2$$

por lo que sustituyendo $\underline{b}_{(x)}$ y $\underline{\chi}$ en la Ecuación 2.23 e integrando con respecto al volumen (todos los términos son constantes), se obtiene :

$$\begin{array}{c}
 \underline{k} = \lambda \\
 \left[\begin{array}{c}
 e_1 y_{jk}^2 \quad | \quad -\mu \pi_{jk} y_{jk} \quad | \quad -e_1 y_{ik} y_{jk} \quad | \quad \mu \pi_{ik} y_{jk} \quad | \quad e_1 y_{ij} y_{jk} \quad | \quad -\mu \pi_{ij} y_{jk} \\
 + \pi_{jk}^2 e_3 \quad | \quad -\pi_{jk} y_{jk} e_3 \quad | \quad -\pi_{jk} \pi_{ik} e_3 \quad | \quad +\pi_{jk} y_{ik} e_3 \quad | \quad +\pi_{jk} \pi_{ij} e_3 \quad | \quad -\pi_{jk} y_{ij} e_3 \\
 \hline
 e_1 x_{jk}^2 \quad | \quad \mu y_{ik} \pi_{jk} \quad | \quad -e_1 \pi_{ik} \pi_{jk} \quad | \quad -\mu y_{ij} \pi_{jk} \quad | \quad e_1 \pi_{ij} \pi_{jk} \\
 + y_{jk}^2 e_3 \quad | \quad +y_{jk} \pi_{ik} e_3 \quad | \quad -y_{jk} y_{ik} e_3 \quad | \quad -y_{jk} \pi_{ij} e_3 \quad | \quad +y_{jk} y_{ij} e_3 \\
 \hline
 e_1 y_{ik}^2 \quad | \quad -\mu \pi_{ik} y_{ik} \quad | \quad -e_1 y_{ij} y_{ik} \quad | \quad \mu \pi_{ij} y_{ik} \\
 + \pi_{ik}^2 e_3 \quad | \quad -\pi_{ik} y_{ik} e_3 \quad | \quad -\pi_{ik} \pi_{ij} e_3 \quad | \quad +\pi_{ik} y_{ij} e_3 \\
 \hline
 e_1 \pi_{ik}^2 \quad | \quad \mu y_{ij} \pi_{ik} \quad | \quad -e_1 \pi_{ij} \pi_{ik} \\
 + y_{ik}^2 e_3 \quad | \quad +y_{ik} \pi_{ij} e_3 \quad | \quad -y_{ik} y_{ij} e_3 \\
 \hline
 e_1 y_{ij}^2 \quad | \quad -\mu \pi_{ij} y_{ij} \\
 + \pi_{ij}^2 e_3 \quad | \quad -\pi_{ij} y_{ij} e_3 \\
 \hline
 e_1 \pi_{ij}^2 \\
 + y_{ij}^2 e_3
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

SIMETRICA

$$\lambda = \frac{Et}{4 A_{ijk} (1 + \mu) e_2}$$

Las fuerzas primarias se calculan según las Ecuaciones 2.30 y 2.36.

Las fuerzas primarias debidas a fuerzas de volumen (por lo

general peso propio) uniformes vienen dadas (según la Ecuación 2.36) por :

$$\underline{P}_o = - \int_V \underline{N}_{(x)}^t \underline{W}_V dV \quad (2.43)$$

donde

$$\underline{W}_V = \begin{bmatrix} W_{vx} \\ W_{vy} \end{bmatrix}$$

siendo W_{vx} y W_{vy} las componentes de la fuerza por unidad de volumen según los ejes x e y respectivamente.

Sustituyendo $\underline{N}_{(x)}^t$ en la Ecuación 2.43 e integrando se obtiene:

$$\underline{P}_o = - \frac{A_{ijk} \cdot t}{3} \begin{bmatrix} W_{vx} \\ W_{vy} \\ W_{vx} \\ W_{vy} \\ W_{vx} \\ W_{vy} \end{bmatrix}$$

Similarmente para fuerzas de superficie se obtiene:

$$\underline{P}_o = - \frac{L_{ij}}{3} \begin{bmatrix} W_{sxi} + W_{sxj} / 2 \\ W_{syi} + W_{syj} / 2 \\ W_{sxj} + W_{sxi} / 2 \\ W_{syj} + W_{syi} / 2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

donde según la Figura 2.6 :

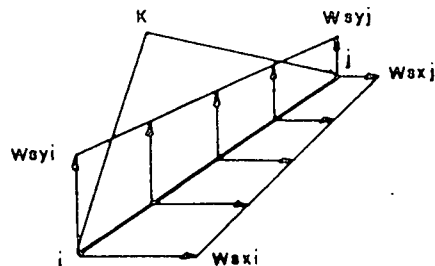


Figura 2.6

$$L_{ij} = \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}$$

Para tensiones iniciales se tiene :

$$\underline{P}_0 = \int_V \underline{b}^t(x) \underline{v}_0 \, dV$$

donde :

$$\underline{v}_0 = \underline{\alpha} \underline{\epsilon}_0 \quad (2.44)$$

siendo $\underline{\epsilon}_0$ las deformaciones iniciales ; si estas son debidas a un cambio de temperatura uniforme Δt se tiene que para el caso de tensión plana :

$$\underline{\epsilon}_0 = \alpha_t \Delta t \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

donde α_t es el coeficiente de dilatación lineal del material ; para el caso de deformación plana se tiene que :

$$\underline{\epsilon}_0 = (1 + \mu) \alpha_t \Delta t \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Para movimientos de apoyo se aplicará la Ecuación 2.30 ; y cuando haya cargas puntuales aplicadas en las juntas, estas pasan directamente al vector carga, sin necesidad del problema primario.

Conocidas las fuerzas primarias y la matriz de rigidez de los elementos se halla, siguiendo el mismo procedimiento de síntesis descrito en el Apéndice 1, la Matriz de Rigidez de la Estructura (\underline{K}) y el vector carga (\underline{Q}); resolviendo el sistema de ecuaciones se hallan los desplazamientos de las juntas de la estructura (y por ende en los nodos de los elementos).

Por superposición del problema primario con el complementario se determinan las tensiones en los elementos.

Las tensiones en el problema primario vienen dadas por la Ecuación 2.44 (si no existen deformaciones iniciales las tensiones en el problema primario son nulas).

Las tensiones en el problema complementario vienen dadas por:

$$\underline{\sigma} = \underline{\chi} \underline{\epsilon}$$

y sustituyendo $\underline{\epsilon}$ de la Ecuación 2.14 se tiene que :

$$\underline{\sigma} = \underline{\chi} \underline{b}_{(x)} \underline{p} \quad (2.45)$$

para el caso de los elementos triangulares se tiene que :

$$\underline{\sigma} = \frac{E}{2\Delta_{ijk}(1+\mu)} \begin{bmatrix} -e_1 y_{jk} & \mu \kappa_{jk} & e_1 y_{ik} & -\mu \kappa_{ik} & -e_1 y_{ij} & \mu \kappa_{ij} \\ -\mu y_{jk} & e_1 \kappa_{jk} & \mu y_{ik} & -e_1 \kappa_{ik} & -\mu y_{ij} & e_1 \kappa_{ij} \\ e_3 y_{jk} & -e_3 y_{jk} & -e_3 \kappa_{ik} & e_3 y_{ik} & e_3 \kappa_{ij} & -e_3 y_{ij} \end{bmatrix}$$

Por lo general se acostumbra a calcular las tensiones promedios en las juntas ya que suele obtenerse un valor más representativo, debido a que las tensiones dentro del elemento son constantes (esto último se debe a que las deformaciones dentro del elemento también son constantes porque se supuso que el campo de los desplazamientos variaba de una manera lineal).

2.7 Ejemplo 2.1

Con el fin de ilustrar el método de análisis que se acaba de exponer, se le aplica a la estructura (ya discretizada) mostrada en la Figura 2.7, la cual se analiza para el sistema de cargas descrito en la Figura 2.8. Se tomarán como unidades : metro-tonelada. (Se considera el problema como un problema de tensión plana).

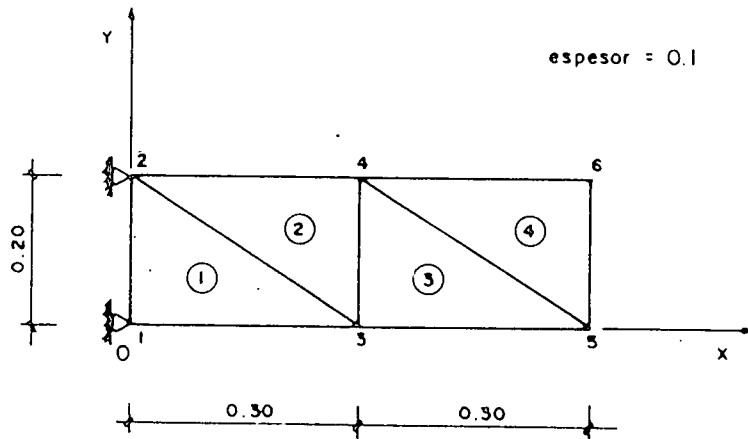


Figura 2.7

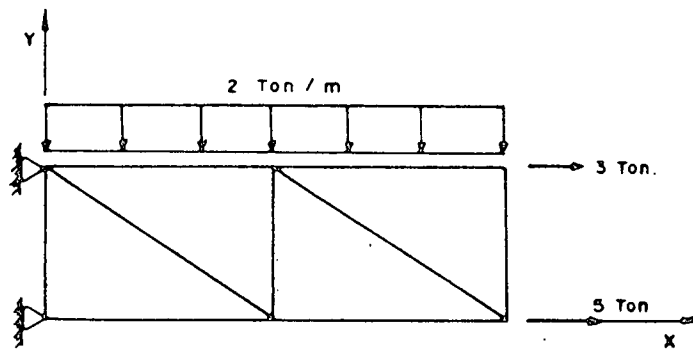


Figura 2.8

Todos los miembros son de concreto cuyas propiedades son :

$$E = 2400000 \text{ Ton/m}^2$$

$$\mu = 0.17$$

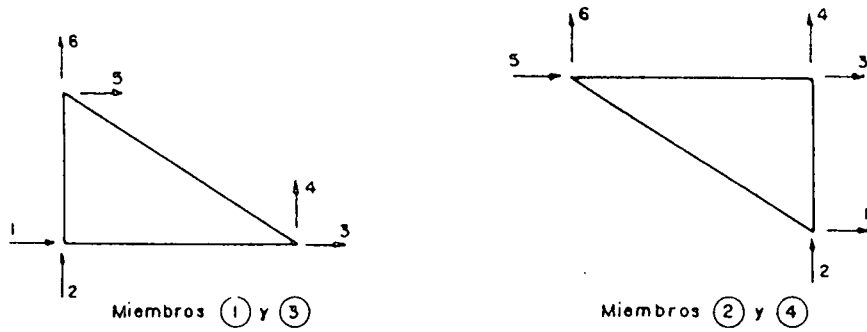
$$\alpha_t = 0.00001$$

$\delta = 2.3 \text{ Ton/m}^3$

$e_1 = 1$

$e_2 = 0.83$

$e_3 = 0.415$



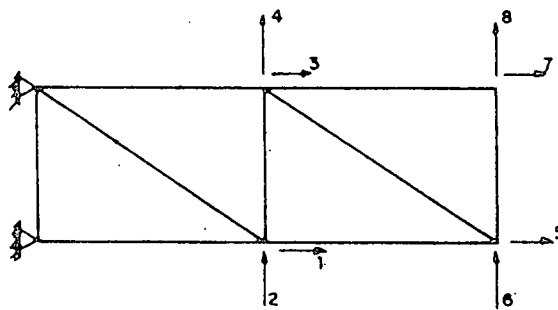
SISTEMA $\underline{p} - \underline{p}$

Figura 2.9

La Figura 2.9 muestra los sistemas $\underline{p} - \underline{p}$ para cada uno de los miembros de la estructura. La matriz de rigidez \underline{k}_i de un miembro genérico se obtiene aplicando la expresión dada en el Aparte 2.6.

Los valores obtenidos para las matrices de rigidez de los elementos se muestran en las páginas 35 y 36.

La Figura 2.10 presenta el sistema $\underline{Q} - \underline{q}$ de la estructura.



SISTEMA $\underline{Q} - \underline{q}$

Figura 2.10

La matriz de rigidez de la estructura se halla aplicando la Ecuación A.1.5 (siendo la matriz \underline{A} una matriz unitaria).

La matriz de rigidez de la estructura se muestra en la página 36.

$$\underline{k}_{(1)} = \begin{bmatrix} & & 1 & 2 & & & \\ & & & & & & \\ 1 & 15.93 & 7.229 & -8.239 & -5.128 & -7.693 & -2.101 \\ & & 21.95 & -2.101 & -3.419 & -5.128 & -18.54 \\ 2 & & & 8.238 & 0 & 0 & 2.101 \\ & & & & 3.419 & 5.128 & 0 \\ & & & & & 7.692 & 0 \\ & & & & & & 18.54 \end{bmatrix} \times 10^4$$

SIMETRICA

$$\underline{k}_{(2)} = \begin{bmatrix} & & & & & & \\ & & & & & & \\ 1 & 7.692 & 0 & -7.692 & -5.128 & 0 & 5.128 \\ & & 2 & 3 & 4 & & \\ 2 & & 18.54 & -2.101 & -18.54 & 2.101 & 0 \\ & & & 15.9 & 7.229 & -8.238 & -5.128 \\ 3 & & & & 21.95 & -2.101 & -3.419 \\ & & & & & 8.238 & 0 \\ 4 & & & & & & 3.419 \end{bmatrix} \times 10^4$$

SIMETRICA

$$\underline{k}_{(3)} = \begin{bmatrix} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & \\ 1 & 15.93 & 7.229 & -8.239 & -5.128 & -7.693 & -2.101 & & & & \\ & & 2 & 5 & 6 & 3 & 4 & & & & \\ 2 & & 21.95 & -2.101 & -3.419 & -5.128 & -18.54 & & & & \\ & & & 8.238 & 0 & 0 & 2.101 & & & & \\ 5 & & & & 3.419 & 5.128 & 0 & & & & \\ & & & & & 7.692 & 0 & & & & \\ 6 & & & & & & 18.54 & & & & \\ 3 & & & & & & & & & & \\ 4 & & & & & & & & & & \end{bmatrix} \times 10^4$$

SIMETRICA

El vector carga generalizada \underline{Q} viene dado por :

$$\underline{Q} = -\underline{Q}_0 + \underline{Q}_{ext}$$

donde \underline{Q}_{ext} es el vector que incluye las cargas externas aplicadas en las juntas, y que para este ejemplo viene dado por :

$$\underline{Q}_{ext} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 0 \\ 3 & 0 \\ 4 & 0 \\ 5 & 5 \\ 6 & 0 \\ 7 & 3 \\ 8 & 0 \end{bmatrix} \text{ Ton}$$

Entonces el vector \underline{Q} resulta :

$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2 & 0 \\ 3 & 0 \\ 4 & -0.6 \\ 5 & 5 \\ 6 & 0 \\ 7 & 3 \\ 8 & -0.3 \end{bmatrix} \text{ Ton}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones $\underline{Q} = \underline{K} \underline{q}$ se obtiene :

$$\underline{q} = \begin{bmatrix} 1 & 4.702 \\ 2 & -1.314 \\ 3 & 5.201 \\ 4 & -2.067 \\ 5 & 10.266 \\ 6 & -1.818 \\ 7 & 9.658 \\ 8 & -2.278 \end{bmatrix} \times 10^{-5} \text{ m}$$

Para cada miembro se calcula el vector deformación \underline{p} :

$$\underline{p}_{(1)} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 & 4.702 \\ 2 & -1.314 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times 10^{-5} \text{ m} \quad \underline{p}_{(2)} = \begin{bmatrix} 1 & 4.702 \\ 2 & -1.314 \\ 3 & 5.201 \\ 4 & -2.067 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\underline{p}_{(3)} = \begin{bmatrix} 1 & 4.702 \\ 2 & -1.314 \\ 5 & 10.266 \\ 6 & -1.818 \\ 3 & 5.201 \\ 4 & -2.067 \end{bmatrix} \times 10^{-5} \text{ m} \quad \underline{p}_{(4)} = \begin{bmatrix} 5 & 10.266 \\ 6 & -1.818 \\ 7 & 9.658 \\ 8 & -2.278 \\ 3 & 5.201 \\ 4 & -2.067 \end{bmatrix} \times 10^{-5} \text{ m}$$

y con Ecuación 2.45 se calculan las tensiones en los elementos, obteniéndose :

$$\underline{V}_{(1)} = \begin{bmatrix} 387 \\ 66 \\ -45 \end{bmatrix} \text{ Ton/m}^2$$

$$\underline{V}_{(3)} = \begin{bmatrix} 442 \\ -15 \\ 8 \end{bmatrix} \text{ Ton/m}^2$$

$$\underline{V}_{(2)} = \begin{bmatrix} 413 \\ -20 \\ -45 \end{bmatrix} \text{ Ton/m}^2$$

$$\underline{V}_{(4)} = \begin{bmatrix} 358 \\ 6 \\ -38 \end{bmatrix} \text{ Ton/m}^2$$

A partir de estos resultados puede hallarse cualquier otro valor de interés (tensiones máximas y mínimas, tensiones promedio en las juntas, reacciones, etc.) .

3 PROGRAMA DE APLICACION A LA ELASTICIDAD LINEAL

Se realizaron una serie de programas interconectados entre sí que permiten resolver problemas planos de la Elasticidad Lineal por el Método de los Elementos Finitos, empleando elementos triangulares de deformación constante y utilizando la formulación deducida en el Capítulo 2.

Los programas fueron elaborados en un computador Apple II plus, con 64 K de memoria RAM y en el lenguaje BASIC, en el sistema CPM.

A continuación se explica la interconexión entre los programas, el ingreso de datos, la salida de datos y resultados y por último se presenta un ejemplo que demuestra la utilidad de estos programas.

3.1 Estructuración del Programa

La Figura 3.1 muestra un diagrama de como se encuentran enlazados todos los programas entre sí.

El usuario escoge el proceso a ejecutar, ya que el sistema de programas funciona en todo momento de una manera interactiva con el mismo.

El programa director es el Menú Principal (EFM01) ya que él pide todos los parámetros generales (Ver Aparte 3.2.1 ; el más importante de estos parámetros es el nombre de la malla ya que él determinará el nombre de los archivos de la estructura sobre la cual se realizarán todas las operaciones subsiguientes). Además, desde el Menú Principal el usuario escogerá el proceso específico a ejecutar (Menú de Datos Geométricos, Menú de Cargas, Cálculo de la Estructura o Modificar Parámetros Generales).

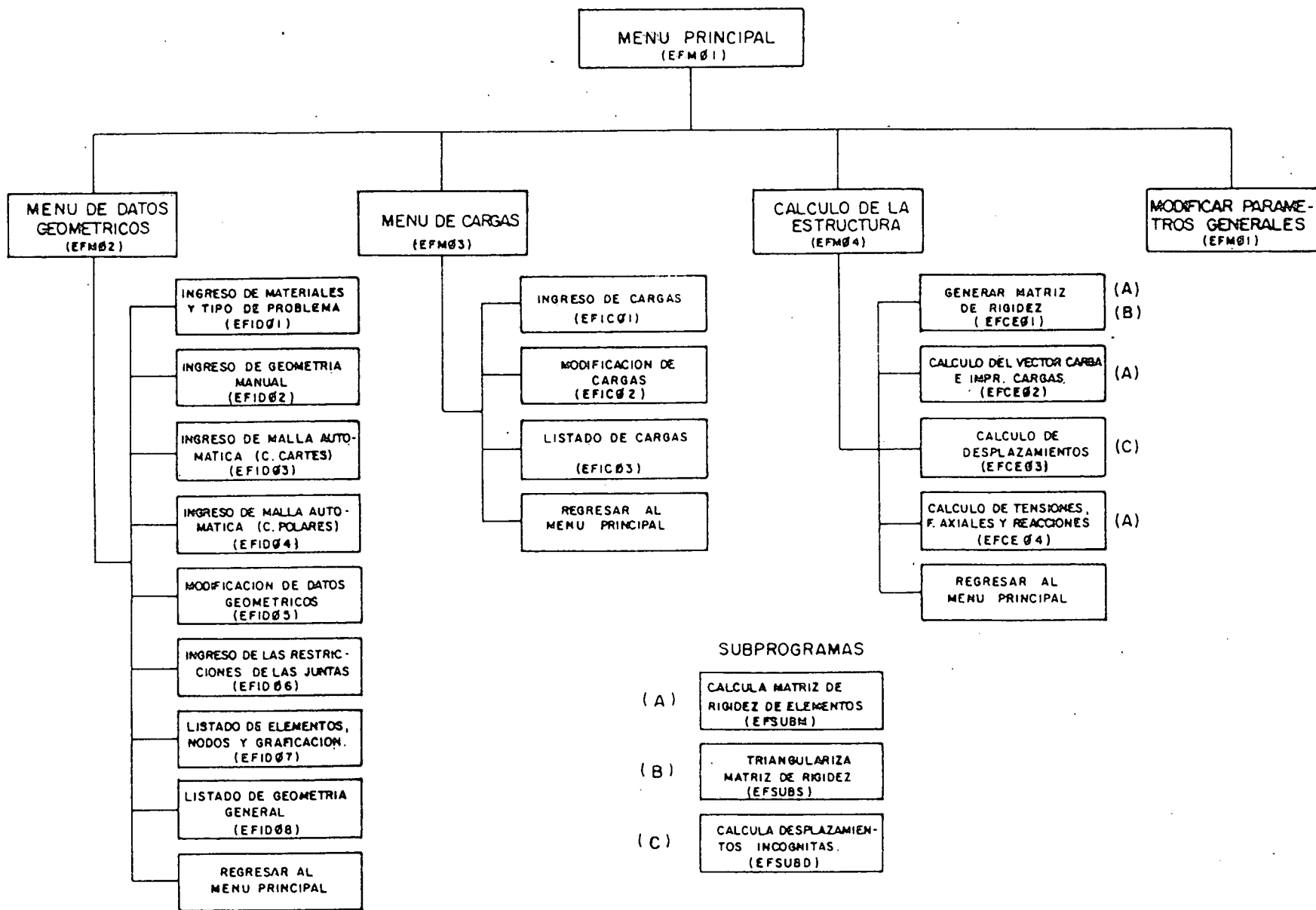


Figura 3.1

Luego, dentro de cada Menù se cogera el programa en particular que desee ejecutar; siempre tendra la alternativa de Regresar al Menù Principal para escoger otro proceso.

En la Figura 3.1 tambien se muestran los subprogramas existentes, y se indica con las letras entre parentesis los programas que los utilizan.

3.2 Descripción de Programas

3.2.1 EFM01 - Menù Principal

Es el primer programa en ser ejecutado.

Se piden los siguientes datos (parametros generales)

- Nombre de la malla (4 letras)
- Nombre de la estructura (50 letras)
- Disco de Datos (A/B) (B por defecto)
- Disco de Programas (A/B) (A por defecto)
- Saltos de Pagina (S/N) (N por defecto)

(Las opciones por defecto se utilizaran cuando el usuario conteste pisando la tecla RETURN)

Luego se permite escoger una de las siguientes funciones :

- (1) Menù de Datos Geométricos (EFM02)
- (2) Menù de Cargas (EFM03)
- (3) Cálculo de la Estructura (EFM04)
- (4) Modificar Parametros Generales (EFM01)

3.2.2 EFM02 - Menù de Datos Geométricos

Permite escoger una de las siguientes funciones:

- (1) Ingr. de Materiales y T. de Problema (EFID01)
- (2) Ingreso de Geometria Manual (EFID02)

- (3) Ingr. de Geom. Automática (C. Cart.) (EFID03)
- (4) Ingr. de Geom. Automática (C. Polar) (EFID04)
- (5) Modificación de Datos Geométricos (EFID05)
- (6) Ingr. de Restricciones de las Juntas (EFID06)
- (7) Listado de Nodos y/o Elementos
y Graficación (EFID07)
- (8) Genera Propied. de Elem. y Listado (EFID08)
- (9) Regresa al menú anterior (EFM01)

3.2.3 EFM03 - Menú de Cargas de la Estructura

Permite escoger una de las siguientes funciones:

- (1) Ingreso de las Cargas (EFIC01)
- (2) Modificación de las Cargas (EFIC02)
- (3) Listado de las Cargas (EFIC03)
- (4) Regresa al menú anterior (EFM01)

3.2.4 EFM04 - Cálculo de la Estructura

Permite escoger una de las siguientes funciones:

- (1) Generar Matriz de Rigidez (EFCE01)
- (2) Cálculo del Vector Carga e
Impresión de las Cargas (EFCE02)
- (3) Cálculo de los Desplazamientos (EFCE03)
- (4) Cálculo de Tensiones, Fuerzas Axiales y
Reacciones (EFCE04)
- (5) Regresa al menú anterior

3.2.5 EFID01 - Ingreso de Materiales y Tipo de Problema

Se piden los siguientes datos:

-Tipo de Problema

Se ingresará:

(1) para Tensión Plana

(2) para Deformación Plana

-Número de Materiales

Para cada material se ingresará :

- Módulo de Elasticidad longitudinal

- Relación de Poisson

- Coeficiente Térmico

- Peso por unidad de volumen

3.2.6 EFID02 - Ingreso de Geometría Manual

Se genera una malla ingresando todos los nodos con sus coordenadas y todos los elementos con sus incidencias (este programa es particularmente útil para mallas que no puedan ser generadas con los programas EFID03 y EFID04 de Generación Automática).

Se piden los siguientes datos:

- Número de Nodos

- Número de Elementos

- Tipo de Elementos Existentes

Se ingresará:

(1) si sólo hay Elementos Rectilíneos

(2) si sólo hay Elementos Triangulares

(3) si hay Elementos Rectilíneos y Triangulares.

- Si hay Elementos Rectilíneos se preguntará:

Area de los Elem. Rectilíneos es constante (S/N)?

En caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior se ingresará a continuación el Area de los Elementos Rectilíneos.

- Si hay Elementos Triangulares se preguntará:

Espesor de Elem. Triangulares es constante (S/N)?

En caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior se ingresará a continuación el Espesor de los Elementos Triangulares.

- Si hay Elementos Rectilíneos se preguntará:

Material de Elem. Rectilíneos es constante (S/N)?

En caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior se ingresará a continuación el Tipo de Material de los Elementos Rectilíneos.

- Si hay Elementos Triangulares se preguntará

Material de Elem. Triangulares es constante (S/N)?

En caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior se ingresará a continuación el Tipo de Material de los Elementos Triangulares.

- Para cada uno de los Nodos se ingresará:

Coordenada X del Nodo

Coordenada Y del Nodo

- Para cada uno de los Elementos se ingresará:

Nodo 1

Nodo 2

Nodo 3 (ingresar cero, si el Elem. es Rectilíneo)

Si el Elemento es Rectilíneo y el Area de los Elementos Rectilíneos no es constante se debe ingresar el Area del Elemento.

Si el Elemento es Triangular y el Espesor de los Elementos Triangulares no es constante se debe ingresar el Espesor del Elemento.

Si el Elemento es Rectilíneo y el Tipo de Material de los Elementos Rectilíneos no es constante se debe ingresar el Tipo de Material del Elemento.

Si el Elemento es Triangular y el Tipo de Material de los Elementos Triangulares no es constante se debe ingresar el Tipo de Material del Elemento.

3.2.7 EFID03 - Generación Automática de una Malla de Elementos Triangulares en Coord. Cartesianas

Para el ingreso de datos ver el Capítulo 4 sobre Generación Automática de la Malla.

3.2.8 EFID04 - Generación Automática de una Malla de Elementos Triangulares en Coord. Polares

Para el ingreso de datos ver el Capítulo 4 sobre Generación Automática de la Malla.

3.2.9 EFID05 - Modificación de Datos Geométricos

Permite ejecutar las siguientes funciones:

(1) Modificar Coordenadas de Nodos

Se pregunta el número del nodo a modificar, su nueva coordenada X y su nueva coordenada Y.

(2) Modificar Incidencia de Elementos

Se pregunta el número del elemento a modificar, sus nuevos nodos 1, 2 y 3.

(3) Eliminar Elementos

Se pregunta el número de elementos a eliminar y los números de los mismos (deben ingresarse en orden creciente); se eliminan los elementos especificados y se procede a la renumeración automática de los elementos no eliminados.

(4) Eliminar Nodos

Se pregunta el número de nodos a eliminar y los números de los mismos (deben ingresarse en orden creciente); se eliminan los nodos especificados y todos los elementos que lleguen a ellos, procediéndose a la renumeración automática de los nodos y elementos no eliminados.

Si en una misma malla se van a eliminar nodos (con los respectivos elementos que llegan a ellos) y además otros elementos, es recomendable eliminar los elementos aislados primero, con la opción (3) y luego los nodos (con sus respectivos elementos) con la opción (4), ya que si se utiliza primero la opción (4) los elementos que iban a ser eliminados con la opción (3) tendrán otro número porque habrán sido renumerados.

(5) Agregar Nodos y/o Elementos

Permite agregar nodos y/o elementos a la malla presente en memoria (es la malla cuyo nombre se ingresó en el programa EFM01). Se crea un nuevo archivo que contiene los nodos de la malla en memoria y los nuevos.

Se piden los siguientes datos:

- Nombre de la nueva malla (como se define una malla nueva deberá ingresarse el nombre de esta nueva malla en el programa EFM01 y luego ingresar los Materiales, Tipo de Problema, Cargas, etc., para esta nueva malla)

- Número de nodos a agregar

Para cada nodo

- Número del nodo (deben ingresarse en orden creciente, el nodo agregado es intercalado antes del nodo de la malla original que tiene su mismo número)

- Coordenada X del nodo

- Coordenada Y del nodo

- Número de elementos a agregar

Y para cada elemento se pedirán los mismos datos que en el programa EFID02.

Se renumeran todos los nodos y las incidencias de los elementos se actualizan.

(6) Modificar Area/Espesor de los Elementos

Se pide el número del elemento a modificar y su nueva área/espesor (dependiendo si el elemento es rectilíneo o triangular).

(7) Modificar Tipo de Material

Se pide el número del elemento y su nuevo Tipo de Material.

(8) Terminar

Permite regresar al menú anterior (EFM02).

En las opciones (6) y (7) se permite la modificación por grupos, lo que permite cambiar el Área/Espesor o Tipo de Material de un grupo de elementos consecutivos. Se pide el número del elemento inicial y el número del elemento final del grupo al cual se le realizará la modificación.

3.2.10 EFID06 - Ingreso de las Restricciones en las Juntas

Se debe ejecutar este programa luego de haber ingresado toda la geometría de la malla.

Se piden los siguientes datos:

- Número de juntas con desplazamientos restringidos y/o resortes

- Tipo de Restricción

Se ingresará:

(0) Sin Restricción

(1) Restricción según X

(2) Restricción según Y

(3) Restricción según X y según Y

- Tipo de Resorte

Se ingresará:

(0) Sin Resorte

(1) Resorte según X

(2) Resorte según Y

(3) Resorte según X y según Y

- Si hay Resorte según X, K del Resorte según X

- Si hay Resorte según Y, K del Resorte según Y

3.2.11 EFID07 - Listado de Nodos y/o Elementos y Graficación

Permite efectuar :

(1) Graficación

(2) Listado de Nodos

(3) Listado de Elementos

(4) Listado de Ambos

Los listados son resumidos, con el fin de poder revisar las coordenadas de los nodos e incidencias de

los elementos, para verificar que la geometría de la malla se ha ingresado en forma correcta.

3.2.12 EFID08 - Listado de Datos Geométricos y Generación de Propiedades Geométricas

Se listan todos los Tipos de Materiales con sus constantes; todas las juntas con sus coordenadas, restricciones, etc.; y todos los elementos con sus incidencias, áreas, volúmenes, etc.; y además se calcula el ancho de banda de la matriz de rigidez de la estructura y ciertas características geométricas de los elementos que son almacenadas para su uso posterior (longitud de los elementos rectilíneos, área de los elementos triangulares, etc.)

3.2.13 EFIC01 - Ingreso de Cargas

Se piden los siguientes datos:

-Número de Casos de Carga

-Para cada caso de carga:

El caso de carga ya fue ingresado (S/N)?

En caso de respuesta afirmativa no se piden los datos de ese caso de carga y se prosigue con el siguiente caso de carga. Esto permite que los datos de los casos de carga puedan ser ingresados de una manera bastante independiente, ya que si se ingresa un caso de carga de una manera incorrecta con errores que no puedan ser corregidos utilizando el programa de Modificación de Cargas (EFIC02) se pueden ingresar los datos de ese caso de carga sin

tener que ingresar de nuevo los datos de los demás casos de carga; ya que para los casos ya ingresados se contestará afirmativamente a esta pregunta. También esto permite que si ocurre una interrupción durante el ingreso de los datos (Ej: falla eléctrica) no se pierda el trabajo de los casos de carga ya ingresados.

-Título del Caso de Carga

-Número de Juntas con Fuerza Externa:

Para cada junta con fuerza externa:

-Número de la junta

-Carga según X

-Carga según Y

-Número de Fuerzas de Superficie

Para cada fuerza de superficie:

-K, interpretándose de la siguiente manera

K=0 para fuerzas según los ejes locales y dadas por unidad de longitud del eje x

K=1 para fuerzas según ejes generales y dadas por unidad de longitud del eje local x

K=2 para fuerzas según ejes generales y dadas por unidad de longitud de la proyección de la fuerza sobre el eje general perpendicular a su dirección

-I, J, WXI, WXJ, WYI, WYJ (ver Figuras 3.2 y 3.3)

a) Para elementos triangulares (Figura 3.2)

I, J juntas en las cuales está aplicada la carga siendo I el origen de coordenadas locales

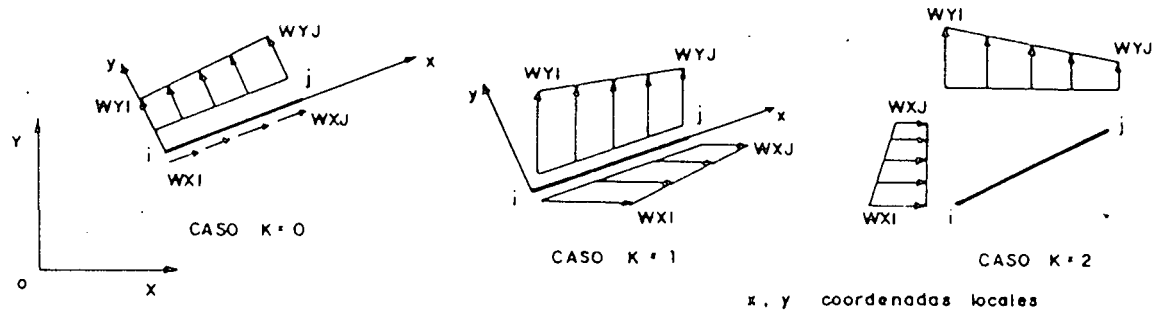


Figura 3.2

b) Para elementos rectilíneos (Figura 3.3)

I = número del elemento rectilíneo

J = cara

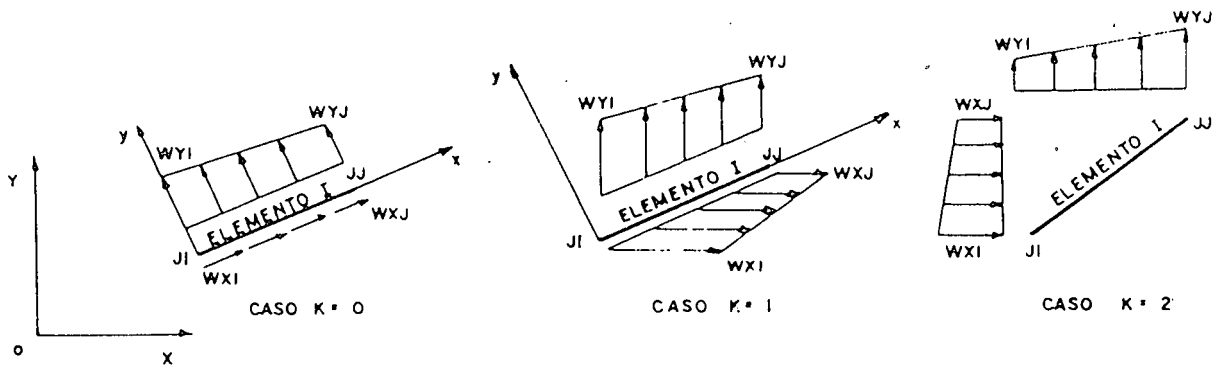


Figura 3.3

-Número de Fuerzas de Volumen

Para cada elemento con fuerza de volumen:

-Número del elemento

-Fuerza por unidad de volumen según X

-Fuerza por unidad de volumen según Y

-Número de Elementos con Cambio de Temperatura

Para cada elemento con cambio de temperatura:

-Número del elemento

-Cambio de Temperatura

-Número de Elementos con Deformaciones Iniciales

Para cada elemento con deformaciones iniciales:

-Número del elemento

Si el elemento es triangular:

-Epsilon X

-Epsilon Y

-Gamma XY

Si el elemento es rectilíneo:

-Epsilon X

-Número de Juntas con Desplazamiento de Apoyo

Para cada junta con desplazamiento de apoyo:

-Número de la junta

-Desplazamiento según X

-Desplazamiento según Y

-Código para Peso Propio y Temperatura

Se piden ingresar los siguientes valores:

-Peso según X (código para la inclusión automática de las fuerzas de volumen debidas al peso propio según X en todos los elementos de la estructura, debe valer 0, 1 ó -1; este valor multiplicado por el peso por unidad de volumen del material de cada elemento da la fuerza de volumen en la dirección X a considerar en cada elemento)

-Peso según Y (código para la inclusión automática de las fuerzas de volumen debidas al peso propio según Y en todos los elementos de la estructura, debe valer 0, 1 ó -1; este valor multiplicado por el peso por unidad de volumen del material de cada elemento da la fuerza de volumen en la dirección Y

a considerar en cada elemento)

-Cambio de Temperatura Constante para todos los elementos de la estructura.

3.2.14 EFIC02 - Modificación de Cargas

Permite modificar los datos ingresados en el programa de Ingreso de Cargas (EFIC01). Se pide el número del caso de carga a modificar y se permiten las siguientes opciones de modificación:

- (1) Título del Caso de Carga
- (2) Fuerzas en las Juntas
- (3) Fuerzas de Superficie
- (4) Fuerzas de Volumen
- (5) Elementos con Cambio de Temperatura Constante
- (6) Deformaciones Iniciales
- (7) Desplazamientos de Apoyos
- (8) Peso según X, Y y Cambio de Temperatura para toda la estructura
- (9) Regresar al menú anterior

Se escoge el número deseado.

En la opción (2) se deberán ingresar para todas las juntas cargadas el número de la junta, la fuerza según X y la fuerza según Y; no se puede modificar el número de juntas cargadas que fue ingresado en el programa EFIC01 para ello se deberá ingresar de nuevo el caso de carga siguiendo las especificaciones dadas en el programa EFIC01.

De igual manera para las opciones (3), (4), (5), (6)

y (7) no podrá ser posible cambiar el número de elementos o juntas cargadas. En estas opciones se ingresará para cada uno de los elementos o juntas cargadas sus respectivos valores modificados, con formato similar a los ingresados en el programa EFIC01.

3.2.15 EFIC03 - Listado de Cargas

Se listan todos los casos de carga cada uno con todas sus cargas (cargas en las juntas, cargas de superficie, cargas de volumen, etc.). Para más detalle ver Aparte 3.3.4.

3.2.16 EFCE01 - Generación de la Matrix de Rigidez

Antes de generar la matriz de rigidez se pregunta:

- Desea impresión de la matriz de rigidez (S/N)?
- Desea impresión de las cargas (S/N)?
- Desea calcular todos los casos de carga (S/N)?

En el caso de que no se deseen calcular todos los casos de carga se preguntará el número del caso de carga que se desea calcular.

A continuación se genera la matriz de rigidez de la estructura a partir de las matrices de rigidez de los elementos (para ello se utiliza el subprograma EFSUBM), luego la matriz de rigidez de la estructura es triangularizada empleando el método de GAUSS-JORDAN utilizando con ese fin el subprograma EFSUBS. Para cada uno de los casos de carga se ejecutan los siguientes programas: EFCE02, EFCE03 y EFCE04.

3.2.17 EFCE02 - Cálculo del Vector Carga e Impresión
de Cargas

Utilizando los datos de cada caso de carga se calcula el vector carga (cuando hay movimientos de apoyo es necesario utilizar el subprograma EFSUBM), se imprimen las cargas del caso de carga en cuestión (si se escogió dicha opción en el programa EFCE01) y finalmente se imprime el vector carga.

3.2.18 EFCE03 - Cálculo de los Desplazamientos

Utilizando el vector carga y la matriz de rigidez triangularizada se calculan y se imprimen los desplazamientos en las juntas. Para el cálculo de dichos desplazamientos se emplea el subprograma EFSUBD.

3.2.19 EFCE04 - Cálculo de las Tensiones, Fuerzas Axiales y Reacciones

Luego de conocidos los desplazamientos de las juntas, se calculan las tensiones en los elementos triangulares, las fuerzas axiales en los elementos rectilíneos y las reacciones. (Se emplea el subprograma EFSUBM).

NOTA: Los programas EFCE01, EFCE03 y EFCE04 se ejecutan automáticamente para el caso de carga (o para todos los casos de carga) escogido al generar la matriz de rigidez (programa EFCE01), pero adicionalmente se puede calcular un caso de carga aislado, luego de calculada la matriz de rigidez de

la estructura, ejecutando el usuario los programas EFCE02, EFCE03 y EFCE04 en forma consecutiva (en este caso el programa EFCE02 preguntará el número del caso de carga que se desea calcular).

3.2.20 EFSUBM - Subprograma que calcula la Matriz de Rigidez de los Elementos

Este subprograma es utilizado por los programas EFCE01, EFCE02 y EFCE04. A partir de las características geométricas de los elementos se calcula su matriz de rigidez de acuerdo con las fórmulas establecidas en Aparte 2.4.

3.2.21 EFSUBS - Subprograma que triangulariza la Matriz de Rigidez de la Estructura

Empleando el método de GAUSS-JORDAN y aprovechando las características de la Matriz de Rigidez de ser simétrica, de banda y definida positiva, se triangulariza dicha matriz con este subprograma, que es utilizado por el programa EFCE01.

3.2.22 EFSUBD - Subprograma que Calcula los Desplazamientos

Luego de triangularizada la Matriz de Rigidez y calculado el vector carga, se calculan los desplazamientos con este subprograma que es utilizado por el programa EFCE03.

NOTA: El sistema de unidades a utilizar en todos los programas es libre, siempre y cuando se use de una manera consistente.

3.1 Salida de Datos y Resultados

3.3.1 Propiedades de los Materiales

Para cada material:

- Número del material
- Módulo de Elasticidad longitudinal
- Relación de Poisson
- Coeficiente de dilatación térmica
- Peso por unidad de volumen
- Constantes e_1 , e_2 y e_3 del material (ver Aparte 2.6)

3.3.2 Datos de las Juntas

Para cada junta de la estructura

- Número de la junta
- Coordenada X de la junta, referida al sistema OXY
- Coordenada Y de la junta, referida al sistema OXY
- RDX, RDY, código para la restricción a las componentes de traslación de la junta en la dirección de los ejes X e Y respectivamente (ver Aparte 3.2.10)
- KDX, KDY, rigideces de los resortes de traslación en las direcciones X e Y respectivamente

3.3.3 Propiedades de los Elementos

Para cada elemento triangular

- Número del elemento
- JI, JJ, JK, número de las juntas i, j, k del elemento
- Número del material del elemento
- Espesor del elemento
- Area del elemento
- Volumen del elemento
- Peso del elemento

Para cada elemento rectilíneo

- Número del elemento
- JI, JJ, número de las juntas i, j del elemento
- Número del material del elemento
- Número del elemento
- Área de la sección transversal del elemento
- Volumen del elemento
- Peso del elemento

3.3.4 Casos de Carga

Para cada Caso de Carga

- Cargas aplicadas en las juntas

Para cada junta cargada

- Número de la junta cargada
- FX, FY, fuerzas aplicadas en la junta según los ejes X e Y respectivamente

- Cargas de Superficie

Para cada Carga de Superficie

- K
- I
- J
- WXI
- WXJ
- WYI
- WYJ (ver Figuras 3.2 y 3.3)

- Cargas de Volumen

Para cada Carga de Volumen

- Número del elemento
- WVX, WVY, fuerza por unidad de volumen del elemento

según los ejes X e Y respectivamente

-Deformaciones por temperatura

Para cada elemento con cambio de temperatura

-Número del elemento

-Cambio de temperatura uniforme del elemento

-Deformaciones Iniciales

Para cada elemento con deformaciones iniciales

-Número del elemento

-Epsilon X, deformación inicial según X

-Epsilon Y, deformación inicial según Y

-Gamma XY, deformación angular

-Desplazamientos de Apoyo

Para cada junta con desplazamiento de apoyo

-Número de la junta

-Desplazamiento según X

-Desplazamiento según Y

-Cambio de temperatura para toda la estructura

Para cada elemento de la estructura

-Número del elemento

-Cambio de temperatura del elemento

-Acción del Peso Propio

Para cada elemento de la estructura

-Número del elemento

-WVX, WVY, peso por unidad de volumen del elemento según

los ejes X e Y respectivamente

3.3.5 Vector Carga

Para cada junta de la estructura

-Número de la junta

- FX, FY, cargas aplicadas en la junta en el problema complementario, según los ejes X e Y respectivamente

3.3.6 Desplazamientos de las juntas

Para cada junta de la estructura

- Número de la junta
- Desplazamientos según los ejes X e Y en el problema complementario (incluyendo los movimientos de apoyo)

3.3.7 Tensiones en los Elementos Triangulares

Para cada elemento triangular de la estructura

- Número del elemento
- JI, JJ, JK, números de las juntas i, j, k del elemento

- Sigma X
- Sigma Y
- Tau XY
- Sigma Máximo
- Sigma Mínimo
- Tau Máximo
- Angulo de Sigma Máximo

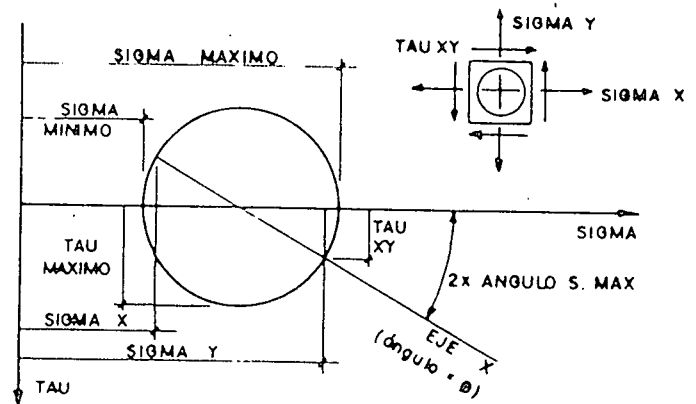


Figura 3.4.

(La convención de signos se muestra en la Figura 3.4)

3.3.8 Tensiones Promedio en Juntas con Elementos Triangulares

Para cada junta donde llegue al menos un elemento triangular se imprimirá:

- Número de la junta
- Número de elementos triangulares que llegan a la junta
- Sigma X promedio
- Sigma Y promedio
- Tau XY promedio

- Sigma Máximo
- Sigma Mínimo
- Tau Máximo
- Angulo Sigma Máximo
- Sigma Z

(La convención de signos se muestra en la Figura 3.4)

3.3.9 Fuerzas Axiales en Elementos Rectilíneos

Para cada elemento rectilíneo de la estructura

- Número del elemento
- JI, JJ, números de las juntas i, j del elemento
- NI, NJ, fuerzas axiales en los extremos i, j del elemento

3.3.10 Cargas o Reacciones en las Juntas

Para cada junta de la estructura

- Número de la junta
- FX, si la junta no tiene restricción ni resorte según X representa la fuerza según el eje X aplicada en la junta en el problema real, si la junta tiene restricción o resorte según X, representa la reacción según X en la junta
- FY, si la junta no tiene restricción ni resorte según Y representa la fuerza según el eje Y aplicada en la junta en el problema real, si la junta tiene restricción o resorte según Y, representa la reacción según Y en la junta

3.3.11 Reacciones en las Juntas

Para cada junta con restricción y/o resorte

- Número de la junta
- FX, FY, reacciones en la junta según los ejes X e Y

- Sigma Máximo
- Sigma Mínimo
- Tau Máximo
- Angulo Sigma Máximo
- Sigma Z

(La convención de signos se muestra en la Figura 3.4)

3.3.9 Fuerzas Axiales en Elementos Rectilíneos

Para cada elemento rectilíneo de la estructura

- Número del elemento
- JI, JJ, números de las juntas i, j del elemento
- NI, NJ, fuerzas axiales en los extremos i, j del elemento

3.3.10 Cargas o Reacciones en las Juntas

Para cada junta de la estructura

- Número de la junta
- FX, si la junta no tiene restricción ni resorte según X representa la fuerza según el eje X aplicada en la junta en el problema real, si la junta tiene restricción o resorte según X, representa la reacción según X en la junta
- FY, si la junta no tiene restricción ni resorte según Y representa la fuerza según el eje Y aplicada en la junta en el problema real, si la junta tiene restricción o resorte según Y, representa la reacción según Y en la junta

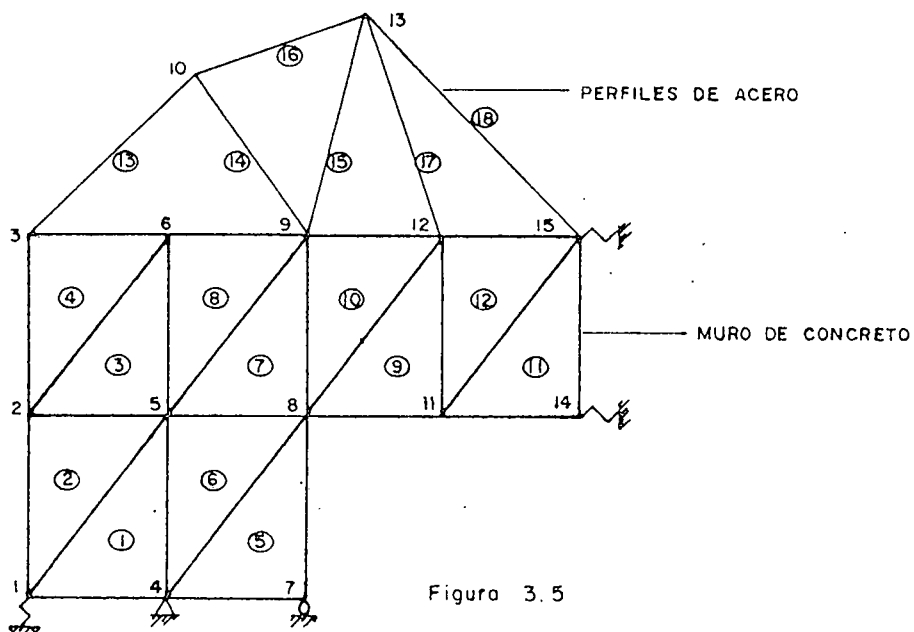
3.3.11 Reacciones en las Juntas

Para cada junta con restricción y/o resorte

- Número de la junta
- FX, FY, reacciones en la junta según los ejes X e Y

3.4 Ejemplo 3.1

El uso de los programas de aplicación del Método de los Elementos Finitos a la Teoría de la Elasticidad Lineal se ilustra con la resolución de la estructura mostrada en la Figura 3.5 la cual será analizada para los casos de carga que se describen a continuación. (Las unidades empleadas son Toneladas y Metros).



Los datos de los materiales se ingresan con el programa EFID01.

Para el ingreso de los datos geométricos se utiliza el programa EFID02 (se podrían utilizar los programas EFID03 y EFID05).

Para el ingreso de las restricciones de las juntas se utiliza el programa EFID06.

El ingreso de los datos de los casos de carga se hace utilizando el programa EFIC01.

La salida de datos y resultados se muestra de las páginas 67 a la 78. Se presentan solamente los resultados más representativos.

CASOS DE CARGA :

Caso 1 - Cargas en las Juntas

Ver la Figura 3.6

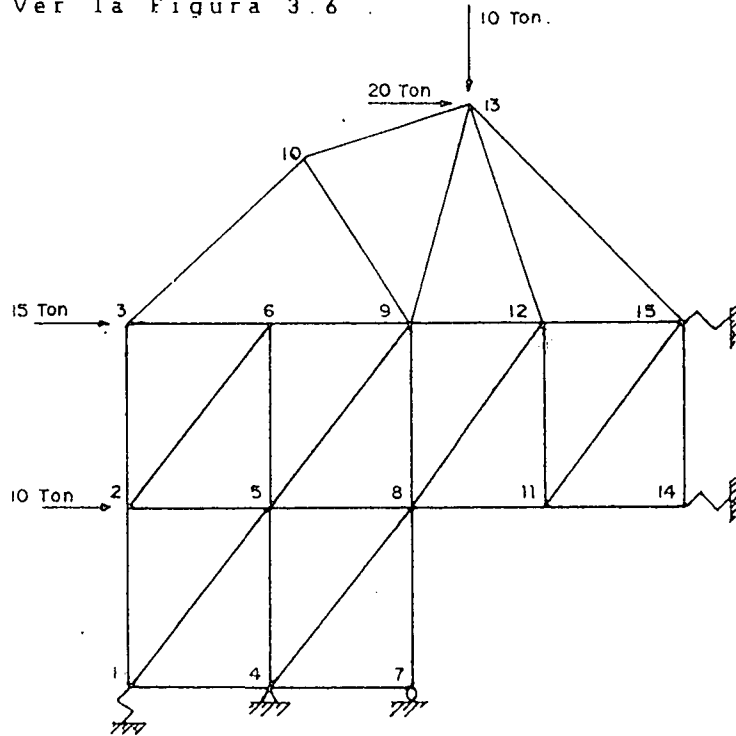


Figura 3.6

Caso 2 - Cargas de Superficie

Ver la Figura 3.7

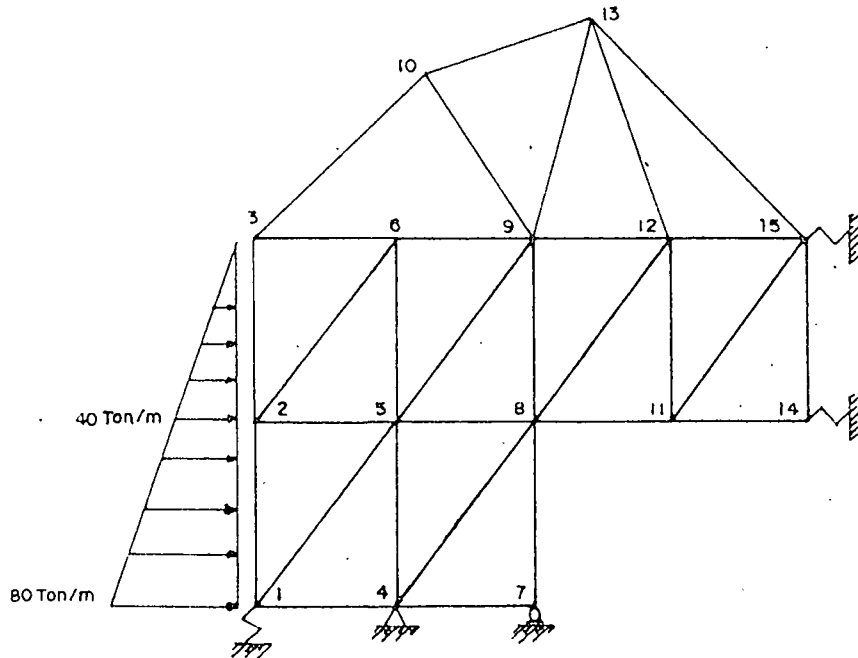


Figura 3.7

Caso 3 - Incremento de Temperatura Uniforme

Incremento de Temperatura Uniforme para todos los elementos de la estructura de 10° C .

Caso 4 - Descenso de la Junta 4

Movimiento de la Junta 4 :

$$Dx = -0.003 \text{ m}$$

$$Dy = -0.002 \text{ m}$$

Caso 5 - Deformaciones Iniciales en el Elemento 7

$$\text{Epsilon X} = 0.003$$

$$\text{Epsilon Y} = 0.005$$

$$\text{Gamma XY} = 0$$

Caso 6 - Peso Propio de Todos los Elementos

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 1
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

NRO	MODULO DE ELASTICIDAD	RELACION DE POISSON	COEFICIENTE TERMICO	PESO	E1	E2	E3
1	2400000	0.1700	0.000010	2.300	1.000000	0.830000	0.415000
2	21000000	0.3000	0.000012	7.850	1.000000	0.700000	0.350000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 2
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

DATOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	X	Y	RDX	RDY	KDX	KDY
1	0.0000	0.0000	0	0	0	7000
2	0.0000	0.8000	0	0		
3	0.0000	1.6000	0	0		
4	0.6000	0.0000	1	1		
5	0.6000	0.8000	0	0		
6	0.6000	1.6000	0	0		
7	1.2000	0.0000	0	1		
8	1.2000	0.8000	0	0		
9	1.2000	1.6000	0	0		
10	0.7500	2.3000	0	0		
11	1.8000	0.8000	0	0		
12	1.8000	1.6000	0	0		
13	1.5000	2.6000	0	0		
14	2.4000	0.8000	0	0	6000	0
15	2.4000	1.6000	0	0	15000	0

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 3
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	J1	JJ	JK	NRO. MATERIAL	ESPESOR	AREA	VOLUMEN	PESO
1	1	4	5	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
2	1	5	2	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
3	2	5	6	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
4	2	6	3	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
5	4	7	8	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
6	4	8	5	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
7	5	8	9	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
8	5	9	6	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
9	8	11	12	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
10	8	12	9	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
11	11	14	15	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552
12	11	15	12	1	0.1000	0.2400	0.0240	0.0552

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 4
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	JJ	NRO. MATERIAL	LONGITUD	AREA TRANSV.	VOLUMEN	PESO
13	3	10	2	1.0259	0.0600	0.0616	0.4832
14	9	10	2	0.8322	0.0600	0.0499	0.3970
15	9	13	2	1.0440	0.0600	0.0626	0.4917
16	10	13	2	0.8078	0.0600	0.0485	0.3805
17	12	13	2	1.0440	0.0600	0.0626	0.4917
18	13	15	2	1.3454	0.0600	0.0807	0.6337

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 5
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

CARGAS APLICADAS EN LAS JUNTAS

JUNTA	FX	FY
2	10.000	0.000
3	15.000	0.000
13	20.000	-10.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 6
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

VECTOR CARGA

JUNTA	FUERZA X	FUERZA Y	JUNTA	FUERZA X	FUERZA Y
1	0.000	0.000	2	10.000	0.000
3	15.000	0.000	4	0.000	0.000
5	0.000	0.000	6	0.000	0.000
7	0.000	0.000	8	0.000	0.000
9	0.000	0.000	10	0.000	0.000
11	0.000	0.000	12	0.000	0.000
13	20.000	-10.000	14	0.000	0.000
15	0.000	0.000			

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 7
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

DESPLAZAMIENTOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	COMPONENTE X	COMPONENTE Y	JUNTA	COMPONENTE X	COMPONENTE Y
1	-6.665260E-06	7.442890E-04	2	9.192180E-04	8.876030E-04
3	2.147280E-03	1.037320E-03	4	0.000000E+00	0.000000E+00
5	8.594590E-04	1.218580E-04	6	1.999890E-03	1.597190E-04
7	1.972160E-04	0.000000E+00	8	7.655140E-04	-5.063010E-04
9	1.927470E-03	-5.901340E-04	10	3.024100E-03	1.115270E-04
11	6.625350E-04	-1.547870E-03	12	1.911460E-03	-1.539380E-03
13	3.502300E-03	-1.044180E-03	14	6.237820E-04	-2.515030E-03
15	1.821750E-03	-2.556920E-03			

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 8
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	J1	J2	J3	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	1	4	5	91.452	381.121	-170.418	459.937	12.636	223.651	114.820	0.000
2	1	5	2	-170.884	400.892	-121.936	425.810	-195.802	310.806	101.550	0.000
3	2	5	6	-226.266	75.117	153.124	139.262	-290.411	214.837	67.271	0.000
4	2	6	3	-528.469	359.309	74.263	365.478	-534.638	450.058	85.251	0.000
5	4	7	8	546.441	-1426.010	728.588	786.381	-1665.950	1226.160	18.228	0.000
6	4	8	5	-322.964	310.671	28.095	311.914	-324.207	315.060	87.466	0.000
7	5	8	9	-430.988	-324.767	415.911	41.411	-797.115	419.289	48.639	0.000
8	5	9	6	-278.410	66.252	180.290	143.326	-355.484	249.405	66.854	0.000
9	8	11	12	-419.720	45.893	-179.277	26.186	-491.799	258.992	111.903	0.000
10	8	12	9	-59.975	-270.195	-132.964	-34.852	-345.318	155.233	-29.466	0.000
11	11	14	15	-181.622	-156.540	-117.407	-51.006	-287.155	118.074	131.951	0.000
12	11	15	12	-365.070	-36.602	-138.184	13.798	-415.470	214.634	110.038	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 9
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

TENSIONES PROMEDIO EN LAS JUNTAS DE LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

JUNTA	NRO. DE ELEMENTOS	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	2	-39.716	391.007	-146.177	435.930	-84.640	260.285	107.083	0.000
2	3	-308.540	278.439	35.150	280.537	-310.637	295.587	86.585	0.000
3	1	-528.469	359.309	74.263	365.478	-534.638	450.058	85.251	0.000
4	3	104.976	-244.738	195.422	192.349	-332.111	262.230	24.089	0.000
5	6	-223.010	151.548	80.844	168.252	-239.715	203.983	78.326	0.000
6	3	-344.382	166.893	135.892	200.767	-378.256	289.512	76.003	0.000
7	1	546.441	-1426.010	728.588	786.381	-1665.950	1226.160	18.228	0.000
8	5	-147.441	-351.238	172.070	-49.361	-449.319	199.979	29.683	0.000
9	3	-273.125	-176.237	154.412	-62.847	-386.514	161.833	53.709	0.000
11	3	-322.137	-79.678	-144.956	-11.940	-389.876	188.968	115.047	0.000
12	3	-298.255	-117.563	-150.142	-32.681	-383.138	175.228	119.482	0.000
14	1	-181.622	-156.540	-117.407	-51.006	-287.155	118.074	131.951	0.000
15	2	-273.346	-96.571	-127.795	-29.575	-340.342	155.384	117.665	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 10
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	J2	NI	NJ
13	3	10	11.445	11.445
14	9	10	-4.220	-4.220
15	9	13	-1.847	-1.847
16	10	13	11.469	11.469
17	12	13	-2.366	-2.366
18	13	15	-13.755	-13.755

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 11
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

CARGAS O REACCIONES EN LAS JUNTAS

JUNTA	FX	FY	JUNTA	FX	FY	JUNTA	FX	FY
1	0.000	-5.210	2	10.000	-0.000	3	15.000	-0.000
4	-13.930	-56.714	5	-0.000	-0.000	6	0.000	0.000
7	0.000	71.924	8	-0.000	-0.000	9	-0.000	0.000
10	0.000	0.000	11	-0.000	0.000	12	0.000	-0.000
13	19.999	-9.999	14	-3.743	-0.000	15	-27.326	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 12
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(1 / 6) CARGAS EN LAS JUNTAS

REACCIONES EN LAS JUNTAS

JUNTA	REACCION X	REACCION Y
1	0.000	-5.210
4	-13.930	-56.714
7	0.000	71.924
14	-3.743	-0.000
15	-27.326	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 13

APLICACION DEL M.E.F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(2 / 6) CARGAS DE SUPERFICIE

CARGAS DE SUPERFICIE

K	I	J	WXI	WXJ	WYI	WYJ
1	1	2	80.000	40.000	0.000	0.000
1	2	3	40.000	0.000	0.000	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 16

APLICACION DEL M.E.F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(2 / 6) CARGAS DE SUPERFICIE

TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	J1	J2	J3	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	1	4	5	-734.073	130.028	85.255	138.359	-742.404	440.382	84.419	0.000
2	1	5	2	-357.600	-42.327	89.875	-18.506	-381.421	181.457	75.155	0.000
3	2	5	6	-349.883	3.066	-37.784	7.065	-353.883	180.474	96.042	0.000
4	2	6	3	-104.495	-111.781	-33.482	-74.459	-141.817	33.679	-41.895	0.000
5	4	7	8	312.435	-309.494	416.580	521.315	-518.374	519.844	26.630	0.000
6	4	8	5	-194.265	221.795	256.121	343.727	-316.196	329.961	64.542	0.000
7	5	8	9	-227.846	24.260	27.693	27.266	-230.852	129.059	83.805	0.000
8	5	9	6	-133.836	39.794	-1.337	39.804	-133.846	66.825	90.441	0.000
9	8	11	12	-123.026	24.559	1.125	24.567	-123.035	73.801	89.563	0.000
10	8	12	9	-116.641	43.165	-9.891	43.774	-117.250	80.512	93.528	0.000
11	11	14	15	-80.655	-45.740	-34.305	-24.706	-101.690	38.492	121.514	0.000
12	11	15	12	-134.065	22.682	-57.619	41.583	-152.967	97.275	108.161	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 18

APLICACION DEL M.E.F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(2 / 6) CARGAS DE SUPERFICIE

FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	J2	NI	NJ
13	3	10	-2.952	-2.952
14	9	10	1.088	1.088
15	9	13	1.513	1.513
16	10	13	-2.958	-2.958
17	12	13	3.473	3.473
18	13	15	-4.947	-4.947

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 21
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(3 / 6) CAMBIO DE TEMPERATURA

CAMBIO DE TEMPERATURA PARA TODA LA ESTRUCTURA

ELEMENTO INCREMENTO DE TEMPERATURA

1	10.00
2	10.00
3	10.00
4	10.00
5	10.00
6	10.00
7	10.00
8	10.00
9	10.00
10	10.00
11	10.00
12	10.00
13	10.00
14	10.00
15	10.00
16	10.00
17	10.00
18	10.00

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 24
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(3 / 6) CAMBIO DE TEMPERATURA

TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	J1	J2	J3	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	1	4	5	-0.417	-21.908	3.946	0.285	-22.609	11.447	10.082	0.000
2	1	5	2	-1.510	-14.855	0.556	-1.486	-14.878	6.696	2.380	0.000
3	2	5	6	-0.054	-6.292	1.200	0.169	-6.515	3.342	10.522	0.000
4	2	6	3	18.628	-17.196	2.641	18.822	-17.390	18.106	4.193	0.000
5	4	7	8	-38.720	59.767	-51.627	81.870	-60.823	71.346	113.177	0.000
6	4	8	5	-6.893	-23.009	-16.090	3.044	-32.945	17.995	-31.699	0.000
7	5	8	9	-1.112	10.998	-8.445	15.334	-5.448	10.391	117.180	0.000
8	5	9	6	15.961	-3.570	-4.756	17.058	-4.667	10.862	-12.984	0.000
9	8	11	12	-33.582	3.669	3.262	3.953	-33.865	18.909	85.034	0.000
10	8	12	9	3.071	11.709	-9.079	17.444	-2.664	10.054	122.280	0.000
11	11	14	15	-21.690	-8.191	-6.143	-5.814	-24.067	9.127	111.153	0.000
12	11	15	12	-2.987	8.870	-19.118	22.957	-17.074	20.016	126.385	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 26
EJEMPLO 3 1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

=====

(3 / 6) CAMBIO DE TEMPERATURA

FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	J2	NI	NJ
13	3	10	-0.911	-0.911
14	9	10	0.336	0.336
15	9	13	0.597	0.597
16	10	13	-0.913	-0.913
17	12	13	0.812	0.812
18	13	15	-1.359	-1.359

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 29
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(4 / 6) DESCENSO DE LA JUNTA 4

DESPLAZAMIENTOS DE APOYOS

JUNTA	DESPLAZAMIENTO X	DESPLAZAMIENTO Y
4	-0.003000	-0.002000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 32
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(4 / 6) DESCENSO DE LA JUNTA 4

TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	J1	J2	J3	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	1	4	5	55.871	1188.980	-554.862	1415.430	-170.578	793.006	112.201	0.000
2	1	5	2	-21.929	290.566	-74.495	307.416	-38.779	173.098	102.745	0.000
3	2	5	6	-33.050	225.151	14.197	225.929	-33.828	129.879	86.862	0.000
4	2	6	3	-300.241	370.962	-1.184	370.963	-300.242	335.603	90.101	0.000
5	4	7	8	1684.710	-2661.200	2246.280	2637.050	-3613.540	3125.290	22.975	0.000
6	4	8	5	12.768	1181.660	639.927	1463.860	-269.437	866.649	66.203	0.000
7	5	8	9	-266.571	-461.517	740.610	382.953	-1111.040	746.997	41.251	0.000
8	5	9	6	-37.628	224.373	335.959	453.969	-267.224	360.597	55.651	0.000
9	8	11	12	790.551	-119.740	-32.428	791.705	-120.894	456.299	-2.038	0.000
10	8	12	9	591.031	-315.724	113.186	604.946	-329.639	467.293	7.009	0.000
11	11	14	15	576.790	214.080	160.560	637.652	153.219	242.217	20.760	0.000
12	11	15	12	685.617	-137.578	317.435	793.806	-245.767	519.786	18.820	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 34
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(4 / 6) DESCENSO DE LA JUNTA 4

FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	J2	NI	NJ
13	3	10	16.380	16.380
14	9	10	-6.039	-6.039
15	9	13	-9.736	-9.736
16	10	13	16.414	16.414
17	12	13	-16.589	-16.589
18	13	15	25.723	25.723

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 37
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(5 / 6) DEF. INIC. EN ELEMENTO 7

DEFORMACIONES INICIALES

ELEMENTO	EPSILON X	EPSILON Y	GAMMA XY
7	3.000000E-04	5.000000E-04	0.000000E+00

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 40
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(5 / 6) DEF. INIC. EN ELEMENTO 7

TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	JÍ	JJ	JK	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	1	4	5	4.579	-26.243	0.304	4.582	-26.246	15.414	0.565	0.000
2	1	5	2	-13.317	-6.039	-6.105	-2.571	-16.785	7.107	119.603	0.000
3	2	5	6	3.406	92.330	-25.998	99.373	-3.637	51.505	105.158	0.000
4	2	6	3	-16.596	36.765	7.109	37.696	-17.526	27.611	82.540	0.000
5	4	7	8	45.485	-3.462	60.646	86.410	-44.387	65.398	34.012	0.000
6	4	8	5	369.201	35.743	-31.954	372.235	32.708	169.764	-5.425	0.000
7	5	8	9	-499.924	-841.461	-141.347	-449.015	-892.370	221.677	-19.807	0.000
8	5	9	6	80.479	105.433	155.431	248.887	-62.975	155.931	47.295	0.000
9	8	11	12	50.435	80.064	126.597	192.710	-62.211	127.461	48.337	0.000
10	8	12	9	-31.711	438.135	-39.550	441.441	-35.017	238.229	94.778	0.000
11	11	14	15	-6.452	6.170	4.627	7.684	-7.967	7.826	71.875	0.000
12	11	15	12	65.127	82.562	-50.747	125.335	22.354	51.490	130.126	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 42
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(5 / 6) DEF. INIC. EN ELEMENTO 7

FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	J2	N1	N2
13	3	10	1.200	1.200
14	9	10	-0.442	-0.442
15	9	13	-4.101	-4.101
16	10	13	1.202	1.202
17	12	13	5.561	5.561
18	13	15	-2.482	-2.482

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 45
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(6 / 6) PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

ACCION DEL PESO PROPIO

ELEMENTO	VVI	VVY
1	0.000	-2.300
2	0.000	-2.300
3	0.000	-2.300
4	0.000	-2.300
5	0.000	-2.300
6	0.000	-2.300
7	0.000	-2.300
8	0.000	-2.300
9	0.000	-2.300
10	0.000	-2.300
11	0.000	-2.300
12	0.000	-2.300
13	0.000	-7.850
14	0.000	-7.850
15	0.000	-7.850
16	0.000	-7.850
17	0.000	-7.850
18	0.000	-7.850

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 48
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

(6 / 6) PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES

ELEMENTO	J1	J2	J3	SIGMA X	SIGMA Y	TAU XY	SIGMA MAX.	SIGMA MIN.	TAU MAX.	ANGULO S. MAX.	SIGMA Z
1	1	4	5	5.271	-20.382	1.764	5.392	-20.503	12.947	3.915	0.000
2	1	5	2	-2.973	0.257	-7.028	5.853	-8.569	7.211	128.528	0.000
3	2	5	6	-4.746	-10.170	9.111	2.048	-16.964	9.506	36.711	0.000
4	2	6	3	-0.472	-0.680	3.265	2.690	-3.842	3.266	44.087	0.000
5	4	7	8	3.990	-71.356	5.320	4.364	-71.730	38.047	4.019	0.000
6	4	8	5	-8.229	-22.677	-17.032	3.048	-33.954	18.501	-33.508	0.000
7	5	8	9	-10.150	-33.975	4.392	-9.366	-34.758	12.696	10.120	0.000
8	5	9	6	-1.264	-9.578	-10.167	5.563	-16.405	10.984	-33.880	0.000
9	8	11	12	-14.868	-6.060	-14.112	4.320	-25.247	14.784	126.334	0.000
10	8	12	9	-0.605	-32.352	-3.754	-0.167	-32.790	16.311	-6.652	0.000
11	11	14	15	-3.498	-4.529	-3.857	-0.123	-7.904	3.891	-41.195	0.000
12	11	15	12	-13.191	-5.775	-1.047	-5.630	-13.336	3.853	97.882	0.000

ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS-- PAGINA 50
 EJEMPLO 3.1 - APLICACION DEL M. E. F. (MALLA = EJ31) TENSION PLANA

=====

(6 / 6) PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS

ELEMENTO	J1	J2	NI	NJ
13	3	10	-0.005	0.325
14	9	10	-0.817	-0.488
15	9	13	-1.489	-1.018
16	10	13	0.435	0.577
17	12	13	-0.405	0.066
18	13	15	0.472	0.001

4 GENERACION AUTOMATICA DE LA MALLA

El ingreso de todas las coordenadas de los nodos de una malla y de las incidencias de todos los elementos puede resultar ser un trabajo muy tedioso y lento y que además, debido al gran volumen de datos que se manejan es muy probable que se cometan errores durante la preparación o introducción de esos datos al computador, errores que de ser detectados después de haber ejecutado gran parte o todo el proceso de cálculo pueden significar un gran costo en tiempo y trabajo.

Es por esto recomendable utilizar algún algoritmo que permita generar de la manera más automática posible la malla de elementos, ingresando la menor cantidad de información posible.

Para la generación de una malla de elementos triangulares se consideraron las dos siguientes soluciones.

4.1 Coordenadas Cartesianas (programa EFID03)

Se divide el medio en estudio por líneas y éstas a su vez en tramos. (Ver Figura 4.1)

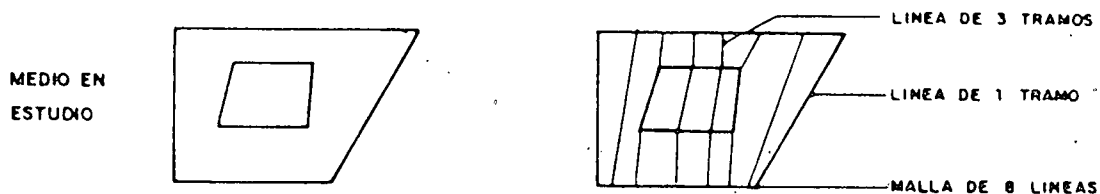
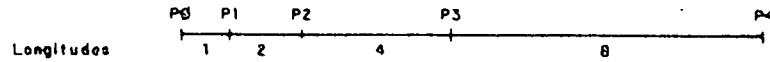


Figura 4.1

Cada tramo estará dividido en un número de segmentos conocido, generándose los elementos triangulares entre los segmentos de dos tramos adyacentes, las coordenadas de los nodos de un tramo están determinadas por la razón que exista entre los segmentos del tramo, dicha razón define una progresión geométrica en las longitudes de los segmentos. (Ver Figura 4.2)



TRAMO DE 4 SEGMENTOS Y RAZON IGUAL A 2

Figura 4 2

Esta razón debe ser mayor que cero, pudiendo ser igual a uno (si todos los segmentos son iguales). Si conocemos las coordenadas del nodo inicial del tramo (X_0, Y_0) y las del nodo final (X_N, Y_N) , sabiendo que el tramo tiene N divisiones y que la razón entre los segmentos es R , se puede demostrar que las coordenadas del nodo i vienen dadas por las siguientes expresiones:

$$X_i = (X_N - X_0) \cdot \frac{\sum_{j=1}^i R^{j-1}}{\sum_{j=1}^N R^{j-1}} + X_0$$

$$Y_i = (Y_N - Y_0) \cdot \frac{\sum_{j=1}^i R^{j-1}}{\sum_{j=1}^N R^{j-1}} + Y_0$$

Consideremos ahora dos rectas adyacentes en la malla (veremos que se puede tratar de líneas o de tramos), si el número de divisiones (segmentos) de ellas no puede variar en más de uno, tenemos los tres casos posibles mostrados en la Figura 4.3.

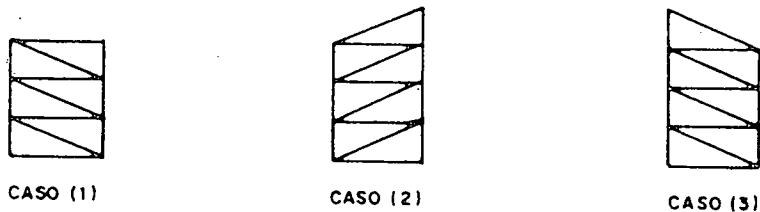
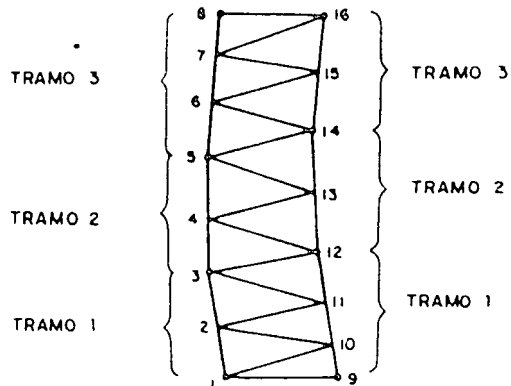


Figura 4.3

En el caso (1) para la generación de los elementos pueden considerarse en principio tres cuadriláteros y luego dividirlos por la diagonal para generar seis triángulos (con el fin de que la forma de los triángulos produzca una malla lo más regular y

uniforme posible se escogerá la diagonal de menor longitud del cuadrilátero). En los casos (2) y (3) además de los tres cuadriláteros se debe considerar un triángulo extra.

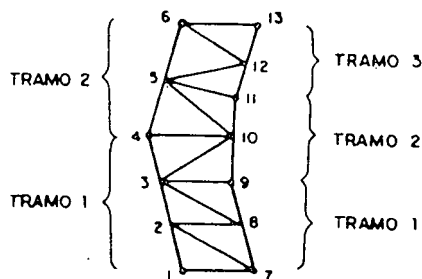
Cuando dos líneas adyacentes tengan el mismo número de tramos se generaran los elementos entre cada par de tramos enfrentados, siguiendo los criterios de la Figura 4.3, no pudiendo diferir el número de segmentos de dos tramos enfrentados en más de uno; un ejemplo de este caso se observa en la Figura 4.4.



Nótese que los segmentos 1-9, 3-12, 5-14 y 8-16 son obligados en este caso.

Figura 4.4

Cuando dos líneas adyacentes tengan un número diferente de tramos se generaran los elementos sin considerar los tramos como tales, no pudiendo diferir el número total de divisiones de las dos líneas adyacentes en más de uno; un ejemplo de este caso se observa en la Figura 4.5.



Nótese que en este caso los segmentos 4-9 y 4-11 no son obligados.

Figura 4.5

Luego de generada toda la malla se le podrán hacer modifica-

ciones (ver programa EFID05); en el caso de que existan irregularidades en el contorno o huecos dentro de la malla podrán eliminarse elementos de una malla primaria de geometría sencilla para producir una malla más concordante con la realidad. También se permite la eliminación de nodos con lo cual se elimina el nodo y todos los elementos que llegan a dicho nodo, los nodos y elementos no eliminados se reenumeran.

Se permite también la modificación de las coordenadas de un nodo, la modificación de la incidencia de un elemento.

Así mismo se pueden agregar nodos y/o elementos extras a una malla primaria ya generada para producir una malla más complicada.

En el Ejemplo 4.1 se puede notar la gran flexibilidad que dan estas características de modificación para generar mallas de geometría muy complicada.

4.2 Coordenadas Polares (programa EFID04)

Permite la generación automática de un anillo formado por elementos triangulares, se debe conocer el radio interior y el radio exterior del anillo, el número de ángulos que contiene, el valor el ángulo, el número de segmentos que tiene el anillo en la dirección del radio y la razón geométrica entre esos segmentos (aunque los datos se ingresan en forma de coordenadas polares las coordenadas de los nodos se generan en forma de coordenadas cartesianas).

En el Ejemplo 4.2 se ilustra la generación automática de una malla en forma de anillo. A las mallas generadas por este programa (EFID04) también se le podrán realizar todas las modificaciones que se enumeraron para las mallas generadas con el programa EFID03; el programa de modificación es el mismo (EFID05).

A continuación se presenta un esquema general de los datos que deben ingresarse en los programas EFID03 y EFID04, presentándose luego dos ejemplos ilustrativos con sus respectivas salidas del computador.

4.3 Ingreso de Datos

4.3.1 EFID03 - Generación Automática de la Malla en Coordenadas Cartesianas

Datos a ingresar:

-Generales:

-Número de líneas

-Espesor de los elementos

-Tipo de Material de los elementos

-Razón entre los segmentos

debe ser uno de los siguientes valores:

0 => Razón Total, si la razón entre los segmentos de todos los tramos de todas las líneas es constante.

1 => Razón por Línea, si la razón entre los segmentos de todos los tramos de cada línea es constante pero diferente entre líneas.

2 => Razón por Tramo, si la razón entre los segmentos de los tramos de una misma línea son diferentes

-Si se escogió Razón Total, se debe ingresar su valor total

-Por Línea:

-Número de tramos en la línea

- Coordenada X del punto inicial de la línea
- Coordenada Y del punto inicial de la línea
- Si se escogió Razón por Línea, se debe ingresar su valor por cada línea
- Por Tramo:
 - Coordenada X del punto final del tramo
 - Coordenada Y del punto final del tramo
 - Si se escogió Razón por Tramo, se debe ingresar su valor por cada tramo

4.3.2 EFID04 - Generación Automática de la Malla en Coordenadas Polares

Datos a ingresar:

- Espesor de los elementos
- Tipo de Material de los elementos
- Radio Interior del Anillo
- Radio Exterior del Anillo
- Número de Segmentos
- Razón entre Segmentos
- Número de Angulos
- Valor del Angulo (grados)

4.4 Ejemplos

4.4.1 Ejemplo 4.1

Se desea realizar una malla de elementos finitos triangulares y rectilíneos que idealicen la estructura de la Figura 4.6 .

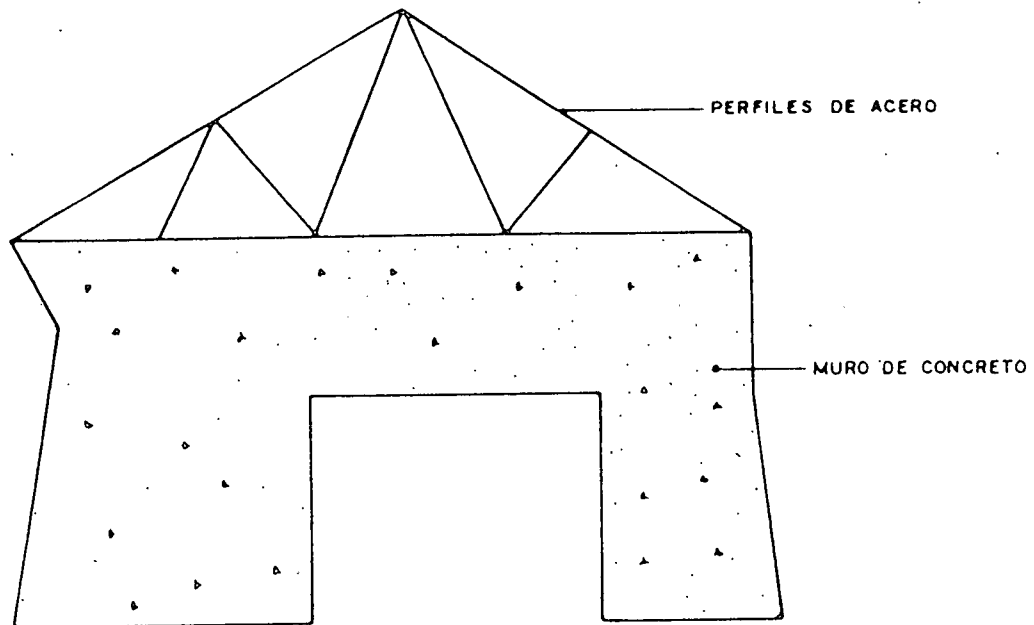


Figura 4.6

Se empleará el programa EFID03 para la generación automática de una malla en coordenadas cartesianas con el fin de obtener una malla primaria, a la que luego se le hacen ciertos cambios con el programa para modificación de datos geométricos (EFID05) y obtener de esta manera la malla definitiva.

Se genera la malla primaria (Figura 4.7) utilizando el programa EFID03 con los siguientes datos:

DATOS GENERALES :

Número de líneas = 9
 Espesor de los Elementos = 0.25
 Tipo de Material = 1
 Razón entre Segmentos = 0 (Razón Total)
 Razón Total = 1 (Segmentos Iguales)

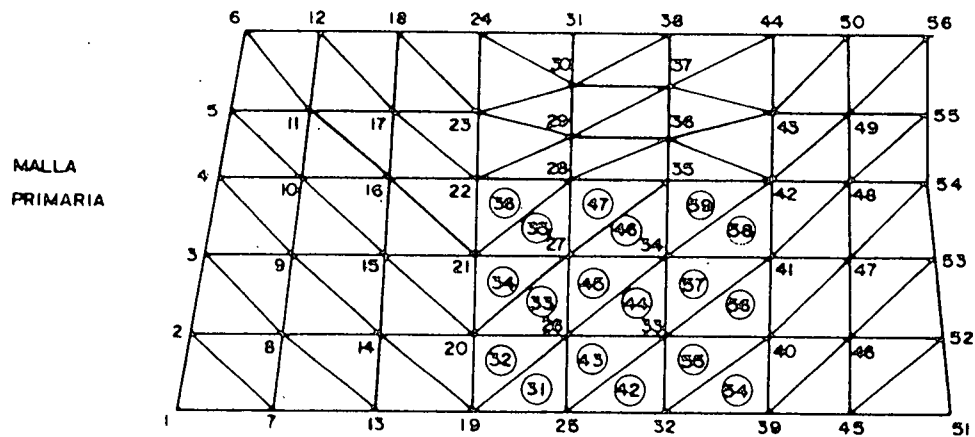


Figura 4.7

DATOS POR LINEA :

Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nro. tramos	1	1	1	2	2	2	2	2	2
X inicial línea	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Y inicial línea	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DATOS POR TRAMO :

X final tramo 1	0.25	0.6	1.1	1.5	2	2.5	3	3.37	3.75
Y final tramo 1	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Nro. segm. tramo 1	5	5	5	3	3	3	3	3	3
X final tramo 2				1.5	2	2.5	3	3.37	3.75
Y final tramo 2				5	5	5	5	5	5
Nro. segm. tramo 2				2	3	3	2	2	2

(El orden para la entrada de datos al programa es por columna)

Luego de generada la malla primaria (Ver listado de nodos y elementos de la página 89 a la 91) se ejecuta el programa EFID05 y se elimina el elemento 36 y los nodos 25, 26, 27, 32, 33 y 34 (automáticamente se eliminan los elementos 31, 32, 33, 34, 35, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 54, 55, 56, 57, 58 y 59), los elementos y nodos restantes se reenumeran, resultando la malla de la Figura 4.8 (Ver listado de nodos y elementos de la página 92 a la 94).

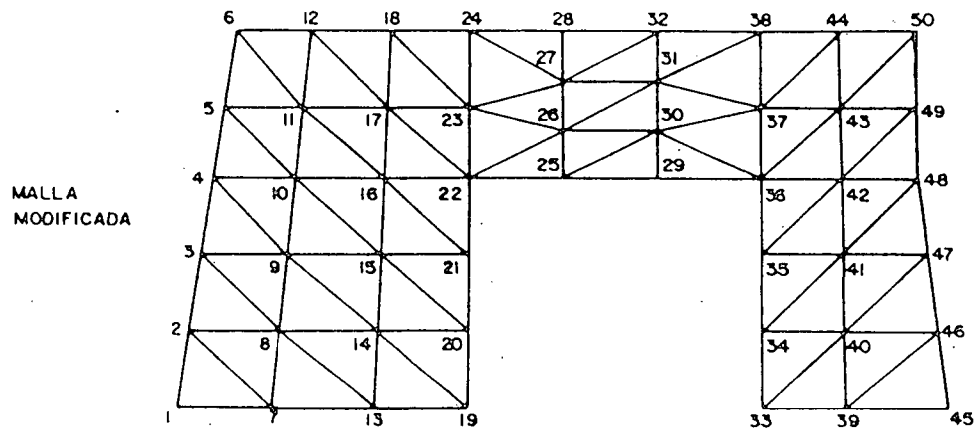
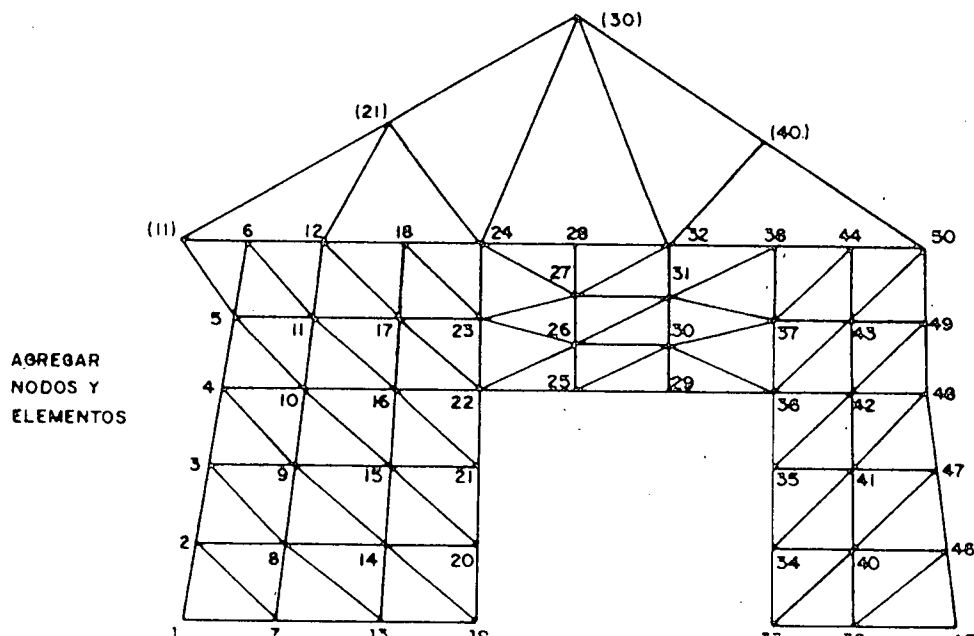


Figura 4.8

A ésta malla se le deben agregar 4 nodos, 9 elementos rectilíneos y uno triangular para obtener la malla definitiva. Los nodos se agregarán de manera de producir el menor ancho de banda posible. El número del nodo antes del cual se insertará cada nodo añadido se indica entre paréntesis en la Figura 4.9.



Los datos de los nodos a agregar son:

Número de nodos a agregar = 4

Número del Nodo	11	21	30	40
Coordenada X	0	1	2	3.2
Coordenada Y	5	6.5	8	6.2

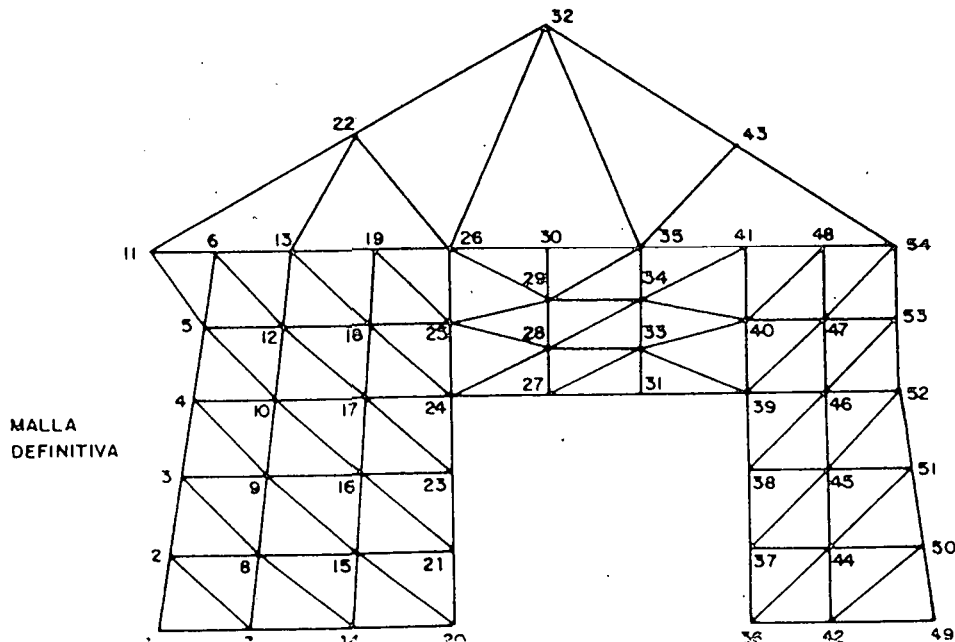
Los datos de los elementos a agregar son:

Número de elementos a agregar = 10

Nodo 1	Nodo 2	Nodo 3	Esp/Area	Material
5	6	11	0.25	1
11	22	0	0.15	2
13	22	0	0.15	2
22	26	0	0.15	2
22	32	0	0.15	2
26	32	0	0.15	2
35	32	0	0.15	2
35	43	0	0.15	2
32	43	0	0.15	2
43	54	0	0.15	2

La malla definitiva se muestra en la Figura 4.10 y su listado de nodos y elementos de la página 95 a la 97

Si no se hubiera generado la malla de forma automática se habría tenido que ingresar las coordenadas X e Y de 54 nodos y las incidencias de 76 elementos, lo que hubiera representado el ingreso de más de 340 números, de esta manera se han ingresado menos de 150; lo que demuestra la versatilidad de los programas para generación automática de mallas, aún para mallas de geometría irregular.



EJEMPLO 4.1 - MALLA PRIMARIA
 DATOS DE LA MALLA EJ41

COORDENADAS DE LOS MODOS		
MODO	COORD. X	COORD. Y
1	0.0000	0.0000
2	0.0500	1.0000
3	0.1000	2.0000
4	0.1500	3.0000
5	0.2000	4.0000
6	0.2500	5.0000
7	0.5000	0.0000
8	0.5200	1.0000
9	0.5400	2.0000
10	0.5600	3.0000
11	0.5800	4.0000
12	0.6000	5.0000
13	1.0000	0.0000
14	1.0200	1.0000
15	1.0400	2.0000
16	1.0600	3.0000
17	1.0800	4.0000
18	1.1000	5.0000
19	1.5000	0.0000
20	1.5000	1.0000
21	1.5000	2.0000
22	1.5000	3.0000
23	1.5000	4.0000
24	1.5000	5.0000
25	2.0000	0.0000
26	2.0000	1.0000
27	2.0000	2.0000
28	2.0000	3.0000
29	2.0000	3.6667
30	2.0000	4.3333
31	2.0000	5.0000
32	2.5000	0.0000
33	2.5000	1.0000
34	2.5000	2.0000
35	2.5000	3.0000
36	2.5000	3.6667
37	2.5000	4.3333
38	2.5000	5.0000
39	3.0000	0.0000
40	3.0000	1.0000
41	3.0000	2.0000
42	3.0000	3.0000
43	3.0000	4.0000
44	3.0000	5.0000
45	3.5000	0.0000
46	3.4567	1.0000
47	3.4133	2.0000
48	3.3700	3.0000
49	3.3700	4.0000
50	3.3700	5.0000
51	4.0000	0.0000
52	3.9167	1.0000
53	3.8333	2.0000
54	3.7500	3.0000
55	3.7500	4.0000

EJEMPLO 4.1 - MALLA PRIMARIA
DATOS DE LA MALLA EJ41

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	NODO 1	NODO 2	NODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
1	1	7	2	0.2500	1
2	2	7	8	0.2500	1
3	2	8	3	0.2500	1
4	3	8	9	0.2500	1
5	3	9	4	0.2500	1
6	4	9	10	0.2500	1
7	4	10	5	0.2500	1
8	5	10	11	0.2500	1
9	5	11	6	0.2500	1
10	6	11	12	0.2500	1
11	7	13	8	0.2500	1
12	8	13	14	0.2500	1
13	8	14	9	0.2500	1
14	9	14	15	0.2500	1
15	9	15	10	0.2500	1
16	10	15	16	0.2500	1
17	10	16	11	0.2500	1
18	11	16	17	0.2500	1
19	11	17	12	0.2500	1
20	12	17	18	0.2500	1
21	13	19	14	0.2500	1
22	14	19	20	0.2500	1
23	14	20	15	0.2500	1
24	15	20	21	0.2500	1
25	15	21	16	0.2500	1
26	16	21	22	0.2500	1
27	16	22	17	0.2500	1
28	17	22	23	0.2500	1
29	17	23	18	0.2500	1
30	18	23	24	0.2500	1
31	19	25	26	0.2500	1
32	19	26	20	0.2500	1
33	20	26	27	0.2500	1
34	20	27	21	0.2500	1
35	21	27	28	0.2500	1
36	21	28	22	0.2500	1
37	22	28	29	0.2500	1
38	22	29	23	0.2500	1
39	23	29	30	0.2500	1
40	23	30	24	0.2500	1
41	24	30	31	0.2500	1
42	25	32	33	0.2500	1
43	25	33	26	0.2500	1
44	26	33	34	0.2500	1
45	26	34	27	0.2500	1
46	27	34	35	0.2500	1
47	27	35	28	0.2500	1
48	28	35	36	0.2500	1
49	28	36	29	0.2500	1
50	29	36	37	0.2500	1
51	29	37	30	0.2500	1
52	30	37	38	0.2500	1
53	30	38	31	0.2500	1
54	32	39	40	0.2500	1
55	32	40	33	0.2500	1
56	33	40	41	0.2500	1

EJEMPLO 4.1 - MALLA PRIMARIA
 DATOS DE LA MALLA EJ41

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	NODO 1	NODO 2	NODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
57	33	41	34	0.2500	1
58	34	41	42	0.2500	1
59	34	42	35	0.2500	1
60	35	42	36	0.2500	1
61	36	42	43	0.2500	1
62	36	43	37	0.2500	1
63	37	43	44	0.2500	1
64	37	44	38	0.2500	1
65	39	45	46	0.2500	1
66	39	46	40	0.2500	1
67	40	46	47	0.2500	1
68	40	47	41	0.2500	1
69	41	47	48	0.2500	1
70	41	48	42	0.2500	1
71	42	48	49	0.2500	1
72	42	49	43	0.2500	1
73	43	49	50	0.2500	1
74	43	50	44	0.2500	1
75	45	51	52	0.2500	1
76	45	52	46	0.2500	1
77	46	52	53	0.2500	1
78	46	53	47	0.2500	1
79	47	53	54	0.2500	1
80	47	54	48	0.2500	1
81	48	54	55	0.2500	1
82	48	55	49	0.2500	1
83	49	55	56	0.2500	1
84	49	56	50	0.2500	1

EJEMPLO 4.1 - MALLA MODIFICADA
 DATOS DE LA MALLA EJ41

COORDENADAS DE LOS NODOS		
NODO	COORD. X	COORD. Y
1	0.0000	0.0000
2	0.0500	1.0000
3	0.1000	2.0000
4	0.1500	3.0000
5	0.2000	4.0000
6	0.2500	5.0000
7	0.5000	0.0000
8	0.5200	1.0000
9	0.5400	2.0000
10	0.5600	3.0000
11	0.5800	4.0000
12	0.6000	5.0000
13	1.0000	0.0000
14	1.0200	1.0000
15	1.0400	2.0000
16	1.0600	3.0000
17	1.0800	4.0000
18	1.1000	5.0000
19	1.5000	0.0000
20	1.5000	1.0000
21	1.5000	2.0000
22	1.5000	3.0000
23	1.5000	4.0000
24	1.5000	5.0000
25	2.0000	3.0000
26	2.0000	3.6667
27	2.0000	4.3333
28	2.0000	5.0000
29	2.5000	3.0000
30	2.5000	3.6667
31	2.5000	4.3333
32	2.5000	5.0000
33	3.0000	0.0000
34	3.0000	1.0000
35	3.0000	2.0000
36	3.0000	3.0000
37	3.0000	4.0000
38	3.0000	5.0000
39	3.5000	0.0000
40	3.4567	1.0000
41	3.4133	2.0000
42	3.3700	3.0000
43	3.3700	4.0000
44	3.3700	5.0000
45	4.0000	0.0000
46	3.9167	1.0000
47	3.8333	2.0000
48	3.7500	3.0000
49	3.7500	4.0000
50	3.7500	5.0000

EJEMPLO 4.1 - MALLA MODIFICADA
 DATOS DE LA MALLA EJ41

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	NODO 1	NODO 2	NODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
1	1	7	2	0.2500	1
2	2	7	8	0.2500	1
3	1	8	3	0.2500	1
4	3	8	9	0.2500	1
5	3	9	4	0.2500	1
6	4	9	10	0.2500	1
7	4	10	5	0.2500	1
8	5	10	11	0.2500	1
9	5	11	6	0.2500	1
10	6	11	12	0.2500	1
11	7	13	8	0.2500	1
12	8	13	14	0.2500	1
13	8	14	9	0.2500	1
14	9	14	15	0.2500	1
15	9	15	10	0.2500	1
16	10	15	16	0.2500	1
17	10	16	11	0.2500	1
18	11	16	17	0.2500	1
19	11	17	12	0.2500	1
20	12	17	18	0.2500	1
21	13	19	14	0.2500	1
22	14	19	20	0.2500	1
23	14	20	15	0.2500	1
24	15	20	21	0.2500	1
25	15	21	16	0.2500	1
26	16	21	22	0.2500	1
27	16	22	17	0.2500	1
28	17	22	23	0.2500	1
29	17	23	18	0.2500	1
30	18	23	24	0.2500	1
31	22	25	26	0.2500	1
32	22	26	23	0.2500	1
33	23	26	27	0.2500	1
34	23	27	24	0.2500	1
35	24	27	28	0.2500	1
36	25	29	30	0.2500	1
37	25	30	26	0.2500	1
38	26	30	31	0.2500	1
39	26	31	27	0.2500	1
40	27	31	32	0.2500	1
41	27	32	28	0.2500	1
42	29	36	30	0.2500	1
43	30	36	37	0.2500	1
44	30	37	31	0.2500	1
45	31	37	38	0.2500	1
46	31	38	32	0.2500	1
47	33	39	40	0.2500	1
48	33	40	34	0.2500	1
49	34	40	41	0.2500	1
50	34	41	35	0.2500	1
51	35	41	42	0.2500	1
52	35	42	36	0.2500	1
53	36	42	43	0.2500	1
54	36	43	37	0.2500	1
55	37	43	44	0.2500	1

EJEMPLO 4.1 - MALLA MODIFICADA
DATOS DE LA MALLA EJ41

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	NODO 1	NODO 2	NODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
57	39	45	46	0.2500	1
58	39	46	40	0.2500	1
59	40	46	47	0.2500	1
60	40	47	41	0.2500	1
61	41	47	48	0.2500	1
62	41	48	42	0.2500	1
63	42	48	49	0.2500	1
64	42	49	43	0.2500	1
65	43	49	50	0.2500	1
66	43	50	44	0.2500	1

EJEMPLO 4.1 - MALLA DEFINITIVA
 DATOS DE LA MALLA E41D

COORDENADAS DE LOS NODOS		
NODO	COORD. X	COORD. Y
1	0.0000	0.0000
2	0.0500	1.0000
3	0.1000	2.0000
4	0.1500	3.0000
5	0.2000	4.0000
6	0.2500	5.0000
7	0.5000	0.0000
8	0.5200	1.0000
9	0.5400	2.0000
10	0.5600	3.0000
11	0.0000	5.0000
12	0.5800	4.0000
13	0.6000	5.0000
14	1.0000	0.0000
15	1.0200	1.0000
16	1.0400	2.0000
17	1.0600	3.0000
18	1.0800	4.0000
19	1.1000	5.0000
20	1.5000	0.0000
21	1.5000	1.0000
22	1.0000	6.5000
23	1.5000	2.0000
24	1.5000	3.0000
25	1.5000	4.0000
26	1.5000	5.0000
27	2.0000	3.0000
28	2.0000	3.6667
29	2.0000	4.3333
30	2.0000	5.0000
31	2.5000	3.0000
32	2.0000	8.0000
33	2.5000	3.6667
34	2.5000	4.3333
35	2.5000	5.0000
36	3.0000	0.0000
37	3.0000	1.0000
38	3.0000	2.0000
39	3.0000	3.0000
40	3.0000	4.0000
41	3.0000	5.0000
42	3.5000	0.0000
43	3.2000	6.2000
44	3.4567	1.0000
45	3.4133	2.0000
46	3.3700	3.0000
47	3.3700	4.0000
48	3.3700	5.0000
49	4.0000	8.0000
50	3.9167	1.0000
51	3.8333	2.0000
52	3.7500	3.0000
53	3.7500	4.0000
54	3.7500	5.0000

EJEMPLO 4.1 - MALLA DEFINITIVA
 DATOS DE LA MALLA E41D

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	NODO 1	NODO 2	NODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
1	1	7	2	0.2500	1
2	2	7	8	0.2500	1
3	1	8	3	0.2500	1
4	3	8	9	0.2500	1
5	3	9	4	0.2500	1
6	4	9	10	0.2500	1
7	4	10	5	0.2500	1
8	5	10	12	0.2500	1
9	5	12	6	0.2500	1
10	6	12	13	0.2500	1
11	7	14	8	0.2500	1
12	8	14	15	0.2500	1
13	8	15	9	0.2500	1
14	9	15	16	0.2500	1
15	9	16	10	0.2500	1
16	10	16	17	0.2500	1
17	10	17	12	0.2500	1
18	12	17	18	0.2500	1
19	12	18	13	0.2500	1
20	13	18	19	0.2500	1
21	14	20	15	0.2500	1
22	15	20	21	0.2500	1
23	15	21	16	0.2500	1
24	16	21	23	0.2500	1
25	16	23	17	0.2500	1
26	17	23	24	0.2500	1
27	17	24	18	0.2500	1
28	18	24	25	0.2500	1
29	18	25	19	0.2500	1
30	19	25	26	0.2500	1
31	24	27	28	0.2500	1
32	24	28	25	0.2500	1
33	25	28	29	0.2500	1
34	25	29	26	0.2500	1
35	26	29	30	0.2500	1
36	27	31	33	0.2500	1
37	27	33	28	0.2500	1
38	28	33	34	0.2500	1
39	28	34	29	0.2500	1
40	29	34	35	0.2500	1
41	29	35	30	0.2500	1
42	31	39	33	0.2500	1
43	33	39	40	0.2500	1
44	33	40	34	0.2500	1
45	34	40	41	0.2500	1
46	34	41	35	0.2500	1
47	36	42	44	0.2500	1
48	36	44	37	0.2500	1
49	37	44	45	0.2500	1
50	37	45	38	0.2500	1
51	38	45	46	0.2500	1
52	38	46	39	0.2500	1
53	39	46	47	0.2500	1
54	39	47	40	0.2500	1
55	40	47	48	0.2500	1

EJEMPLO 4.1 - MALLA DEFINITIVA
 DATOS DE LA MALLA E41D

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	NODO 1	NODO 2	NODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
57	42	49	50	0.2500	1
58	42	50	44	0.2500	1
59	44	50	51	0.2500	1
60	44	51	45	0.2500	1
61	45	51	52	0.2500	1
62	45	52	46	0.2500	1
63	46	52	53	0.2500	1
64	46	53	47	0.2500	1
65	47	53	54	0.2500	1
66	47	54	48	0.2500	1
67	5	6	11	0.2500	1
68	11	22		0.1500	2
69	13	22		0.1500	2
70	22	26		0.1500	2
71	22	32		0.1500	2
72	26	32		0.1500	2
73	35	32		0.1500	2
74	35	43		0.1500	2
75	32	43		0.1500	2
76	43	54		0.1500	2

4.4.2 Ejemplo 4.2

Se desea generar una malla de elementos triangulares para idealizar el arco de anillo mostrado en la Figura 4.11.

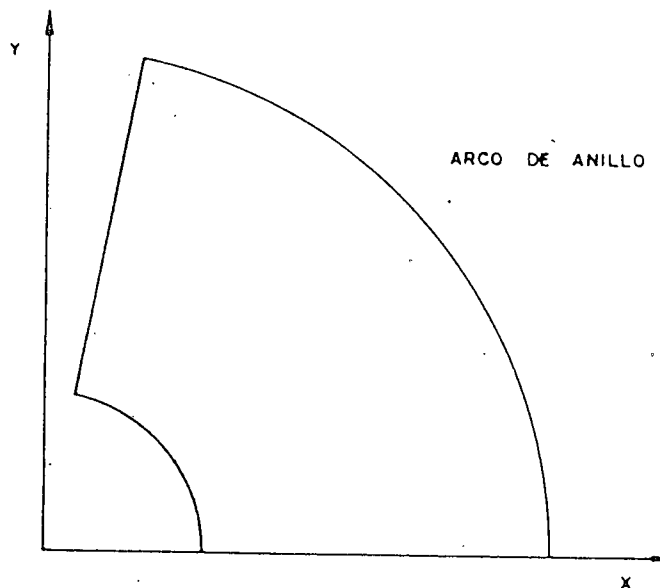


Figura 4.11

Se empleará el programa EFID04 para la generación automática de una malla en coordenadas polares.

Los datos a ingresar son:

Espesor de los elementos	= 0.3
Tipo de Material	= 1
Radio Interior del Anillo	= 0.5
Radio Exterior del Anillo	= 1.625
Número de Segmentos	= 3
Razón entre Segmentos	= 1.5
Número de Angulos	= 4
Valor del Angulo (grados)	= 20

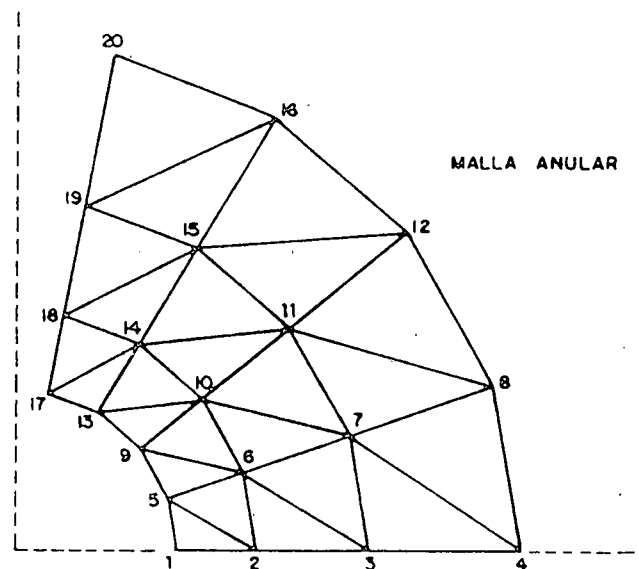


Figura 4.12

La malla generada se muestra en la Figura 4.12 y el listado de nodos y elementos de la página 99 a la 100.

EJEMPLO 4.2 - MALLA ANULAR
DATOS DE LA MALLA EJ42

COORDENADAS DE LOS NODOS		
NODO	COORD. X	COORD. Y
1	0.5000	0.0000
2	0.7368	0.0000
3	1.0921	0.0000
4	1.6250	0.0000
5	0.4698	0.1710
6	0.6924	0.2520
7	1.0262	0.3735
8	1.5270	0.5558
9	0.3030	0.3214
10	0.5645	0.4736
11	0.8366	0.7029
12	1.2448	1.0445
13	0.2500	0.4330
14	0.3684	0.6381
15	0.5461	0.9458
16	0.8125	1.4073
17	0.0868	0.4924
18	0.1280	0.7256
19	0.1896	1.0755
20	0.2822	1.6003

EJEMPLO 4.1 - MALLA ANULAR
 DATOS DE LA MALLA EJ42

INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS					
ELEMENTO	MODO 1	MODO 2	MODO 3	ESP/AREA	MATERIAL
1	1	2	5	0.3000	1
2	2	6	5	0.3000	1
3	1	3	6	0.3000	1
4	3	7	6	0.3000	1
5	3	4	7	0.3000	1
6	4	8	7	0.3000	1
7	5	6	9	0.3000	1
8	6	10	9	0.3000	1
9	6	7	10	0.3000	1
10	7	11	10	0.3000	1
11	7	8	11	0.3000	1
12	8	12	11	0.3000	1
13	9	10	13	0.3000	1
14	10	14	13	0.3000	1
15	10	11	14	0.3000	1
16	11	15	14	0.3000	1
17	11	12	15	0.3000	1
18	12	16	15	0.3000	1
19	13	14	17	0.3000	1
20	14	18	17	0.3000	1
21	14	15	18	0.3000	1
22	15	19	18	0.3000	1
23	15	16	19	0.3000	1
24	16	20	19	0.3000	1

5 APLICACION A PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO

Además de su utilidad en la resolución de problemas de la elasticidad lineal (Capítulos 2 y 3), el Método de los Elementos Finitos se aplica a una amplia categoría de problemas físicos, que agrupados se denominan problemas de campo o problemas del medio continuo.

Se estudiarán dichos problemas de campo, en régimen permanente (independientes del tiempo). Estos problemas incluyen, entre otros:

- Filtración en un Medio Poroso
- Transferencia de Calor
- Torsión de Miembros Prismáticos
- Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales
- Distribución de Potencial Eléctrico
- Lubricación de Cojinetes

5.1 Ecuaciones para el Medio Continuo en General

Los problemas de campo son gobernados esencialmente por ecuaciones diferenciales similares; que son casos particulares de la siguiente ecuación general, denominada Ecuación Cuasi-Armónica:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \lambda \psi = c \quad (5.1)$$

donde ψ es el campo variable del medio continuo que se desee estudiar (dependiendo del problema puede representar temperatura, altura piezométrica, etc.) y k_x , k_y , k_z , λ y c son funciones de posición y del material del medio, pero no dependen de ψ .

PROBLEMA FISICO	ψ	k_x, k_y, k_z	c	f	h
TORSION DE MIEMBROS PRISMATICOS	FUNCION DE TENSION	INVERSO DEL MODULO DE ELASTICIDAD TRANSVERSAL	ANGULO DE TORSION POR UNIDAD DE LONGITUD		
TRANSFERENCIA DE CALOR	TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD TERMICA	CALOR GENERADO INTERNAMENTE	CONDICION DE BORDE DE TRANSFERENCIA DE CALOR	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION
FLUJO IRROTACIONAL	POTENCIAL DE VELOCIDAD O FUNCION DE CORRIENTE			VELOCIDAD EN LOS BORDES	
FILTRACION	ALTURA PIEZOMETRICA O FUNCION DE FLUJO	COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	FUENTE INTERNA DE FLUJO	ALTURA PIEZOMETRICA EN LOS BORDES	
MAGNETOESTATICA	FUERZA MAGNETOMOTIVA	PERMEABILIDAD MAGNETICA	FUENTE INTERNA DE CAMPO MAGNETICO	INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNETICO APLICADO EXTERNO	
CAMPO ELECTROESTATICO	FUERZA DE CAMPO	PERMITIVIDAD	FUENTE DE CORRIENTE INTERNA		
GRAVITACION	COMPONENTE DE LA FUERZA GRAVITACIONAL POR UNIDAD DE MASA				

Tabla 5.1

En la Tabla 5.1 se muestra el significado físico de ψ y de otros parámetros, para diferentes problemas del medio continuo.

Si el medio es homogéneo, k_x , k_y y k_z son constantes y si además es isotrópico $k_x = k_y = k_z = k$.

Para un medio homogéneo e isotrópico la Ecuación 5.1 se puede escribir como:

$$\nabla^2 \psi + \frac{\lambda \psi}{k} = \frac{c}{k} \quad (5.2)$$

donde ∇^2 es el operador diferencial:

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \quad (5.3)$$

Si en la Ecuación 5.2 $\lambda = 0$, entonces se obtiene la Ecuación de Poisson y si además c también vale cero, se obtiene la Ecuación de Laplace.

La Ecuación 5.1 se expresa en forma matricial como:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix} \psi + \lambda \psi = c \quad (5.4)$$

y de manera más compacta:

$$\nabla^t \underline{\chi} \nabla \psi + \lambda \psi = c \quad (5.5)$$

donde

$$\nabla = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} \end{bmatrix}; \quad \underline{\chi} = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix}$$

La matriz $\underline{\chi}$ (que depende del material), no es necesariamente diagonal; pero siempre pueden hallarse unos ejes para que los sea (el trabajar con esos ejes es lo más usual y conveniente).

Para poder resolver el problema es necesario, además de la Ecuación 5.5, especificar las condiciones de borde; o sea que para el problema tenga solución es necesario aplicar ciertas restricciones a la Ecuación 5.5.

Estas condiciones de borde pueden ser:

a) Esenciales: vienen dadas por los valores conocidos de

$$\psi = \psi^* \quad (5.6)$$

sobre la superficie S^* .

Estas condiciones de borde se conocen como las condiciones de Dirichlet o data Dirichlet.

b) Naturales: vienen dadas por la ecuación:

$$k_x \frac{\partial \psi}{\partial x} n_x + k_y \frac{\partial \psi}{\partial y} n_y + k_z \frac{\partial \psi}{\partial z} n_z = f + h\psi \quad (5.7)$$

sobre la superficie S_f .

Donde n_x , n_y , n_z son los cosenos directores de la normal a la superficie; los significados físicos de f y h para los diferentes problemas se dan en la Tabla 5.1.

Estas condiciones de borde se conocen como las condiciones de Cauchy, cuando $f=h=0$ la condición de Cauchy se reduce a la condición de Neumann.

Vemos, pues, que las condiciones de borde son las que particularizan el problema.

La solución del problema es hallar ψ , tal que satisfaga las Ecuaciones 5.5, 5.6 y 5.7.

Se puede demostrar que la función ψ que satisface las Ecuaciones 5.5, 5.6 y 5.7, también minimiza el siguiente potencial:

$$\pi = \frac{d}{2} \int_V (\nabla \psi)^t \underline{\alpha} \nabla \psi \, dV - \frac{1}{2} \int_V \lambda \psi^2 \, dV + \quad (5.8)$$

$$\int_V c \psi \, dV - \int_{S_f} (f \psi + \frac{1}{2} h \psi^2) \, dS = 0$$

Entonces diferenciando :

$$\delta \pi = 0 = \int_V \delta (\nabla \psi)^t \underline{\alpha} \nabla \psi \, dV - \int_V \delta \psi \lambda \psi \, dV + \quad (5.9)$$

$$\int_V \delta \psi c \, dV - \int_{S_f} \delta \psi f \, dS - \int_{S_f} \delta \psi h \psi \, dS$$

Dividamos el medio continuo en estudio en una serie de elementos de r nodos cada uno; y aproximemos el comportamiento de la función incógnita $\psi(x)$ dentro del elemento como :

$$\psi(x) \approx \sum_{i=1}^r \varphi_i p_i \quad (5.10)$$

donde φ_i ($i = 1, r$) representan las funciones de interpolación y p_i ($i = 1, r$) son los valores del campo variable en los nodos del elemento. (Para este caso, a diferencia del Capítulo 2, el campo variable es un escalar y tenemos entonces un solo valor por junta).

La Ecuación 5.10 se puede expresar en notación matricial como:

$$\psi(x) = \underline{N}(x) \underline{p} \quad (5.11)$$

donde

$$\underline{N}(x) = \begin{bmatrix} \varphi_1 & \varphi_2 & \dots & \varphi_r \end{bmatrix} \quad \underline{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_r \end{bmatrix}$$

A partir de la Ecuación 5.11 se puede expresar $\delta \psi(x)$ como:

$$\delta \psi(x) = \underline{N}(x) \delta \underline{p} \quad (5.12)$$

y también como :

$$\delta \psi(x) = \delta \underline{p}^t \underline{N}^t(x) \quad (5.13)$$

esto último debido a que $\psi(x)$ es un escalar.

Si establecemos $\underline{b}(x)$ como :

$$\underline{b}(x) = \underline{\nabla} \underline{N}(x) \quad (5.14)$$

entonces :

$$\underline{b}^t(x) = \underline{N}^t(x) \underline{\nabla}^t \quad (5.15)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 5.11 , 5.12 y 5.13 en la Ecuación

5.9 se obtiene :

$$\int_V \underline{p}^t \int_V \underline{N}^t(x) \underline{\nabla}^t \underline{\chi} \underline{\nabla} \underline{N}(x) dV_P - \int_V \underline{p}^t \int_V \underline{N}^t(x) \lambda \underline{N}(x) dV_P \quad (5.16)$$

$$- \int_{S_f} \underline{p}^t \int_{S_f} \underline{N}^t(x) h \underline{N}(x) dS_P + \int_V \underline{p}^t \int_V \underline{N}^t(x) c dV - \int_{S_f} \underline{p}^t \int_{S_f} \underline{N}^t(x) f dS = 0$$

Como $\int_V \underline{p}^t$ es arbitrario se puede simplificar de la Ecuación

5.16 y sustituyendo las Ecuaciones 5.14 y 5.15 en la Ecuación 5.16

tenemos :

$$\int_V \underline{b}^t(x) \underline{\chi} \underline{b}(x) dV_P - \int_V \underline{N}^t(x) \lambda \underline{N}(x) dV_P - \int_{S_f} \underline{N}^t(x) h \underline{N}(x) dS_P \quad (5.17)$$

$$+ \int_V \underline{N}^t(x) c dV - \int_{S_f} \underline{N}^t(x) f dS = 0$$

Si definimos las siguientes matrices :

$$\underline{k}' = \int_V \underline{b}^t(x) \underline{\chi} \underline{b}(x) dV \quad (5.18)$$

$$\underline{m} = \int_V \underline{N}^t(x) \lambda \underline{N}(x) dV \quad (5.19)$$

$$\underline{h} = \int_{S_f} \underline{N}^t(x) h \underline{N}(x) dS \quad (5.20)$$

$$\underline{p}_i = - \int_V \underline{N}^t(x) c dV + \int_{S_f} \underline{N}^t(x) f dS \quad (5.21)$$

$$\underline{k}_i = \underline{k}' - \underline{m} - \underline{h} \quad (5.22)$$

entonces la Ecuación 5.17 , para un elemento del medio, puede expresarse como:

$$\underline{p}_i = \underline{k}_i \underline{p}_i \quad (5.23)$$

La Ecuación 5.23 tiene una expresión similar a la Ecuación A.1.1 empleada en el análisis matricial para relacionar las deformaciones en un elemento (\underline{p}_i) con las fuerzas en sus juntas (\underline{P}_i) a través de su matriz de rigidez (\underline{k}_i).

Aplicando un proceso de síntesis similar al explicado en el Apéndice 1, aunque ahora para un medio continuo general, se pueden hallar las ecuaciones globales que rigen el fenómeno en todo el cuerpo a partir de la Ecuación 5.23, deducida para un elemento del mismo.

Para todo el medio se tiene que :

$$\underline{Q} = \underline{K} \underline{q}$$

donde

$$\underline{q} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_{rm} \end{bmatrix}$$

m = número de elementos
r = número de nodos por elemento
siendo q el valor del campo variable en el nodo i

$$\underline{q} = \sum_{i=1}^m \underline{p}_i$$

$$\underline{Q} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_{rm} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Q} = \sum_{i=1}^m \underline{P}_i$$

y

$$\underline{K} = \sum_{i=1}^m \underline{k}_i$$

(Ver Apéndice 1)

5.2 Estudio del Elemento Triangular para el Recinto Bidimensional

Conocida la formulación para el medio continuo tridimensional, se determinarán a continuación las ecuaciones particulares que rigen un recinto bidimensional dividido en elementos triangulares.

Para el recinto bidimensional se tomará un espesor unitario ($t=1$); entonces las integrales de volumen se transforman en:

$$\int_V g(x, y, z) dV = t \int_A g(x, y) dA = \int_A g(x, y) dA$$

Para el campo variable, $\psi(x)$, se supondrá una variación lineal (la misma aproximación que se supuso para los problemas de la Elasticidad Lineal, sólo que en este caso tenemos únicamente un grado de libertad por nodo) obteniéndose:

$$\psi(x) = a_1 + a_2 x + a_3 y \quad (5.24)$$

En notación matricial:

$$\psi(x) = \underline{M}(x) \underline{a} \quad (5.25)$$

donde

$$\underline{M}(x) = \begin{bmatrix} 1 & x & y \end{bmatrix}; \quad \underline{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

Sea el elemento triangular plano de espesor unitario, cuyos nodos 1, 2, 3 y sus respectivas coordenadas se muestran en la Figura 5.1.

Sean p_1 , p_2 y p_3 los valores del campo variable $\psi(x)$ en los nodos 1, 2 y 3 respectivamente.

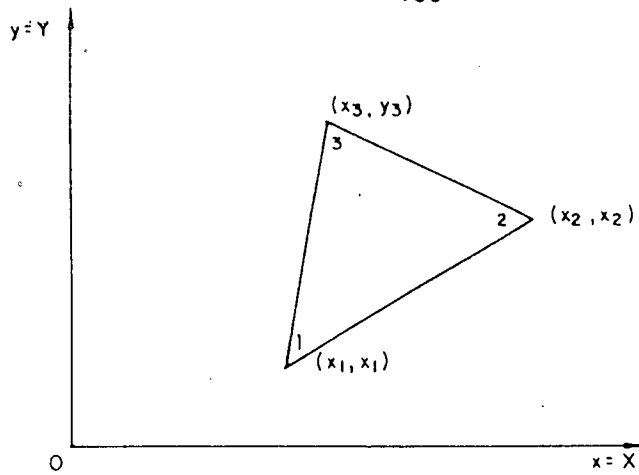


Figura 5.1

Para expresar $\psi_{(x)}$ en función de p_1 , p_2 y p_3 en vez de a_1 , a_2 y a_3 evaluemos la Ecuación 5.24 en los 3 nodos del elemento, obteniéndose :

$$p_1 = a_1 + a_2 x_1 + a_3 y_1$$

$$p_2 = a_1 + a_2 x_2 + a_3 y_2$$

$$p_3 = a_1 + a_2 x_3 + a_3 y_3$$

en forma matricial :

$$\underline{p} = \underline{c}^{-1} \underline{a} \quad (5.26)$$

donde

$$\underline{p} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} \quad \underline{c}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{bmatrix}$$

La Ecuación 5.26 es similar a la Ecuación 2.40, por lo que invirtiendo \underline{c}^{-1} llegamos a una Ecuación similar a la 2.41 :

$$\underline{a} = \underline{c} \underline{p} \quad (5.27)$$

Sustituyendo \underline{a} en la Ecuación 5.25 se obtiene :

$$\psi_{(x)} = \underline{M}_{(x)} \underline{c} \underline{p}$$

y como

$$\underline{N}_{(x)} = \underline{M}_{(x)} \underline{c} \quad (5.28)$$

se tiene que

$$\psi(x) = \underline{N}(x) \underline{p}$$

expresión similar a la 5.11

Invirtiendo la matriz \underline{c} se obtiene :

$$\underline{c} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

donde

$$\begin{aligned} c_{11} &= \frac{x_2 y_3 - x_3 y_2}{2A} & c_{12} &= \frac{x_3 y_1 - x_1 y_3}{2A} & c_{13} &= \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{2A} \\ c_{21} &= \frac{y_2 - y_3}{2A} & c_{22} &= \frac{y_3 - y_1}{2A} & c_{23} &= \frac{y_1 - y_2}{2A} \\ c_{31} &= \frac{x_3 - x_2}{2A} & c_{32} &= \frac{x_1 - x_3}{2A} & c_{33} &= \frac{x_2 - x_1}{2A} \end{aligned}$$

siendo $A = \text{área del triángulo}$

por lo que $\underline{N}(x)$ según la Ecuación 5.28 resulta :

$$\underline{N}(x) = \left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc} c_{11} & +c_{21} x & +c_{31} y & c_{12} & +c_{22} x & +c_{32} y & c_{13} & +c_{23} x & +c_{33} y \end{array} \right]$$

Para el Recinto Bidimensional se tiene :

$$\underline{\nabla} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\chi} = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix}$$

$$\underline{b}(x) = \underline{\nabla} \underline{N}(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{bmatrix} \underline{N}(x) = \begin{bmatrix} \underline{N},x \\ \underline{N},y \end{bmatrix}$$

siendo

$$\underline{N},x = \frac{\partial}{\partial x} \underline{N}(x) \quad ; \quad \underline{N},y = \frac{\partial}{\partial y} \underline{N}(x)$$

entonces

$$\underline{b}_{(x)}^t \approx \underline{b}_{(x)} = k_x \underline{N}_{,x}^t \underline{N}_{,x} + k_y \underline{N}_{,y}^t \underline{N}_{,y}$$

obteniéndose

$$\underline{k}' = k_x \int_A \underline{N}_{,x}^t \underline{N}_{,x} dA + k_y \int_A \underline{N}_{,y}^t \underline{N}_{,y} dA \quad (5.29)$$

Para el mismo elemento de la Figura 5.1, definimos las longitudes de sus lados L_1 , L_2 y L_3 como se muestra en la Figura 5.2 y además supongamos conocido el valor del flujo a través de sus lados:

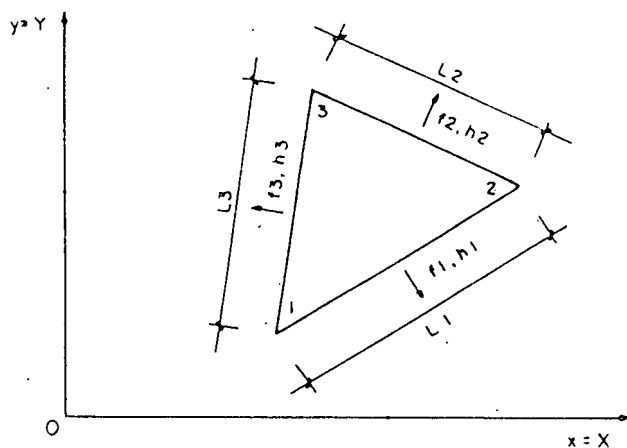


Figura 5.2

La matriz \underline{m} es:

$$\underline{m} = \lambda \int_A \underline{N}_{(x)}^t \underline{N}_{(x)} dA \quad (5.30)$$

y la matriz \underline{h} :

$$\underline{h} = \int_L \underline{N}_{(x)}^t h \underline{N}_{(x)} dL \quad (5.31)$$

Sustituyendo los valores de \underline{N}^t , \underline{N} y h en las Ecuaciones 5.29, 5.30 y 5.31 se obtienen las siguientes expresiones:

$$\underline{k}' = A k_x \begin{bmatrix} c_{21}^2 & c_{21} c_{22} & c_{21} c_{23} \\ c_{21} c_{22} & c_{22}^2 & c_{22} c_{23} \\ c_{21} c_{23} & c_{22} c_{23} & c_{23}^2 \end{bmatrix} + A k_y \begin{bmatrix} c_{31}^2 & c_{31} c_{32} & c_{31} c_{33} \\ c_{31} c_{32} & c_{32}^2 & c_{32} c_{33} \\ c_{31} c_{33} & c_{32} c_{33} & c_{33}^2 \end{bmatrix}$$

SIMETRICA

$$\underline{m} = \frac{\lambda A}{12} \left[\begin{array}{c|c|c} 2 & 1 & 1 \\ \hline & 2 & 1 \\ \hline \text{SIMETRICA} & & 2 \end{array} \right]$$

$$\underline{h} = \frac{1}{6} \left[\begin{array}{c|c|c} 2(h_1 L_1 + h_3 L_3) & h_1 L_1 & h_3 L_3 \\ \hline & 2(h_1 L_1 + h_2 L_2) & h_2 L_2 \\ \hline \text{SIMETRICA} & & 2(h_2 L_2 + h_3 L_3) \end{array} \right]$$

siendo \underline{k} (según la Ecuación 5.22) :

$$\underline{k} = \underline{k}' - \underline{m} - \underline{h}$$

Para el vector \underline{P} se obtiene la siguiente expresión (aplicando la Ecuación 5.21) :

$$\underline{P} = -c \frac{A}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} f_1 L_1 + f_3 L_3 \\ f_1 L_1 + f_2 L_2 \\ f_2 L_2 + f_3 L_3 \end{bmatrix}$$

Ensamblando las matrices \underline{P} y \underline{k} de los elementos se obtiene el sistema de ecuaciones del recinto ; se sustituye en este sistema de ecuaciones los valores prescritos (conocidos) en las juntas (condiciones de borde) y se resuelve el sistema de ecuaciones determinándose los valores del campo variable en todas las juntas.

Los valores de k_x , k_y , λ y c se consideraron constantes dentro del elemento por lo que salen de las integrales cuando se calculan las matrices \underline{k} y \underline{P} .

Para un elemento finito se tiene que :

$$\int_A \psi(x) dA = A (p_1 + p_2 + p_3) / 3 \quad (5.32)$$

valor que puede ser de importancia para cierto tipo de problemas.

6 PROGRAMA DE APLICACION AL MEDIO CONTINUO

Se realizaron una serie de programas interconectados entre sí que permiten resolver diversos problemas del medio continuo por el Método de los Elementos Finitos, empleando elementos triangulares planos de espesor unitario y utilizando la formulación deducida en el Capítulo 5.

Los programas fueron elaborados en un computador IBM-PC, con 64 K de memoria RAM y en el lenguaje BASIC, en el sistema MS-DOS.

A continuación se explica la interconexión entre los programas, el ingreso de datos, la salida de datos y resultados y por último se presentan cuatro ejemplos que demuestran la utilidad y aplicación de estos programas a diversos problemas del medio continuo.

6.1 Estructuración del Programa

La Figura 6.1 muestra un diagrama de como se encuentran enlazados todos los programas entre sí.

El usuario escoge el proceso a ejecutar, ya que el sistema de programas funciona en todo momento de una manera interactiva con el mismo.

El programa director es el Menú Principal (MCM01) ya que él pide todos los parámetros generales (Ver Aparte 6.2.1; el más importante de estos parámetros es el nombre de la malla ya que determinará el nombre de los archivos del recinto sobre el cual se realizarán todas las operaciones subsiguientes). Además desde el Menú Principal el usuario escogerá el proceso específico a ejecutar (Menú de Datos Geométricos, Cálculos o Modificar Parámetros Generales).

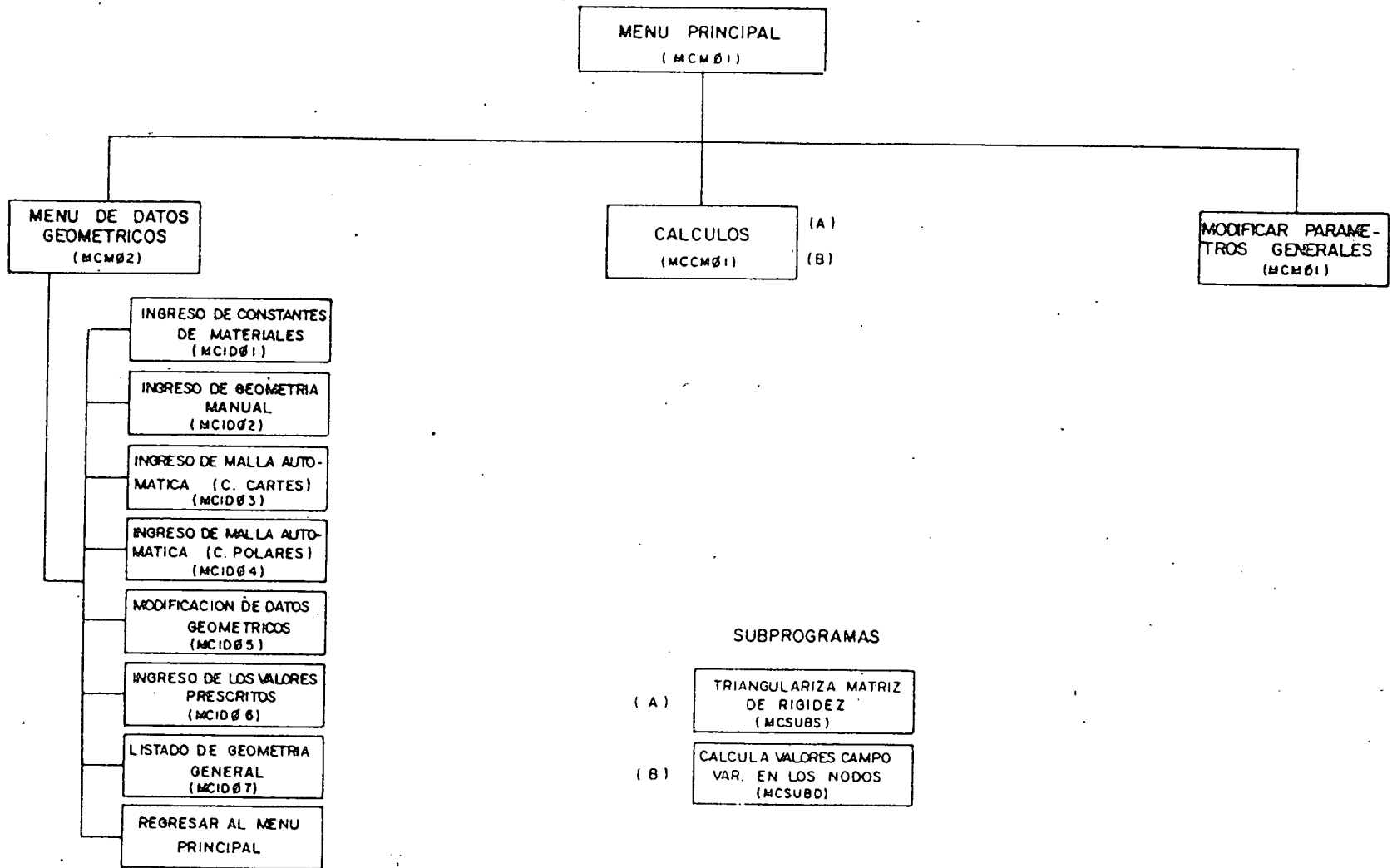


Figura 6.1

Luego, dentro del Menù de Datos Geométricos, escogerá el programa en particular que desee ejecutar; siempre tendrá la alternativa de regresar al Menù Principal para escoger otro proceso.

En la Figura 6.1 también se muestran los subprogramas existentes, y se indica con las letras entre paréntesis el programa que los utiliza.

6.2 Descripción de Programas

6.2.1 MCM01 - Menù Principal

Es el primer programa en ser ejecutado.

Se piden los siguientes datos (parámetros generales)

- Nombre de la malla (4 letras)
- Nombre del problema (50 letras)
- Disco de Datos (A/B/C/D/E)
- Disco de Programas (A/B/C/D/E)

Luego se permite escoger una de las siguientes funciones:

- (1) Menù de Datos Geométricos (MCM02)
- (2) Cálculos (MCCM01)
- (3) Modificar Parámetros Generales (MCM01)

6.2.2 MCM02 - Menù de Datos Geométricos

Permite escoger una de las siguientes funciones:

- (1) Ingreso de las Constantes (MCID01)
- (2) Ingreso de Geometría Manual (MCID02)
- (3) Ingr. de Geom. Automática (C. Cart.) (MCID03)
- (4) Ingr. de Geom. Automática (C. Polar) (MCID04)

(5) Modificación de Datos Geometricos	(MCID05)
(6) Ingreso de Valores Prescritos	(MCID06)
(7) Genera Propied. de Elem. y Listado	(MCID07)
(8) Regresa al menú anterior	(MCM01)

6.2.3 MCID01 - Ingreso de las Constantes

Se piden los siguientes datos :

- Tipos de Constantes

Para cada tipo de constante (material)

- Valor de c

- Valor de λ

- Valor de k_x

- Valor de k_y

6.2.4 MCID02 - Ingreso de Geometria Manual

Se genera una malla ingresando todos los nodos con sus coordenadas y todos los elementos con sus incidencias (este programa es particularmente útil para mallas que no puedan ser generadas con los programas MCID03 y MCID04 de Generación Automática).

Se piden los siguientes datos :

- Número de Nodos

- Número de Elementos

- Material de Elementos es Constante (S/N) ?

En caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior se ingresará a continuación el material de los elementos.

- Para cada uno de los Nodos se ingresará :

Coordenada X del Nodo

Coordenada Y del Nodo

- Para cada uno de los Elementos se ingresará :

Nodo 1

Nodo 2

Nodo 3

Si el Material de los Elementos no es constante se ingresará el Material del Elemento.

6.2.5 MCID03 - Generación Automática de una Malla de Elementos Triangulares en Coord. Cartesianas.

Este programa es similar al programa EFID03 descrito en el Capítulo 4. La única diferencia es que aquí el espesor de los elementos se toma igual a uno.

6.2.6 MCID04 - Generación Automática de una Malla de Elementos Triangulares en Coord. Polares.

Este programa es similar al programa EFID04 descrito en el Capítulo 4. La única diferencia es que aquí el espesor de los elementos se toma igual a uno.

6.2.7 MCID05 - Modificación de Datos Geométricos

Este programa es similar al programa EFID05 descrito en el Capítulo 4. La única diferencia es que aquí no se incluye la opción 6 del programa EFID05 (Modificar Espesor de los Elementos).

6.2.8 MCID06 - Ingreso de los Valores Prescritos

Se debe ejecutar este programa luego de haber ingresado toda la geometría de la malla.

Permite ejecutar las siguientes funciones :

(1) Ingreso de Valores Prescritos en los Elementos

Se ingresa el número de elementos con valores

prescritos y para cada elemento se pregunta :

- Número del Elemento con F y/o H Prescritos
- f_1 , f_2 , f_3 , h_1 , h_2 y h_3

(2) Ingreso de Valores Prescritos en las Juntas

Se ingresa el número de juntas con valores prescritos y para cada junta se pregunta :

- Número de la Junta con Valor Prescrito
- Valor Prescrito en la Junta

(3) Eliminar Valores Prescritos en las Juntas

Permite eliminar valores prescritos en las juntas que por equivocación hayan sido ingresados utilizando la opción (2).

(Para eliminar valores prescritos en los elementos se ejecuta la opción (1) ingresando f_1 , f_2 , f_3 , h_1 , h_2 y h_3 iguales a cero).

Se ingresa el número de juntas a las cuales se les va a eliminar su valor prescrito, y para cada junta se pregunta :

- Número de la junta a eliminar valor prescrito

(4) Regresar al Menú de Datos Geométricos

6.2.9 MCID07 - Listado de Datos Geométricos y Generación de Propiedades Geométricas

Se listan todos los Tipos de Materiales con sus constantes; todas las juntas con sus coordenadas y valores prescritos y todos los elementos con sus incidencias, áreas y valores prescritos.

Además se calcula el ancho de banda de la matriz de rigidez de la estructura y ciertas características

geométricas de los elementos que son almacenadas para su uso posterior.

6.2.10 MCCM01 - Cálculos e Impresión de Resultados

Se genera la matriz de rigidez del recinto a partir de las matrices de rigidez de los elementos. Se calcula el vector Q de la estructura a partir de los vectores P de los elementos. Luego son aplicadas las condiciones de borde (valores conocidos del campo variable en las juntas). A continuación la matriz de rigidez de la estructura (con las condiciones de borde aplicadas) es triangularizada empleando el método de GAUSS-JORDAN utilizando con ese fin el subprograma MCSUBS. Para calcular los valores del campo variable en las juntas se emplea la matriz de rigidez triangularizada y el subprograma MCSUBD. Conocidos los valores del campo variable en los nodos se pueden calcular las derivadas del campo variable dentro del elemento, y el valor de la integral dado en la Ecuación 5.32. Todos estos resultados son impresos.

6.2.11 MCSUBS - Subprograma que Triangulariza la Matrix de Rigidez de la Estructura

Empleando el método de GAUSS-JORDAN y aprovechando las características de la matrix de rigidez de ser simétrica, de banda y definida positiva, se triangulariza dicha matrix con este subprograma, que es utilizado por el programa MCCM01.

6.2.12 MCSUBD - Subprograma que calcula los valores del campo variable en las juntas

Luego de triangularizada la matriz de rigidez y calculado el vector Q , se calculan los valores del campo variable en las juntas con este subprograma que es utilizado por el programa MCCM01.

6.3 Salida de Datos y Resultados

6.3.1 Constantes

Para cada tipo de constante (material)

- Numero del tipo de constante
- c
- Lambda
- k_x
- k_y

6.3.2 Datos de las Juntas

Para cada junta :

- Número de la junta
- Coordenada X de la junta , referida al sistema OXY
- Coordenada Y de la junta , referida al sistema OXY
- Valor Prescrito en la junta (si lo hay)

6.3.3 Propiedades de los Elementos

Para cada elemento :

- Numero del elemento
- Nodo 1
- Nodo 2
- Nodo 3
- Tipo de Constante

- Area
- Valores Prescritos , si los hay :
 - f_1 , f_2 , f_3 , h_1 , h_2 y h_3

6.3.4 Matrices de Rigidez y Vectores P y Q

Se imprimen las matrices de rigidez de todos los elementos y el vector P de los mismos.

Para todo el medio se imprime la matrix de rigidez y el vector Q , antes y después de aplicadas las condiciones de borde (valores prescritos en las juntas).

6.3.5 Valor de la Variable en las Juntas

Para cada junta se imprimirá el valor que toma el campo variable en ella.

6.3.6 Valores de las Derivadas en los Elementos

Para cada elemento se imprimirán las derivadas según x y según y del campo variable dentro del elemento (debido a la variación lineal del campo variable dentro del elemento sus derivadas son constates).

6.3.7 Valor de la Integral

Se imprime además para cada elemento el valor de la integral dado en la Ecuación 5.32 y el valor de la integral para todo el medio.

NOTA: El sistema de unidades a utilizar en todos los programas es libre, siempre y cuando se use de una manera consistente.

6.4 Ejemplos

6.4.1 Ejemplo 6.1 - Torsión de Miembros Prismáticos

Considérese una barra prismática de sección transversal arbitraria como la mostrada en la Figura 6.2 .

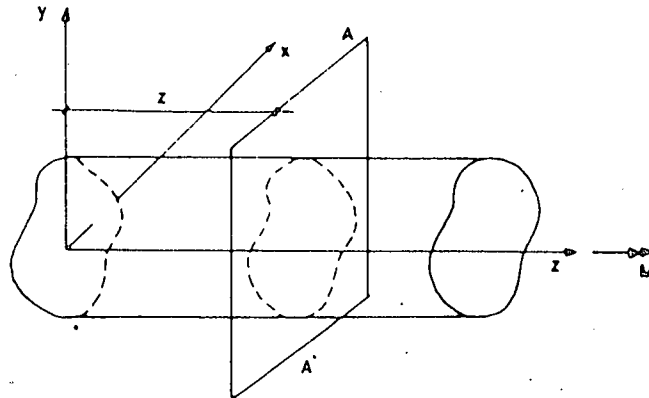


Figura 6.2

La aplicación de un momento torsor M causa un ángulo de giro por unidad de longitud igual a θ . Para una sección cualquiera AA' el ángulo de giro con respecto a la sección que pasa por el origen será $\eta = \theta z$.

Las componentes del desplazamiento según los ejes x e y se muestran la Figura 6.3 .

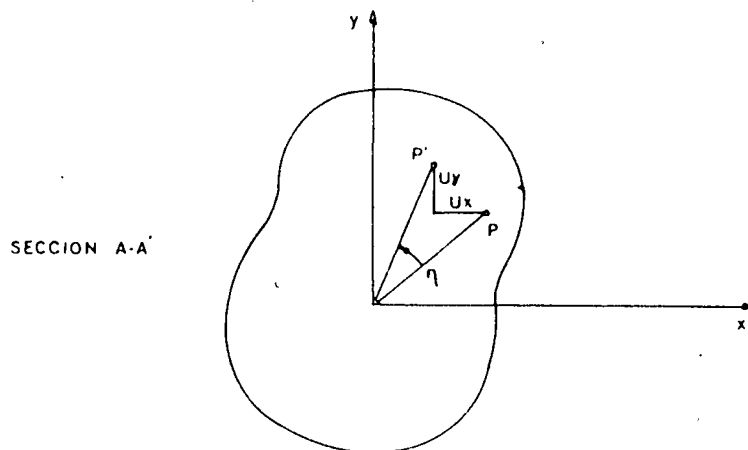


Figura 6.3

$$u_x = - \eta \cdot y = - \theta \cdot z \cdot y \quad (6.1)$$

$$u_y = \eta \cdot x = \theta \cdot z \cdot x \quad (6.2)$$

$$u_z = f(x, y) \quad (6.3)$$

Ya que se está estudiando la torsión uniforme (no restringida) se supone que cada sección transversal gira libremente (de ahí $u_z = f(x, y)$) se puede estudiar el problema en el plano xy solamente. Para este caso :

$$\epsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} = 0$$

$$\epsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0$$

$$\epsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$

$$\gamma_{xy} = \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) = 0$$

por lo que :

$$\nabla_x = \nabla_y = \nabla_z = \tau_{xy} = 0$$

Las Ecuaciones A.2.2 , A.2.3 y A.2.4 se reducen entonces a :

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = 0 \quad (6.4)$$

Si se define la función de tensión Ψ (denominada función de tensión de Prandtl) como :

$$\tau_{xz} = \frac{\partial \Psi}{\partial y} \quad (6.5)$$

$$\tau_{yz} = - \frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (6.6)$$

se satisface la Ecuación 6.4 .

Se tiene que :

$$\tau_{xz} = G \cdot \gamma_{xz} = G \cdot \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (6.7)$$

$$\tau_{yz} = G \cdot \gamma_{yz} = G \cdot \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (6.8)$$

diferenciando la Ecuación 6.7 con respecto a y y la Ecuación 6.8 con respecto a x y restándolas se obtiene (suponiendo G constante) :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = G \left(\frac{\partial u_x}{\partial y \partial z} - \frac{\partial u_y}{\partial x \partial z} \right) \quad (6.9)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 6.1 y 6.2 en la Ecuación 6.9 se obtiene :

$$\frac{1}{G} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{1}{G} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = - 2 \theta \quad (6.10)$$

La Ecuación 6.10 es una caso particular de la Ecuación 5.1 (aplicada a problemas bidimensionales) donde $k_x = k_y = k = 1/G$, $c = - 2 \theta$ y $\lambda = 0$.

Para calcular el momento torsor M que actúa en la sección se integra el momento debido a los esfuerzos cortantes :

$$M = \int_A (x \tau_{yz} - y \tau_{xz}) dA \quad (6.11)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 6.5 y 6.6 en la Ecuación 6.11 se obtiene :

$$M = 2 \int_A \psi dA \quad (6.12)$$

La Ecuación 6.12 es el doble del valor obtenido por la Ecuación 5.32 sumada para todos los elementos del medio.

La condición de borde para este problema exige que la tensión resultante en el contorno sea tangente al mismo (Ver Figura 6.4) :

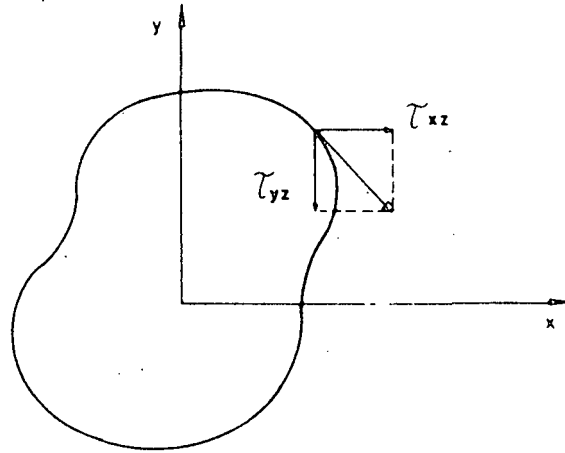


Figura 6.4

por lo que :

$$\frac{\tau_{xz}}{\tau_{yz}} = \frac{dx}{dy} \quad (6.13)$$

y sustituyendo las Ecuaciones 6.3 y 6.6 se obtiene :

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy = 0 \quad (6.14)$$

por lo que ψ es constante en el contorno (se tomará igual a cero). La Ecuación 6.14 es similar a la Ecuación 5.7 donde $f = h = 0$.

Se resuelve a continuación el problema de torsión de una barra prismática de sección cuadrada.

Se pide hallar las tensiones y el momento torsor que actúa en una barra prismática de sección cuadrada de 8 cm x 8 cm , cuando el ángulo de giro de 3° en 100 cm , el valor de G es igual a 800000 Kg/cm².

Se pueden calcular entonces :

$$k_x = k_y = 1/800000 = 0.00000125 \text{ cm}^2 / \text{Kg}$$

y

$$c = -2\theta = -2\pi 3 / (100 \times 57.29578) = -0.0010472$$

Debido a la simetría de la barra se considerará solamente un octavo de sección. Se idealiza la región utilizando 4 elementos finitos, como se muestra en la Figura 6.5. Los resultados se presentan de la página 128 a la 134.

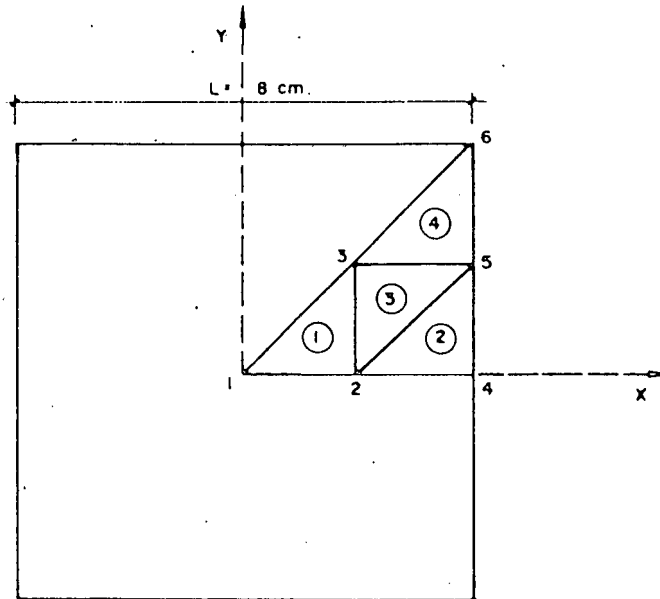


Figura 6.5

El valor calculado para el momento torsor (debido a que se estudió sólo un octavo de la barra) es 16 veces el valor de la integral calculado en la página 131, entonces :

$$M_{\text{calculado}} = 16 \times 13683 = 218928 \text{ Kg-cm}$$

El momento teórico es :

$$M_{\text{teórico}} = 0.1406 \times C \times \theta \times L^4 = 0.1406 \times 800000 \times 0.000523 \times 4096 =$$

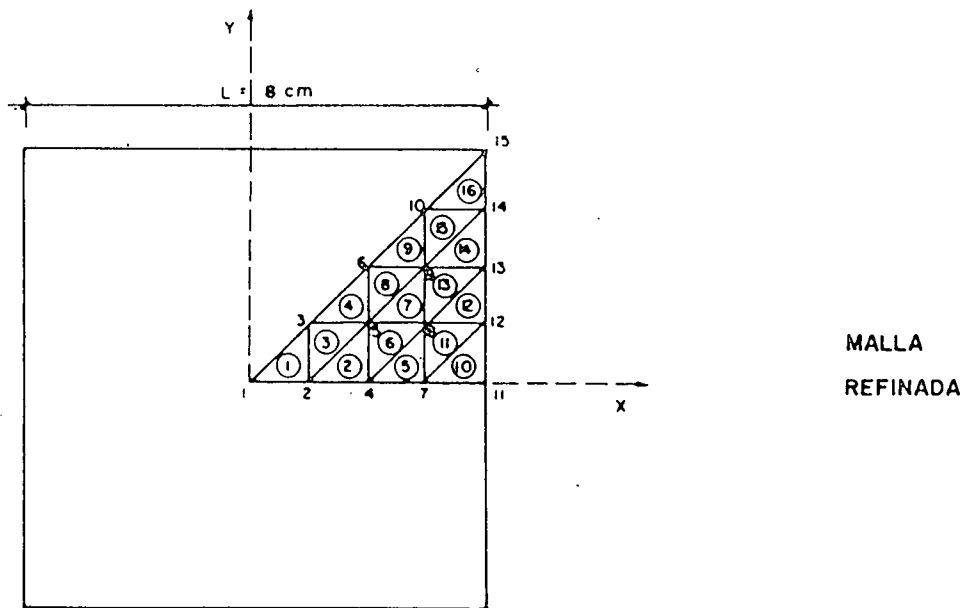
$$M_{\text{teórico}} = 241231 \text{ Kg-cm}$$

Idealizando la región utilizando 16 elementos finitos, como se muestra en la Figura 6.6 se mejora el valor obtenido para el momento (Ver resultados de esta malla refinada de la página 132 a la página 134); teniéndose :

$$M_{\text{calculado}} = 16 \times 14667 = 234672 \text{ Kg-cm}$$

Se observa que en este caso la diferencia es mucho menor con respecto al valor teórico (sólo del 2.72 %, para la malla de 4 elementos era del 9.25 %). La convergencia en este caso estaba totalmente garantizada ya que se cumplían todos los requerimientos de las funciones de interpolación y del refinamiento de la malla dadas en el Aparte 1.3.

Las derivadas de la variable en ambas salidas representan las tensiones cortantes. La derivada según x representa $-\tau_{yz}$ y la derivada según y representa τ_{xz} . (Ver Ecuaciones 6.5 y 6.6)



Figuro 6.6

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 - Torsion de Miembros Prismaticos

CONSTANTES DE LOS MATERIALES

HRO	C	LAMBDA	KX	KY
1	0.1047E-02	0.0000E+00	0.125000D-05	0.125000D-05

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 - Torsion de Miembros Prismaticos

DATOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	X	Y	VALOR PRESCRITO
1	0.0000	0.0000	
2	2.0000	0.0000	
3	2.0000	2.0000	
4	4.0000	0.0000	0.00
5	4.0000	2.0000	0.00
6	4.0000	4.0000	0.00

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 - Torsion de Miembros Prismaticos

DATOS DE LOS ELEMENTOS

ELEM.	J1	J2	JK	MAT	AREA	F1	F2	F3	H1	H2	H3
1	1	2	3	1	2.00						
2	2	4	5	1	2.00						
3	7	5	3	1	2.00						
4	3	5	6	1	2.00						

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 - Torsion de Miembros Prismaticos

ELEMENTO= 1

MATRIZ k

0.62500E-06	-.62500E-06	0.00000E+00
-.62500E-06	0.12500E-05	-.62500E-06
0.00000E+00	-.62500E-06	0.62500E-06

VECTOR P

-.69813E-03	-.69813E-03	-.69813E-03
-------------	-------------	-------------

ELEMENTO= 2

MATRIZ k

0.62500E-06	-.62500E-06	0.00000E+00
-.62500E-06	0.12500E-05	-.62500E-06
0.00000E+00	-.62500E-06	0.62500E-06

VECTOR P

-.69813E-03	-.69813E-03	-.69813E-03
-------------	-------------	-------------

ELEMENTO= 3

MATRIZ k

0.62500E-06	0.00000E+00	-.62500E-06
0.00000E+00	0.62500E-06	-.62500E-06
-.62500E-06	-.62500E-06	0.12500E-05

VECTOR P

-.69813E-03	-.69813E-03	-.69813E-03
-------------	-------------	-------------

ELEMENTO= 4

MATRIZ k

0.62500E-06	-.62500E-06	0.00000E+00
-.62500E-06	0.12500E-05	-.62500E-06
0.00000E+00	-.62500E-06	0.62500E-06

VECTOR P

-.69813E-03	-.69813E-03	-.69813E-03
-------------	-------------	-------------

```

*****
*   APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION   *
*   DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO                           *
*****

```

Ejemplo 6.1 - Torsion de Miembros Prismaticos

MATRIZ K (SIN APLICAR CONDICIONES DE BORDE)

```

FILA 1 0.62500E-04 -0.62500E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 2 0.25000E-05 -0.12500E-05 -0.62500E-06 0.00000E+00
FILA 3 0.25000E-05 0.00000E+00 -0.12500E-05 0.00000E+00
FILA 4 0.12500E-05 -0.62500E-06 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 5 0.25000E-05 -0.62500E-06 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 6 0.62500E-06 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

```

VECTOR Q (SIN APLICAR CONDICIONES DE BORDE)

```

-0.69813E-03 -0.20944E-02 -0.20944E-02 -0.69813E-03 -0.20944E-02
-0.69813E-03

```

MATRIZ K (APLICADAS LAS CONDICIONES DE BORDE)

```

FILA 1 0.62500E-04 -0.62500E-04 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 2 0.25000E-05 -0.12500E-05 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 3 0.25000E-05 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 4 0.10000E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 5 0.10000E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00
FILA 6 0.10000E+01 0.00000E+00 0.00000E+00 0.00000E+00

```

VECTOR Q (APLICADAS LAS CONDICIONES DE BORDE)

```

-0.69813E-03 -0.20944E-02 -0.20944E-02 0.00000E+00 0.00000E+00
0.00000E+00

```

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 - Torsion de Miembros Prismaticos

JUNTA VALOR DE LA VARIABLE

JUNTA	VALOR DE LA VARIABLE
1	- .41888E+04
2	- .30718E+04
3	- .23737E+04
4	0.00000E+00
5	0.00000E+00
6	0.00000E+00

ELEMENTO	DERIVADA X	DERIVADA Y	INTEGRAL
1	0.55851E+03	0.34907E+03	- .64228E+04
2	0.15359E+04	0.00000E+00	- .20479E+04
3	0.11860E+04	0.34907E+03	- .36303E+04
4	0.11860E+04	0.00000E+00	- .15824E+04

VALOR DE LA INTEGRAL PARA TODO EL MEDIO = -13683.42

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 T. de Miembros Prism. (Malla Refinada)

CONSTANTES DE LOS MATERIALES

NRO	C	LAMBDA	KX	KY
1	0.1047E-02	0.0000E+00	0.125000D-05	0.125000D-05

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 T. de Miembros Prism. (Malla Refinada)

DATOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	X	Y	VALOR PRESCRITO
1	0.0000	0.0000	
2	1.0000	0.0000	
3	1.0000	1.0000	
4	2.0000	0.0000	
5	2.0000	1.0000	
6	2.0000	2.0000	
7	3.0000	0.0000	
8	3.0000	1.0000	
9	3.0000	2.0000	
10	3.0000	3.0000	
11	4.0000	0.0000	0.00
12	4.0000	1.0000	0.00
13	4.0000	2.0000	0.00
14	4.0000	3.0000	0.00
15	4.0000	4.0000	0.00

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 T. de Miembros Prism. (Malla Refinada)

DATOS DE LOS ELEMENTOS

ELEM.	J1	JJ	JX	MAT	AREA	F1	F2	F3	H1	H2	H3
1	1	2	3	1	0.50						
2	2	4	5	1	0.50						
3	2	5	3	1	0.50						
4	3	5	6	1	0.50						
5	4	7	8	1	0.50						
6	4	8	5	1	0.50						
7	5	8	9	1	0.50						
8	5	9	6	1	0.50						
9	6	9	10	1	0.50						
10	7	11	12	1	0.50						
11	7	12	8	1	0.50						
12	8	12	13	1	0.50						
13	8	13	9	1	0.50						
14	9	13	14	1	0.50						
15	9	14	10	1	0.50						
16	10	14	15	1	0.50						

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.1 T. de Miembros Prism. (Malla Refinada)

JUNTA VALOR DE LA VARIABLE

1	- .40389E+04
2	- .37597E+04
3	- .35451E+04
4	- .30718E+04
5	- .29116E+04
6	- .24137E+04
7	- .18665E+04
8	- .17782E+04
9	- .14969E+04
10	- .95788E+03
11	0.00000E+00
12	0.00000E+00
13	0.00000E+00
14	0.00000E+00
15	0.00000E+00

ELEMENTO	DERIVADA X	DERIVADA Y	INTEGRAL
1	0.27925E+03	0.21457E+03	- .18906E+04
2	0.68787E+03	0.16016E+03	- .16238E+04
3	0.63345E+03	0.21457E+03	- .17827E+04
4	0.63345E+03	0.49793E+03	- .14784E+04
5	0.12053E+04	-0.88294E+02	- .11194E+04
6	0.11334E+04	0.16016E+03	- .12936E+04
7	0.11334E+04	0.28131E+03	- .10311E+04
8	0.91681E+03	0.49793E+03	- .11370E+04
9	0.91681E+03	0.53900E+03	- .81141E+03
10	0.18665E+04	0.00000E+00	- .31108E+03
11	0.17782E+04	0.88294E+02	- .60744E+03
12	0.17782E+04	0.00000E+00	- .29636E+03
13	0.14969E+04	0.28131E+03	- .54584E+03
14	0.14969E+04	0.00000E+00	- .24948E+03
15	0.95788E+03	0.53900E+03	- .40913E+03
16	0.95788E+03	0.00000E+00	- .15965E+03

VALOR DE LA INTEGRAL PARA TODO EL MEDIO = -14667.13

6.4.2 Ejemplo 6.2 - Transferencia de Calor

La Ecuación de Fourier de transferencia de calor por conducción establece que :

$$q_s = -k \frac{\partial T}{\partial s} \quad (6.15)$$

donde :

q_s es el flujo de calor en la dirección s por unidad de área

k conductividad térmica del material

$\frac{\partial T}{\partial s}$ gradiente de temperatura en la dirección s

(el signo negativo indica que el flujo es en la dirección en la cual la temperatura disminuye)

Entendiéndose transferencia de calor por conducción al flujo de calor dentro de un material sin movimiento neto de masa del material.

Por el principio de conservación de la energía se puede establecer que :

$$E_g + E_i = E_o + E_c \quad (6.16)$$

donde :

E_g = calor generado dentro del sistema

E_i = calor que ingresa al sistema

E_o = calor que sale del sistema

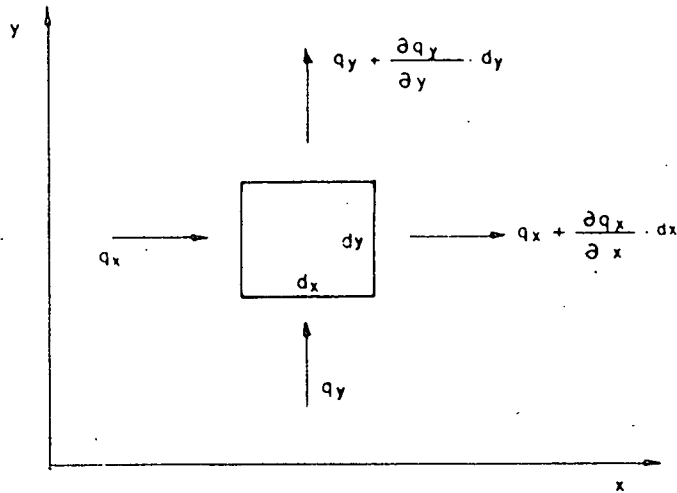
E_c = cambio en la energía interna del sistema

Si se considera el problema en régimen permanente el término de cambio en la energía interna del sistema valdrá cero ($E_c = 0$).

Estudiando un elemento diferencial de espesor unitario (Ver Figura 6.7) se concluye que :

$$E_i = q_x dy + q_y dx \quad (6.17)$$

$$E_o = q_x dy + \frac{\partial q_x}{\partial x} dy dx + q_y dx + \frac{\partial q_y}{\partial y} dx dy \quad (6.18)$$



Figuro 6.7

El cambio de energía interna viene dado por :

$$E_c = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dx dy \quad (6.19)$$

donde :

ρ = densidad del material

c = calor específico del material

Si :

$$E_q = Q \cdot dx \cdot dy \quad (6.20)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 6.17 , 6.18 , 6.19 y 6.20 en la Ecuación 6.16 se obtiene (considerando régimen permanente) :

$$Q - \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (6.21)$$

y a partir de la Ecuación 6.15 se obtiene (suponiendo un medio homogéneo) :

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + Q = 0 \quad (6.22)$$

Las condiciones de borde posibles son :

$$a) \quad T = T_0 \quad (6.23)$$

donde T_0 representa los valores de la temperatura conocidos (prescritos) en los nodos.

$$b) \quad k_x \frac{\partial T}{\partial x} n_x + k_y \frac{\partial T}{\partial y} n_y + f + h (T - T_\infty) = 0 \quad (6.24)$$

donde :

f = transferencia de calor en el contorno

h = coeficiente de transferencia de calor por convección

T_∞ = temperatura del medio externo al sistema

entendiéndose por convección el proceso mediante el cual el calor es transferido de un sólido a un fluido que lo rodea.

Las Ecuaciones 6.22 , 6.23 y 6.24 son similares a las Ecuaciones 5.5 , 5.6 y 5.7 .

A continuación se resuelve un ejemplo ilustrativo.

Hallar la distribución de temperaturas en la placa cuadrada mostrada en la Figura 6.8 .

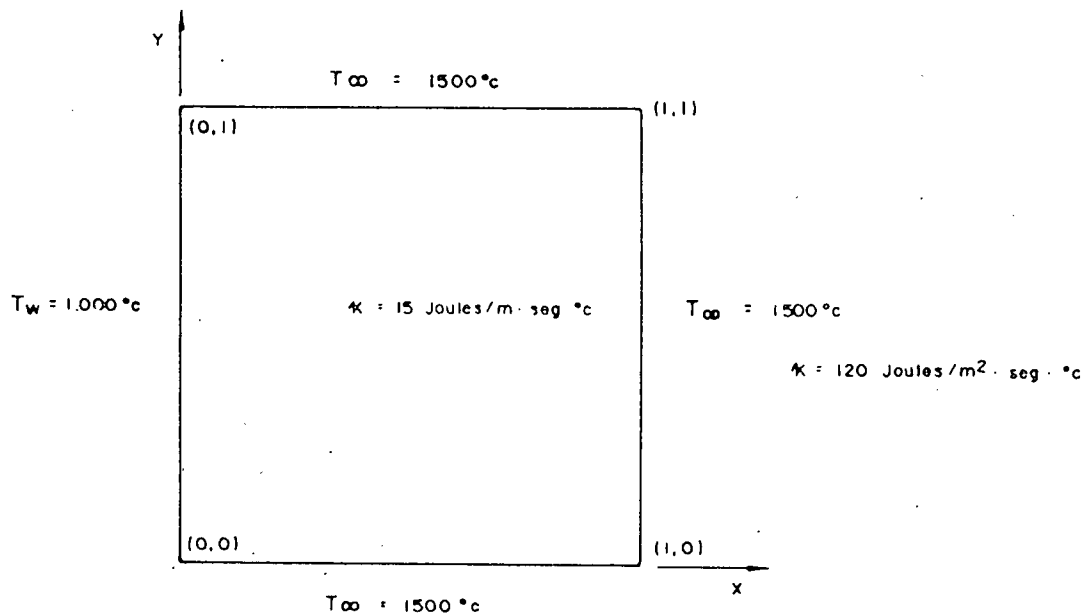


Figura 6.8

La conductividad térmica del material de la placa es $k_x = k_y = 15$ Joules/m seg $^{\circ}\text{C}$. No existe calor generado internamente ($c=0$).

Un lado de la placa esta en contacto con un muro que se encuentra a 1000°C , los otros tres lados se hallan sometidos a la temperatura ambiental de 1500°C .

Habrà una transferencia de calor del ambiente al muro a través de la placa.

La discretización de la placa se muestra en la Figura 6.9.

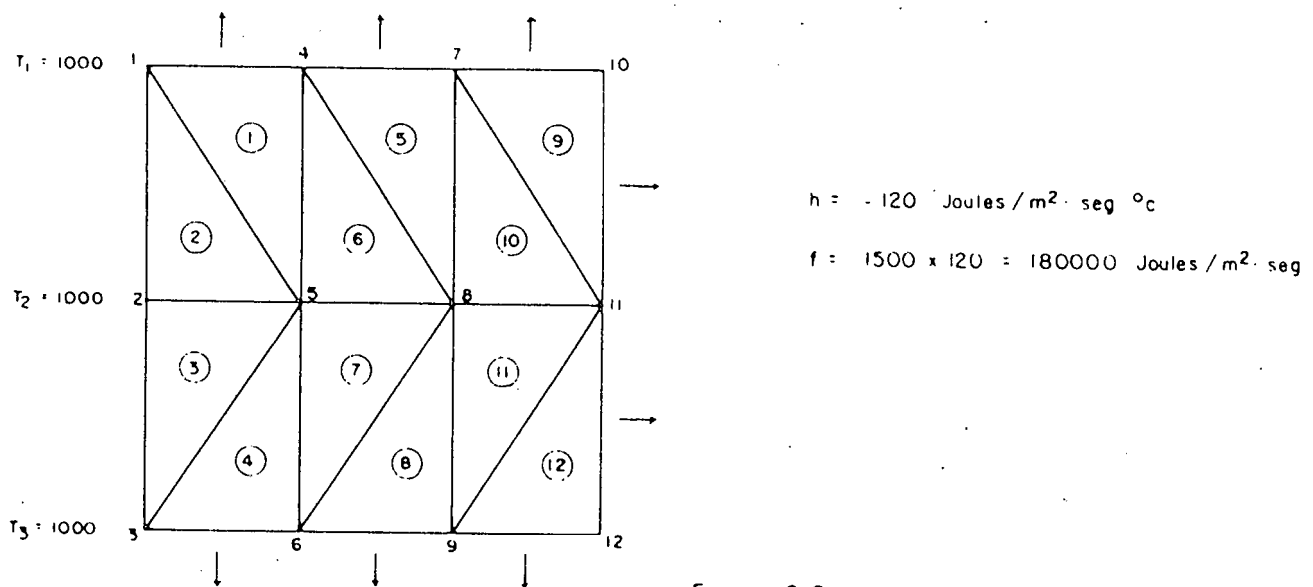


Figura 6.9

Los resultados obtenidos se muestran de la página 139 a la página 140.

Los valores del campo variable en las juntas representan la temperatura en dichos puntos.

En el libro de Huebner (Referencia Bibliográfica Nro 2) se resuelve este problema con un programa específico de aplicación a problemas de transferencia de calor; el programa aquí empleado también permite resolver otros problemas del medio continuo, incluyendo los de transferencia de calor.

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.2 - Transferencia de Calor

CONSTANTES DE LOS MATERIALES

NRO	C	LAMBDA	KX	KY
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.150000D+02	0.150000D+02

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.2 - Transferencia de Calor

DATOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	X	Y	VALOR PRESCRITO
1	0.0000	1.0000	1000.00
2	0.0000	0.5000	1000.00
3	0.0000	0.0000	1000.00
4	0.3330	1.0000	
5	0.3330	0.5000	
6	0.3330	0.0000	
7	0.6670	1.0000	
8	0.6670	0.5000	
9	0.6670	0.0000	
10	1.0000	1.0000	
11	1.0000	0.5000	
12	1.0000	0.0000	

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.2 - Transferencia de Calor

DATOS DE LOS ELEMENTOS

ELEM.	J1	J2	J3	MAT	AREA	F1	F2	F3	H1	H2	H3
1	1	5	4	1	0.08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.18000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00	-.12000E+03
2	1	2	5	1	0.08						
3	2	3	5	1	0.08						
4	3	4	5	1	0.08	0.18000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00	-.12000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
5	4	8	7	1	0.08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.18000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00	-.12000E+03
6	4	5	8	1	0.08						
7	5	6	8	1	0.08						
8	6	9	8	1	0.08	0.18000E+04	0.00000E+00	0.00000E+00	-.12000E+03	0.00000E+00	0.00000E+00
9	7	11	10	1	0.08	0.00000E+00	0.18000E+04	0.18000E+04	0.00000E+00	-.12000E+03	-.12000E+03
10	7	8	11	1	0.08						
11	8	9	11	1	0.08						
12	9	12	11	1	0.08	0.18000E+04	0.18000E+04	0.00000E+00	-.12000E+03	-.12000E+03	0.00000E+00

```

*****
*   APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION   *
*   DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO                           *
*****

```

Ejemplo 6.1 - Transferencia de Calor

JUNTA VALOR DE LA VARIABLE

JUNTA	VALOR DE LA VARIABLE
1	0.10000E+04
2	0.10000E+04
3	0.10000E+04
4	0.14202E+04
5	0.12685E+04
6	0.14202E+04
7	0.14775E+04
8	0.14025E+04
9	0.14775E+04
10	0.15010E+04
11	0.14696E+04
12	0.15010E+04

ELEMENTO	DERIVADA X	DERIVADA Y	INTEGRAL
1	0.12620E+04	0.30353E+03	0.10236E+03
2	0.80624E+03	0.00000E+00	0.90700E+02
3	0.80624E+03	0.00000E+00	0.90700E+02
4	0.12620E+04	-0.30353E+03	0.10236E+03
5	0.17132E+03	0.14988E+03	0.11969E+03
6	0.40133E+03	0.30353E+03	0.11387E+03
7	0.40133E+03	-0.30353E+03	0.11387E+03
8	0.17132E+03	-0.14988E+03	0.11969E+03
9	0.70609E+02	0.62780E+02	0.12343E+03
10	0.20139E+03	0.14988E+03	0.12070E+03
11	0.20139E+03	-0.14988E+03	0.12070E+03
12	0.70609E+02	-0.62780E+02	0.12343E+03

VALOR DE LA INTEGRAL PARA TODO EL MEDIO = 1341.510

6.4.3 Ejemplo 6.3 - Filtración en un Medio Poroso

Para el caso de la filtración en dos dimensiones la Ley de Darcy (que establece que la velocidad de flujo es proporcional al gradiente hidráulico en la dirección del flujo) se puede escribir como :

$$v_x = - k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (6.25)$$

$$v_y = - k_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (6.26)$$

donde v_x y v_y son las componentes de la velocidad de filtración ; k_x y k_y son los coeficientes de permeabilidad según los ejes x e y respectivamente y ϕ es la altura piezométrica dada según la siguiente expresión :

$$\phi = \frac{p}{\gamma} + z$$

donde :

p = presión

γ = peso específico del líquido

z = altura medida con respecto a un nivel arbitrario

Estudiando el volumen de líquido que entra y el que sale en un elemento diferencial (Ver Figura 6.10) :

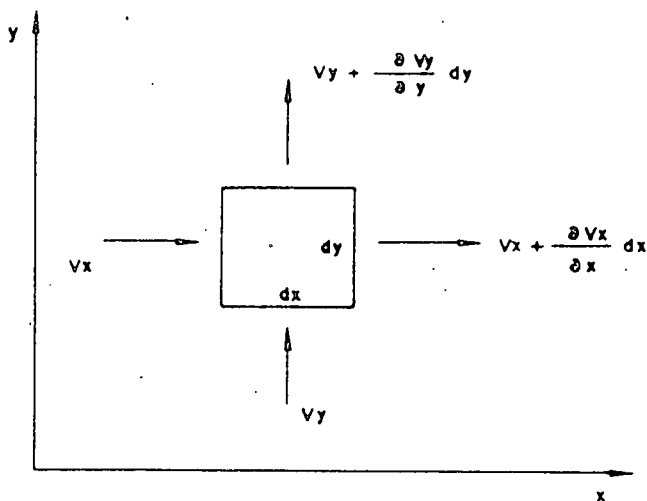


Figura 6.10

se llega a la "Ecuación de la Continuidad" en dos dimensiones:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad (6.27)$$

sustituyendo las Ecuaciones 6.25 y 6.26 en la Ecuación 6.27 se obtiene (suponiendo un medio homogéneo):

$$k_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (6.28)$$

si además se considera un medio isótropo se obtiene entonces:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

Las condiciones de borde para problemas de filtración pueden ser:

$$a) \quad \phi = \phi_0 \quad (6.29)$$

valores prescritos de altura piezométrica.

$$b) \quad k_x \frac{\partial \phi}{\partial x} n_x + k_y \frac{\partial \phi}{\partial y} n_y = 0 \quad (6.30)$$

flujo conocido en una sección o frontera.

Se pueden definir curvas a lo largo de las cuales la altura piezométrica es constante, obteniéndose una familia de curvas denominadas equipotenciales.

Si definimos la función de flujo ψ mediante las siguientes ecuaciones (las derivadas representan las velocidades de flujo):

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}$$

$$v_y = - \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

se puede demostrar que se cumple:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (6.31)$$

La función ψ cumple también con la Ecuación de Laplace por lo que dependiendo de la situación se puede resolver un problema de infiltración utilizando la función ϕ (obteniéndose líneas equipotenciales) o la función ψ (obteniéndose líneas de flujo o de corriente). Con ambas líneas se puede construir la malla o red de corriente que permite estudiar el fenómeno de la filtración de una manera cualitativa y cuantitativa.

Se desea estudiar el flujo de agua bajo la presa de concreto mostrada en la Figura 6.11.

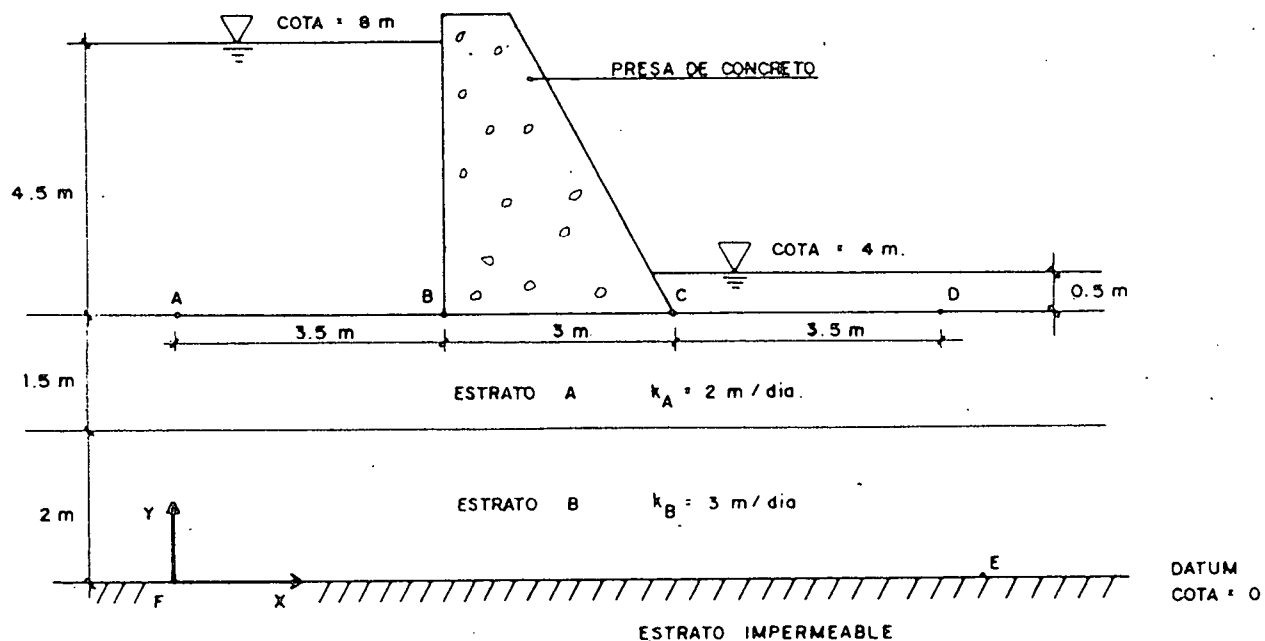


Figura 6.11

La base de la presa está formada por dos estratos de suelo isótropos de permeabilidades k_A y k_B que a su vez descansan sobre un estrato impermeable. Se supone que la presa de concreto también se comportará de manera impermeable.

La malla que discretiza el medio se muestra en la Figura 6.12.

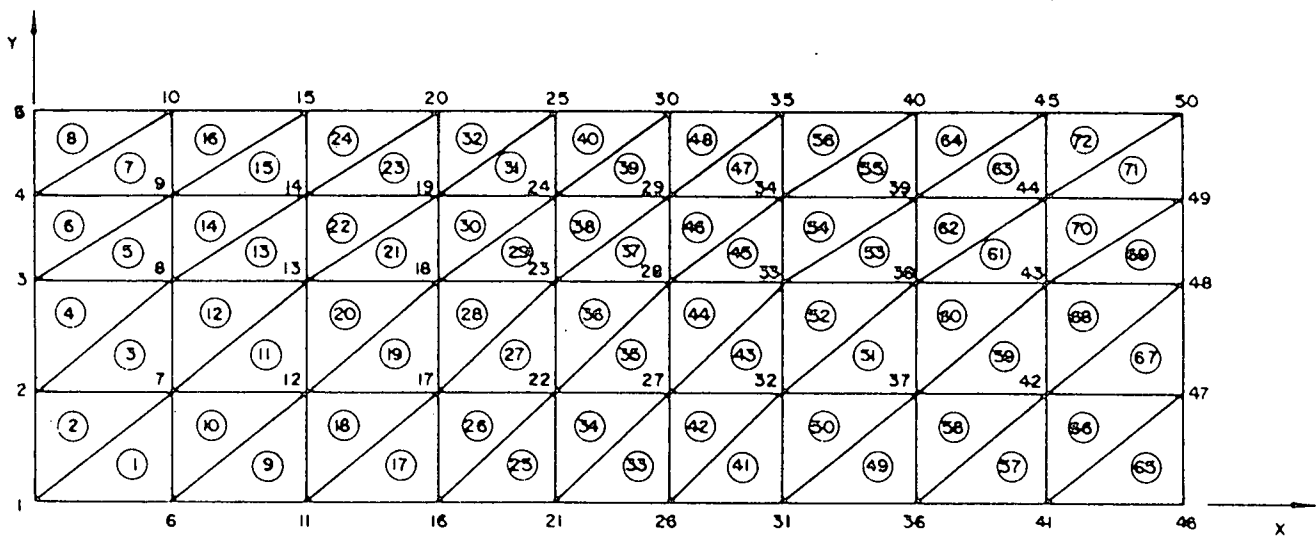


Figura 6.12

Debido a que se considera régimen permanente, aguas arriba se puede establecer una altura piezométrica $\phi = 8$ mt. y aguas abajo $\phi = 4$ mt. En la Figura 6.13 se muestran las condiciones de contorno.

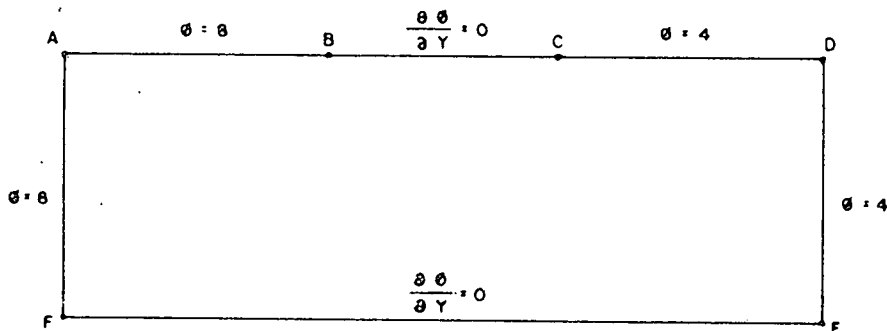


Figura 6.13

Los estratos de suelo son infinitos lateralmente, pero sólo podemos estudiar una región finita en nuestro análisis; se supone

que la malla estudiada es lo suficientemente extensa para considerar que la altura piezométrica en los extremos laterales izquierdo y derecho es igual a la altura total de presiones en los contornos superiores aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

Además existe la condición de contorno de que $\frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$ en las líneas BC y FE debido a que $v_y = 0$ (Ver Ecuación 6.26) .

Los resultados se muestran de la página 146 a la 153.

Las derivadas según x e y multiplicadas por los valores de los coeficientes de permeabilidad (según su misma dirección) del suelo al cual pertenecen los elementos representan, respectivamente, las velocidades del flujo según x e y dentro del elemento , como se observa en las Ecuaciones 6.25 y 6.26 .

.....
* APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
* DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *
.....

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

CONSTANTES DE LOS MATERIALES

NRO	C	LAMBDA	KX	KY
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.200000D+01	0.200000D+01
2	0.0000E+00	0.0000E+00	0.300000D+01	0.300000D+01

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

DATOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	X	Y	VALOR PRESCRITO
1	0.0000	0.0000	0.00
2	0.0000	1.0000	0.00
3	0.0000	2.0000	0.00
4	0.0000	2.7500	0.00
5	0.0000	3.5000	0.00
6	1.1700	0.0000	
7	1.1700	1.0000	
8	1.1700	2.0000	
9	1.1700	2.7500	
10	1.1700	3.5000	0.00
11	2.3300	0.0000	
12	2.3300	1.0000	
13	2.3300	2.0000	
14	2.3300	2.7500	
15	2.3300	3.5000	0.00
16	3.5000	0.0000	
17	3.5000	1.0000	
18	3.5000	2.0000	
19	3.5000	2.7500	
20	3.5000	3.5000	0.00
21	4.6700	0.0000	
22	4.6700	1.0000	
23	4.6700	2.0000	
24	4.6700	2.7500	
25	4.6700	3.5000	
26	5.8300	0.0000	
27	5.8300	1.0000	
28	5.8300	2.0000	
29	5.8300	2.7500	
30	5.8300	3.5000	
31	6.9900	0.0000	
32	6.9900	1.0000	
33	6.9900	2.0000	
34	6.9900	2.7500	
35	6.9900	3.5000	4.00
36	7.6700	0.0000	
37	7.6700	1.0000	
38	7.6700	2.0000	
39	7.6700	2.7500	
40	7.6700	3.5000	4.00
41	8.8300	0.0000	
42	8.8300	1.0000	
43	8.8300	2.0000	
44	8.8300	2.7500	
45	8.8300	3.5000	4.00
46	10.0000	0.0000	4.00
47	10.0000	1.0000	4.00

* APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
* DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

DATOS DE LAS JUNTAS

JUNTA	X	Y	VALOR PRESCRITO
48	10.0000	2.0000	4.00
49	10.0000	2.7500	4.00
50	10.0000	3.5000	4.00

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

DATOS DE LOS ELEMENTOS

ELEM.	J1	J2	J3	MAT	AREA	F1	F2	F3	H1	H2	H3
1	1	4	7	2	0.59						
2	1	7	2	2	0.59						
3	2	7	8	2	0.59						
4	2	8	3	2	0.59						
5	3	8	9	1	0.44						
6	3	9	4	1	0.44						
7	4	9	10	1	0.44						
8	4	10	5	1	0.44						
9	6	11	12	2	0.58						
10	6	12	7	2	0.58						
11	7	12	13	2	0.58						
12	7	13	8	2	0.58						
13	8	13	14	1	0.44						
14	8	14	9	1	0.44						
15	9	14	15	1	0.44						
16	9	15	10	1	0.44						
17	11	16	17	2	0.59						
18	11	17	12	2	0.59						
19	12	17	18	2	0.59						
20	12	18	13	2	0.59						
21	13	18	19	1	0.44						
22	13	19	14	1	0.44						
23	14	19	20	1	0.44						
24	14	20	15	1	0.44						
25	16	21	22	2	0.50						
26	16	22	17	2	0.50						
27	17	22	23	2	0.50						
28	17	23	18	2	0.50						
29	18	23	24	1	0.38						
30	18	24	19	1	0.38						
31	19	24	25	1	0.38						
32	19	25	20	1	0.38						
33	21	26	27	2	0.50						
34	21	27	22	2	0.50						
35	22	27	28	2	0.50						
36	22	28	23	2	0.50						
37	23	28	29	1	0.38						
38	23	29	24	1	0.38						
39	24	29	30	1	0.38						
40	24	30	25	1	0.38						
41	26	31	32	2	0.50						
42	26	32	27	2	0.50						
43	27	32	33	2	0.50						
44	27	33	28	2	0.50						
45	28	33	34	1	0.38						
46	28	34	29	1	0.38						
47	29	34	35	1	0.38						

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

DATOS DE LOS ELEMENTOS

ELEM.	J1	J2	JK	MAT	AREA	F1	F2	F3	H1	H2	H3
48	29	35	30	1	0.38						
49	31	36	37	2	0.59						
50	31	37	32	2	0.59						
51	32	37	38	2	0.59						
52	32	38	33	2	0.59						
53	33	38	39	1	0.44						
54	33	39	34	1	0.44						
55	34	39	40	1	0.44						
56	34	40	35	1	0.44						
57	36	41	42	2	0.58						
58	36	42	37	2	0.58						
59	37	42	43	2	0.58						
60	37	43	38	2	0.58						
61	38	43	44	1	0.43						
62	38	44	39	1	0.43						
63	39	44	45	1	0.43						
64	39	45	40	1	0.43						
65	41	46	47	2	0.59						
66	41	47	42	2	0.59						
67	42	47	48	2	0.59						
68	42	48	43	2	0.59						
69	43	48	49	1	0.44						
70	43	49	44	1	0.44						
71	44	49	50	1	0.44						
72	44	50	45	1	0.44						

 APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION
 DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

JUNTA VALOR DE LA VARIABLE

JUNTA	VALOR DE LA VARIABLE
1	0.80000E+01
2	0.80000E+01
3	0.80000E+01
4	0.80000E+01
5	0.80000E+01
6	0.76680E+01
7	0.76890E+01
8	0.77544E+01
9	0.78674E+01
10	0.80000E+01
11	0.72020E+01
12	0.73207E+01
13	0.74479E+01
14	0.76086E+01
15	0.80000E+01
16	0.67870E+01
17	0.68288E+01
18	0.69808E+01
19	0.73371E+01
20	0.80000E+01
21	0.62730E+01
22	0.62890E+01
23	0.63432E+01
24	0.64453E+01
25	0.65466E+01
26	0.57270E+01
27	0.57110E+01
28	0.56568E+01
29	0.55547E+01
30	0.54534E+01
31	0.52130E+01
32	0.51712E+01
33	0.50192E+01
34	0.46629E+01
35	0.40000E+01
36	0.47180E+01
37	0.46793E+01
38	0.45921E+01
39	0.43114E+01
40	0.40800E+01
41	0.43320E+01
42	0.43110E+01
43	0.42456E+01
44	0.41326E+01
45	0.40000E+01
46	0.40800E+01
47	0.40000E+01
48	0.40800E+01
49	0.40000E+01
50	0.40000E+01

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

ELEMENTO	DERIVADA X	DERIVADA Y	INTEGRAL
1	- .28377E+00	0.21031E-01	0.45546E+01
2	- .26580E+00	0.00000E+00	0.46194E+01
3	- .26580E+00	0.45397E-01	0.45715E+01
4	- .20990E+00	0.00000E+00	0.46321E+01
5	- .20990E+00	0.15061E+00	0.34547E+01
6	- .11336E+00	0.00000E+00	0.34906E+01
7	- .11336E+00	0.17684E+00	0.34906E+01
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.35100E+01
9	- .33277E+00	0.38763E-01	0.43057E+01
10	- .31748E+00	0.21031E-01	0.43844E+01
11	- .31748E+00	0.12712E+00	0.43418E+01
12	- .26427E+00	0.65397E-01	0.44257E+01
13	- .26427E+00	0.32099E+00	0.33192E+01
14	- .15411E+00	0.15061E+00	0.33800E+01
15	- .15411E+00	0.41520E+00	0.34156E+01
16	0.00000E+00	0.17684E+00	0.34608E+01
17	- .42309E+00	0.41880E-01	0.40751E+01
18	- .42042E+00	0.38763E-01	0.41792E+01
19	- .42042E+00	0.15194E+00	0.41204E+01
20	- .39921E+00	0.12712E+00	0.42411E+01
21	- .39921E+00	0.47508E+00	0.31832E+01
22	- .30044E+00	0.32099E+00	0.32868E+01
23	- .30044E+00	0.88388E+00	0.33675E+01
24	0.00000E+00	0.41520E+00	0.34645E+01
25	- .51397E+00	0.16009E-01	0.32248E+01
26	- .53984E+00	0.41880E-01	0.33175E+01
27	- .53984E+00	0.54174E-01	0.32435E+01
28	- .63760E+00	0.15194E+00	0.33588E+01
29	- .63760E+00	0.13610E+00	0.24712E+01
30	- .89184E+00	0.47508E+00	0.25954E+01
31	- .89184E+00	0.13510E+00	0.25411E+01
32	- .14534E+01	0.88388E+00	0.17355E+01
33	- .54598E+00	- .16009E-01	0.29518E+01
34	- .57800E+00	0.16009E-01	0.30455E+01
35	- .57800E+00	- .54173E-01	0.29428E+01
36	- .68635E+00	0.54174E-01	0.30482E+01
37	- .68635E+00	- .13610E+00	0.21943E+01
38	- .89050E+00	0.13610E+00	0.22929E+01
39	- .89050E+00	- .13510E+00	0.21817E+01
40	- .10932E+01	0.13510E+00	0.23057E+01
41	- .51397E+00	- .41879E-01	0.26852E+01
42	- .53984E+00	- .16009E-01	0.27682E+01
43	- .53984E+00	- .15194E+00	0.26502E+01
44	- .63760E+00	- .54173E-01	0.27312E+01
45	- .63760E+00	- .47508E+00	0.19174E+01
46	- .89184E+00	- .13610E+00	0.19843E+01
47	- .89184E+00	- .88388E+00	0.17772E+01
48	- .14534E+01	- .13510E+00	0.18760E+01
49	- .42309E+00	- .38763E-01	0.28490E+01
50	- .42043E+00	- .41879E-01	0.29374E+01

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.3- Filtracion en un Medio Poroso

ELEMENTO	DERIVADA X	DERIVADA Y	INTEGRAL
51	- 42043E+00	- 12712E+00	0.28085E+01
52	- 39922E+00	- 15194E+00	0.28748E+01
53	- 39922E+00	- 32099E+00	0.20384E+01
54	- 30044E+00	- 47508E+00	0.20466E+01
55	- 30044E+00	- 41520E+00	0.18975E+01
56	0.00000E+00	- 88388E+00	0.18520E+01
57	- 33277E+00	- 21031E-01	0.25831E+01
58	- 31749E+00	- 38763E-01	0.26503E+01
59	- 31749E+00	- 65399E-01	0.25589E+01
60	- 26427E+00	- 12712E+00	0.26056E+01
61	- 26427E+00	- 15060E+00	0.18749E+01
62	- 15411E+00	- 32099E+00	0.18844E+01
63	- 15411E+00	- 17684E+00	0.18044E+01
64	0.00000E+00	- 41520E+00	0.17852E+01
65	- 28377E+00	0.00000E+00	0.24047E+01
66	- 26580E+00	- 21031E-01	0.24654E+01
67	- 26580E+00	0.00000E+00	0.24086E+01
68	- 20990E+00	- 65399E-01	0.24485E+01
69	- 20990E+00	0.00000E+00	0.17909E+01
70	- 11336E+00	- 15060E+00	0.18103E+01
71	- 11336E+00	0.00000E+00	0.17744E+01
72	0.00000E+00	- 17684E+00	0.17744E+01

VALOR DE LA INTEGRAL PARA TODO EL MEDIO = 210.0267

6.4.4 Ejemplo 6.4 - Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales

Sea un fluido ideal, se denominan líneas de corriente a aquellas entre las cuales el flujo es nulo (Ver Figura 6.14).

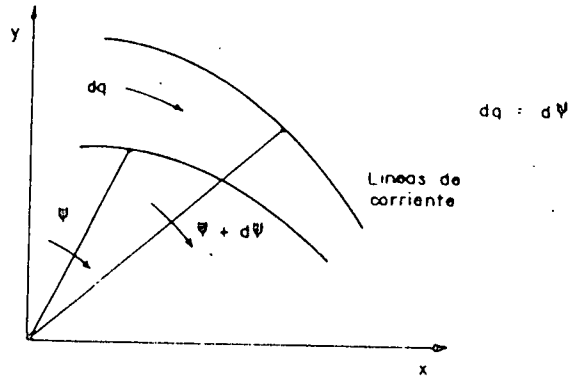


Figura 6.14

Definamos la función de corriente ψ que representa el gasto entre el origen y la línea de corriente en estudio.

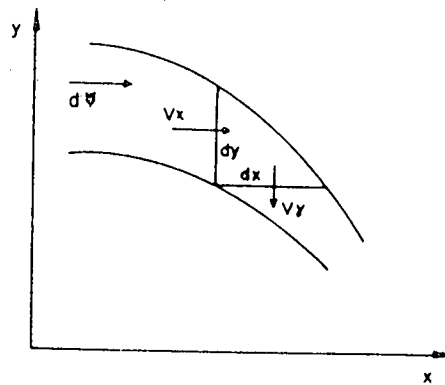


Figura 6.15

De la Figura 6.15 se observa que :

$$d\psi = v_x dy = -v_y dx$$

por lo que

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (6.32)$$

$$v_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (6.33)$$

Si el flujo es irrotacional se debe cumplir que :

$$\frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{\partial v_y}{\partial x} = 0 \quad (6.34)$$

Sustituyendo las Ecuaciones 6.32 y 6.33 en la Ecuación 6.34 se obtiene :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (6.35)$$

La función ψ define las líneas equipotenciales, o sea aquellas a través de las cuales el flujo es nulo.

Se puede definir también la función ϕ (potencial de velocidad) mediante las siguientes ecuaciones :

$$v_x = - \frac{\partial \phi}{\partial x} \quad (6.36)$$

$$v_y = - \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (6.37)$$

que al ser sustituidas en la Ecuación 6.38 (Ecuación de la Continuidad, similar a la Ecuación 6.27 y que se deduce de manera análoga) :

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad (6.38)$$

se obtiene :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (6.39)$$

obteniéndose al graficar una familia de curvas ortogonales a las líneas equipotenciales. Ambas forman una malla o red de corriente (de manera similar a los problemas de filtración).

Considérese el flujo (en régimen permanente y flujo laminar) entre las placas paralelas alrededor de un cilindro, mostrado en la Figura 6.16 .

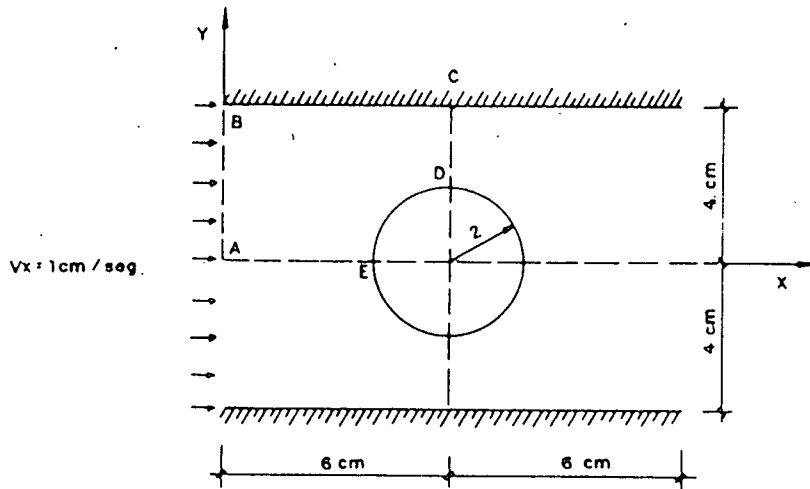


Figura 6.16

Se desea conocer la distribución de velocidades alrededor de la línea CD.

Debido a la simetría se considerará solamente el recinto ABCDEA.

La discretización del medio se muestra en la Figura 6.17.

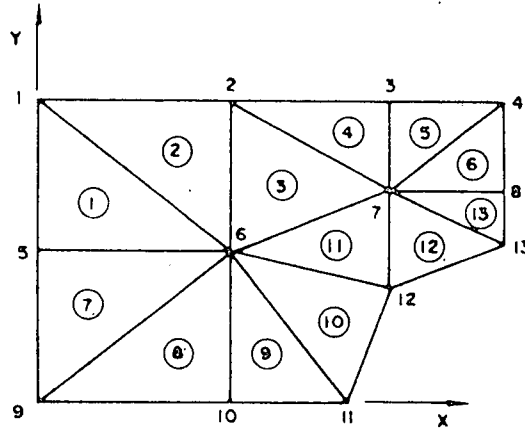


Figura 6.17

Se conoce que v_x es constante en el lado AB por lo que según la Ecuación 6.32 ψ debe variar linealmente en ese lado (ya que su derivada es constante).

Se supondrá un valor de $\psi = 0$ para el nodo A, entonces integrando la Ecuación 6.32 se obtiene un valor de $\psi = 4$ para el nodo B. (Ver Figura 6.18)

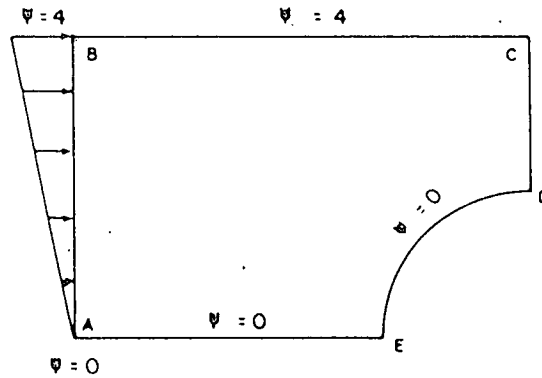


Figura 6.18

Para las línea BC el valor de ψ vale 4 ya que es una línea del contorno y el gasto a través de ella es cero, por lo que el valor de ψ para esta línea es constante e igual al valor de ψ en el nodo B. De igual manera para la línea AED el valor de ψ es igual a cero.

A continuación se muestra la salida de datos y resultados.

Este ejemplo se encuentra resuelto en las Referencias Bibliográficas Nro. 8 y 11 .

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO

Ejemplo 6.4- Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales

CONSTANTES DE LOS MATERIALES

 NRO C LAMBDA KI KY

 1 0.0000E+00 0.0000E+00 0.100000D+01 0.100000D+01

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO

Ejemplo 6.4- Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales

DATOS DE LAS JUNTAS

 JUNTA X Y VALOR PRESCRITO

 1 0.0000 4.0000 4.00
 2 2.5000 4.0000 4.00
 3 4.5900 4.0000 4.00
 4 6.0000 4.0000 4.00
 5 0.0000 2.0000 2.00
 6 2.5000 2.0000
 7 4.5900 2.7500
 8 6.0000 2.7500
 9 0.0000 0.0000 0.00
 10 2.5000 0.0000 0.00
 11 4.0000 0.0000 0.00
 12 4.5900 1.4200 0.00
 13 6.0000 2.0000 0.00

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO

Ejemplo 6.4- Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales

DATOS DE LOS ELEMENTOS

 ELEM. J1 J2 JK MAT AREA F1 F2 F3 H1 H2 H3

 1 1 5 6 1 2.50
 2 1 6 2 1 2.50
 3 2 6 7 1 2.09
 4 2 7 3 1 1.31
 5 3 7 4 1 0.88
 6 4 7 8 1 0.88
 7 5 9 6 1 2.50
 8 6 9 10 1 2.50
 9 6 10 11 1 1.50
 10 6 11 12 1 1.66
 11 6 12 7 1 1.39
 12 7 12 13 1 0.94
 13 7 13 8 1 0.53

 * APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION *
 * DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO *

Ejemplo 6.4- Flujo Irrotacional de Fluidos Ideales

JUNTA VALOR DE LA VARIABLE

1	0.40000E+01
2	0.40000E+01
3	0.40000E+01
4	0.40000E+01
5	0.20000E+01
6	0.17414E+01
7	0.20392E+01
8	0.16728E+01
9	0.00000E+00
10	0.00000E+00
11	0.00000E+00
12	0.00000E+00
13	0.00000E+00

ELEMENTO	DERIVADA X	DERIVADA Y	INTEGRAL
1	-.10345E+00	0.10000E+01	0.64511E+01
2	0.00000E+00	0.11293E+01	0.81178E+01
3	-.26273E+00	0.11293E+01	0.54205E+01
4	0.00000E+00	0.15686E+01	0.43713E+01
5	0.00000E+00	0.15686E+01	0.29490E+01
6	-.25989E+00	0.18618E+01	0.22654E+01
7	-.10345E+00	0.10000E+01	0.31178E+01
8	0.00000E+00	0.87069E+00	0.14511E+01
9	0.00000E+00	0.87069E+00	0.87069E+00
10	-.74705E+00	0.31040E+00	0.96066E+00
11	-.40769E+00	0.15333E+01	0.17515E+01
12	-.63071E+00	0.15333E+01	0.43737E+00
13	-.25989E+00	0.22304E+01	0.65425E+00

VALOR DE LA INTEGRAL PARA TODO EL MEDIO = 39.61857

APENDICE 1

A.1 ANÁLISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS

Este apéndice tiene como objetivo presentar un repaso de ciertos conceptos de la Teoría de la Estructuras que son necesarios para la cabal comprensión del Capítulo 2. Además de introducir la notación que se utilizará en dicho Capítulo.

A.1.1 Definiciones de la Mecánica

Se definen como coordenadas generalizadas de un sistema al número de parámetros independientes, mínimo, que son necesarios para definir la configuración más general de ese sistema. (Se denotan con la letra q , y se organizan en el vector \underline{q}).

Se llaman desplazamientos virtuales a pequeñas variaciones arbitrarias de dichas coordenadas generalizadas.

El número de grados de libertad de un sistema es el número de desplazamientos virtuales independientes necesarios para describir la configuración más general posible de la variación de las coordenadas generalizadas del sistema.

Existen dos tipos de sistemas, los holónomos y los anholónomos. En los sistemas holónomos todas las coordenadas generalizadas tienen variaciones virtuales independientes. Para los sistemas anholónomos esto no se cumple.

Por lo tanto para un sistema holónimo podemos definir como grados de libertad al número de coordenadas generalizadas necesario para describir la configuración más general posible en un instante dado.

Todos los problemas de la Estática conducen a sistemas holónomos. Ciertos problemas de la Dinámica necesitan de sistemas

anhólonomos para ser resueltos.

Se tratarán aquí solamente los sistemas holónomos.

Ejemplo: El sistema de la Figura A.1.1(a) formado por una barra rígida posee un solo grado de libertad, en cambio el de la Figura A.1.1(b) formado por una barra deformable posee infinitos grados de libertad, ya que cada punto de la barra posee un grado de libertad.



Figura A.1.1

A.1.2 Definiciones de Teoría de las Estructuras

Para evitar las complicaciones a las que conllevaría el estudio de sistemas como el de la Figura A.1.1(b) formados por miembros deformables (por tener infinitos grados de libertad) en la Teoría de las Estructuras sólo se estudian los grados de libertad de las juntas; considerándose que un sistema está definido completamente si se conoce la configuración de sus juntas.

Se define ESTRUCTURA como: un sistema material, estable, formado por miembros conectados por juntas, ambos en un número arbitrario pero finito (se puede definir como junta cualquier punto de la estructura).

De lo anterior se concluye que el número de grados de libertad de una estructura siempre será un número finito.

A.1.3 Problema Real, Primario y Complementario

Sea una estructura cualquiera, como la de la Figura A.1.2, bajo un sistema general de cargas; ese será el Problema Real o Dado que se desea resolver, para ello se descompondrá en dos problemas, el Problema Primario y el Problema Complementario.

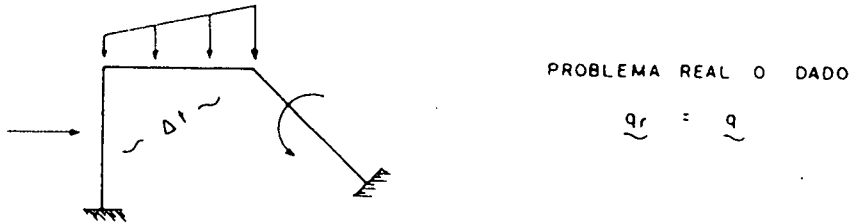


Figura A.1.2

En el Problema Primario y con la estructura bajo las cargas del Problema Real damos a las juntas un sistema de desplazamientos arbitrario y conocido (generalmente igual a cero, o sea el equivalente a restringir el movimiento de las juntas); ese sistema de desplazamientos y la condición del equilibrio generan unas cargas (o reacciones) en las juntas (Q_0 , ver Figura A.1.3(a)).

En el Problema Complementario se aplicarán dichas cargas en las juntas, pero con sentido contrario ($-Q_0$, ver Figura A.1.3(b)), de manera que la superposición del Problema Primario con el Complementario conduzcan al Problema Real.

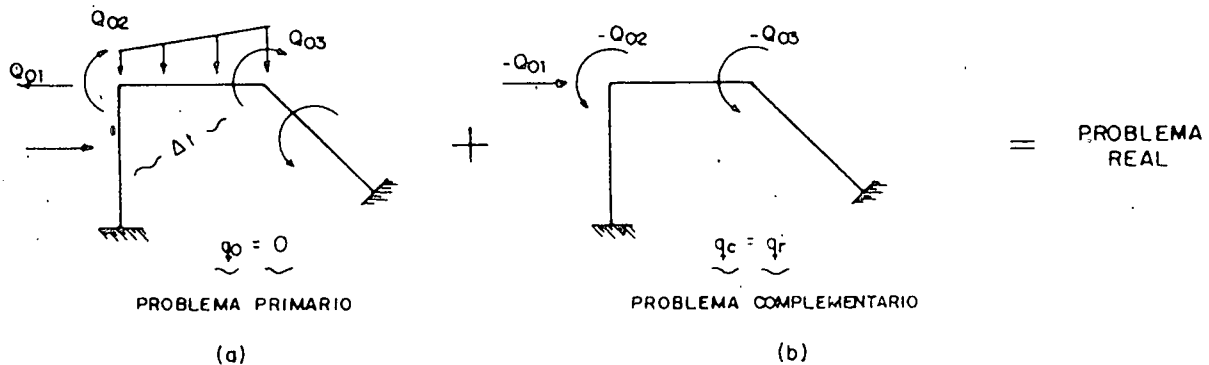


Figura A.1.3

La superposición del Problema Primario con el Complementario es válida si se supone el material elástico lineal y si las deformaciones son pequeñas. (Teoría de los desplazamientos infinitesimos).

Estas hipótesis conducen al modelo lineal.

El objetivo del Análisis Matricial es la resolución del Problema Complementario.

A.1.4 Sistema de Coordenadas

Las cargas aplicadas en las juntas y en la dirección de las coordenadas generalizadas se denominan cargas generalizadas, se denotan con la letra Q y se organizan, al igual que las coordenadas generalizadas, en un vector llamado vector Carga Generalizada (Vector \underline{Q}).

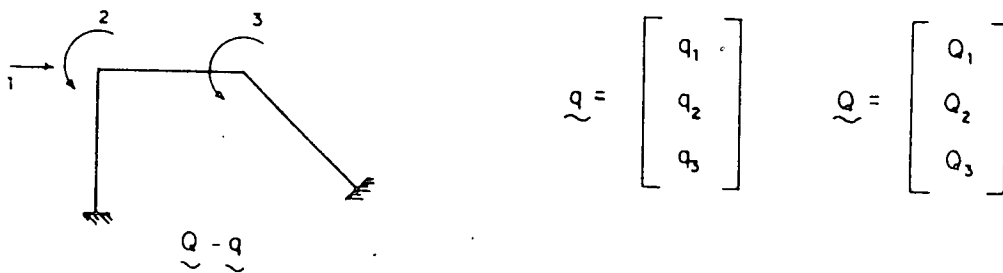


Figura A.1.4

En la Figura A.1.4 se muestra una estructura formada por miembros rectilíneos, axialmente rígidos, que posee 3 grados de libertad, indicándose la dirección elegida para los mismos y además indicándose la forma como se organizan las coordenadas generalizadas y las cargas generalizadas en forma de vector. Se acostumbra denominar a un sistema como el de la Figura A.1.4 Sistema $\underline{Q}-\underline{q}$.

A.1.5 Transformación de Coordenadas

La escogencia de las coordenadas es arbitraria, pudiendo estudiarse una misma estructura bajo dos sistemas de coordenadas distintos, es por ello necesario poder realizar una transformación entre dos sistemas de coordenadas. Sea la misma estructura de la Figura A.1.4, podemos definir dos sistemas de coordenadas (Figura A.1.5 (a) y (b)); las coordenadas del sistema $\underline{Q}-\underline{q}$ son independientes, mas las del sistema $\hat{\underline{Q}}-\hat{\underline{q}}$ no.

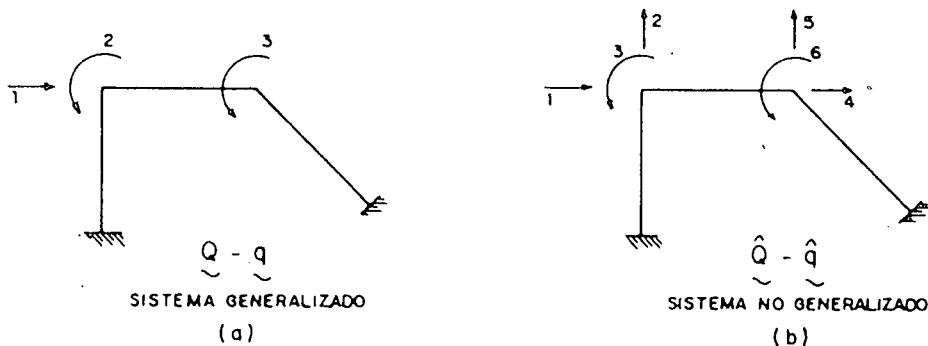


Figura A.1.5

La matriz \underline{T} permite realizar la siguiente transformación:

$$\hat{\underline{q}} = \underline{T} \underline{q}$$

o para un elemento de $\hat{\underline{q}}$:

$$\hat{q}_i = \sum_{j=1}^3 T_{ij} q_j \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, 6$$

donde el valor de T_{ij} es igual a \hat{q}_i cuando q_j vale uno para $k=j$ y q_k vale cero para $k \neq j$.

Las coordenadas del sistema $\underline{Q}-\underline{q}$ siempre deben ser independientes, pero las del sistema $\hat{\underline{Q}}-\hat{\underline{q}}$ no necesariamente.

Se puede demostrar que la transpuesta de \underline{T} hace la siguiente transformación:

$$\underline{Q} = \underline{T}^t \hat{\underline{Q}}$$

A.1.6 Matrices de Flexibilidad y Rigidez

Bajo el modelo lineal y siendo válido el principio de superposición, cualquier componente del desplazamiento q_i de un sistema de n grados de libertad se puede expresar como:

$$q_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} Q_j \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

donde F_{ij} es un coeficiente de influencia que da una medida discreta de la flexibilidad, siendo F_{ij} el desplazamiento según i cuando se aplica una fuerza unitaria según j . Por la ley de Maxwell $F_{ij} = F_{ji}$.

Expresando lo anterior en forma matricial:

$$\underline{q} = \underline{F} \underline{Q}$$

denominándose \underline{F} , matriz de flexibilidad de la estructura o matriz carga-desplazamiento (porque transforma las cargas en desplazamientos).

De igual manera se puede definir la matriz \underline{K} , matriz de rigidez de la estructura, como:

$$\underline{Q} = \underline{K} \underline{q}$$

y

$$Q_i = \sum_{j=1}^n K_{ij} q_j \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, n$$

siendo K_{ij} el valor de la carga que es necesaria aplicar según i para producir un desplazamiento unitario según j y nulo según las demás coordenadas.

Si se tienen dos sistemas de coordenadas de una estructura, $\underline{Q}-\underline{q}$ y $\underline{Q}^*-\underline{q}^*$, ambos independientes y se conocen las matrices de flexibilidad y rigidez en el sistema $\underline{Q}-\underline{q}$, \underline{F} y \underline{K} respectivamente,

y se tiene además que:

$$\underline{q}^* = \underline{T} \underline{q}$$

y

$$\underline{q} = \underline{T}_1 \underline{q}^*$$

se puede demostrar que las matrices \underline{F}^* y \underline{K}^* para el sistema $\underline{Q}^* - \underline{q}^*$ se pueden determinar como:

$$\underline{F}^* = \underline{T} \underline{F} \underline{T}^t$$

y

$$\underline{K}^* = \underline{T}_1^t \underline{K} \underline{T}_1$$

A.1.7 Sistema de Coordenadas del Miembro

De manera análoga como se definió para una estructura el sistema de coordenadas $\underline{Q} - \underline{q}$, para un miembro de la estructura se define el sistema $\underline{P} - \underline{p}$.

Este sistema $\underline{P} - \underline{p}$ se halla "inmovilizando" al miembro mediante vínculos colocados en las juntas, quedando así el miembro convertido en una estructura y para esa estructura elegimos el sistema de coordenadas, denominado sistema de coordenadas del miembro o sistema $\underline{P} - \underline{p}$. A diferencia del sistema $\underline{Q} - \underline{q}$, en el sistema $\underline{P} - \underline{p}$ del miembro se medirán deformaciones y no desplazamientos.

El sistema $\underline{P} - \underline{p}$ depende de como se haya inmovilizado el miembro. Se pueden escoger sistemas $\underline{P} - \underline{p}$ diferentes para los miembros de una misma estructura, pero esto no es lo usual si los miembros son similares.

También de manera análoga existen las matrices de rigidez y flexibilidad del miembro, \underline{k} y \underline{f} respectivamente, que realizan las siguientes transformaciones:

$$\begin{aligned} P &= k p \\ p &= f P \end{aligned} \quad (A.1.1)$$

Para dos sistemas de coordenadas de miembro $P-p$ y P^*-p^* (Figura A.1.6) se pueden definir las matrices de transformación T y T_1 , tal que:

$$\begin{aligned} p^* &= T p \\ p &= T_1 p^* \end{aligned}$$



Figura A.1.6

se puede demostrar entonces que :

$$\begin{aligned} P &= T^t P^* \\ P^* &= T_1^t P \\ f^* &= T f T^t \\ k^* &= T_1^t k T_1 \end{aligned}$$

y

A.1.8 Relaciones entre las coordenadas de la estructura y las coordenadas de los miembros

A.1.8.1 Matrix Carga-Fuerza

La matrix B relaciona las matrices P y Q de la siguiente manera:

$$P = B Q$$

por lo que se denomina matrix carga-fuerza.

Si la matriz \underline{B} se puede generar por estática únicamente (o por geometría únicamente) el sistema es estáticamente determinado, de lo contrario el sistema es estáticamente indeterminado.

Se puede demostrar que \underline{B}^t hace la siguiente transformación:

$$\underline{q} = \underline{B}^t \underline{p}$$

A.1.8.2 Matriz Desplazamiento-Deformación

La matriz \underline{A} relaciona las matrices \underline{p} y \underline{q} de la siguiente manera:

$$\underline{p} = \underline{A} \underline{q} \quad (\text{A.1.2})$$

por lo que se denomina matriz desplazamiento-deformación.

Si la matriz \underline{A} se puede generar por estática únicamente (o por geometría únicamente) el problema es cinemáticamente determinado, de lo contrario es cinemáticamente indeterminado.

Se puede demostrar que \underline{A}^t hace la siguiente transformación:

$$\underline{Q} = \underline{A}^t \underline{P} \quad (\text{A.1.3})$$

A.1.9 Proceso de Síntesis

A partir de las matrices de rigidez de los elementos se generará la matriz de rigidez de la estructura y con el vector carga, se determinan los desplazamientos de las juntas; por esto el método se llama el Método de los Desplazamientos.

Para un miembro de la estructura se tiene que:

$$\underline{P}_i = \underline{k}_i \underline{p}_i$$

Para toda la estructura podemos expresar lo anterior como:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & k_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & k_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_n \end{bmatrix}$$

o de manera abreviada

$$\underline{P} = \underline{k} \underline{p} \quad (\text{A.1.4})$$

en la Ecuación A.1.3 sustituimos \underline{P} por su expresión dada en la Ecuación A.1.4 y obtenemos:

$$\underline{Q} = \underline{A}^t \underline{k} \underline{p}$$

y sustituyendo \underline{p} por la Ecuación A.1.2:

$$\underline{Q} = \underline{A}^t \underline{k} \underline{A} \underline{q}$$

y como $\underline{Q} = \underline{K} \underline{q}$ siendo \underline{Q} arbitrario, entonces:

$$\underline{K} = \underline{A}^t \underline{k} \underline{A} \quad (\text{A.1.5})$$

Se puede hallar entonces la matriz de rigidez de la estructura a partir de las matrices de rigidez de los elementos mediante la transformación de coordenadas que realiza la matriz \underline{A} .

La Ecuación A.1.5 también se puede expresar como una sumatoria de la siguiente manera:

si n es el número de miembros, se puede expresar \underline{A} como compuesta por sub-matrices:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} \underline{A}_1 \\ \underline{A}_2 \\ \vdots \\ \underline{A}_n \end{bmatrix}$$

y entonces :

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} \underline{A}_1^t & \underline{A}_2^t & \dots & \underline{A}_n^t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{k}_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \underline{k}_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \underline{k}_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}_1 \\ \underline{A}_2 \\ \vdots \\ \underline{A}_n \end{bmatrix}$$

luego

$$\underline{K} = \sum_{i=1}^n \underline{A}_i^t \underline{k}_i \underline{A}_i$$

si se define la matriz $\hat{\underline{k}}_i$ de miembro en la cual las coordenadas del miembro coinciden con las de la estructura entonces:

$$\hat{\underline{k}}_i = \underline{A}_i^t \underline{k}_i \underline{A}_i$$

y la matriz de rigidez de la estructura se expresa como:

$$\underline{K} = \sum_{i=1}^n \hat{\underline{k}}_i$$

A.1.10 Método de los Desplazamientos

El procedimiento a seguir será :

- 1) Se define el sistema $\underline{Q}-\underline{q}$ de la estructura.
- 2) Se definen los sistemas $\underline{P}-\underline{p}$ de los miembros.
- 3) A partir de la matriz de rigidez de los elementos se halla la matriz de rigidez de la estructura.

Y para cada uno de los casos de carga de la estructura :

- 4) Se hallan las cargas-primarias o cargas de empotramiento a partir del Problema Primario
- 5) Se cambian de signo las cargas primarias y se obtiene el vector carga generalizada que se empleará en el Problema Complementario (vector \underline{Q}).
- 6) Con la relación $\underline{Q} = \underline{K} \underline{q}$ se hallan los desplazamientos de las juntas (vector \underline{q})
- 7) A partir de los desplazamientos de las juntas se pueden hallar las fuerzas en los extremos de los miembros con las expresiones :

$$\underline{p} = \underline{A} \underline{q}$$

$$\underline{P} = \underline{k} \underline{p}$$

y se puede determinar cualquier valor de interés superponiendo el problema primario con el complementario.

APENDICE 2

A.2 TEORIA DE LA ELASTICIDAD LINEAL

El estudio de los fenómenos que ocurren en un cuerpo elástico sollicitado por un sistema general de fuerzas externas conduce al establecimiento de 3 tipos de ecuaciones :

- Las Ecuaciones de Equilibrio
- Las Ecuaciones Geométricas y
- Las Ecuaciones Constitutivas

A.2.1 Las Ecuaciones de Equilibrio

El estado de tensión en un punto de un cuerpo elástico tridimensional, sobre el cual actúa un sistema de cargas general, puede representarse por 9 cantidades en el denominado TENSOR TENSION o TENSOR de TENSIONES.

De esas 9 cantidades, 3 representan tensiones normales y las 6 restantes tensiones cortantes.

Gráficamente podemos representar dicho estado de tensión en un punto P, tomando un paralelepípedo elemental que tiende al punto P cuando hacemos sus dimensiones cercanas a cero. (Ver Figura A.2.1) .

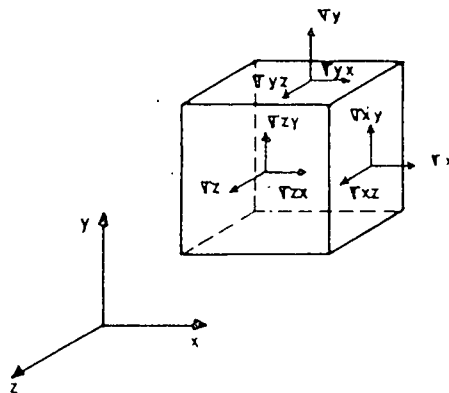


Figura A.2.1

En el paralelepípedo de la Figura A.2.1 se deben cumplir las seis ecuaciones de equilibrio de la estática; aplicando las 3

ecuaciones de sumatoria de momento alrededor de los tres ejes coordenados igual a cero se llega a la conclusión de que :

$$\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$$

$$\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$$

por lo que en realidad sólo se necesitan seis cantidades para describir el estado de tensión en un punto; en el análisis matricial de estructuras estas seis cantidades se ordenan en forma de una matriz columna y se denomina vector tensión, $\underline{\sigma}$:

$$\underline{\sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} \quad (A.2.1)$$

la aplicación de las 3 ecuaciones de sumatoria de fuerzas en las direcciones de los ejes coordenados igual a cero conduce a las siguientes expresiones :

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X_x = 0 \quad (A.2.2)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + X_y = 0 \quad (A.2.3)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + X_z = 0 \quad (A.2.4)$$

donde X_x , X_y y X_z representan las fuerzas por unidad de volumen que actúan sobre el paralelepípedo según los ejes x, y, z respectivamente.

Estas tres ecuaciones diferenciales de equilibrio se denominan ecuaciones de Navier y contienen seis incógnitas que son funciones de posición (las 6 componentes del vector tensión); debido a que el número de incógnitas es mayor que el de ecuaciones se concluye que el problema de la teoría de la elasticidad es estáticamente indeterminado.

La aplicación de las ecuaciones de equilibrio a todo el cuerpo conduce a las siguientes expresiones:

$$\int_S T_x dS + \int_V X_x dV + \sum P_x = 0 \quad (\text{A.2.5})$$

$$\int_S T_y dS + \int_V X_y dV + \sum P_y = 0 \quad (\text{A.2.6})$$

$$\int_S T_z dS + \int_V X_z dV + \sum P_z = 0 \quad (\text{A.2.7})$$

$$\int_S (T_z \cdot y - T_y \cdot z) dS + \int_V (X_z \cdot y - X_y \cdot z) dV + \sum M_x = 0 \quad (\text{A.2.8})$$

$$\int_S (T_x \cdot z - T_z \cdot x) dS + \int_V (X_x \cdot z - X_z \cdot x) dV + \sum M_y = 0 \quad (\text{A.2.9})$$

$$\int_S (T_y \cdot x - T_x \cdot y) dS + \int_V (X_y \cdot x - X_x \cdot y) dV + \sum M_z = 0 \quad (\text{A.2.10})$$

donde T_x , T_y y T_z representan las fuerzas de superficie que actúan sobre el cuerpo según los ejes x, y, z respectivamente; X_x , X_y y X_z representan las fuerzas por unidad de volumen que actúan sobre el cuerpo según los ejes x, y, z ; P_x , P_y y P_z las cargas concentradas según los ejes x, y, z ; y M_x , M_y y M_z los pares concentrados según los ejes x, y, z . (Todas las cargas anteriores ya incluyen las reacciones, que se consideran como unas cargas externas, pero de magnitud desconocida a priori).

A.2.2 Las Ecuaciones Geométricas.

En el Aparte A.2.1 se ha estudiado el estado de tensión en un punto de un cuerpo sometido a un sistema de cargas general; consideremos ahora un punto P de ese mismo cuerpo, antes y después de ser sometido al sistema de cargas, evidentemente se habrá desplazado, siendo P' su posición final (Ver Figura A.2.2):

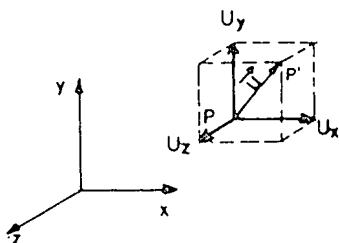


Figura A.2.2

u_x , u_y y u_z son las componentes del desplazamiento del punto P en las direcciones de los ejes coordenados x, y, z respectivamente (y son funciones de posición, ya que dependen de las coordenadas del punto considerado).

Para hallar las deformaciones a partir de los desplazamientos, estudiemos un paralelepípedo de dimensiones Δx , Δy , Δz ; ver la Figura A.2.3 :

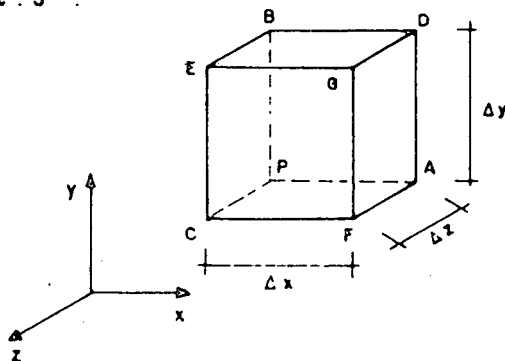


Figura A.2.3

Veamos como se deforma dicho paralelepípedo; para ello estudiaremos lo que ocurre en la cara PADB. (Ver Figura A.2.4)

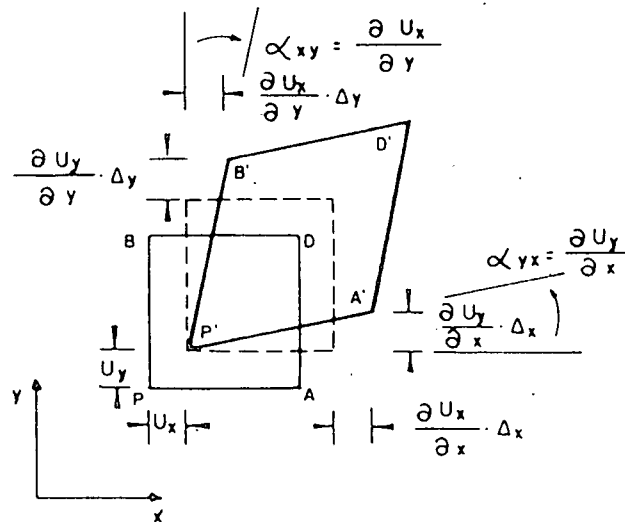


Figura A. 2. 4

El punto P se desplaza en el plano xy (con componentes u_x y u_y del desplazamiento; la componente u_z del desplazamiento no se muestra en la Figura A. 2. 4)

Las longitudes iniciales de las aristas eran :

$$|\overline{PA}| = \Delta x$$

$$|\overline{PB}| = \Delta y$$

Luego de la deformación el cambio de longitud en el segmento PA será :

$$|\overline{P'A'}| - |\overline{PA}| = \Delta(\Delta x)$$

Se denomina deformación longitudinal o extensión unitaria en la dirección x, a la componente :

$$\epsilon_x = \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} \quad (\text{A. 2. 11})$$

similarmente:

$$\epsilon_y = \frac{\Delta(\Delta y)}{\Delta y}$$

se denomina deformación transversal angular o cortante a la componente :

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} (\alpha_{xy} + \alpha_{yx}) \quad (\text{A. 2. 12})$$

v representa la mitad de la disminución del ángulo recto que formaban originalmente dos elementos de direcciones y sentidos originales según los ejes x e y.

Bajo la hipótesis de los desplazamientos pequeños se obtiene que:

$$\Delta (\Delta x) = |\overline{P'A'}| - |\overline{PA}| = \Delta x + \frac{\partial u_x}{\partial x} \Delta x - \Delta x = \frac{\partial u_x}{\partial x} \Delta x \quad (\text{A. 2. 13})$$

$$\alpha_{yx} \approx \lg \alpha_{yx} \approx \frac{\frac{\partial u_y}{\partial x} \Delta x}{\Delta x + \frac{\partial u_x}{\partial x} \Delta x} = \frac{\frac{\partial u_y}{\partial x}}{1 + \frac{\partial u_x}{\partial x}} \quad (\text{A. 2. 14})$$

debido a la hipótesis de deformaciones pequeñas la Ecuación A.2.14 queda :

$$\alpha_{yx} = \frac{\partial u_y}{\partial x} \quad (\text{A. 2. 15})$$

similarmente

$$\alpha_{xy} = \frac{\partial u_x}{\partial y} \quad (\text{A. 2. 16})$$

sustituyendo la Ecuación A.2.13 en la Ecuación A.2.11 se obtiene:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x} \quad (\text{A. 2. 17})$$

igualmente sustituyendo las Ecuaciones A.2.15 y A.2.16 en la Ecuación A.2.12 se obtiene :

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) \quad (\text{A. 2. 18})$$

análogamente se obtiene :

$$\varepsilon_y = \frac{\partial u_y}{\partial y} \quad (\text{A. 2. 19})$$

$$\epsilon_{yz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_y}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial y} \right) \quad (\text{A. 2. 20})$$

$$\epsilon_z = \frac{\partial u_z}{\partial z} \quad (\text{A. 2. 21})$$

$$\epsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right) \quad (\text{A. 2. 22})$$

Derivando las Ecuaciones A.2.17 y A.2.19 dos veces y sumándolas miembro a miembro se obtiene :

$$\frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial x^2} = 2 \frac{\partial^2 \epsilon_{xy}}{\partial y \partial x} \quad (\text{A. 2. 23})$$

de igual manera a partir de las Ecuaciones A.2.19 y A.2.21 y a partir de las Ecuaciones A.2.17 y A.2.21 se obtienen respectivamente :

$$\frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial y^2} = 2 \frac{\partial^2 \epsilon_{yz}}{\partial z \partial y} \quad (\text{A. 2. 24})$$

$$\frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial z^2} = 2 \frac{\partial^2 \epsilon_{zx}}{\partial x \partial z} \quad (\text{A. 2. 25})$$

Se pueden obtener también las siguientes expresiones a partir de las Ecuaciones A.2.18 , A.2.20 y A.2.22 :

$$\frac{\partial^2 \epsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(- \frac{\partial \epsilon_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \epsilon_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial z} \right) \quad (\text{A. 2. 26})$$

$$\frac{\partial^2 \epsilon_y}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(- \frac{\partial \epsilon_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \epsilon_{yz}}{\partial x} \right) \quad (\text{A. 2. 27})$$

$$\frac{\partial^2 \epsilon_z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(- \frac{\partial \epsilon_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \epsilon_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \epsilon_{zx}}{\partial y} \right) \quad (\text{A. 2. 28})$$

Las Ecuaciones A.2.23 a A.2.28 son las llamadas ecuaciones de compatibilidad y fueron deducidas por Saint-Venant.

En el análisis matricial de estructuras se define :

$$\vartheta_{xy} = 2 \epsilon_{xy}$$

$$\vartheta_{yz} = 2 \epsilon_{yz}$$

$$\vartheta_{zx} = 2 \epsilon_{zx}$$

y se denomina VECTOR DEFORMACION UNITARIA $\underline{\epsilon}$ a la siguiente matriz columna :

$$\underline{\epsilon} = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \vartheta_{xy} \\ \vartheta_{yz} \\ \vartheta_{zx} \end{bmatrix}$$

Si las tres componentes del desplazamiento $\underline{u}(x)$ se organizan en forma de vector se tiene el VECTOR DESPLAZAMIENTO, que viene dado por la matriz columna :

$$\underline{u}(x) = \begin{bmatrix} u_x(x) \\ u_y(x) \\ u_z(x) \end{bmatrix} \quad (\text{A. 2. 29})$$

Las Ecuaciones A. 2. 17 a A. 2. 22 (deducidas por Cauchy, y denominadas ecuaciones de cinemática de la deformación) se pueden expresar ahora como:

$$\begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \vartheta_{xy} \\ \vartheta_{yz} \\ \vartheta_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x(x) \\ u_y(x) \\ u_z(x) \end{bmatrix}$$

o en forma simplificada :

$$\underline{\varepsilon} = \underline{\nabla} \underline{u}(x) \quad (\text{A.2.30})$$

donde la matriz $\underline{\nabla}$ representa al operador diferencial :

$$\underline{\nabla} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial z} & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial z} & 0 & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (\text{A.2.31})$$

A.2.3 Las Ecuaciones Constitutivas

La Teoría de la Elasticidad Lineal establece para un material isotropo las siguientes relaciones esfuerzo-deformación:

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)} \left[(1-\mu) \varepsilon_x + \mu \varepsilon_y + \mu \varepsilon_z \right] \quad (\text{A.2.32})$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)} \left[\mu \varepsilon_x + (1-\mu) \varepsilon_y + \mu \varepsilon_z \right] \quad (\text{A.2.33})$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu)} \left[\mu \varepsilon_x + \mu \varepsilon_y + (1-\mu) \varepsilon_z \right] \quad (\text{A.2.34})$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\mu)} \delta_{xy} \quad (\text{A.2.35})$$

$$\tau_{yz} = \frac{E}{2(1+\mu)} \delta_{yz} \quad (\text{A.2.36})$$

$$\tau_{zx} = \frac{E}{2(1+\mu)} \delta_{zx} \quad (\text{A.2.37})$$

siendo E el Módulo de Elasticidad Longitudinal del material, μ la Relación de Poisson; σ_x , σ_y , σ_z las tensiones normales según los ejes x, y, z respectivamente; τ_{xy} , τ_{yz} y τ_{zx} las tensiones cortantes contenidas en los planos xy , yz , zx respectivamente; ε_x , ε_y , ε_z las deformaciones longitudinales según los ejes x, y, z y finalmente δ_{xy} , δ_{yz} , δ_{zx} las deformaciones transversales contenidas en los planos xy , yz , zx

respectivamente.

Las Ecuaciones A.2.32 a la A.2.37 son las denominadas ecuaciones constitutivas y en el análisis matricial de estructuras se expresan como :

$$\underline{\underline{V}} = \underline{\underline{X}} \underline{\underline{\epsilon}} \quad (\text{A.2.38})$$

donde $\underline{\underline{X}}$:

$$\underline{\underline{X}} = \frac{E}{1+\mu} \begin{bmatrix} \frac{1-\mu}{1-2\mu} & \frac{\mu}{1-2\mu} & \frac{\mu}{1-2\mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\mu}{1-2\mu} & \frac{1-\mu}{1-2\mu} & \frac{\mu}{1-2\mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\mu}{1-2\mu} & \frac{\mu}{1-2\mu} & \frac{1-\mu}{1-2\mu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

siendo $\underline{\underline{V}}$ el Vector Tensión, $\underline{\underline{\epsilon}}$ el Vector Deformación y $\underline{\underline{X}}$ la matriz de rigidez del material.

El vector deformación total, $\underline{\underline{\epsilon}}_t$, viene dado por la siguiente expresión :

$$\underline{\underline{\epsilon}}_t = \underline{\underline{\epsilon}} + \underline{\underline{\epsilon}}_{\Delta t} + \underline{\underline{\epsilon}}_I \quad (\text{A.2.39})$$

donde $\underline{\underline{\epsilon}}$ es el vector deformación dado en la Ecuación A.2.38 y representa las deformaciones elásticas producidas por un sistema de cargas externas general, $\underline{\underline{\epsilon}}_{\Delta t}$ son deformaciones térmicas y $\underline{\underline{\epsilon}}_I$ son deformaciones iniciales.

Si agrupamos $\underline{\underline{\epsilon}}_{\Delta t}$ y $\underline{\underline{\epsilon}}_I$ en un vector $\underline{\underline{\epsilon}}_0$ tal que

$$\underline{\underline{\epsilon}}_0 = \underline{\underline{\epsilon}}_{\Delta t} + \underline{\underline{\epsilon}}_I \quad (\text{A.2.40})$$

De las Ecuaciones A.2.38, A.2.39 y A.2.40 se obtiene:

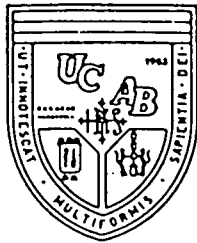
$$\underline{\underline{V}} = \underline{\underline{X}} (\underline{\underline{\epsilon}}_t - \underline{\underline{\epsilon}}_0) \quad (\text{A.2.41})$$

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 - ZIENKIEWICZ, O. C. "EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS".
Editorial Revertè . 1980 .
- 2 - HUEBNER, Kenneth H. & THORNTON, Earl A. "THE FINITE
ELEMENT METHOD FOR ENGINEERS". Second Edition . John Wiley
& Sons. 1982 .
- 3 - BATHE, Klaus J. & WILSON, Edward L. "NUMERICAL METHODS IN
FINITE ELEMENT ANALYSIS". Prentice-Hall . 1976 .
- 4 - DESAI, Chandrakant S. "ELEMENTARY FINITE ELEMENT METHOD"
Prentice-Hall . 1979 .
- 5 - BREBBIA, C. A. & FERRANTE A. J. "COMPUTATIONAL METHODS FOR
THE SOLUTION OF ENGINEERING PROBLEMS". Pentech Press.
- 6 - CHEUNG, Y. K. & YEO, M. F. "A PRACTICAL INTRODUCTION TO
FINITE ELEMENT ANALYSIS". Pitman . 1979 .
- 7 - FENNER, Roger T. "FINITE ELEMENT METHOD FOR ENGINEERS"
Mc Millan . 1975 .
- 8 - RAO, S. S. "THE FINITE ELEMENT METHOD IN ENGINEERING".
Pergamon Press . 1982 .
- 9 - MARIN, Joaquín . "ANALISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS"
Apuntes de las clases de los Profesores Celso Fortoul y
Simón Lamar. U.C.V. . Facultad de Ingeniería . Depto. de
Ingeniería Estructural . 1968 .
- 10- FORTOUL, Celso . "LAS ECUACIONES BASICAS DE LA TEORIA
LINEAL DE LA ELASTICIDAD". Notas no publicadas .
- 11- LAFUENTE, Marianela CERROLAZA, Miguel. "ECUACION DE CAMPO
GENERALIZADA Y ELASTICIDAD BIDIMENSIONAL POR EL METODO DE
LOS ELEMENTOS FINITOS". Tesis de Grado UCV . 1979 .



TESIS
AKF
1985
ANEXO



UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

APLICACION DEL METODO DE
LOS ELEMENTOS FINITOS

ANEXOS

REALIZADO POR

PROFESOR GUIA

FECHA

JUAN F. ANDRADE DIAZ
NELSON A. KOEN COHEN

CELSO FORTOUL P.

ENERO 1985

INDICE

ANEXOS

1	Listado de Programas de Aplicación a la Elasticidad Lineal.....	1
2	Listado de Programas de Aplicación al Medio Continuo.....	79

1 Listado de Programas de Aplicación
a la Elasticidad Lineal

```

10 REM-- EFM01.BAS
20 REM--
30 REM-- MENU PRINCIPAL DE PROGRAMAS
40 REM-- DE APLICACION DEL METODO DE
50 REM-- LOS ELEMENTOS FINITOS A LA
60 REM-- SOLUCION DE PROBLEMAS PLANOS
70 REM-- DE LA ELASTICIDAD LINEAL
80 REM--
90 REM-- ULTIMA MODIFICACION 04-SEP-84
100 REM--
110 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
120 COMMON NJ,NH,MMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
130 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
140 COMMON EG$( ),UG( ),AT( ),PES( ),EE1( ),EE2( ),EE3( )
150 COMMON S( )
160 IF NOM$="" THEN DIM EG$(10),UG(10),AT(10),PES(10),EE1(10),EE2(10),EE3(10),B
IMP(10),S(1000)
170 IF NOM$("<")="" THEN 870
180 REM--
190 REM-- INICIALIZACION DE VALORES
200 REM--
210 TITULO$=" "
220 NJ=0
230 NH=0
240 MMT=0
250 NMR=0
260 LO=0
270 JO=0
280 MAT=0
290 NCAS=0
300 NPAG=0
310 MBAN=0
320 IDE=0
330 IVR=0
340 IDE=0
350 NHIP=0
360 FOR I=1 TO 10
370 EG$(I)=0
380 PES(I)=0
390 UG(I)=0
400 AT(I)=0
410 EE1(I)=0
420 EE2(I)=0
430 EE3(I)=0
440 BIMP(I)=0
450 NEXT I
460 GOSUB 1100
470 REM--
480 REM-- INGRESO DE PARAMETROS
490 REM--
500 PRINT " PARAMETROS GENERALES"
510 PRINT " ===== "
520 PRINT " "
530 PRINT " NOMBRE DE LA MALLA "
540 PRINT " ( 4 LETRAS ) ";
550 INPUT NOM$
560 IF LEN(NOM$)>4 THEN 530
570 PRINT " NOMBRE DE LA ESTRUCTURA "
580 PRINT " ( 50 LETRAS ) ";
590 INPUT TITULO$

```

```

600 IF LEN(TITULO$)>50 THEN 570
610 PRINT " DISCO DE DATOS (A/";
620 INVERSE
630 PRINT "B";
640 NORMAL
650 PRINT ") ";
660 INPUT DRIVE$
670 IF DRIVE$(">"B" AND DRIVE$(">"A" AND DRIVE$(">" THEN 610
680 IF DRIVE$="" THEN DRIVE$="B"
690 DRIVE$=DRIVE$+";"
700 PRINT " DISCO DE PROGR. (";
710 INVERSE
720 PRINT "A";
730 NORMAL
740 PRINT "/B) ";
750 INPUT DRIVEP$
760 IF DRIVEP$(">"B" AND DRIVEP$(">"A" AND DRIVEP$(">" THEN 700
770 IF DRIVEP$="" THEN DRIVEP$="A"
780 DRIVEP$=DRIVEP$+";"
790 PRINT " SALTOS DE PAGINA (S/";
800 INVERSE
810 PRINT "N";
820 NORMAL
830 PRINT ") ";
840 INPUT SP$
850 IF SP$(">"S" AND SP$(">"N" AND SP$(">" THEN 790
860 IF SP$="N" OR SP$="" THEN BIMP(1)=1
870 GOSUB 1100
880 REM--
890 REM-- OPCIONES DEL MENU PRINCIPAL
900 REM--
910 PRINT "      MENU PRINCIPAL (HALLA=";NOM$;")"
920 PRINT "      ==== ===== "
930 PRINT " "
940 PRINT " (1) MENU DE DATOS GEOMETRICOS"
950 PRINT " "
960 PRINT " (2) MENU DE CARGAS "
970 PRINT " "
980 PRINT " (3) CALCULO DE LA ESTRUCTURA "
990 PRINT " "
1000 PRINT " (4) MODIFICAR PARAMETROS"
1010 PRINT " "
1020 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
1030 INPUT NUM
1040 IF NUM<1 OR NUM>4 THEN 1020
1050 ON NUM GOTO 1060,1070,1080,460
1060 CHAIN DRIVEP$+"EFM02.BAS"
1070 CHAIN DRIVEP$+"EFM03.BAS"
1080 CHAIN DRIVEP$+"EFM04.BAS"
1090 END
1100 HOME
1110 PRINT " METODO ELEMENTOS FINITOS "
1120 PRINT " ===== ===== ===== "
1130 PRINT " "
1140 RETURN

```

```

10 REM-- EFM02.BAS
20 REM--
30 REM-- MENU DE PROGRAMAS DE
40 REM-- INGRESO DE DATOS
50 REM-- GEOMETRICOS DE LA ESTRUCTURA
60 REM--
70 REM-- ULTIMA MODIFICACION 04-SEP-84
80 REM--
90 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVE$
100 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
110 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
120 COMMON EGO(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
130 COMMON S()
140 HOME
150 PRINT " MENU DE DATOS GEOMETRICOS (MALLA=";NOM$;" )"
160 PRINT " ====="
170 PRINT " "
180 PRINT " (1) INGRESO MATERIALES Y TIPO PROBLEMA"
190 PRINT " "
200 PRINT " (2) INGRESO DE GEOMETRIA MANUALMENTE"
210 PRINT " "
220 PRINT " (3) INGRESO GEOM. AUTOMATICO (C.CART)"
230 PRINT " "
240 PRINT " (4) INGRESO GEOM. AUTOMATICO (C.POLAR)"
250 PRINT " "
260 PRINT " (5) MODIFICACION DE DATOS GEOMETRICOS "
270 PRINT " "
280 PRINT " (6) INGRESO DE RESTRICC. DE LAS JUNTAS"
290 PRINT " "
300 PRINT " (7) GRAFICACION DE LA MALLA Y "
310 PRINT " "
320 PRINT " LISTADO DE NODOS Y/O ELEMENTOS"
330 PRINT " "
340 PRINT " (8) GENERA PROPIED. ELEMENTOS Y LISTA "
350 PRINT " "
360 PRINT " (9) REGRESA AL MENU ANTERIOR"
370 PRINT " "
380 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO";
390 INPUT NUM
400 IF NUM<1 OR NUM>9 THEN 380
410 ON NUM GOTO 420,430,440,450,460,470,480,490,500
420 CHAIN DRIVE$+"EFID01.BAS"
430 CHAIN DRIVE$+"EFID02.BAS"
440 CHAIN DRIVE$+"EFID03.BAS"
450 CHAIN DRIVE$+"EFID04.BAS"
460 CHAIN DRIVE$+"EFID05.BAS"
470 CHAIN DRIVE$+"EFID06.BAS"
480 CHAIN DRIVE$+"EFID07.BAS"
490 CHAIN DRIVE$+"EFID08.BAS"
500 CHAIN DRIVE$+"EFM01.BAS"

```

```
10 REM-- EFM03.BAS
20 REM--
30 REM-- MENU DE PROGRAMAS DE
40 REM-- INGRESO DE CARGAS DE LA
50 REM-- ESTRUCTURA
60 REM--
70 REM-- ULTIMA MODIFICACION 15-AGO-84
80 REM--
90 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
100 COMMON NJ,NH,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
110 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
120 COMMON EG#(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
130 COMMON S()
140 HOME
150 PRINT "      MENU DE CARGAS (MALLA=":NOM$:")"
160 PRINT "      ==== == ====="
170 PRINT " "
180 PRINT " "
190 PRINT" (1) INGRESO DE LAS CARGAS"
200 PRINT" "
210 PRINT" (2) MODIFICAR LAS CARGAS"
220 PRINT" "
230 PRINT" (3) LISTADO DE CARGAS "
240 PRINT" "
250 PRINT" (4) REGRESAR AL MENU PRINCIPAL"
260 PRINT " "
270 PRINT" INGRESE EL NUMERO DESEADO  "":
280 INPUT NUM$
290 NUM=VAL(NUM$)
300 IF NUM<1 OR NUM>4 THEN 260
310 ON NUM GOTO 320,330,340,350
320 CHAIN DRIVEP$+"EFIC01.BAS"
330 CHAIN DRIVEP$+"EFIC02.BAS"
340 CHAIN DRIVEP$+"EFIC03.BAS"
350 CHAIN DRIVEP$+"EFM01.BAS"
```

```

10 REM-- EFM04.BAS
20 REM--
30 REM-- MENU DE PROGRAMAS PARA EL
40 REM-- CALCULO DE LA ESTRUCTURA
50 REM--
60 REM-- ULTIMA MODIFICACION 19-AGO-84
70 REM--
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVE$
90 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG#(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
120 COMMON S()
130 HOME
140 PRINT " CALCULO DE LA ESTRUCTURA (MALLA=";NOM$;" )"
150 PRINT " ===== "
160 PRINT " "
170 PRINT " (1) GENERAR MATRIZ DE RIGIDEZ"
180 PRINT " "
190 PRINT " (2) CALCULO DEL VECTOR CARGA E "
200 PRINT " "
210 PRINT " IMPRESION DE CARGAS "
220 PRINT " "
230 PRINT " (3) DESPLAZAMIENTOS DE LAS JUNTAS "
240 PRINT " "
250 PRINT " (4) TENSIONES EN LOS ELEMENTOS "
260 PRINT " "
270 PRINT " CARGAS O REACCIONES EN LAS JUNTAS"
280 PRINT " "
290 PRINT " (5) REGRESA AL MENU ANTERIOR "
300 PRINT " "
310 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
320 INPUT NUM
330 IF NUM<1 OR NUM >5 THEN 310
340 ON NUM GOTO 350,360,370,380,390
350 CHAIN DRIVEP$+"EFCE01.BAS"
360 CHAIN DRIVEP$+"EFCE02.BAS"
370 CHAIN DRIVEP$+"EFCE03.BAS"
380 CHAIN DRIVEP$+"EFCE04.BAS"
390 CHAIN DRIVEP$+"EFM01.BAS"

```

```

10 REM-- EFID01.BAS
20 REM--
30 REM-- INGRESO DE MATERIALES Y
40 REM-- DE TIPO DE PROBLEMAS
50 REM--
60 REM-- ULTIMA MODIFICACION 14-AGO-84
70 REM--
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NH,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG$( ),UG( ),AT( ),PES( ),EE1( ),EE2( ),EE3( )
120 COMMON S( )
130 GOSUB 650
140 REM
150 REM INGRESO DEL TIPO DE PROBLEMA
160 REM
170 PRINT " EL PROBLEMA ES : "
180 PRINT " "
190 PRINT " (1) TENSION PLANA"
200 PRINT " "
210 PRINT " (2) DEFORM. PLANA"
220 PRINT " "
230 PRINT " INGRESE EL NUMERO DEL PROBLEMA ";
240 INPUT IDE
250 IF IDE<>1 AND IDE<>2 THEN 230
260 GOSUB 650
270 REM
280 REM INGRESO DE MATERIALES
290 REM
300 PRINT " NUMERO DE MATERIALES ";
310 INPUT MAT
320 FOR I=1 TO MAT
330 PRINT " "
340 PRINT " MODULO DE ELAST. MAT. ";I;" ";
350 INPUT EG$(I)
360 PRINT " RELAC. DE POISSON MAT ";I;" ";
370 INPUT UG(I)
380 PRINT " COEF. TERMICO MAT ";I;" ";
390 INPUT AT(I)
400 PRINT " PESO MAT ";I;" ";
410 INPUT PES(I)
420 NEXT I
430 FOR I=1 TO MAT
440 EE1(I)=1
450 IF IDE=2 THEN EE1(I)=EE1(I)-UG(I)
460 EE2(I)=EE1(I)-UG(I)
470 EE3(I)=EE2(I)/2
480 NEXT I
490 OPEN "R",01,DRIVE$+NOM$+"MA.DAT"
500 FIELD#1,16 AS E$,8 AS U$,8 AS A$,8 AS P$
510 LSET E$=MKD$(0)
520 LSET U$=MKS$(IDE)
530 LSET A$=MKS$(MAT)
540 LSET P$=MKS$(0)
550 PUT#1,1
560 FOR I=1 TO MAT
570 LSET E$=MKD$(EG$(I))
580 LSET U$=MKS$(UG(I))
590 LSET A$=MKS$(AT(I))

```

```
600 LSET P%=MKS$(PES(I))
610 PUT#1,I+1
620 NEXT I
630 CLOSE#1
640 CHAIN DRIVEP%+"EFM02.BAS"
650 HOME
660 PRINT " INGRESO MATERIALES Y TIPO PROBLEMA"
670 PRINT " ===== "
680 PRINT " "
690 RETURN
```

```

10 REM -- EFID02.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA LA GENERACION
30 REM --      MANUAL
40 REM --      DÉ UNA MALLA
50 REM --
60 REM -- ULTIMA MODIF 14-AGO-84
70 REM --
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LD,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHJP
110 COMMON EG0(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
120 COMMON S()
130 DIM XNODO(200),YNODO(200)
140 REM
150 REM -- ESTE PROGRAMA GENERA UNA MALLA CON
160 REM -- ELEMENTOS RECTILINEOS, TRIANGULARES O AMBOS.
170 REM
180 HOME
190 PRINT "  GENERACION MANUAL DE UNA MALLA "
200 PRINT "  =====  =====  ==  ==  =====  "
210 PRINT
220 PRINT
230 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
240 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
   AS LO1$,5 AS JO1$
250 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
260 FIELD#2,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS
   XIJ$,8 AS XIX$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EX0$,8 AS EY0$,
   8 AS EXY0$
270 INPUT "NUMERO DE NODOS      ":NODOX
280 PRINT
290 INPUT "NUMERO DE ELEMENTOS ":NEZ
300 AUX=0
310 LSET XNOD$=MKI$(NODOX)
320 LSET YNOD$=MKI$(AUX)
330 LSET NJR1$=MKI$(AUX)
340 LSET NJR2$=MKI$(AUX)
350 LSET RK1$=MKD$(AUX)
360 LSET RK2$=MKD$(AUX)
370 LSET LO1$=MKI$(AUX)
380 LSET JO1$=MKI$(AUX)
390 PUT#1,1
400 LSET NOD1$=MKI$(NEZ)
410 LSET NOD2$=MKI$(AUX)
420 LSET NOD3$=MKI$(AUX)
430 LSET T$=MKS$(AUX)
440 LSET MAT$=MKI$(AUX)
450 LSET AR$=MKS$(AUX)
460 LSET XIJ$=MKS$(AUX)
470 LSET XIX$=MKS$(AUX)
480 LSET XJK$=MKS$(AUX)
490 LSET YIJ$=MKS$(AUX)
500 LSET YIK$=MKS$(AUX)
510 LSET YJK$=MKS$(AUX)
520 LSET EX0$=MKS$(AUX)
530 LSET EY0$=MKS$(AUX)
540 LSET EXY0$=MKS$(AUX)
550 PUT#2,1
560 PRINT " TIPO DE ELEMENTOS : "

```

```

570 PRINT
580 PRINT " (1) ELEM. RECTILIN "
590 PRINT " (2) ELEM. TRIANG. "
600 PRINT " (3) RECT. Y TRIANG "
610 PRINT
620 PRINT " INGRESE TIPO      ";
630 INPUT TEL
640 IF (TEL<>1) AND (TEL<>2) AND (TEL<>3) THEN 560
650 IF TEL=2 THEN 740
660 PRINT
670 PRINT "AREA ELEM. RECT. CTTE (S/N) ";
680 INPUT AREA$
690 IF AREA$="N" THEN 740
700 PRINT
710 PRINT " AREA ELEM. RECTILINEO      ";
720 INPUT AREA
730 IF TEL=1 THEN 810
740 PRINT
750 PRINT "ESPES. EL. TRIA. CTTE (S/N) ";
760 INPUT ESP$
770 IF ESP$="N" THEN 810
780 PRINT
790 INPUT " ESPESOR ELEM. TRIANGULAR ";ESP
800 IF TEL=2 THEN 900
810 PRINT
820 PRINT "MAT. ELEM. RECT. CTTE (S/N) ";
830 INPUT MATBA$
840 PRINT
850 IF MATBA$="N" THEN 910
860 PRINT
870 PRINT " MATER. ELEM. RECTILINEO      ";
880 INPUT MATBA
890 IF TEL=1 THEN 970
900 PRINT
910 PRINT "MAT. ELEM. TRIA. CTTE (S/N) ";
920 INPUT MATEL$
930 IF MATEL$="N" THEN 970
940 PRINT
950 PRINT " MATER. ELEM. TRIANGULAR      ";
960 INPUT MATEL
970 HOME
980 FOR I=1 TO NODOX
990 PRINT "COORDENADA X NODO ";I;" ";:INPUT XNODO(I)
1000 NEXT I
1010 PRINT
1020 FOR I=1 TO NODOX
1030 PRINT "COORDENADA Y NODO ";I;" ";:INPUT YNODO(I)
1040 NEXT I
1050 FOR I=1 TO NODOX
1060 LSET XNOD$=MKS$(XNODO(I))
1070 LSET YNOD$=MKS$(YNODO(I))
1080 PUT#1,I+1
1090 NEXT I
1100 CLOSE#1
1110 HOME
1120 PRINT "          INCIDENCIAS DE LOS ELEMENTOS"
1130 FOR I=1 TO NEZ
1140 PRINT
1150 PRINT "ELEMENTO ";I

```

```
1160 PRINT "MODO 1 =":INPUT NO1%
1170 PRINT "MODO 2 =":INPUT NO2%
1180 PRINT "MODO 3 =":INPUT NO3%
1190 PRINT
1200 IF NO3%=0 THEN 1300
1210 IF ESP%="S" THEN 1240
1220 INPUT " ESPESOR ELEM. TRIANGULAR ";ESPAR
1230 GOTO 1250
1240 ESPAR=ESP
1250 IF MATEL%="S" THEN 1280
1260 INPUT " MATERIAL ELEM. TRIANGULAR ";MT
1270 GOTO 1380
1280 MT=MATEL
1290 GOTO 1380
1300 IF AREA%="S" THEN 1330
1310 INPUT " AREA ELEMENTO RECTILINEO ";ESPAR
1320 GOTO 1340
1330 ESPAR=AREA
1340 IF MATBA%="S" THEN 1370
1350 INPUT " MATERIAL ELEM. RECTILINEO ";MT
1360 GOTO 1380
1370 MT=MATBA
1380 LSET MOD1%=MKI%(NO1%)
1390 LSET MOD2%=MKI%(NO2%)
1400 LSET MOD3%=MKI%(NO3%)
1410 LSET T%=MKS%(ESPAR)
1420 LSET MAT%=MKI%(MT)
1430 PUT#2,1+1
1440 NEXT I
1450 CLOSE#2
1460 CHAIN DRIVE%+"EFM02.BAS"
```

```

10 REM -- EFID03.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA GENERACION
30 REM -- AUTOMATICA DE LA MALLA
40 REM -- COORDENADAS CARTESIANAS
50 REM --
60 REM -- ULTIMA MODIF. 14-AGO-84
70 REM --
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG$(1),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
120 COMMON S()
130 DIM NT(30),X(30,6),Y(30,6)
140 DIM ST(30,5),FP(30,5)
150 DIM XP(200),YP(200)
160 REM
170 REM INGRESO DE DATOS GENERALES DE LA MALLA
180 REM
190 HOME
200 PRINT " GENERACION AUTOMATICA "
210 PRINT " DE LA MALLA "
220 PRINT " (COORD. CARTESIANAS) "
230 PRINT " "
240 PRINT " NUMERO DE LINEAS - ";
250 INPUT NL
260 IF NL=<1 THEN 240
270 PRINT " ESPESOR DE ELEMENTOS ";
280 INPUT ESP
290 PRINT " TIPO DE MATERIAL ";
300 INPUT MT
310 PRINT " RAZON ENTRE SEGMENTOS "
320 PRINT " (0) TOTAL "
330 PRINT " (1) POR LINEA "
340 PRINT " (2) POR TRAMO ";
350 INPUT FP
360 IF FP<>0 AND FP<>1 AND FP<>2 THEN 310
370 IF FP<>0 THEN 450
380 PRINT " RAZON TOTAL ";
390 INPUT FP(1,1)
400 IF FP(1,1)=<0 THEN 380
410 REM
420 REM INGRESO DE DATOS CORRESPONDIENTES A CADA
430 REM LINEA Y CADA TRAMO DE LA MISMA LINEA
440 REM
450 FOR I=1 TO NL
460 PRINT " NUMERO DE TRAMOS EN LA LINEA ";I;" ";
470 INPUT NT(I)
480 IF NT(I)=<0 THEN 460
490 PRINT " COORDENADA X INICIAL LINEA ";I;" ";
500 INPUT X(I,1)
510 PRINT " COORDENADA Y INICIAL LINEA ";I;" ";
520 INPUT Y(I,1)
530 IF FP=0 OR FP=2 THEN 580
540 PRINT " RAZON POR LINEA DE LA LINEA ";I;" ";
550 INPUT FP(I,1)
560 IF FP(I,1)=<0 THEN 540
570 GOTO 590
580 FP(I,1)=FP(1,1)
590 FOR J=1 TO NT(I)

```

```

600 PRINT " COORDENADA X FINAL      TRAMO ":J:" ";
610 INPUT X(I,J+1)
620 PRINT " COORDENADA Y FINAL      TRAMO ":J:" ";
630 INPUT Y(I,J+1)
640 PRINT " NUMERO DE SEGMENTOS      TRAMO ":J:" ";
650 INPUT ST(I,J)
660 IF ST(I,J)=<0 THEN 640
670 IF FP(>)2 THEN 720
680 PRINT " RAZON POR TRAMO DEL      TRAMO  ":J:" ";
690 INPUT FP(I,J)
700 IF FP(I,J)=<0 THEN 680
710 GOTO 730
720 FP(I,J)=FP(I,1)
730 NEXT J
740 NEXT I
750 NODO=0
760 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
770 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$
780 AUX=0
790 LSET XNOD$=MKS$(AUX)
800 LSET YNOD$=MKS$(AUX)
810 LSET NJR1$=MKI$(AUX)
820 LSET NJR2$=MKI$(AUX)
830 LSET RK1$=MKD$(AUX)
840 LSET RK2$=MKD$(AUX)
850 LSET LO1$=MKI$(AUX)
860 LSET JO1$=MKI$(AUX)
870 PUT#1,1
880 REM
890 REM CALCULO DE LAS COORDENADAS DE CADA NODO
900 REM DE LA MALLA
910 REM
920 FOR I=1 TO NL
930 NODO=NODO+1
940 XP(NODO)=X(I,1)
950 YP(NODO)=Y(I,1)
960 LSET XNOD$=MKS$(XP(NODO))
970 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
980 PUT#1,NODO+1
990 REM
1000 REM A PARTIR DE LA EC. DEL TERMINO GENERAL
1010 REM DE UNA PROGRESION GEOMETRICA
1020 REM
1030 FOR J=1 TO NT(I)
1040 X1=X(I,J)
1050 Y1=Y(I,J)
1060 F3=FP(I,J)^ST(I,J)
1070 IF F3=1 THEN 1110
1080 F1=(X(I,J+1)-X1)/(F3-1)
1090 F2=(Y(I,J+1)-Y1)/(F3-1)
1100 GOTO 1130
1110 F1=(X(I,J+1)-X1)/ST(I,J)
1120 F2=(Y(I,J+1)-Y1)/ST(I,J)
1130 F3=FP(I,J)
1140 FOR L=1 TO ST(I,J)-1
1150 NODO=NODO+1
1160 IF F3=1 THEN 1210
1170 XP(NODO)=X1+F1*(F3-1)

```

```

1180 YP(NODO)=Y1+F2*(F3-1)
1190 F3=F3*FP(I,J)
1200 GOTO 1230
1210 XP(NODO)=X1+L*F1
1220 YP(NODO)=Y1+L*F2
1230 LSET XNOD%=MKS%(XP(NODO))
1240 LSET YNOD%=MKS%(YP(NODO))
1250 PUT#1,NODO+1
1260 NEXT L
1270 NODO=NODO+1
1280 XP(NODO)=X(I,J+1)
1290 YP(NODO)=Y(I,J+1)
1300 LSET XNOD%=MKS%(XP(NODO))
1310 LSET YNOD%=MKS%(YP(NODO))
1320 PUT#1,NODO+1
1330 NEXT J
1340 NEXT I
1350 REM
1360 REM SE ALMACENA EN EL REGISTRO 1 EL NUMERO DE MODOS DE LA MALLA
1370 REM
1380 LSET XNOD%=MKS%(NODO)
1390 LSET YNOD%=MKS%(NODO)
1400 PUT#1,1
1410 CLOSE#1
1420 REM
1430 REM LOS ELEMENTOS GENERADOS POR ESTE PROGRAMA SON TRIANGULARES
1440 REM
1450 REM NUMERACION DE LOS ELEMENTOS DE LA MALLA
1460 REM
1470 NE=0
1480 OPEN "R",#1,DRIVE%+NOM%+"EL.DAT"
1490 FIELD#1,5 AS NOD1%,5 AS NOD2%,5 AS NOD3%,8 AS T%,5 AS MAT%,8 AS AR%,8 AS XI
J%,8 AS XIX%,8 AS XJK%,8 AS YIJ%,8 AS YIK%,8 AS YJK%,8 AS EX0%,8 AS EY0%,8 AS EXY
0%
1500 AUX=0
1510 LSET NOD1%=MKI%(AUX)
1520 LSET NOD2%=MKI%(AUX)
1530 LSET NOD3%=MKI%(AUX)
1540 LSET T%=MKS%(ESP)
1550 LSET MAT%=MKI%(MT)
1560 LSET AR%=MKS%(AUX)
1570 LSET XIJ%=MKS%(AUX)
1580 LSET XIX%=MKS%(AUX)
1590 LSET XJK%=MKS%(AUX)
1600 LSET YIJ%=MKS%(AUX)
1610 LSET YIK%=MKS%(AUX)
1620 LSET YJK%=MKS%(AUX)
1630 LSET EX0%=MKS%(AUX)
1640 LSET EY0%=MKS%(AUX)
1650 LSET EXY0%=MKS%(AUX)
1660 PUT#1,1
1670 REM
1680 REM LA INCIDENCIA MODAL DE CADA ELEMENTO ES
1690 REM ALMACENADA EN SENTIDO ANTI-HORARIO
1700 REM
1710 NII=1
1720 NID=2
1730 FOR I=1 TO NT(1)

```

```

1740 NID=NID+ST(I,I)
1750 NEXT I
1760 FOR I=1 TO NL-1
1770 IF NT(I)<>NT(I+1) THEN 1840
1780 FOR K= 1 TO NT(I)
1790 NSI=ST(I,K)
1800 NSD=ST(I+1,K)
1810 GOSUB 2070
1820 NEXT K
1830 GOTO 1930
1840 NSI=0
1850 NSD=0
1860 FOR J=1 TO NT(I)
1870 NSI=NSI+ST(I,J)
1880 NEXT J
1890 FOR J=1 TO NT(I+1)
1900 NSD=NSD+ST(I+1,J)
1910 NEXT J
1920 GOSUB 2070
1930 NII=NII+1
1940 NID=NID+1
1950 NEXT I
1960 LSET MOD1%=MKI%(NE)
1970 LSET MOD2%=MKI%(NE)
1980 LSET MOD3%=MKI%(NE)
1990 PUT#1,1
2000 CLOSE#1
2010 CHAIN DRIVEP%+"EFM02.BAS"
2020 STOP
2030 REM
2040 REM LOS ELEMENTOS SE ESCOGEN SIGUIENDO
2050 REM EL CRITERIO DE LA MENOR DIAGONAL
2060 REM
2070 FOR J=1 TO NSI
2080 IF (J=NSI) AND (NSI>NSD) THEN 2460
2090 NODO1=NII
2100 NODO2=NODO1+1
2110 NODO3=NID
2120 NODO4=NODO3+1
2130 D1=(XP(NODO1)-XP(NODO4))^2+(YP(NODO1)-YP(NODO4))^2
2140 D2=(XP(NODO2)-XP(NODO3))^2+(YP(NODO2)-YP(NODO3))^2
2150 IF D1>D2 THEN 2270
2160 NE=NE+1
2170 LSET MOD1%=MKI%(NODO1)
2180 LSET MOD2%=MKI%(NODO3)
2190 LSET MOD3%=MKI%(NODO4)
2200 PUT#1,NE+1
2210 NE=NE+1
2220 LSET MOD1%=MKI%(NODO1)
2230 LSET MOD2%=MKI%(NODO4)
2240 LSET MOD3%=MKI%(NODO2)
2250 PUT#1,NE+1
2260 GOTO 2370
2270 NE=NE+1
2280 LSET MOD1%=MKI%(NODO1)
2290 LSET MOD2%=MKI%(NODO3)
2300 LSET MOD3%=MKI%(NODO2)
2310 PUT#1,NE+1
2320 NE=NE+1

```

```
2330 LSET NOD1$=MK1$(NOD02)
2340 LSET NOD2$=MK1$(NOD03)
2350 LSET NOD3$=MK1$(NOD04)
2360 PUT#1,NE+1
2370 IF J<> NSI OR NSD=<NSI THEN 2540
2380 NE=NE+1
2390 LSET NOD1$=MK1$(NOD02)
2400 AUX=NOD04+1
2410 LSET NOD2$=MK1$(NOD04)
2420 LSET NOD3$=MK1$(AUX)
2430 PUT#1,NE+1
2440 NID=NID+1
2450 GOTO 2540
2460 NE=NE+1
2470 LSET NOD1$=MK1$(NOD02)
2480 AUX=NOD02+1
2490 LSET NOD2$=MK1$(NOD04)
2500 LSET NOD3$=MK1$(AUX)
2510 PUT#1,NE+1
2520 NII=NII+1
2530 GOTO 2560
2540 NII=NII+1
2550 NID=NID+1
2560 NEXT J
2570 RETURN
```

```

10 REM -- EFID04.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA GENERACION
30 REM -- AUTOMATICA DE LA MALLA
40 REM -- COORDENADAS POLARES
50 REM --
60 REM --ULTIMA MODIFICACION 24-JUL-84
70 REM --
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NH,NMT,NMR,LO,JO,HAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIF
110 COMMON EG$( ),UG( ),AT( ),PES( ),EE1( ),EE2( ),EE3( )
120 COMMON S( )
130 DIM XP(200),YP(200)
140 HOME
150 PRINT " GENERACION AUTOMATICA "
160 PRINT " DE LA MALLA "
170 PRINT " (COORD. POLARES)"
180 PRINT " "
190 PRINT " ESPESOR DE ELEMENTOS ";
200 INPUT T
210 PRINT " TIPO DE MATERIAL ";
220 INPUT MT
230 PRINT " RADIO INTERIOR ";
240 INPUT RINT
250 PRINT " RADIO EXTERIOR ";
260 INPUT REXT
270 PRINT " NUMERO DE SEGMENTOS ";
280 INPUT NSEG
290 IF NSEG=<0 THEN 270
300 PRINT " RAZON ENTRE SEGMENTOS ";
310 INPUT RAZON
320 IF RAZON=<0 THEN 300
330 PRINT " NUMERO DE ANGULOS ";
340 INPUT NANG
350 IF NANG=<0 THEN 330
360 PRINT " VALOR ANGULO (GRADOS) ";
370 INPUT VANG
380 IF VANG=<0 THEN 360
390 ANG=VANG/57.2958
400 NODO=0
410 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
420 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$
430 AUX=0
440 LSET XNOD$=MK$(AUX)
450 LSET YNOD$=MK$(AUX)
460 LSET NJR1$=MK1$(AUX)
470 LSET NJR2$=MK1$(AUX)
480 LSET RK1$=MKD$(AUX)
490 LSET RK2$=MKD$(AUX)
500 LSET LO1$=MK1$(AUX)
510 LSET JO1$=MK1$(AUX)
520 PUT#1,1
530 FOR I=1 TO NANG+1
540 NODO=NODO+1
550 ANGULO=(I-1)*ANG
560 XP(NODO)=RINT*COS(ANGULO)
570 YP(NODO)=RINT*SIN(ANGULO)
580 LSET XNOD$=MK$(XP(NODO))

```

```

590 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
600 PUT#1,NODO+1
610 X1=XP(NODO)
620 Y1=YP(NODO)
630 XF=REXT#COS(ANGULO)
640 YF=REXT#SIN(ANGULO)
650 F3=RAZON#NSEG
660 IF F3=1 THEN 700
670 F1=(XF-X1)/(F3-1)
680 F2=(YF-Y1)/(F3-1)
690 GOTO 720
700 F1=(XF-X1)/NSEG
710 F2=(YF-Y1)/NSEG
720 F3=RAZON
730 FOR L=1 TO NSEG
740 NODO=NODO+1
750 IF F3=1 THEN 800
760 XP(NODO)=X1+F1*(F3-1)
770 YP(NODO)=Y1+F2*(F3-1)
780 F3=F3+RAZON
790 GOTO 820
800 XP(NODO)=X1+L#F1
810 YP(NODO)=Y1+L#F2
820 LSET XNOD$=MKS$(XP(NODO))
830 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
840 PUT#1,NODO+1
850 NEXT L
860 NEXT I
870 LSET XNOD$=MKS$(NODO)
880 LSET YNOD$=MKS$(NODO)
890 PUT#1,1
900 CLOSE#1
910 NE=0
920 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
930 FIELD#1,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,9 AS AR$,8 AS XIJ
$,8 AS XIK$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EXO$,8 AS EYO$,8 AS EXYO
$
940 AUX=0
950 LSET NOD1$=MKI$(AUX)
960 LSET NOD2$=MKI$(AUX)
970 LSET NOD3$=MKI$(AUX)
980 LSET T$=MKS$(T)
990 LSET MAT$=MKI$(MT)
1000 LSET AR$=MKS$(AUX)
1010 LSET XIJ$=MKS$(AUX)
1020 LSET XIK$=MKS$(AUX)
1030 LSET XJK$=MKS$(AUX)
1040 LSET YIJ$=MKS$(AUX)
1050 LSET YIK$=MKS$(AUX)
1060 LSET YJK$=MKS$(AUX)
1070 LSET EXO$=MKS$(AUX)
1080 LSET EYO$=MKS$(AUX)
1090 LSET EXYO$=MKS$(AUX)
1100 PUT#1,1
1110 NII=1
1120 NID=2+NSEG
1130 FOR I=1 TO NANG
1140 FOR J=1 TO NSEG
1150 NODDI=NII

```

```
1160 N0002=N0001+1
1170 N0003=NID
1180 N0004=N0003+1
1190 NE=NE+1
1200 LSET NOD1%=MK1%(N0001)
1210 LSET NOD2%=MK1%(N0002)
1220 LSET NOD3%=MK1%(N0003)
1230 PUT#1,NE+1
1240 NE=NE+1
1250 LSET NOD1%=MK1%(N0002)
1260 LSET NOD2%=MK1%(N0004)
1270 LSET NOD3%=MK1%(N0003)
1280 PUT#1,NE+1
1290 NII=NII+1
1300 NID=NID+1
1310 NEXT J
1320 NII=NII+1
1330 NID=NID+1
1340 NEXT I
1350 LSET NOD1%=MK1%(NE)
1360 LSET NOD2%=MK1%(NE)
1370 LSET NOD3%=MK1%(NE)
1380 PUT#1,I
1390 CLOSE#1
1400 CHAIN DRIVE%+"EFM02.BAS"
```

```

10 REM -- EF1005.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA MODIFICACION
30 REM -- DE DATOS GEOMETRICOS
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIF. 23-A60-84
60 REM --
70 COMMON NOM$, TITULO$, DRIVE$, DRIVEP$
80 COMMON NJ, NM, NMT, NMR, LO, JO, MAT, BIMP()
90 COMMON NCAS, NPAG, MBAN, IDE, IVR, NHIP
100 COMMON EG0(), UG(), AT(), PES(), EE1(), EE2(), EE3()
110 COMMON S()
120 DIM MODELI(30), ELEELI(60)
130 DIM XNUE(30), YNUE(30), NODEAZ(60,3), MATEAZ(60), AREAE(60)
140 OPEN "R", #1, DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
150 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RA1$,16 AS RA2$,5
   AS LO1$,5 AS JO1$
160 OPEN "R", #2, DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
170 FIELD#2,5 AS MOD1$,5 AS MOD2$,5 AS MOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS I1
   J$,8 AS XJK$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YJK$,8 AS EX$,8 AS EY$,8 AS EIX
   0$
180 GET#1,1
190 NODO=CVS(XNOD$)
200 GET#2,1
210 ME=CVI(MOD1$)
220 HOME
230 PRINT " MODIFICACION DE GEOMETRIA (MALLA=";NOM$;" "
240 PRINT " -----"
250 PRINT " "
260 PRINT " (1) MODIFICAR COORDENADAS DE NODOS"
270 PRINT " "
280 PRINT " (2) MODIFICAR INCIDENCIA DE ELEMENTOS"
290 PRINT " "
300 PRINT " (3) ELIMINAR ELEMENTOS "
310 PRINT " "
320 PRINT " (4) ELIMINAR NODOS "
330 PRINT " "
340 PRINT " (5) AGREGAR NODOS Y/O ELEMENTOS"
350 PRINT " "
360 PRINT " (6) MODIFICAR AREA/ESPESOR"
370 PRINT " "
380 PRINT " (7) MODIFICAR TIPO DE MATERIAL"
390 PRINT " "
400 PRINT " (8) TERMINAR"
410 PRINT " "
420 PRINT " INGRESE NUMERO DESEADO ";
430 INPUT NUM
440 IF NUM<1 OR NUM>8 THEN 220
450 ON NUM GOTO 530,730,1690,960,2050,3860,3860,460
460 HOME
470 CLOSE#1
480 CLOSE#2
490 CHAIN DRIVEP$+"EFM02.BAS"
500 REM--
510 REM-- MODIFICACION DE NODOS
520 REM--
530 HOME
540 MOD=0
550 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU"
560 PRINT " "

```

```

570 PRINT " NUMERO DEL NODO A MODIFICAR ";
580 INPUT NOD
590 IF NOD=0 THEN 220
600 IF NOD > NODO THEN PRINT " ERROR : NODO NO EXISTE " : GOTO 530
610 PRINT " COORDENADA X DEL NODO      ";
620 INPUT XNOD
630 PRINT " COORDENADA Y DEL NODO      ";
640 INPUT YNOD
650 GET#1,NOD+1
660 LSET XNOD%=MKS$(XNOD)
670 LSET YNOD%=MKS$(YNOD)
680 PUT#1,NOD+1
690 GOTO 530
700 REM--
710 REM-- MODIFICACION DE ELEMENTOS
720 REM--
730 HOME
740 ELEM=0
750 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU"
760 PRINT " "
770 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO A MODIFICAR ";
780 INPUT ELEM
790 IF ELEM=0 THEN 220
800 IF ELEM > NE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 770
810 PRINT " NODO 1 DEL ELEMENTO ";
820 INPUT NODO1
830 PRINT " NODO 2 DEL ELEMENTO ";
840 INPUT NODO2
850 PRINT " NODO 3 DEL ELEMENTO ";
860 INPUT NODO3
870 GET#2,ELEM+1
880 LSET MOD1%=MKI$(NODO1)
890 LSET MOD2%=MKI$(NODO2)
900 LSET MOD3%=MKI$(NODO3)
910 PUT#2,ELEM+1
920 GOTO 730
930 REM--
940 REM-- ELIMINACION DE NODOS
950 REM--
960 HOME
970 PRINT " NUMERO DE NODOS A ELIMINAR ";
980 INPUT NNE
990 PRINT " "
1000 PRINT " LOS NODOS DEBEN INGRESARSE "
1010 PRINT "      EN ORDEN CRECIENTE "
1020 PRINT " "
1030 FOR I = 1 TO NNE
1040 PRINT " NUMERO DEL NODO ";I;" ";
1050 INPUT NODELI(I)
1060 IF NODELI(I) > NODO THEN PRINT " ERROR : NODO NO EXISTE " : GOTO 1040
1070 NEXT I
1080 NODO1 = NODO - NNE
1090 LSET XNOD%=MKS$(NODO1)
1100 LSET YNOD%=MKS$(NODO1)
1110 PUT#1,1
1120 ELI=2
1130 REM--
1140 REM-- SE GRABAN EN EL ARCHIVO DE
1150 REM-- NODOS SOLAMENTE LOS NODOS

```

```

1160 REM-- NO ELIMINADOS. RENUMERANDO-
1170 REM-- SE EN EL MISMO ORDEN
1180 REM--
1190 FOR I=NODELI(1)+1 TO NODO
1200 IF ELI > NNE THEN 1240
1210 IF I > NODELI(ELI) THEN 1240
1220 ELI=ELI+1
1230 GOTO 1260
1240 GET#1,I+1
1250 PUT#1,I+2-ELI
1260 NEXT I
1270 ELI=0
1280 REM--
1290 REM-- SE ELIMINAN DEL ARCHIVO DE
1300 REM-- ELEMENTOS LOS ELEMENTOS QUE
1310 REM-- LLEGABAN A LOS NODOS ELIMINA-
1320 REM-- DOS , RENUMERANDOSE LOS ELE-
1330 REM-- MENTOS RESTANTES Y REACTUALI-
1340 REM-- ZANDO SUS INCIDENCIAS
1350 REM--
1360 FOR I= 1 TO NE
1370 GET#2,I+1
1380 NODO1=CVI(NOD1%)
1390 NODO2=CVI(NOD2%)
1400 NODO3=CVI(NOD3%)
1410 RES1=0
1420 RES2=0
1430 RES3=0
1440 FOR J=1 TO NNE
1450 IF NODO1=NODELI(J) OR NODO2=NODELI(J) OR NODO3=NODELI(J) THEN 1570
1460 IF NODO1>NODELI(J) THEN RES1=RES1+1
1470 IF NODO2>NODELI(J) THEN RES2=RES2+1
1480 IF NODO3>NODELI(J) THEN RES3=RES3+1
1490 NEXT J
1500 IF NODO3=0 THEN RES3=0
1510 IF ELI=0 AND RES1=0 AND RES2=0 AND RES3=0 THEN 1580
1520 LSET NOD1%=MKI%(NODO1-RES1)
1530 LSET NOD2%=MKI%(NODO2-RES2)
1540 LSET NOD3%=MKI%(NODO3-RES3)
1550 PUT#2,I+1-ELI
1560 GOTO 1580
1570 ELI=ELI+1
1580 NEXT I
1590 NE=NE-ELI
1600 LSET NOD1%=MKI%(NE)
1610 LSET NOD2%=MKI%(NE)
1620 LSET NOD3%=MKI%(NE)
1630 PUT#2,1
1640 NODO=NODO1
1650 GOTO 220
1660 REM--
1670 REM-- ELIMINACION DE ELEMENTOS
1680 REM--
1690 HOME
1700 PRINT " NUMERO DE ELEMENTOS A ELIMINAR ";
1710 INPUT NEE
1720 IF NEE=0 THEN 220
1730 PRINT " "
1740 PRINT " LOS ELEMENTOS DEBEN INGRESARSE "

```

```

1750 PRINT " EN ORDEN CRECIENTE "
1760 PRINT " "
1770 FOR I= 1 TO NEE
1780 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO ":I;" ";
1790 INPUT ELEELI(I)
1800 IF ELEELI(I) > NEE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 1780
1810 NEXT I
1820 ELI=2
1830 REM--
1840 REM-- SE GRABAN EN EL ARCHIVO DE
1850 REM-- LOS ELEMENTOS NO ELIMINADOS
1860 REM-- RENUMERANDOSE
1870 REM--
1880 FOR I= ELEELI(I)+1 TO NEE
1890 IF ELI > NEE THEN 1930
1900 IF I (<) ELEELI(ELI) THEN 1930
1910 ELI=ELI+1
1920 GOTO 1950
1930 GET#2,1+1
1940 PUT#2,1+2-ELI
1950 NEXT I
1960 NE=NE-NEE
1970 LSET NOD1$=MKI$(NE)
1980 LSET NOD2$=MKI$(NE)
1990 LSET NOD3$=MKI$(NE)
2000 PUT#2,1
2010 GOTO 220
2020 REM--
2030 REM-- AGREGAR NODOS NUEVOS
2040 REM--
2050 HOME
2060 PRINT " NOMBRE DEL NUEVO ARCHIVO "
2070 PRINT " ( 4 LETRAS ) ";
2080 INPUT NOMNUE$
2090 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOMNUE$+"NO.DAT"
2100 FIELD#3,8 AS XNUE$,8 AS YNUE$,5 AS NJRN1$,5 AS NJRN2$,16 AS RKN1$,16 AS R
KN2$,5 AS LON1$,5 AS JON1$
2110 PRINT " NUMERO DE NODOS A AGREGAR ";
2120 INPUT NNA
2130 PRINT " "
2140 PRINT " LOS NODOS DEBEN INGRESARSE "
2150 PRINT " EN ORDEN CRECIENTE "
2160 PRINT " "
2170 FOR I=1 TO NNA
2180 PRINT " NUMERO DEL NODO ":I;" ";
2190 INPUT NODELI(I)
2200 PRINT " COORD. X DEL NODO ":I;" ";
2210 INPUT XNUE(I)
2220 PRINT " COORD. Y DEL NODO ":I;" ";
2230 INPUT YNUE(I)
2240 NEXT I
2250 LSET XNUE$=MK$(NODO+NNA)
2260 LSET YNUE$=MK$(NODO+NNA)
2270 GOSUB 4640
2280 PUT#3,1
2290 J=1
2300 K=1
2310 REM--
2320 REM-- SE GRABAN LOS NODOS AGRE-

```

```

2330 REM-- GADOS Y LOS ANTERIORES
2340 REM--
2350 FOR I=1 TO NODO
2360 GET#1,I+1
2370 IF J>NNA THEN 2470
2380 IF NODELI(J)=0 THEN 2400
2390 IF NODELI(J)<>1 THEN 2470
2400 LSET XNUE$=MKS$(XNUE(J))
2410 LSET YNUE$=MKS$(YNUE(J))
2420 GOSUB 4640
2430 PUT#3,K+1
2440 K=K+1
2450 J=J+1
2460 GOTO 2370
2470 LSET XNUE$=XNOD$
2480 LSET YNUE$=YNOD$
2490 LSET NJRN1$=NJR1$
2500 LSET NJRN2$=NJR2$
2510 LSET RKN1$=RK1$
2520 LSET RKN2$=RK2$
2530 LSET LON1$=LO1$
2540 LSET JON1$=JO1$
2550 PUT#3,K+1
2560 K=K+1
2570 NEXT I
2580 FOR L= 1 TO NNA-J+1
2590 LSET XNUE$=MKS$(XNUE(J+L-1))
2600 LSET YNUE$=MKS$(YNUE(J+L-1))
2610 PUT#3,K+L
2620 NEXT L
2630 CLOSE#3
2640 NODO=NOD+NNA
2650 REM--
2660 REM-- SE RENUMERA LA INCIDENCIA
2670 REM-- DE LOS ELEMENTOS
2680 REM--
2690 FOR I=1 TO NE
2700 GET#2,I+1
2710 NODO1=CVI(NOD1$)
2720 NODO2=CVI(NOD2$)
2730 NODO3=CVI(NOD3$)
2740 SUM1=0
2750 SUM2=0
2760 SUM3=0
2770 FOR J=1 TO NNA
2780 IF NODO1>=NODELI(J) THEN SUM1=SUM1+1
2790 IF NODO2>=NODELI(J) THEN SUM2=SUM2+1
2800 IF NODO3>=NODELI(J) THEN SUM3=SUM3+1
2810 NEXT J
2820 IF NODO3=0 THEN SUM3=0
2830 IF SUM1=0 AND SUM2=0 AND SUM3=0 THEN 2880
2840 LSET NOD1$=MK1$(NODO1+SUM1)
2850 LSET NOD2$=MK1$(NODO2+SUM2)
2860 LSET NOD3$=MK1$(NODO3+SUM3)
2870 PUT#2,I+1
2880 NEXT I
2890 REM--
2900 REM-- AGREGAR ELEMENTOS NUEVOS
2910 REM--

```

```

2920 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOMNUE$+"EL.DAT"
2930 FIELD#3,5 AS NNUE1$,5 AS NNUE2$,5 AS NNUE3$,8 AS TNUE$,5 AS MNUE$,8 AS ARN$,
,8 AS XIJN$,8 AS XIKN$,8 AS XJKN$,8 AS YIJN$,8 AS YIKN$,8 AS YJKN$,8 AS EXN$,8 A
S EYN$,8 AS EXYN$
2940 PRINT " NUMERO DE ELEMENTOS A AGREGAR " ;
2950 INPUT NEA
2960 PRINT " "
2970 PRINT " ESP. ELEM. TRIANG. CONSTANTE (S/N) " ;
2980 INPUT EET$
2990 IF EET$(">"S" AND EET$("<"N" THEN 2970
3000 IF EET$="N" THEN 3030
3010 PRINT " INGRESE ESPESOR DE ELEM. TRIANG. " ;
3020 INPUT EET
3030 PRINT " "
3040 PRINT " AREA ELEM. RECTIL. CONSTANTE (S/N) " ;
3050 INPUT EER$
3060 IF EER$(">"S" AND EER$("<"N" THEN 3040
3070 IF EER$="N" THEN 3100
3080 PRINT " INGRESE AREA DEL ELEM. RECTIL. " ;
3090 INPUT EER
3100 PRINT " "
3110 PRINT " MAT. ELEM. TRIANG. CONSTANTE (S/N) " ;
3120 INPUT MET$
3130 IF MET$(">"S" AND MET$("<"N" THEN 3110
3140 IF MET$="N" THEN 3170
3150 PRINT " INGRESE MATERIAL DE ELEM. TRIANG. " ;
3160 INPUT MET
3170 PRINT " "
3180 PRINT " MAT. ELEM. RECTIL. CONSTANTE (S/N) " ;
3190 INPUT MER$
3200 IF MER$(">"S" AND MER$("<"N" THEN 3180
3210 IF MER$="N" THEN 3240
3220 PRINT " INGRESE MATERIAL DE ELEM. RECTAN. " ;
3230 INPUT MER
3240 PRINT " "
3250 FOR I=1 TO NEA
3260 FOR J=1 TO 3
3270 PRINT " NODO ";J;" DEL ELEMENTO ";I;" " ;
3280 INPUT NODEAX(I,J)
3290 NEXT J
3300 IF NODEAX(I,3)=0 THEN 3420
3310 IF EET$="S" THEN 3350
3320 PRINT " ESPESOR DEL ELEMENTO ";I;" " ;
3330 INPUT AREAE(I)
3340 GOTO 3360
3350 AREAE(I)=EET
3360 IF MET$="S" THEN 3400
3370 PRINT " MATERIAL ELEMENTO ";I;" " ;
3380 INPUT MATEAX(I)
3390 GOTO 3520
3400 MATEAX(I)=MET
3410 GOTO 3520
3420 IF EER$="S" THEN 3460
3430 PRINT " AREA DEL ELEMENTO ";I;" " ;
3440 INPUT AREAE(I)
3450 GOTO 3470
3460 AREAE(I)=EER
3470 IF MER$="S" THEN 3510
3480 PRINT " MATERIAL ELEMENTO ";I;" " ;

```

```

3490 INPUT MATEAZ(I)
3500 GOTO 3520
3510 MATEAZ(I)=MER
3520 NEXT I
3530 LSET NNUE1$=MK1$(NE+NEA)
3540 LSET NNUE2$=MK1$(NE+NEA)
3550 LSET NNUE3$=MK1$(NE+NEA)
3560 LSET TNUE$=MKS$(NE+NEA)
3570 LSET MNUE$=MK1$(NE+NEA)
3580 GOSUB 4710
3590 PUT#3,1
3600 FOR I=1 TO NE
3610 GET#2,I+1
3620 LSET NNUE1$=NOD1$
3630 LSET NNUE2$=NOD2$
3640 LSET NNUE3$=NOD3$
3650 LSET TNUE$=T$
3660 LSET MNUE$=MAT$
3670 GOSUB 4710
3680 PUT#3,I+1
3690 NEXT I
3700 FOR I=1 TO NEA
3710 LSET NNUE1$=MK1$(NODEAZ(I,1))
3720 LSET NNUE2$=MK1$(NODEAZ(I,2))
3730 LSET NNUE3$=MK1$(NODEAZ(I,3))
3740 LSET TNUE$=MKS$(AREAE(I))
3750 LSET MNUE$=MK1$(MATEAZ(I))
3760 GOSUB 4710
3770 PUT#3,NE+I+1
3780 NEXT I
3790 CLOSE#3
3800 NE=NE+NEA
3810 GOTO 220
3820 REM--
3830 REM-- MODIFICACION DE AREA,ESPESOR
3840 REM-- Y MATERIAL DE ELEMENTOS
3850 REM--
3860 HOME
3870 PRINT " (1) MODIFICACION POR GRUPOS"
3880 PRINT " "
3890 PRINT " (2) MODIFICACION POR ELEMENTOS"
3900 PRINT " "
3910 PRINT " (3) REGRESAR"
3920 PRINT " "
3930 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
3940 INPUT NUM2
3950 IF NUM2<1 OR NUM2>3 THEN 3870
3960 IF NUM=6 THEN 3980
3970 ON NUM2 GOTO 4330,4500
3980 ON NUM2 GOTO 3990,4160
3990 HOME
4000 PRINT " NUMERO DE GRUPOS A MODIFICAR ";
4010 INPUT NG
4020 FOR I=1 TO NG
4030 PRINT " ELEMENTO INICIAL DEL GRUPO ";I;" ";
4040 INPUT EIG
4050 PRINT " ELEMENTO FINAL DEL GRUPO ";I;" ";
4060 INPUT EFG
4070 PRINT " AREA O ESPESOR DEL GRUPO ";I;" ";

```

```
4090 FOR J=E16 TO EFG
4100 GET#2,J+1
4110 LSET T$=MKS$(AG)
4120 PUT#2,J+1
4130 NEXT J
4140 NEXT I
4150 GOTO 220
4160 HOME
4170 ELEM=0
4180 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU"
4190 PRINT " "
4200 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO A MODIFICAR ";
4210 INPUT ELEM
4220 IF ELEM=0 THEN 220
4230 IF ELEM>NE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 4200
4240 GET#2,ELEM+1
4250 IF CVI(MOD3$)=0 THEN 4310
4260 PRINT " INGRESE EL ESPESOR DEL ELEMENTO ";
4270 INPUT ESP
4280 LSET T$=MKS$(ESP)
4290 PUT#2,ELEM+1
4300 GOTO 4170
4310 PRINT " INGRESE EL AREA DEL ELEMENTO ";
4320 GOTO 4270
4330 HOME
4340 PRINT " NUMERO DE GRUPOS A MODIFICAR ";
4350 INPUT NG
4360 FOR I= 1 TO NG
4370 PRINT " ELEMENTO INICIAL DEL GRUPO ";I;" ";
4380 INPUT E16
4390 PRINT " ELEMENTO FINAL DEL GRUPO ";I;" ";
4400 INPUT EFG
4410 PRINT " MATERIAL DEL GRUPO ";I;" ";
4420 INPUT MG
4430 FOR J=E16 TO EFG
4440 GET#2,J+1
4450 LSET MAT$=MKI$(MG)
4460 PUT#2,J+1
4470 NEXT J
4480 NEXT I
4490 GOTO 220
4500 HOME
4510 ELEM=0
4520 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU"
4530 PRINT " "
4540 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO A MODIFICAR ";
4550 INPUT ELEM
4560 IF ELEM=0 THEN 220
4570 IF ELEM>NE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 4530
4580 PRINT " INGRESE MATERIAL DEL ELEMENTO ";
4590 INPUT MT
4600 GET#2,ELEM+1
4610 LSET MAT$=MKI$(MT)
4620 PUT#2,ELEM+1
4630 GOTO 4510
4640 LSET NJRN1$=MKI$(0)
4650 LSET NJRN2$=MKI$(0)
4660 LSET RKN1$=MKD$(0)
4670 LSET RKN2$=MKD$(0)
```

4680 LSET LONI\$=MKI\$(0)
4690 LSET JONI\$=MKI\$(0)
4700 RETURN
4710 LSET ARN\$=MKS\$(0)
4720 LSET XIJN\$=MKS\$(0)
4730 LSET XIXN\$=MKS\$(0)
4740 LSET XJKN\$=MKS\$(0)
4750 LSET YIJN\$=MKS\$(0)
4760 LSET YIKN\$=MKS\$(0)
4770 LSET YJKN\$=MKS\$(0)
4780 LSET EXNO\$=MKS\$(0)
4790 LSET EYON\$=MKS\$(0)
4800 LSET EXYNO\$=MKS\$(0)
4810 RETURN

```

10  REM --- EFID06.BAS
20  REM --- PROGRAMA PARA INGRESAR LAS
30  REM -- RESTRICCIONES EN LAS JUNTAS
40  REM --
50  REM -- ULTIMA MODIF. 19-AGO-84
60  REM --
70  COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80  COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
90  COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
100 COMMON EGM(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
110 COMMON S()
120 HOME
130 PRINT " RESTRICCIONES EN LAS JUNTAS "
140 PRINT " ===== "
150 PRINT " "
160 PRINT " "
170 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
180 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$
190 GET#1,1
200 NODO=CVS(XNOD$)
210 PRINT " NUMERO DE JUNTAS CON "
220 PRINT " DESPLAZAMIENTOS RESTRINGIDOS"
230 PRINT " Y/O RESORTES "
240 INPUT NJR
250 FOR I=1 TO NJR
260 PRINT " "
270 PRINT " "
280 PRINT " "
290 PRINT " NUMERO DE LA JUNTA ";I;" ";
300 INPUT JUNTA
310 IF JUNTA>0 AND JUNTA< NODO THEN 340
320 PRINT " ERROR: JUNTA NO EXISTE "
330 GOTO 290
340 PRINT " "
350 JO1=1
360 PRINT " TIPO DE APOYO : "
370 PRINT " "
380 PRINT " (0) SIN RESTRICCION "
390 PRINT " (1) RESTRICCION EN X "
400 PRINT " (2) RESTRICCION EN Y "
410 PRINT " (3) RESTRICCION EN X E Y "
420 PRINT " "
430 PRINT " INGRESE TIPO DE APOYO ";
440 INPUT APOYO!
450 IF APOYO!<0 OR APOYO!>3 THEN 430
460 IF APOYO!<>3 THEN 490
470 RESORTE!=0
480 GOTO 620
490 PRINT " "
500 PRINT " TIPO DE RESORTE : "
510 PRINT " "
520 PRINT " (0) SIN RESORTE "
530 IF APOYO!<>1 THEN PRINT " (1) RESORTE SEGUN X "
540 IF APOYO!<>2 THEN PRINT " (2) RESORTE SEGUN Y "
550 IF APOYO! = 0 THEN PRINT " (3) RESORTE SEGUN X E Y "
560 PRINT " "
570 PRINT " INGRESE TIPO DE RESORTE ";
580 INPUT RESORTE!

```

```
590 IF RESORTE!(<0 OR RESORTE!>3 THEN 570
600 IF RESORTE!=APOYO! AND RESORTE!(<>) THEN 570
610 IF RESORTE!=3 AND APOYO!(<>) THEN 570
620 RK1#=0
630 RK2#=0
640 IF RESORTE! (<) 1 AND RESORTE! (<) 3 THEN 680
650 PRINT " "
660 PRINT " X DEL RESORTE SEGUN X  ";
670 INPUT RK1#
680 IF RESORTE! (<) 2 AND RESORTE! (<) 3 THEN 720
690 PRINT " "
700 PRINT " X DEL RESORTE SEGUN Y  ";
710 INPUT RK2#
720 GET#1,JUNTA+1
730 LSET JO1$=MK1$(APOYO!)
740 LSET LO1$=MK1$(RESORTE!)
750 LSET RK1$=MKD$(RK1#)
760 LSET RK2$=MKD$(RK2#)
770 NJR1=0
780 NJR2=0
790 IF APOYO!=1 OR APOYO!=3 THEN NJR1!=1
800 IF APOYO!=2 OR APOYO!=3 THEN NJR2!=1
810 LSET NJR1$=MK1$(NJR1!)
820 LSET NJR2$=MK1$(NJR2!)
830 PUT#1,JUNTA+1
840 NEXT I
850 CLOSE#1
860 CHAIN DRIVEP$+"EFM02.BAS"
```

```

10 REM --- EF1007.BAS
20 REM --
30 REM -- PROGRAMA PARA LISTAR
40 REM -- LOS NODOS Y/O ELEMENTOS
50 REM --
60 REM -- ULTIMA MODIF. 23-AGO-84
70 REM --
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG$( ),UG( ),AT( ),PES( ),EE1( ),EE2( ),EE3( )
120 COMMON S( )
130 DIM X(200),Y(200)
140 HOME
150 PRINT " LISTADO DE NODOS Y/O ELEMENTOS "
160 PRINT " ----- "
170 PRINT " "
180 PRINT " "
190 PRINT " (1) GRAFICACION DE MALLA "
200 PRINT " "
210 PRINT " (2) LISTADO DE NODOS "
220 PRINT " "
230 PRINT " (3) LISTADO DE ELEMENTOS "
240 PRINT " "
250 PRINT " (4) LISTADO DE AMBOS "
260 PRINT " "
270 PRINT " INGRESE NUMERO DESEADO ";
280 INPUT NUM
290 IF NUM < 1 OR NUM > 4 THEN 180
300 ON NUM GOTO 880,310,480,310
310 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
320 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
   AS LO1$,5 AS JO1$
330 GET#1,1
340 NODO=CVS(XNOD$)
350 GOSUB 740
360 REM--
370 REM-- LISTADO DE NODOS
380 REM--
390 FOR I= 1 TO NODO
400 GET#1,I+1
410 IF NLIN(>63 THEN 430
420 GOSUB 740
430 LPRINT USING " ### ## ##.### ## ##.###";I;CVS(XNOD$);CVS(YNO
D$)
440 NLIN=NLIN+1
450 NEXT I
460 CLOSE#1
470 IF NUM = 1 THEN 670
480 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
490 FIELD#1,5 AS MOD1$,5 AS MOD2$,5 AS MOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS XI
J$,8 AS XIK$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EX0$,8 AS EY0$,8 AS EX
0$
500 GET#1,1
510 NE=CVI(MOD1$)
520 GOSUB 810
530 REM--
540 REM-- LISTADO DE ELEMENTOS
550 REM--

```

```

560 FOR I=1 TO NE
570 IF NLIN(>)63 THEN 590
580 GOSUB 810
590 GET#1,I+1
600 IF CVI(NOD3$)=0 THEN 630
610 LPRINT USING "   ####   ####   ####   ####   ###.####
      ####";I;CVI(NOD1$);CVI(NOD2$);CVI(NOD3$);CVS(T$);CVI(MAT$)
620 GOTO 640
630 LPRINT USING "   ####   ####   ####   ###.####
      ####";I;CVI(NOD1$);CVI(NOD2$);CVS(T$);CVI(MAT$)
640 NLIN=NLIN+1
650 NEXT I
660 CLOSE#1
670 CHAIN DRIVE$+"EFM02.BAS"
680 IF RIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
690 LPRINT " "
700 LPRINT " ";TITULO$
710 LPRINT " DATOS DE LA MALLA ";NOM$
720 NLIN=4
730 RETURN
740 GOSUB 680
750 LPRINT " -----"
760 LPRINT " COORDENADAS DE LOS NODOS"
770 LPRINT " NODO COORD. X COORD. Y"
780 LPRINT " -----"
790 NLIN=NLIN+3
800 RETURN
810 GOSUB 680
820 LPRINT " -----"
830 LPRINT " INCIDENCIA DE LOS ELEMENTOS "
840 LPRINT " ELEMENTO NODO 1 NODO 2 NODO 3 ESP/AREA MATERIAL
      "
850 LPRINT " -----"
860 NLIN=NLIN+3
870 RETURN
880 HOME
890 PRINT " "
900 PRINT " PISE RETURN PARA REALIZAR "
910 PRINT " EL GRAFICO "
920 PRINT " "
930 PRINT " PARA REPETIRLO PISE R , PISANDO "
940 PRINT " CUALQUIER OTRA TECLA REGRESARA "
950 PRINT " AL MENU ANTERIOR "
960 INKEY$
970 OPEN "R",#1,DRIVE$+";"+NOM$+"NO.DAT"
980 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$
990 GET#1,I
1000 NODO=CVS(XNOD$)
1010 XMAX=-10000
1020 YMAX=-10000
1030 XMIN=10000
1040 YMIN=10000
1050 FOR I=1 TO NODO
1060 GET#1,I+1
1070 X(I)=CVS(XNOD$)
1080 Y(I)=CVS(YNOD$)

```

```
1090 PRINT I;X(I);Y(I)
1100 IF X(I)<XMAX THEN 1120
1110 XMAX=X(I)
1120 IF X(I)>XMIN THEN 1140
1130 XMIN=X(I)
1140 IF Y(I)<YMAX THEN 1160
1150 YMAX=Y(I)
1160 IF Y(I)>YMIN THEN 1180
1170 YMIN=Y(I)
1180 NEXT I
1190 DELTAX=XMAX-XMIN
1200 DELTAY=YMAX-YMIN
1210 CLOSE#1
1220 FOR I=1 TO MOD0
1230 X(I)=INT((X(I)-XMIN)*279/DELTAX)
1240 Y(I)=191-INT((Y(I)-YMIN)*191/DELTAY)
1250 NEXT I
1260 OPEN "R",#1,DRIVE$+" "+NOM$+"EL.DAT"
1270 FIELD#1,5 AS MOD1$,5 AS MOD2$,5 AS MOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,80 AS P$
1280 HGR 1,0
1290 HCOLOR=7
1300 GET#1,1
1310 ELEM=CVI(MOD1$)
1320 FOR I=1 TO ELEM
1330 GET#1,I+1
1340 MOD1=CVI(MOD1$)
1350 MOD2=CVI(MOD2$)
1360 MOD3=CVI(MOD3$)
1370 PRINT I;MOD1;MOD2;MOD3
1380 HPLOT X(MOD1),Y(MOD1) TO X(MOD2),Y(MOD2)
1390 IF MOD3=0 THEN 1420
1400 HPLOT TO X(MOD3),Y(MOD3)
1410 HPLOT TO X(MOD1),Y(MOD1)
1420 NEXT I
1430 CLOSE#1
1440 INKEY$
1450 A$=INKEY$
1460 IF A$="R" THEN 1260
1470 CHAIN DRIVE$+"EFM02.BAS"
```

```

10 REM --- EFID08.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA LISTAR
30 REM -- LOS DATOS GEOMETRICOS Y
40 REM -- GENERAR PROP. GEOMETRICAS
50 REM -- DE LOS MIEMBROS
60 REM --
70 REM -- ULTIMA MODIF. 12-AGO-84
80 REM --
90 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVE$
100 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
110 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
120 COMMON EG$(1),UG(1),AT(1),PES(1),EE1(1),EE2(1),EE3(1)
130 COMMON S(1)
140 DIM XN(1000),YN(1000)
150 LINEAS="-----"

160 HOME
170 PRINT " LISTA GEOMETRIA Y PROP. MIEMBROS "
180 PRINT " ----- "
190 IF MAT>0 THEN 420
200 REM--
210 REM-- SI NO TIENE LOS MATERIALES
220 REM-- EN EL COMMON LOS LEE DEL
230 REM-- ARCHIVO
240 REM--
250 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"MA.DAT"
260 FIELD#1,16 AS E$,8 AS U$,8 AS A$,8 AS P$
270 GET#1,1
280 IDE=CVS(U$)
290 MAT=CVS(A$)
300 FOR I=1 TO MAT
310 GET#1,I+1
320 EG$(I)=CVD(E$)
330 UG(I)=CVS(U$)
340 AT(I)=CVS(A$)
350 PES(I)=CVS(P$)
360 EE1(I)=1
370 IF IDE=2 THEN EE1(I)=EE1(I)-UG(I)
380 EE2(I)=EE1(I)-UG(I)
390 EE3(I)=EE2(I)/2
400 NEXT I
410 CLOSE#1
420 GOSUB 1800
430 REM--
440 REM-- LISTADO DE MATERIALES
450 REM--
460 FOR I=1 TO MAT
470 LPRINT USING " ##          #####          0.####          0.#####
      #####.### 0.##### 0.##### 0.##### ";1;EG$(I);UG(I);AT(I);PES(I);
      EE1(I);EE2(I);EE3(I)
480 NEXT I
490 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
500 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
      AS LO1$,5 AS JO1$
510 GET#1,1
520 NODO=CVS(XNOD$)
530 GOSUB 1880
540 REM--

```



```

1090 PP=VOL*PES(CVI(MAT$))
1100 IF NLIN<>64 THEN 1120
1110 GOSUB 1960
1120 LPRINT USING "   ****   ****   ****   ****   **   ****.****
****.****   ****.****   ****.****";I,NOD1,NOD2,NOD3,CVI(MAT$);CVS(T$);AR;VOL
;PP
1130 GOTO 1250
1140 REM--
1150 REM-- GENERA CARACTERISTICAS
1160 REM-- GEOMETRICAS DE LOS MIEMBROS
1170 REM-- RECTILINEOS
1180 REM--
1190 AR=(XIJ*XIJ+YIJ*YIJ)^.5
1200 XJK=XIJ/AR
1210 YJK=YIJ/AR
1220 XIX=XJK*XJK
1230 YIK=YJK*YJK
1240 NMR=NMR+1
1250 LSET XIJ$=MKS$(XIJ)
1260 LSET XIX$=MKS$(XIX)
1270 LSET XJK$=MKS$(XJK)
1280 LSET YIJ$=MKS$(YIJ)
1290 LSET YIK$=MKS$(YIK)
1300 LSET YJK$=MKS$(YJK)
1310 LSET AR$=MKS$(AR)
1320 PUT#1,1+1
1330 NEXT I
1340 IF NMR=0 THEN 1510
1350 NLIN=64
1360 REM--
1370 REM-- LISTADO DE ELEMENTOS
1380 REM-- RECTILINEOS
1390 REM--
1400 FOR I=1 TO NE
1410 GET#1,1+1
1420 NOD1=CVI(NOD1$)
1430 NOD3=CVI(NOD3$)
1440 IF NOD3<>0 THEN 1500
1450 VOL=CVS(T$)*CVS(AR$)
1460 PP=VOL*PES(CVI(MAT$))
1470 IF NLIN<>64 THEN 1490
1480 GOSUB 2040
1490 LPRINT USING "   ****   ****   ****   **   ****.****   ****.
****.****   ****.****";I,NOD1,NOD2,CVI(MAT$);CVS(AR$);CVS(T$);VOL;PP
1500 NEXT I
1510 CLOSE#1
1520 MBAN=2*(MBAN+1)
1530 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"MA.DAT"
1540 FIELD#1,16 AS E$,8 AS U$,8 AS A$,8 AS P$
1550 LSET E$=MKD$(LO#10+JO)
1560 LSET U$=MKS$(NMR#10+IDE)
1570 LSET A$=MKS$(MAT)
1580 LSET P$=MKS$(MBAN)
1590 PUT#1,1
1600 CLOSE#1
1610 NMT=NM-NMR
1620 CHAIN DRIVE$+"EFM02.BAS"

```

```

1630 REM--
1640 REM-- IMPRESION DE ENCABEZADOS
1650 REM--
1660 NPAG=NPAG+1
1670 LPRINT CHR$(15)
1680 IF BIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
1690 LPRINT " "
1700 LPRINT " ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITO
S-- PAGINA ";NPAG
1710 LPRINT " ";TITULO$;" ( MALLA = ";NOM$;" ) ";
1720 IF IDE=1 THEN 1750
1730 LPRINT " DEFORMACION PLANA "
1740 GOTO 1760
1750 LPRINT " TENSION PLANA "
1760 LPRINT "=====
=====
1770 LPRINT " "
1780 NLIN=5
1790 RETURN
1800 GOSUB 1660
1810 LPRINT " PROPIEDADES DE LOS MATERIALES "
1820 LPRINT LINEA$
1830 LPRINT "NRO MODULO DE ELASTICIDAD RELACION DE POISSON COEFICIENTE TERMI
CO PESO E1 E2 E3"
1840 LPRINT LINEA$
1850 LPRINT " "
1860 NLIN=NLIN+5
1870 RETURN
1880 GOSUB 1660
1890 LPRINT " DATOS DE LAS JUNTAS "
1900 LPRINT LINEA$
1910 LPRINT "JUNTA X Y RDX RDY KDX
KDY "
1920 LPRINT LINEA$
1930 LPRINT " "
1940 NLIN=NLIN+5
1950 RETURN
1960 GOSUB 1660
1970 LPRINT " PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS TRIANGULARES "
1980 LPRINT LINEA$
1990 LPRINT "ELEMENTO JI JJ JK NRO. MATERIAL ESPESOR ARE
A VOLUMEN PESO"
2000 LPRINT LINEA$
2010 LPRINT " "
2020 NLIN=NLIN+5
2030 RETURN
2040 GOSUB 1660
2050 LPRINT " PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS RECTILINEOS"
2060 LPRINT LINEA$
2070 LPRINT "ELEMENTO JI JJ NRO. MATERIAL LONGITUD AREA TRANSV.
VOLUMEN PESO"
2080 LPRINT LINEA$
2090 LPRINT " "
2100 NLIN=NLIN+5
2110 RETURN

```

```

10 REM-- EFIC01.BAS
20 REM--
30 REM-- PROGRAMA PARA EL INGRESO
40 REM--      DE LAS CARGAS
50 REM--
60 REM-- ULTIMA MODIF. 12/SEP/84
70 REM--
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG$( ),UG( ),AT( ),PES( ),EE1( ),EE2( ),EE3( )
120 COMMON S( )
130 GOSUB 2310
140 INPUT "NRO. DE CASOS DE CARGA ";NCAS
150 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"TC.DAT"
160 FIELD#1,50 AS TC$
170 REM --
180 FOR I=1 TO NCAS
190 GOSUB 2310
200 PRINT " "
210 PRINT"EL CASO ";I;" YA FUE INGRESADO (S/N)";:INPUT A$
220 IF A$="S" THEN 2270
230 REM
240 REM INGRESO DEL TITULO DEL CASO DE CARGA
250 REM
260 PRINT " "
270 PRINT "          TITULO DEL CASO ";I;" ";:INPUT TITC$
280 LSET TC$=TITC$
290 PUT#1,I
300 NI$=STR$(I)
310 IF I>=10 THEN 340
320 NI$="0"+RIGHT$(NI$,1)
330 GOTO 350
340 NI$=RIGHT$(NI$,2)
350 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOM$+NI$+".DAT"
360 FIELD#3,8 AS CARGA$
370 LSET CARGA$=MKS$(NCAS)
380 PUT#3,I
390 REM
400 GOSUB 2310
410 PRINT " "
420 REM
430 REM INGRESO DE LAS FUERZAS EXTERNAS EN LAS JUNTAS
440 REM
450 PRINT "FUERZAS EN LAS JUNTAS"
460 PRINT "-----"
470 PRINT " "
480 INPUT "NRO. DE JUNTAS CON FUERZA EXTERNA ";NJCA
490 LSET CARGA$=MKS$(NJCA)
500 PUT#3,2
510 A=11
520 FOR J=1 TO NJCA
530 PRINT " "
540 PRINT "NRO. DE LA JUNTA ";J;" ";:INPUT K
550 PRINT " "
560 LSET CARGA$=MKS$(K)
570 GOSUB 2360
580 PRINT "  CARGA SEGUN X      ";:INPUT KI
590 PRINT " "

```

```

500 PRINT " CARGA SEGUN Y " ";;INPUT K
610 LSET CARGA%=MKS$(K1)
620 GOSUB 2360
630 LSET CARGA%=MKS$(K)
640 GOSUB 2360
650 NEXT J
660 GOSUB 2310
670 REM
680 REM INGRESO DE FUERZAS DE SUPERFICIE
690 REM
700 PRINT"FUERZAS DE SUPERFICIE"
710 PRINT"-----"
720 PRINT" "
730 INPUT "NRO. DE FUERZAS DE SUPERFICIE ";NECS
740 PRINT" "
750 LSET CARGA%=MKS$(NECS)
760 PUT#3,3
770 FOR J=1 TO NECS
780 INPUT "VALOR DE K " ";;K
790 IF K<>0 AND K<>1 AND K<>2 THEN 780
800 INPUT "VALOR DE I " ";;J1
810 INPUT "VALOR DE J " ";;J2
820 PRINT" "
830 PRINT "INGRESE LOS VALORES DE: "
840 INPUT " " WXI = ";;WXI
850 INPUT " " WXJ = ";;WXJ
860 INPUT " " WYI = ";;WYI
870 INPUT " " WYJ = ";;WYJ
880 LSET CARGA%=MKS$(K)
890 GOSUB 2360
900 LSET CARGA%=MKS$(J1)
910 GOSUB 2360
920 LSET CARGA%=MKS$(J2)
930 GOSUB 2360
940 LSET CARGA%=MKS$(WXI)
950 GOSUB 2360
960 LSET CARGA%=MKS$(WXJ)
970 GOSUB 2360
980 LSET CARGA%=MKS$(WYI)
990 GOSUB 2360
1000 LSET CARGA%=MKS$(WYJ)
1010 GOSUB 2360
1020 NEXT J
1030 GOSUB 2310
1040 REM
1050 REM INGRESO DE LAS FUERZAS DE VOLUMEN
1060 REM
1070 PRINT"FUERZAS DE VOLUMEN : "
1080 PRINT"-----"
1090 INPUT "NRO. DE FUERZAS DE VOLUMEN ";NECV
1100 PRINT" "
1110 LSET CARGA%=MKS$(NECV)
1120 PUT#3,4
1130 FOR J=1 TO NECV
1140 INPUT "NUMERO DEL ELEMENTO ";EL
1150 INPUT "FUERZA SEGUN X " ";;WVX
1160 INPUT "FUERZA SEGUN Y " ";;WVY
1170 LSET CARGA%=MKS$(EL)
1180 GOSUB 2360

```

```

1190 LSET CARGA%=MKS$(WVX)
1200 GOSUB 2360
1210 LSET CARGA%=MKS$(WVY)
1220 GOSUB 2360
1230 NEXT J
1240 GOSUB 2310
1250 REM
1260 REM INGRESO DE ELEMENTOS CON CAMBIO DE TEMPERATURA
1270 REM
1280 PRINT" CAMBIO DE TEMPERATURA"
1290 PRINT" -----"
1300 INPUT"NRO. DE ELEMENTOS CON CAMBIO CONST. ";NECT
1310 PRINT " "
1320 LSET CARGA%=MKS$(NECT)
1330 PUT#3,5
1340 FOR J=1 TO NECT
1350 INPUT "NUMERO DEL ELEMENTO ";EL
1360 INPUT "CAMBIO DE TEMPERATURA ";CT
1370 LSET CARGA%=MKS$(EL)
1380 GOSUB 2360
1390 LSET CARGA%=MKS$(CT)
1400 GOSUB 2360
1410 NEXT J
1420 GOSUB 2310
1430 REM
1440 REM INGRESO DE ELEMENTOS CON DEFORMACIONES INICIALES
1450 REM
1460 PRINT"DEFORMACIONES INICIALES"
1470 PRINT"-----"
1480 PRINT " "
1490 INPUT "NRO. DE ELEMT.COM DEFORMACIONES INICIALES ";NEDI
1500 OPEN "R",#2,DRIVE%+NON%+"EL.DAT"
1510 FIELD#2.5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$.5 AS MAT$.8 AS AR$.8 AS XI
J$, 8 AS XIX$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EX0$,8 AS EY0$,8 AS EX
Y0$
1520 LSET CARGA%=MKS$(NEDI)
1530 PUT#3,6
1540 FOR J=1 TO NEDI
1550 PRINT " "
1560 INPUT "NRO. DEL ELEMENTO ";EL
1570 PRINT " "
1580 GET#2,EL+1
1590 NOD3=CVS(NOD3$)
1600 IF NOD3=0 THEN 1670
1610 PRINT "ELEMENTO TRIANGULAR ";
1620 PRINT " "
1630 INPUT " DEF. SEGUN X ";EX0
1640 INPUT " DEF. SEGUN Y ";EY0
1650 INPUT " DEF. SEGUN XY ";EXY0
1660 GOTO 1720
1670 PRINT "ELEMENTO RECTILINEO"
1680 PRINT " "
1690 INPUT " DEF. SEGUN X ";EX0
1700 EXY0=0
1710 EY0=0
1720 LSET CARGA%=MKS$(EL)
1730 GOSUB 2360
1740 LSET CARGA%=MKS$(EX0)
1750 GOSUB 2360
1760 LSET CARGA%=MKS$(EY0)

```

```

1770 GOSUB 2360
1780 LSET CARGA$=MKS$(EXY0)
1790 GOSUB 2360
1800 NEXT J
1810 CLOSE#2
1820 GOSUB 2310
1830 REM
1840 REM INGRESO DE JUNTAS CON DESPLAZAMIENTO DE APOYO
1850 REM
1860 PRINT "DESPLAZAMIENTOS DE APOYO"
1870 PRINT "-----"
1880 PRINT " "
1890 INPUT "NRO. DE JUNTAS ";NMOV
1900 PRINT " "
1910 LSET CARGA$=MKS$(NMOV)
1920 PUT#3,7
1930 FOR J=1 TO NMOV
1940 INPUT "NRO. DE LA JUNTA ";JUNTA
1950 INPUT "DESP. SEGUN X ";DX
1960 INPUT "DESP. SEGUN Y ";DY
1970 LSET CARGA$=MKS$(JUNTA)
1980 GOSUB 2360
1990 LSET CARGA$=MKS$(DX)
2000 GOSUB 2360
2010 LSET CARGA$=MKS$(DY)
2020 GOSUB 2360
2030 NEXT J
2040 GOSUB 2310
2050 REM
2060 REM INGRESO DE DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA
2070 REM CODIGO PARA PESO PROPIO Y TEMPERATURA
2080 REM
2090 PRINT " "
2100 PRINT "CODIGO PARA PESO PROPIO Y TEMPERATURA"
2110 PRINT "-----"
2120 PRINT " "
2130 INPUT "PESO SEGUN X ";IPEX
2140 IF IPEX<>0 AND IPEX<>1 AND IPEX<>-1 THEN 2130
2150 INPUT "PESO SEGUN Y ";IPEY
2160 IF IPEY<>0 AND IPEY<>1 AND IPEY<>-1 THEN 2150
2170 PRINT " "
2180 PRINT "CAMBIO CONST. DE TEMPERATURA "
2190 INPUT " PARA TODOS LOS ELEMENTOS ";TEM
2200 LSET CARGA$=MKS$(IPEX)
2210 PUT#3,8
2220 LSET CARGA$=MKS$(IPEY)
2230 PUT#3,9
2240 LSET CARGA$=MKS$(TEM)
2250 PUT#3,10
2260 CLOSE#3
2270 NEXT I
2280 CLOSE#1
2290 CHAIN DRIVE$+"EFM03.BAS"
2300 END
2310 HOME
2320 PRINT " INGRESO DE CARGAS "
2330 PRINT " ===== == ===== "
2340 PRINT " "
2350 RETURN

```

2360 A=A+1
2370 PUT#3,A
2380 RETURN

```

10 REM-- EFIC02.BAS
20 REM--
30 REM-- PROGRAMA PARA MODIFICAR INGRESO
40 REM--     DE LAS CARGAS
50 REM--
60 REM-- ULTIMA MODIF. 12/SEP/84
70 REM--
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NH,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,MPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG0(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
120 COMMON S()
130 GOSUB 2580
140 PRINT:PRINT:
150 INPUT "MRO. DEL CASO DE CARGA ":I
160 IF I=0 THEN 400
170 GOSUB 2580
180 PRINT"(1) TITULO DEL CASO"
190 PRINT" "
200 PRINT"(2) FUERZAS EN LA JUNTAS"
210 PRINT" "
220 PRINT"(3) FUERZAS DE SUPERFICIE"
230 PRINT" "
240 PRINT"(4) FUERZAS DE VOLUMEN"
250 PRINT" "
260 PRINT"(5) ELEM.CON CAMBIO DE TEMP.CONSTANTE"
270 PRINT" "
280 PRINT"(6) DEFORMACIONES INICIALES"
290 PRINT" "
300 PRINT"(7) DESPLAZAMIENTO DE APOYOS"
310 PRINT" "
320 PRINT "(8) PESO SEGUN X,Y,CAMBIO DE TEMP.CONST."
330 PRINT" "
340 PRINT "(9) REGRESAR AL MENU ANTERIOR"
350 PRINT" "
360 HTAB(5):VTAB(23):
370 PRINT" INGRESE EL NUMERO DESEADO =>";:INPUT B
380 IF B<1 OR B>10 THEN 360
390 ON B GOTO 450,550,550,550,550,550,550,550,400
400 CHAIN DRIVEP$+"EFM03.BAS"
410 END
420 REM
430 REM MODIFICACION DEL TITULO DEL CASO DE CARGA
440 REM
450 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"TC.DAT"
460 FIELD#1,50 AS TC$
470 REM --
480 PRINT " "
490 PRINT " "
500 PRINT "          TITULO DEL CASO ":I;" ";:INPUT TITC$
510 LSET TC$=TITC$
520 PUT#1,I
530 CLOSE#1
540 GOTO 170
550 NI$=STR$(I)
560 IF I>=10 THEN 590
570 NI$="0"+RIGHT$(NI$,1)
580 GOTO 600
590 NI$=RIGHT$(NI$,2)

```

```

600 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOM$+NI$+".DAT"
610 FIELD#3,8 AS CARGA$
620 GET#3,2
630 NJCA=CVS(CARGA$)
640 GET#3,3
650 NECS=CVS(CARGA$)
660 GET#3,4
670 NECY=CVS(CARGA$)
680 GET#3,5
690 NECT=CVS(CARGA$)
700 GET#3,6
710 NEDI=CVS(CARGA$)
720 GET#3,7
730 NMOY=CVS(CARGA$)
740 ON B GOTO 450,750,980,1340,1550,1740,2150,2370
750 A=12
760 FOR J=1 TO NJCA
770 GOSUB 2580
780 REM
790 REM MODIFICACION DE LAS FUERZAS EN LAS JUNTAS
800 REM
810 PRINT " "
820 PRINT "FUERZAS EN LA JUNTAS"
830 PRINT " "
840 PRINT "NRO. DE LA JUNTA ";J;" ";;INPUT K
850 PRINT " "
860 LSET CARGA$=MKS$(K)
870 GOSUB 2630
880 PRINT " CARGA SEGUN X ";;INPUT K1
890 PRINT " "
900 PRINT " CARGA SEGUN Y ";;INPUT K
910 LSET CARGA$=MKS$(K1)
920 GOSUB 2630
930 LSET CARGA$=MKS$(K)
940 GOSUB 2630
950 NEXT J
960 CLOSE#3
970 GOTO 170
980 A=12+3*NJCA
990 FOR J=1 TO NECS
1000 GOSUB 2580
1010 REM
1020 REM MODIFICACIONDE LAS FUERZAS DE SUPERFICIE
1030 REM Y LOS CODIGOS RELACIONADOS CON ELLAS
1040 REM
1050 PRINT"FUERZAS DE SUPERFICIE"
1060 PRINT"-----"
1070 PRINT" "
1080 INPUT "VALOR DE K ";;K
1090 INPUT "VALOR DE I ";;J1
1100 INPUT "VALOR DE J ";;J2
1110 PRINT " "
1120 PRINT "INGRESE LOS VALORES DE: "
1130 INPUT " " WXI = ";;WXI
1140 INPUT " " WXJ = ";;WXJ
1150 INPUT " " WYI = ";;WYI
1160 INPUT " " WYJ = ";;WYJ
1170 LSET CARGA$=MKS$(K)
1180 GOSUB 2630

```

```

1190 LSET CARGA%=MKS%(J1)
1200 GOSUB 2630
1210 LSET CARGA%=MKS%(J2)
1220 GOSUB 2630
1230 LSET CARGA%=MKS%(WX1)
1240 GOSUB 2630
1250 LSET CARGA%=MKS%(WXJ)
1260 GOSUB 2630
1270 LSET CARGA%=MKS%(WY1)
1280 GOSUB 2630
1290 LSET CARGA%=MKS%(WYJ)
1300 GOSUB 2630
1310 NEXT J
1320 CLOSE#3
1330 GOTO 170
1340 A=12+3*NJCA+7*NECS
1350 FOR J=1 TO NECV
1360 GOSUB 2580
1370 REM
1380 REM MODIFICACION DE LA FUERZAS DE VOLUMEN
1390 REM
1400 PRINT"FUERZAS DE VOLUMEN ;"
1410 PRINT"-----"
1420 PRINT " "
1430 INPUT "NUMERO DEL ELEMENTO ";EL
1440 INPUT "FUERZA SEGUN X      ";WVX
1450 INPUT "FUERZA SEGUN Y      ";WVY
1460 LSET CARGA%=MKS%(EL)
1470 GOSUB 2630
1480 LSET CARGA%=MKS%(WVX)
1490 GOSUB 2630
1500 LSET CARGA%=MKS%(WVY)
1510 GOSUB 2630
1520 NEXT J
1530 CLOSE#3
1540 GOTO 170
1550 A=12+3*NJCA+7*NECS+3*NECV
1560 FOR J=1 TO NECT
1570 GOSUB 2580
1580 REM
1590 REM MODIFICACION DE ELEMENTOS CON CAMBIO
1600 REM DE TEMPERATURA Y EL VALOR CORRESPONDIENTE
1610 REM
1620 PRINT" CAMBIO DE TEMPERATURA"
1630 PRINT"-----"
1640 PRINT " "
1650 INPUT "NUMERO DEL ELEMENTO ";EL
1660 INPUT "CAMBIO DE TEMPERATURA ";CT
1670 LSET CARGA%=MKS%(EL)
1680 GOSUB 2630
1690 LSET CARGA%=MKS%(CT)
1700 GOSUB 2630
1710 NEXT J
1720 CLOSE#3
1730 GOTO 170
1740 GOSUB 2580
1750 REM
1760 REM MODIFICACION DE LOS ELEMENTOS CON
1770 REM DEFORMACIONES INICIALES

```

```

1780 REM
1790 OPEN "R",#2,DRIVE%+NOM%+"EL.DAT"
1800 FIELD#2,5 AS MOD1%,5 AS MOD2%,5 AS MOD3%,8 AS T%,5 AS MAT%,8 AS AR%,8 AS XI
J%, 8 AS XIX%,8 AS XJK%,8 AS YIJ%,8 AS YIK%,8 AS YJK%,8 AS EXO%,8 AS EYO%,8 AS EX
YO%
1810 A=12+3*#NJCA+7*#NECS+3*#NECV+2*#NECT
1820 FOR J=1 TO NEDI
1830 GOSUB 2580
1840 PRINT "DEFORMACIONES INICIALES"
1850 PRINT "-----"
1860 PRINT " "
1870 INPUT "NRO. DEL ELEMENTO ";EL
1880 GET#2,EL+1
1890 MOD3=CVS(MOD3%)
1900 PRINT " "
1910 IF MOD3=0 THEN 1980
1920 PRINT "ELEMENTO TRIANGULAR ";
1930 PRINT " "
1940 INPUT " DEF. SEGUN X ";EXO
1950 INPUT " DEF. SEGUN Y ";EYO
1960 INPUT " DEF. SEGUN XY ";EXYO
1970 GOTO 2030
1980 PRINT "ELEMENTO RECTILINEO"
1990 PRINT " "
2000 INPUT " DEF. SEGUN X ";EXO
2010 EYO=0
2020 EYO=0
2030 LSET CARGA%=MKS%(EL)
2040 GOSUB 2630
2050 LSET CARGA%=MKS%(EXO)
2060 GOSUB 2630
2070 LSET CARGA%=MKS%(EYO)
2080 GOSUB 2630
2090 LSET CARGA%=MKS%(EXYO)
2100 GOSUB 2630
2110 NEXT J
2120 CLOSE#3
2130 CLOSE#2
2140 GOTO 170
2150 A=12+3*#NJCA+7*#NECS+3*#NECV+2*#NECT+4*#NEDI
2160 FOR J=1 TO NMOV
2170 GOSUB 2580
2180 REM
2190 REM MODIFICACION DE LAS JUNTAS, DESPLAZAMIENTOS
2200 REM DE APOYO SEGUN X, SEGUN Y CORRESPONDIENTES
2210 REM
2220 PRINT "DESPLAZAMIENTOS DE APOYO"
2230 PRINT "-----"
2240 PRINT " "
2250 INPUT "NRO. DE LA JUNTA ";JUNTA
2260 INPUT "DESP. SEGUN X ";DX
2270 INPUT "DESP. SEGUN Y ";DY
2280 LSET CARGA%=MKS%(JUNTA)
2290 GOSUB 2630
2300 LSET CARGA%=MKS%(DX)
2310 GOSUB 2630
2320 LSET CARGA%=MKS%(DY)
2330 GOSUB 2630
2340 NEXT J

```

```
2360 GOTO 170
2370 GOSUB 2580
2380 PRINT " "
2390 REM MODIFICACION DEL CODIGO DE PESO PROPIO
2400 REM Y TEMPERATURA PARA TODA LA ESTRUCTURA
2410 REM
2420 PRINT "CODIGO PARA PESO PROPIO Y TEMPERATURA"
2430 PRINT "-----"
2440 PRINT " "
2450 INPUT "PESO SEGUN X"           ";IPEX
2460 INPUT "PESO SEGUN Y"           ";IPEY
2470 PRINT " "
2480 PRINT "CAMBIO CONST. DE TEMPERATURA "
2490 INPUT " PARA TODOS LOS ELEMENTOS " ";TEM
2500 LSET CARGA%=MKS$(IPEX)
2510 PUT#3,8
2520 LSET CARGA%=MKS$(IPEY)
2530 PUT#3,9
2540 LSET CARGA%=MKS$(TEM)
2550 PUT#3,10
2560 CLOSE#3
2570 GOTO 170
2580 HOME
2590 PRINT " MODIFICAR CARGAS "
2600 PRINT " ===== "
2610 PRINT " "
2620 RETURN
2630 REM--
2640 PUT#3,A
2650 A=A+1
2660 RETURN
```

```

10 REM-- EFIC03.BAS
20 REM--
30 REM-- PROGRAMA PARA IMPRIMIR LAS
40 REM--     CARGAS
50 REM--
60 REM-- ULTIMA MODIFICACION 12-SEP-84
70 REM--
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JD,MAT,BIMP()
100 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
110 COMMON EG#(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
120 COMMON S()
130 DIM NOD(3),ID(6),DI(6)
140 HOME
150 LINEA$="-----"
-----
160 PRINT " LISTADO DE LAS CARGAS"
170 PRINT " -----"
180 IF NM>0 THEN 230
190 GOSUB 2960
200 GET#2,1
210 NM=CVI(NOD1$)
220 CLOSE#2
230 IF NCAS>0 THEN 290
240 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"01.DAT"
250 FIELD#2,8 AS CARGA$
260 GET#2,1
270 CLOSE#2
280 NCAS=CVS(CARGA$)
290 PRINT " "
300 PRINT " DESEA IMPRIMIR TODOS LOS "
310 INPUT " CASOS DE CARGA (S/N) ";RESP$
320 IF RESP$(">S" AND RESP$(">N" THEN 290
330 IF RESP$="N" THEN 360
340 NCASI=1
350 GOTO 380
360 PRINT " "
370 INPUT " NUMERO DEL CASO DE CARGA ";NCASI
380 NI$=STR$(NCASI)
390 IF NCASI>NCAS THEN CHAIN DRIVEP$+"EFH03.BAS"
400 IF NCASI>=10 THEN 430
410 NI$="0"+RIGHT$(NI$,1)
420 GOTO 440
430 NI$=RIGHT$(NI$,2)
440 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"TC.DAT"
450 FIELD#2,50 AS TC$
460 GET#2,NCASI
470 CLOSE#2
480 TITC$=TC$
490 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+NI$+".DAT"
500 FIELD#1,8 AS CARGA$
510 GET#1,2
520 REG=11
530 NJCA=CVS(CARGA$)
540 IF NJCA=0 THEN 730
550 TIT=1
560 GOSUB 2300
570 REM--

```

```

580 REM-- CARGAS APLICADAS EN LAS JUNTAS
590 REM--
600 FOR J=1 TO NJCA
610 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
620 REG1=3#J
630 GET#1,REG+REG1-2
640 JUNTA=CVS(CARGA#)
650 GET#1,REG+REG1-1
660 CARGAX=CVS(CARGA#)
670 GET#1,REG+REG1
680 CARGAY=CVS(CARGA#)
690 LPRINT USING "#####.###.#####.### "; JUNTA,CARGAX,CARGAY
700 NLIN=NLIN+1
710 NEXT J
720 REG=REG+REG1
730 GET#1,3
740 NECS=CVS(CARGA#)
750 IF NECS=0 THEN 1020
760 TIT=2
770 GOSUB 2300
780 REM--
790 REM-- CARGAS DE SUPERFICIE
800 REM--
810 FOR J=1 TO NECS
820 IF NLIN=63 THEN GOSUB 1390
830 REG1=7#J
840 GET#1,REG+REG1-6
850 K=CVS(CARGA#)
860 GET#1,REG+REG1-5
870 JI=CVS(CARGA#)
880 GET#1,REG+REG1-4
890 JJ=CVS(CARGA#)
900 GET#1,REG+REG1-3
910 WXI=CVS(CARGA#)
920 GET#1,REG+REG1-2
930 WXJ=CVS(CARGA#)
940 GET#1,REG+REG1-1
950 WYI=CVS(CARGA#)
960 GET#1,REG+REG1
970 WYJ=CVS(CARGA#)
980 LPRINT USING "#####.###.#####.###.#####.###.#####.###.###
#####.###";K,JI,JJ,WXI,WXJ,WYI,WYJ
990 NLIN=NLIN+1
1000 NEXT J
1010 REG=REG+REG1
1020 GET#1,4
1030 NECV=CVS(CARGA#)
1040 IF NECV=0 THEN 1230
1050 TIT=3
1060 GOSUB 2300
1070 REM--
1080 REM-- CARGAS DE VOLUMEN
1090 REM--
1100 FOR J=1 TO NECV
1110 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
1120 REG1=3#J
1130 GET#1,REG+REG1-2
1140 EL=CVS(CARGA#)
1150 GET#1,REG+REG1-1

```

```

1160 WVY=CVS(CARGA*)
1170 GET#1,REG+REG1
1180 WVY=CVS(CARGA*)
1190 LPRINT USING " ##### 000000.000 000000.000";EL,WVY,WVY
1200 NLIN=NLIN+1
1210 NEXT J
1220 REG=REG+REG1
1230 GET#1,5
1240 NECT=CVS(CARGA*)
1250 IF NECT=0 THEN 1430
1260 TIT=4
1270 GOSUB 2300
1280 REM--
1290 REM-- CAMBIO DE TEMPERATURA
1300 REM-- ( EN ELEMENTOS )
1310 REM--
1320 FOR J=1 TO NECT
1330 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
1340 REG1=2+J
1350 GET#1,REG+REG1-1
1360 EL=CVS(CARGA*)
1370 GET#1,REG+REG1
1380 CT=CVS(CARGA*)
1390 LPRINT USING " ##### 0000.00 ";EL,CT
1400 NLIN=NLIN+1
1410 NEXT J
1420 REG=REG+REG1
1430 GET#1,6
1440 NEDI=CVS(CARGA*)
1450 IF NEDI=0 THEN 1650
1460 TIT=5
1470 GOSUB 2300
1490 REM--
1500 REM-- DEFORMACIONES INICIALES
1510 REM--
1520 FOR J=1 TO NEDI
1530 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
1535 REG1=4+J
1540 GET#1,REG+REG1-3
1550 EL=CVS(CARGA*)
1560 GET#1,REG+REG1-2
1570 EXO=CVS(CARGA*)
1575 GET#1,REG+REG1-1
1580 EYO=CVS(CARGA*)
1585 GET#1,REG+REG1
1590 EXYO=CVS(CARGA*)
1600 LPRINT USING " ##### 00.000000^^^^ 00.000000^^^^ 00.000000^^^^
^^ ";EL,EXO,EYO,EXYO
1610 NLIN=NLIN+1
1620 NEXT J
1630 REG=REG+REG1
1650 GET#1,7
1660 NMOV=CVS(CARGA*)
1670 IF NMOV=0 THEN 1850
1680 TIT=6
1690 GOSUB 2300
1700 REM--
1710 REM-- MOVIMIENTOS DE APOYO
1720 REM--
1730 FOR J2= 1 TO NMOV

```

```

1740 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
1750 REG1=31J2
1760 GET#1,REG+REG1-2
1770 JUNTA=CVS(CARGA$)
1780 GET#1,REG+REG1-1
1790 DESPX=CVS(CARGA$)
1800 GET#1,REG+REG1
1810 DESPY=CVS(CARGA$)
1820 LPRINT USING "#####          #####.#####          #####.##### ";JUNTA,DESPX,D
    ESPY
1830 NEXT J2
1840 REG=REG+REG1
1850 GET#1,10
1860 CIT=CVS(CARGA$)
1870 IF CIT=0 THEN GOTO 1990
1880 TIT=7
1890 GOSUB 2300
1900 REM--
1910 REM-- CAMBIO DE TEMPERATURA
1920 REM-- PARA TODA LA ESTRUCTURA
1930 REM--
1940 FOR J=1 TO NH
1950 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
1960 LPRINT USING "   #####          #####.## ";J,CIT
1970 NLIN=NLIN+1
1980 NEXT J
1990 GET#1,8
2000 IPEX=CVS(CARGA$)
2010 GET#1,9
2020 IPEY=CVS(CARGA$)
2030 IF (IPEX=0) AND (IPEY=0) THEN GOTO 2210
2040 TIT=8
2050 GOSUB 2300
2060 GOSUB 2960
2070 REM--
2080 REM-- CONSIDERACION DEL PESO
2090 REM-- DE LA ESTRUCTURA
2100 REM--
2110 FOR J= 1 TO NH
2120 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2300
2130 GET#2,J+1
2140 MT=CVI(MAT$)
2150 WVX=PES(MT)*IPEX
2160 WVY=PES(MT)*IPEY
2170 LPRINT USING "   #####          #####.###          #####.### ";J,WVX,WVY
2180 NLIN=NLIN+1
2190 NEXT J
2200 CLOSE#2
2210 CLOSE#1
2220 IF RESP$="S" THEN 2240
2230 CHAIN DRIVEP$+"EFM03.BAS"
2240 NCASI=NCASI+1
2250 GOTO 380
2260 REM--
2270 REM-- SUBROUTINA DE IMPRESION
2280 REM-- DE LOS ENCABEZADOS
2290 REM--
2300 NPAG=NPAG+1
2310 LPRINT CHR$(15)

```

```

2320 IF BIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
2330 LPRINT " "
2340 LPRINT " ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITO
S-- PAGINA ";NPAG
2350 LPRINT " ";TITULO$;" ( MALLA = ";NOM$;" ) ";
2360 IF IDE=1 THEN 2390
2370 LPRINT " DEFORMACION PLANA "
2380 GOTO 2400
2390 LPRINT " TENSION PLANA "
2400 LPRINT "=====
=====
2410 LPRINT "(";NCASI:"/" ;NCAS;" ) ";TITC$
2420 NLIN=14
2430 ON TIT GOTO 2440,2500,2560,2620,2680,2740,2800,2860
2440 LPRINT LINEA$
2450 LPRINT " CARGAS APLICADAS EN LAS JUNTAS "
2460 LPRINT LINEA$
2470 LPRINT "JUNTA          FX          FY "
2480 LPRINT LINEA$
2490 RETURN
2500 LPRINT LINEA$
2510 LPRINT " CARGAS DE SUPERFICIE "
2520 LPRINT LINEA$
2530 LPRINT " K          I          J          WXI          WXJ          WY
I          WYJ"
2540 LPRINT LINEA$
2550 RETURN
2560 LPRINT LINEA$
2570 LPRINT " CARGAS DE VOLUMEN "
2580 LPRINT LINEA$
2590 LPRINT "ELEMENTO          WVX          WVY "
2600 LPRINT LINEA$
2610 RETURN
2620 LPRINT LINEA$
2630 LPRINT " DEFORMACIONES POR TEMPERATURA "
2640 LPRINT LINEA$
2650 LPRINT "ELEMENTO  CAMBIO DE TEMPERATURA "
2660 LPRINT LINEA$
2670 RETURN
2680 LPRINT LINEA$
2690 LPRINT " DEFORMACIONES INICIALES "
2700 LPRINT LINEA$
2710 LPRINT "ELEMENTO          EPSILON X          EPSILON Y          GAMMA XY"
2720 LPRINT LINEA$
2730 RETURN
2740 LPRINT LINEA$
2750 LPRINT " DESPLAZAMIENTOS DE APOYOS "
2760 LPRINT LINEA$
2770 LPRINT "JUNTA  DESPLAZAMIENTO X  DESPLAZAMIENTO Y "
2780 LPRINT LINEA$
2790 RETURN
2800 LPRINT LINEA$
2810 LPRINT " CAMBIO DE TEMPERATURA PARA TODA LA ESTRUCTURA "
2820 LPRINT LINEA$
2830 LPRINT "ELEMENTO  INCREMENTO DE TEMPERATURA "
2840 LPRINT LINEA$
2850 RETURN

```

```
2860 LPRINT LINEA$
2870 LPRINT " ACCION DEL PESO PROPIO "
2880 LPRINT LINEA$
2890 LPRINT "ELEMENTO           MVX           WVV "
2900 LPRINT LINEA$
2910 RETURN
2920 REM--
2930 REM-- SUBRUTINAS DE APERTURA
2940 REM-- DE LOS ARCHIVOS
2950 REM--
2960 OPEN "R", #2, DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
2970 FIELD#2,5 AS NOD1$,5 AS MOD2$,5 AS MOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS XI
J$,8 AS XIX$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EX0$,8 AS EY0$,8 AS EXY
0$
2980 RETURN
2990 OPEN "R", #3, DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
3000 FIELD#3,8 AS XNOD$,8 AS YMOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$
3010 RETURN
```

```

10 REM --- EFCE01.BAS
20 REM --
30 REM -- GENERA. MATRIZ DE RIGIDEZ DE
40 REM -- LOS ELEMENTOS Y DE LA
50 REM -- ESTRUCTURA
60 REM --
70 REM -- ULTIMA MODIF. 10-SEP-84
80 REM --
90 COMMON NOH$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
100 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LD,JO,MAT,BIMP()
110 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
120 COMMON EG#(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
130 COMMON S().
140 DEF FNM(I,J)=(I-1)*MBAN+J-1+1
150 DIM SM(6,6),ID(6)
160 HOME
170 PRINT " GENERACION DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ "
180 PRINT " -----"
190 CHAIN MERGE DRIVEP$+"EFSUBM.BAS",200,ALL
200 BIMP(2)=0
210 BIMP(4)=1
220 BIMP(5)=1
230 BIMP(6)=0
240 PRINT " "
250 PRINT " IMPRIMIR MAT. K (S/";
260 INVERSE.
270 PRINT "N";
280 NORMAL
290 PRINT ") ";
300 INPUT SP$
310 IF SP$("<"S" AND SP$("<"N" AND SP$("<" THEN 250
320 IF SP$="N" OR SP$="" THEN BIMP(2)=1
330 PRINT " IMPRIMIR CARGAS (S/";
340 INVERSE
350 PRINT "N";
360 NORMAL
370 PRINT ") ";
380 INPUT SP$
390 IF SP$("<"S" AND SP$("<"N" AND SP$("<" THEN 330
400 IF SP$="N" OR SP$="" THEN BIMP(6)=1
410 PRINT " DESEA CALCULAR TODOS LOS"
420 PRINT " CASOS DE CARGA (S/";
430 INVERSE
440 PRINT "N";
450 NORMAL
460 PRINT ") ";
470 INPUT SP$
480 IF SP$("<"S" AND SP$("<"N" AND SP$("<" THEN 410
490 IF SP$="N" OR SP$="" THEN 510
500 GOTO 550
510 BIMP(5)=0
520 PRINT " NRO. DEL CASO DE CARGA "
530 PRINT " QUE DESEA CALCULAR ";
540 INPUT BIMP(3)
550 IF (MAT("<"0) AND (MBAN("<"0) THEN 790
560 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOH$+"MA.DAT"
570 FIELD#1,16 AS E$,8 AS U$,8 AS A$,8 AS P$
580 GET#1,1
590 EG#=CVD(E$)

```

```

500 LO=INT(EG#/10)
610 JO=INT(EG#-LO#10)
620 IDE=CVS(U#)
630 NMR=INT(IDE/10)
640 IDE=INT(IDE-10#NMR)
650 MAT=CVS(A#)
660 MBAN=CVS(P#)
670 FOR I=1 TO MAT
680 GET#1,I+1
690 EG(I)=CVD(E#)
700 UG(I)=CVS(U#)
710 AT(I)=CVS(A#)
720 PES(I)=CVS(P#)
730 EE1(I)=1
740 IF IDE=2 THEN EE1(I)=EE1(I)-UG(I)
750 EE2(I)=EE1(I)-UG(I)
760 EE3(I)=EE2(I)/2
770 NEXT I
780 CLOSE#1
790 OPEN "R",#1,DRIVE#*NOM#*NO.DAT"
800 FIELD#1,8 AS XMOD#,8 AS YNOD#,5 AS NJR1#,5 AS NJR2#,16 AS RK1#,16 AS RK2#,5
  AS LOI#,5 AS JOI#
810 IF NJ<>0 THEN 840
820 GET#1,1
830 NJ=CVS(XNOD#)
840 IF LO=0 AND JO=0 THEN 1000
850 MBTOT=MBAN#NJ#2
860 FOR I=1 TO MBTOT
870 S(I)=0
880 NEXT I
890 FOR I= 1 TO NJ
900 GET#1,I+1
910 IF JO=0 THEN 940
920 IF CVI(NJR1#)=1 THEN S(FNM(2#I-1,2#I-1))=-1
930 IF CVI(NJR2#)=1 THEN S(FNM(2#I,2#I))=-1
940 IF LO=0 THEN 990
950 RK1=CVD(RK1#)
960 RK2=CVD(RK2#)
970 IF RK1<>0 THEN S(FNM(2#I-1,2#I-1))=S(FNM(2#I-1,2#I-1))+RK1
980 IF RK2<>0 THEN S(FNM(2#I,2#I))=S(FNM(2#I,2#I))+RK2
990 NEXT I
1000 CLOSE#1
1010 OPEN "R",#1,DRIVE#*NOM#*EL.DAT"
1020 FIELD#1,5 AS MOD1#,5 AS MOD2#,5 AS MOD3#,8 AS T#,5 AS MAT#,8 AS AR#,8 AS XI
  J#,8 AS XIK#,8 AS XJK#,8 AS YIJ#,8 AS YIK#,8 AS YJK#,8 AS EX0#,8 AS EY0#,8 AS EXY
  0#
1030 IF NM<>0 THEN 1060
1040 GET#1,1
1050 NM=CVI(MOD1#)
1060 NMT=NM-NMR
1070 IF BIMP(2)=1 THEN 1110
1080 LPRINT CHR$(15)
1090 IF BIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
1100 LPRINT " MATRICES DE RIGIDEZ DE LOS ELEMENTOS FINITOS "
1110 FOR I=1 TO NM
1120 GET#1,I+1
1130 GOSUB 8000
1140 LSET EX0#=MKS$(0)
1150 IF MOD3=0 THEN 1180

```

```

1160 LSET EY0%=MKS$(0)
1170 LSET EXY0%=MKS$(0)
1180 PUT#1,1+1
1190 IF BIMP(2)=1 THEN 1290
1200 LPRINT "-----"
1210 LPRINT USING "ELEMENTO ###";I
1220 LPRINT "-----"
1230 FOR J=1 TO ND
1240   FOR K=1 TO ND
1250     LPRINT USING "  ##.#####^#### ";SM(J,K);
1260   NEXT K
1270   LPRINT " "
1280 NEXT J
1290 ID(1)=NOD1#2-1
1300 ID(2)=ID(1)+1
1310 ID(3)=NOD2#2-1
1320 ID(4)=ID(3)+1
1330 IF NOD3=0 THEN 1360
1340 ID(5)=NOD3#2-1
1350 ID(6)=ID(5)+1
1360 FOR J=1 TO ND
1370   IF S(FNM(ID(J),ID(J)))=-1 THEN 1460
1380   FOR K=J TO ND
1390     IF S(FNM(ID(K),ID(K)))=-1 THEN 1450
1400     IF ID(J)>ID(K) THEN 1430
1410     IND=FNM(ID(J),ID(K))
1420     GOTO 1440
1430     IND=FNM(ID(K),ID(J))
1440     S(IND)=S(IND)+SM(J,K)
1450   NEXT K
1460 NEXT J
1470 NEXT I
1480 CLOSE#1 :IF BIMP(2)=1 THEN 1610
1490 IF BIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
1500 LPRINT " MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA "
1510 LPRINT " "
1520 FOR J=1 TO NJ#2
1530   LPRINT USING "FILA ##### ";J;
1540   FOR K=1 TO MBAN
1550     IND=(J-1)*MBAN+K
1560     LPRINT USING "  ##.#####^#### ";S(IND);
1570     IF INT(K/7)=INT(K)/7 THEN LPRINT " " :LPRINT " ";
1580   NEXT K
1590   LPRINT " "
1600 NEXT J
1610 MB=MBAN
1620 NE=2*NJ
1630 NES=MB*NE
1640 CHAIN MERGE DRIVEP$+"EFSUBS.BAS",1650,ALL
1650 GOSUB 10000
1660 IF BIMP(4)>0 THEN CHAIN DRIVEP$+"EFCE02.BAS"
1670 CHAIN DRIVEP$+"EFM01.BAS"

```

```

10 REM-- EFCE02.BAS
20 REM--
30 REM-- PROGRAMA PARA CALCULAR
40 REM--     E IMPRIMIR
50 REM-- EL VECTOR CARGA
60 REM-- Y LAS CARGAS
70 REM--
80 REM-- ULTIMA MODIFICACION 12-SEP-84
90 REM--
100 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
110 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
120 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,MHIP
130 COMMON EG#(),UG#(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
140 COMMON S()
150 DIM NOD(3),ID(6),DI(6)
160 HOME
170 LINEA$="-----"
-----
180 PRINT "  CALCULO DEL VECTOR CARGA"
190 PRINT "  -----"
200 NES=MBAN#2#NJ
210 FOR I= 1 TO 2#NJ
220 S(NES+I)=0
230 NEXT I
240 IF NCAS>0 THEN 300
250 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"01.DAT"
260 FIELD#2,8 AS CARGA$
270 GET#2,1
280 CLOSE#2
290 NCAS=CVS(CARGA$)
300 IF BIMP(3)=0 THEN 330
310 IF BIMP(4)=1 THEN 400
320 IF BIMP(4)=0 THEN 420
330 PRINT " "
340 PRINT " DEBE CALCULAR PRIMERO LA MATRIZ DE "
350 PRINT " RIGIDEZ PARA CALCULAR EL VECTOR "
360 PRINT " CARGA , PISE CUALQUIER TECLA "
370 PRINT " PARA REGRESAR AL MENU "
380 GET SP$
390 GOTO 490
400 NCASI=BIMP(3)
410 GOTO 440
420 PRINT " "
430 INPUT " NUMERO DEL CASO DE CARGA ";NCASI
440 NI$=STR$(NCASI)
450 BIMP(3)=NCASI
460 IF NCASI=<NCAS THEN 500
470 BIMP(4)=0
480 BIMP(5)=0
490 CHAIN DRIVEP$+"EFM04.BAS"
500 IF NCASI>=10 THEN 530
510 NI$="0"+RIGHT$(NI$,1)
520 GOTO 540
530 NI$=RIGHT$(NI$,2)
540 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"TC.DAT"
550 FIELD#2,50 AS TC$
560 GET#2,NCASI
570 CLOSE#2
580 TITC$=TC$

```

```

590 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+NI$+".DAT"
600 FIELD#1,8 AS CARGA$
610 GET#1,2
620 REG=11
630 NJCA=CVS(CARGA$)
640 IF NJCA=0 THEN 850
650 TIT=1
660 GOSUB 3780
670 REM--
680 REM-- CARGAS APLICADAS EN LAS JUNTAS
690 REM--
700 FOR J=1 TO NJCA
710 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
720 REG1=3+J
730 GET#1,REG+REG1-2
740 JUNTA=CVS(CARGA$)
750 GET#1,REG+REG1-1
760 CARGAX=CVS(CARGA$)
770 S(NES+2+JUNTA-1)=S(NES+2+JUNTA-1)+CARGAX
780 GET#1,REG+REG1
790 CARGAY=CVS(CARGA$)
800 S(NES+2+JUNTA)=S(NES+2+JUNTA)+CARGAY
810 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "#####.###   #####.###   #####.### ";JUNTA,C
ARGAX,CARGAY
820 NLIN=NLIN+1
830 NEXT J
840 REG=REG+REG1
850 GET#1,3
860 NECS=CVS(CARGA$)
870 IF NECS=0 THEN 1700
880 TIT=2
890 GOSUB 3780
900 IF NMR>0 THEN GOSUB 4510
910 GOSUB 4540
920 REM--
930 REM-- CARGAS DE SUPERFICIE
940 REM--
950 FOR J=1 TO NECS
960 IF NLIN=63 THEN GOSUB 2170
970 REG1=7+J
980 GET#1,REG+REG1-6
990 K=CVS(CARGA$)
1000 GET#1,REG+REG1-5
1010 JI=CVS(CARGA$)
1020 GET#1,REG+REG1-4
1030 JJ=CVS(CARGA$)
1040 GET#1,REG+REG1-3
1050 XI=CVS(CARGA$)
1060 GET#1,REG+REG1-2
1070 XJ=CVS(CARGA$)
1080 GET#1,REG+REG1-1
1090 YI=CVS(CARGA$)
1100 GET#1,REG+REG1
1110 YJ=CVS(CARGA$)
1120 MOD1=JI
1130 MOD2=JJ
1140 IF JJ>0 THEN 1240
1150 GET#2,JI+1
1160 LIJ=CVS(AR$)/3

```

```

1170 EY0=CVS(EY0$)
1180 EXY0=CVS(EXY0$)
1190 MOD1=CVS(MOD1$)
1200 MOD2=CVS(MOD2$)
1210 XJK=CVS(XJK$)
1220 YJK=CVS(YJK$)
1230 GOTO 1390
1240 GET#3,MOD1+1
1250 X1=CVS(XMOD$)
1260 Y1=CVS(YMOD$)
1270 GET#3,MOD2+1
1280 XJ=CVS(XMOD$)
1290 YJ=CVS(YMOD$)
1300 XIJ=(X1-XJ)*(X1-XJ)
1310 YIJ=(Y1-YJ)*(Y1-YJ)
1320 LIJ=(XIJ+YIJ)^(.5/3)
1330 CS=XIJ/LIJ
1340 SEN=YIJ/LIJ
1350 KWXI=WXI
1360 KWXJ=WXJ
1370 KMYI=MYI
1380 KMYJ=MYJ
1390 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "#####      #####      #####      #####.###
#####.###      #####.###      #####.###";K,JI,JJ,WXI,WXJ,MYI,MYJ
1400 IF K=0 THEN 1510
1410 IF K=2 THEN 1470
1420 WXI=KWXI*CS+KMYI*SEN
1430 WXJ=KWXJ*CS+KMYJ*SEN
1440 MYI=KMYI*CS-KWXI*SEN
1450 MYJ=KMYJ*CS-KMYJ*SEN
1460 GOTO 1510
1470 WXI=(KWXI+KMYI)*SEN*CS
1480 WXJ=(KWXJ+KMYJ)*SEN*CS
1490 MYI=KMYI*CS*CS-KWXI*SEN*SEN
1500 MYJ=KMYJ*CS*CS-KMYJ*SEN*SEN
1510 CARGAX=LIJ*(WXI+WXJ/2)
1520 CARGAY=LIJ*(MYI+MYJ/2)
1530 S(NES+2*JI-1)=S(NES+2*JI-1)+CARGAX
1540 S(NES+2*JI)=S(NES+2*JI)+CARGAY
1550 EY0=EY0-CARGAX*XJK-CARGAY*YJK
1560 CARGAX=LIJ*(WXI/2+WXJ)
1570 CARGAY=LIJ*(MYI/2+MYJ)
1580 S(NES+2*JJ-1)=S(NES+2*JJ-1)+CARGAX
1590 S(NES+2*JJ)=S(NES+2*JJ)+CARGAY
1600 IF JJ>0 THEN 1650
1610 EXY0=EXY0-CARGAX*XJK-CARGAY*YJK
1620 LSET EY0=MKS$(EY0)
1630 LSET EXY0=MKS$(EXY0)
1640 PUT#2,JI+1
1650 MLIN=MLIN+1
1660 NEXT J
1670 CLOSE#2
1680 CLOSE#3
1690 REG=REG+REG1
1700 GET#1,4
1710 NECV=CVS(CARGA$)
1720 IF NECV=0 THEN 2000

```

```

1730 GOSUB 4510
1740 TIT=3
1750 GOSUB 3780
1760 REM--
1770 REM-- CARGAS DE VOLUMEN
1780 REM--
1790 FOR J=1 TO NECV
1800 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
1810 REG1=3+J
1820 GET#1,REG+REG1-2
1830 EL=CVS(CARGA#)
1840 GET#1,REG+REG1-1
1850 MVX=CVS(CARGA#)
1860 GET#1,REG+REG1
1870 MVY=CVS(CARGA#)
1880 GET#2,EL+1
1890 AR=CVS(AR#)
1900 T=CVS(T#)
1910 NOD1=CVI(NOD1#)
1920 NOD2=CVI(NOD2#)
1930 NOD3=CVI(NOD3#)
1940 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "  #####  #####.###  #####.###";EL,
MVX,MVY
1950 GOSUB 4620
1960 NLIN=NLIN+1
1970 NEXT J
1980 CLOSE#2
1990 REG=REG+REG1
2000 GET#1,5
2010 NECT=CVS(CARGA#)
2020 IF NECT=0 THEN 2240
2030 GOSUB 4510
2040 TIT=4
2050 GOSUB 3780
2060 REM--
2070 REM-- CAMBIO DE TEMPERATURA
2080 REM-- ( EN ELEMENTOS )
2090 REM--
2100 FOR J=1 TO NECT
2110 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
2120 REG1=2+J
2130 GET#1,REG+REG1-1
2140 EL=CVS(CARGA#)
2150 GET#1,REG+REG1
2160 CT=CVS(CARGA#)
2170 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "  #####  #####.## ";EL,CT
2180 GET#2,EL+1
2190 GOSUB 4950
2200 NLIN=NLIN+1
2210 NEXT J
2220 REG=REG+REG1
2230 CLOSE#2
2240 GET#1,6
2250 NEDI=CVS(CARGA#)
2260 IF NEDI=0 THEN 2510
2270 TIT=5
2280 GOSUB 3780
2290 GOSUB 4510
2300 REM--

```

```

2310 REM--  DEFORMACIONES INICIALES
2320 REM--
2330 FOR J=1 TO NEDI
2340 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
2350 REG1=4*J
2360 GET#1,REG+REG1-3
2370 EL=CVS(CARGA#)
2380 GET#2,EL+1
2390 GET#1,REG+REG1-2
2400 EX=CVS(CARGA#)
2410 GET#1,REG+REG1-1
2420 EY=CVS(CARGA#)
2430 GET#1,REG+REG1
2440 EXY=CVS(CARGA#)
2450 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "  #####  ##.#####  ##.#####
^  ##.#####";EL,EX,EY,EXY
2460 GOSUB 5260
2470 NLIN=NLIN+1
2480 NEXT J
2490 REG=REG+NEDI
2500 CLOSE#2
2510 GET#1,7
2520 NMOV=CVS(CARGA#)
2530 IF NMOV=0 THEN 3080
2540 TIT=6
2550 GOSUB 4510
2560 GOSUB 4540
2570 GOSUB 3780
2580 CHAIN MERGE DRIVE#+"EFSUBM.BAS",2620,ALL
2590 REM--
2600 REM--  MOVIMIENTOS DE APOYO
2610 REM--
2620 FOR J2= 1 TO NMOV
2630 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
2640 REG1=3*J2
2650 GET#1,REG+REG1-2
2660 JUNTA=CVS(CARGA#)
2670 GET#1,REG+REG1-1
2680 DESPX=CVS(CARGA#)
2690 GET#1,REG+REG1
2700 DESPY=CVS(CARGA#)
2710 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "#####  #####  #####
## ";JUNTA,DESPX,DESPY
2720 GET#3,JUNTA+1
2730 IPEX=2*JUNTA-1
2740 IPEY=2*JUNTA
2750 S(NES+IPEX)=S(NES+IPEX)-DESPX*CVS(RK1#)
2760 S(NES+IPEY)=S(NES+IPEY)-DESPY*CVS(RK2#)
2770 FOR K2=1 TO NM
2780 GET#2,K2+1
2790 MOD(1)=CVI(MOD1#)
2800 MOD(2)=CVI(MOD2#)
2810 MOD(3)=CVI(MOD3#)
2820 MD1=0
2830 FOR K1=1 TO 3
2840 IF MOD(K1)=JUNTA THEN MD1=K1
2850 DI(K1)=0
2860 DI(2*K1)=0
2870 NEXT K1

```

```

2880 IF NDI=0 THEN GOTO 3030
2890 GOSUB 8000
2900 ID(1)=2*NOD1-1
2910 ID(2)=ID(1)+1
2920 ID(3)=2*NOD2-1
2930 ID(4)=ID(3)+1
2940 ID(5)=2*NOD3-1
2950 ID(6)=ID(5)+1
2960 DI(2*NOD1-1)=DESPX
2970 DI(2*NOD1)=DESPY
2980 FOR K1=1 TO ND
2990 FOR J1=1 TO ND
3000 S(NES+ID(K1))=S(NES+ID(K1))-SM(K1,J1)*DI(J1)
3010 NEXT J1
3020 NEXT K1
3030 NEXT K2
3040 NEXT J2
3050 CLOSE#2
3060 CLOSE#3
3070 REG=REG+REG1
3080 GET#1,10
3090 CTT=CVS(CARGA#)
3100 IF CTT=0 THEN GOTO 3280
3110 GOSUB 4510
3120 CT=CTT
3130 TIT=7
3140 GOSUB 3780
3150 REM--
3160 REM-- CAMBIO DE TEMPERATURA
3170 REM-- PARA TODA LA ESTRUCTURA
3180 REM--
3190 FOR J=1 TO NM
3200 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
3210 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING " ***** .0000.00 ";J,CTT
3220 EL=J
3230 GET#2,EL+1
3240 GOSUB 4950
3250 NLIN=NLIN+1
3260 NEXT J
3270 CLOSE#2
3280 GET#1,8
3290 IPEX=CVS(CARGA#)
3300 GET#1,9
3310 IPEY=CVS(CARGA#)
3320 IF (IPEX=0) AND (IPEY=0) THEN GOTO 3560
3330 TIT=8
3340 GOSUB 3780
3350 GOSUB 4510
3360 REM--
3370 REM-- CONSIDERACION DEL PESO
3380 REM- DE LA ESTRUCTURA
3390 REM--
3400 FOR J= 1 TO NM
3410 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780.
3420 GET#2,J+1
3430 AR=CVS(AR#)
3440 T=CVS(T#)
3450 NOD1=CVI(NOD1#)
3460 NOD2=CVI(NOD2#)

```

```

3470 NOD3=CVI(NOD3$)
3480 MT=CVI(MAT$)
3490 WYX=PES(MT)IPEX
3500 WVY=PES(MT)IPEY
3510 IF BIMP(6)=0 THEN LPRINT USING "      00000      000000.000      000000.000
      ":J,WYX,WVY
3520 GOSUB 4620
3530 NLIN=NLIN+1
3540 NEXT J
3550 CLOSE#2
3560 TIT=9
3570 GOSUB 3780
3580 REM--
3590 REM-- IMPRESION DEL VECTOR CARGA
3600 REM--
3610 FOR I= 1 TO NJ
3620 IF NLIN=63 THEN GOSUB 3780
3630 IF INT(I/2)=1/2 THEN 3660
3640 NLIN=NLIN+1
3650 LPRINT " "
3660 LPRINT USING "      0000      000000.000      000000.000 ":I;S(NES+2*I-
1);S(NES+2*I);
3670 NEXT I
3680 CLOSE#1
3690 FOR J=1 TO 2*NJ
3700 S(NES+2*NJ+J)=S(NES+J)
3710 NEXT J
3720 IF BIMP(4)>0 THEN CHAIN DRIVEP$+"EFCE03.BAS"
3730 CHAIN DRIVEP$+"EFM04.BAS"
3740 REM--
3750 REM-- SUBROUTINA DE IMPRESION
3760 REM-- DE LOS ENCABEZADOS
3770 REM--
3780 IF BIMP(6)=1 AND TIT<9 THEN RETURN
3790 NPAG=NPAG+1
3800 LPRINT CHR$(15)
3810 IF BIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
3820 LPRINT " "
3830 LPRINT " ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITO
S-- PAGINA ";NPAG
3840 LPRINT " ";TITULO$; " ( HALLA = ";NOM$;" ) ";
3850 IF IDE=1 THEN 3880
3860 LPRINT " DEFORMACION PLANA "
3870 GOTO 3890
3880 LPRINT " TENSION PLANA "
3890 LPRINT "=====
=====
3900 LPRINT "(";BIMP(3);"/";NCAS;" ) ";TITC$
3910 NLIN=14
3920 ON TIT GOTO 3990,4050,4110,4170,4230,4290,4350,4410,3930
3930 LPRINT LINEA$
3940 LPRINT " VECTOR CARGA "
3950 LPRINT LINEA$
3960 LPRINT " JUNTA FUERZA X FUERZA Y JUNTA FUERZ
A X FUERZA Y "
3970 LPRINT LINEA$
3980 RETURN
3990 LPRINT LINEA$
4000 LPRINT " CARGAS APLICADAS EN LAS JUNTAS "

```

```

4010 LPRINT LINEA$
4020 LPRINT "JUNTA          FX          FY "
4030 LPRINT LINEA$
4040 RETURN
4050 LPRINT LINEA$
4060 LPRINT " CARGAS DE SUPERFICIE "
4070 LPRINT LINEA$
4080 LPRINT "   K          I          J          WXI          WXJ          WY
I          WVJ"
4090 LPRINT LINEA$
4100 RETURN
4110 LPRINT LINEA$
4120 LPRINT " CARGAS DE VOLUMEN "
4130 LPRINT LINEA$
4140 LPRINT "ELEMENTO          WVX          WVY "
4150 LPRINT LINEA$
4160 RETURN
4170 LPRINT LINEA$
4180 LPRINT " DEFORMACIONES POR TEMPERATURA "
4190 LPRINT LINEA$
4200 LPRINT "ELEMENTO  CAMBIO DE TEMPERATURA "
4210 LPRINT LINEA$
4220 RETURN
4230 LPRINT LINEA$
4240 LPRINT " DEFORMACIONES INICIALES "
4250 LPRINT LINEA$
4260 LPRINT "ELEMENTO          EPSILON X          EPSILON Y          GAMMA XY"
4270 LPRINT LINEA$
4280 RETURN
4290 LPRINT LINEA$
4300 LPRINT " DESPLAZAMIENTOS DE APOYOS "
4310 LPRINT LINEA$
4320 LPRINT "JUNTA  DESPLAZAMIENTO X  DESPLAZAMIENTO Y "
4330 LPRINT LINEA$
4340 RETURN
4350 LPRINT LINEA$
4360 LPRINT " CAMBIO DE TEMPERATURA PARA TODA LA ESTRUCTURA "
4370 LPRINT LINEA$
4380 LPRINT "ELEMENTO  INCREMENTO DE TEMPERATURA "
4390 LPRINT LINEA$
4400 RETURN
4410 LPRINT LINEA$
4420 LPRINT " ACCION DEL PESO PROPIO "
4430 LPRINT LINEA$
4440 LPRINT "ELEMENTO          WVX          WVY "
4450 LPRINT LINEA$
4460 RETURN
4470 REM--
4480 REM-- SUBROUTINAS DE APERTURA
4490 REM-- DE LOS ARCHIVOS
4500 REM--
4510 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
4520 FIELD#2,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS XI
J$,8 AS XIX$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EX$,8 AS EY$,8 AS EY
0$
4530 RETURN
4540 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
4550 FIELD#3,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$

```

```

4560 RETURN
4570 REM--
4580 REM-- SUBROUTINA PARA CALCULAR
4590 REM-- LAS CARGAS DE EMPOTRAMIENTO
4600 REM-- DEBIDAS A CARGAS DE VOLUMEN
4610 REM--
4620 IF NOD3=0 THEN 4660
4630 WVX=AR*WVX*T/3
4640 WVY=AR*WVY*T/3
4650 GOTO 4720
4660 WVX=AR*WVX*T/2
4670 WVY=AR*WVY*T/2
4680 EY0=CVS(EY0%)
4690 EXY0=CVS(EXY0%)
4700 XJK=CVS(XJK%)
4710 YJK=CVS(YJK%)
4720 S(NES+2*NOD1-1)=S(NES+2*NOD1-1)+WVX
4730 S(NES+2*NOD1)=S(NES+2*NOD1)+WVY
4740 S(NES+2*NOD2-1)=S(NES+2*NOD2-1)+WVX
4750 S(NES+2*NOD2)=S(NES+2*NOD2)+WVY
4760 IF NOD3=0 THEN 4800
4770 S(NES+2*NOD3-1)=S(NES+2*NOD3-1)+WVX
4780 S(NES+2*NOD3)=S(NES+2*NOD3)+WVY
4790 RETURN
4800 EY0=EY0-WVX*XJK-WVY*YJK
4810 EXY0=EXY0-WVX*XJK-WVY*YJK
4820 LSET EY0%=MKS%(EY0)
4830 LSET EXY0%=MKS%(EXY0)
4840 PUT#2,EL+1
4850 RETURN
4860 NOD1=CVI(NOD1%)
4870 NOD2=CVI(NOD2%)
4880 NOD3=CVI(NOD3%)
4890 EX0=CVS(EX0%)
4900 EY0=CVS(EY0%)
4910 EXY0=CVS(EXY0%)
4920 T=CVS(T%)
4930 MT=CVI(MT%)
4940 RETURN
4950 GOSUB 4860
4960 K1=T*EE0(MT)*AT(MT)*CT
4970 IF NOD3=0 THEN 5140
4980 K1=K1/2/EE2(MT)
4990 S(NES+2*NOD1-1)=S(NES+2*NOD1-1)-K1*CVS(YJK%)
5000 S(NES+2*NOD1)=S(NES+2*NOD1)+K1*CVS(XJK%)
5010 S(NES+2*NOD2-1)=S(NES+2*NOD2-1)+K1*CVS(YIK%)
5020 S(NES+2*NOD2)=S(NES+2*NOD2)-K1*CVS(XIK%)
5030 S(NES+2*NOD3-1)=S(NES+2*NOD3-1)-K1*CVS(YIJ%)
5040 S(NES+2*NOD3)=S(NES+2*NOD3)+K1*CVS(XIJ%)
5050 K1=CT*AT(MT)
5060 IF IDE=1 THEN 5080
5070 K1=K1*(1+UG(MT))
5080 EX0=EX0+K1
5090 EY0=EY0+K1
5100 LSET EX0%=MKS%(EX0)
5110 LSET EY0%=MKS%(EY0)
5120 PUT#2,EL+1
5130 RETURN
5140 SEN=CVS(XIK%)

```

```

5150 COS=CVS(YIK*)
5160 S(NES+2*NOD1-1)=S(NES+2*NOD1-1)+COS*K1
5170 S(NES+2*NOD1)=S(NES+2*NOD1)+SEN*K1
5180 S(NES+2*NOD2-1)=S(NES+2*NOD2-1)-COS*K1
5190 S(NES+2*NOD2)=S(NES+2*NOD2)-SEN*K1
5200 EX0=EX0+CT*AT(MT)
5210 LSET EX0%=MKS%(EX0)
5220 PUT#2,EL+1
5230 RETURN
5240 GOSUB 4860
5250 XJK=CVS(XJK*)
5260 YJK=CVS(YJK*)
5270 XIK=CVS(XIK*)
5280 YIK=CVS(YIK*)
5290 XIJ=CVS(XIJ*)
5300 YIJ=CVS(YIJ*)
5310 K1=EE1(MT)*EX+UG(MT)*EY
5320 K2=EE1(MT)*EY+UG(MT)*EX
5330 K3=EE3(MT)*EXY
5340 K4=-E6*(MT)*T/(2*(1+UG(MT))*EE2(MT))
5350 S(NES+2*NOD1-1)=S(NES+2*NOD1-1)+K4*(YJK*K1-XJK*K3)
5360 S(NES+2*NOD1)=S(NES+2*NOD1)+K4*(-XJK*K2+YJK*K3)
5370 S(NES+2*NOD2-1)=S(NES+2*NOD2-1)+K4*(-YIK*K1+XIK*K3)
5380 S(NES+2*NOD2)=S(NES+2*NOD2)+K4*(XIK*K2-YIK*K3)
5390 S(NES+2*NOD3-1)=S(NES+2*NOD3-1)+K4*(YIJ*K1-XIJ*K3)
5400 S(NES+2*NOD3)=S(NES+2*NOD3)+K4*(-XIJ*K2+YIJ*K3)
5410 EX0=EX0+EX
5420 EY0=EY0+EY
5430 EXY0=EXY0+EXY
5440 LSET EX0%=MKS%(EX0)
5450 LSET EY0%=MKS%(EY0)
5460 LSET EXY0%=MKS%(EXY0)
5470 PUT#2,EL+1
5480 RETURN

```

```

10 REM-- EFCE03.BAS
20 REM--
30 REM-- PROGRAMA PARA CALCULAR
40 REM-- LOS DESPLAZAMIENTOS DE
50 REM-- LAS JUNTAS
60 REM--
70 REM-- ULTIMA MODIFICACION 06-SEP-84
80 REM--
90 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
100 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
110 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
120 COMMON EG#(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
130 COMMON S()
140 REM
150 REM CALCULO DE DESPLAZAMIENTO DE LAS JUNTAS
160 REM
170 HOME
180 PRINT " DESPLAZAMIENTOS DE LAS JUNTAS "
190 PRINT " ----- "
200 IF BIMP(3)>0 THEN 280
210 PRINT " "
220 PRINT " DEBE CALCULAR LA MATRIZ DE "
230 PRINT " RIGIDEZ PRIMERO, PISE "
240 PRINT " CUALQUIER TECLA PARA "
250 PRINT " REGRESAR AL MENU ";
260 GET SP$
270 GOTO 910
280 NE=2#NJ
290 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"TC.DAT"
300 FIELD#1,50 AS TC$
310 GET#1,BIMP(3)
320 CLOSE#1
330 MB=MBAN
340 NES=NE#MBAN
350 REM
360 REM SUBROUTINA QUE RESUELVE EL SISTEMA DE ECUACIONES
370 REM EN DONDE LAS INCOGNITAS SON LOS DESPLAZAMIENTOS
380 REM
390 CHAIN MERGE DRIVEP$+"EFSUBD.BAS",400,ALL
400 BOSUB 10000
410 FOR I=1 TO 2#NJ
420 S(NES+4#NJ+I)=S(NES+I)
430 NEXT I
440 NCAS1=BIMP(3)
450 NI$=STR$(NCAS1)
460 IF NCAS1>=10 THEN 490
470 NI$="0"+RIGHT$(NI$,1)
480 GOTO 500
490 NI$=RIGHT$(NI$,2)
500 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+NI$+".DAT"
510 FIELD#2,8 AS CARGA$
520 GET#2,7
530 REM
540 REM JUNTAS CON MOV. DE APOYO
550 REM
560 NMOV=CVS(CARGA$)
570 IF NMOV=0 THEN 780
580 REG=11
590 GET#2,2

```

```

600 REG=REG+CVS(CARGA$)13
610 GET#2,3
620 REG=REG+CVS(CARGA$)17
630 GET#2,4
640 REG=REG+CVS(CARGA$)13
650 GET#2,5
660 REG=REG+CVS(CARGA$)12
670 GET#2,6
680 REG=REG+CVS(CARGA$)
690 FOR J=1 TO NMOV
700 REG1=31J
710 GET#2,REG+REG1-2
720 JUNTA=CVS(CARGA$)
730 GET#2,REG+REG1-1
740 S(NES+41NJ+21JUNTA-1)=S(NES+41NJ+21JUNTA-1)+CVS(CARGA$)
750 GET#2,REG+REG1
760 S(NES+41NJ+21JUNTA)=S(NES+41NJ+21JUNTA)+CVS(CARGA$)
770 NEXT J
780 CLOSE#2
790 GOSUB 920
800 FOR I = 1 TO NJ
810 IF NLIN=63 THEN GOSUB 920
820 IF INT(1/2)=1/2 THEN 880
830 NLIN=NLIN+1
840 REM
850 REM IMPRESION DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LAS JUNTAS
860 REM
870 LPRINT " "
880 LPRINT USING " ###          ##.#####^    ##.#####^    ";I;S(NES+41NJ+
21I-1);S(NES+41NJ+21I);
890 NEXT I
900 IF BIMP(4)>0 THEN CHAIN DRIVE$+"EFCE04.BAS"
910 CHAIN DRIVE$+"EFH04.BAS"
920 NPAG=NPAG+1
930 IF BIMP(1)=0 THEN LPRINT CHR$(12)
940 LPRINT " "
950 LPRINT " ANALISIS DE SISTEMAS PLANOS POR EL METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS
-- PAGINA ";NPAG
960 LPRINT " ";TITULO$; " ( MALLA = ";NOM$; " ) ";
970 IF IDE=1 THEN 1000
980 LPRINT " DEFORMACION PLANA "
990 GOTO 1010
1000 LPRINT " TENSION PLANA "
1010 LPRINT "=====
=====
1020 LPRINT "(;BIMP(3);"/";NCAS;) ";TC$
1030 LPRINT "-----
-----
1040 LPRINT " DESPLAZAMIENTOS DE LAS JUNTAS "
1050 LPRINT "-----
-----
1060 LPRINT " JUNTA      COMPONENTE X      COMPONENTE Y      JUNTA      COMPONEN
TE X      COMPONENTE Y "
1070 LPRINT "-----
-----
1080 NLIN=14
1090 RETURN

```

```

10 REM --- EFCE04.BAS
20 REM --
30 REM -- PROGRAMA QUE CALCULA LAS
40 REM -- TENSIONES EN LOS ELEMENTOS Y
50 REM -- LAS REACCIONES
60 REM --
70 REM -- ULTIMA MODIF. 10-SEP-84
80 REM --
90 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVE$
100 COMMON NJ,NM,NMT,NMR,LO,JO,MAT,BIMP()
110 COMMON NCAS,NPAG,MBAN,IDE,IVR,NHIP
120 COMMON EG#(),UG(),AT(),PES(),EE1(),EE2(),EE3()
130 COMMON S()
140 DIM P(40),SH(6,6),ID(6),F(40),GX(NJ),GY(NJ),TXY(NJ),C(NJ)
150 LINEA$="-----"

160 IF BIMP(3)>0 THEN 220
170 PRINT " DEBE CALCULAR PRIMERO LA MATRIZ DE "
180 PRINT " RIGIDEZ , PISE CUALQUIER TECLA "
190 PRINT " PARA REGRESAR AL MENU "
200 GET SP$
210 CHAIN DRIVE$+"EFM04.BAS"
220 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOH$+"TC.DAT"
230 FIELD#1,50 AS TC$
240 GET#1,BIMP(3)
250 CLOSE#1
260 TITC$=TC$
270 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOH$+"EL.DAT"
280 FIELD#1,5 AS MOD1$,5 AS MOD2$,5 AS MOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS XIJ
$,8 AS XIK$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EXO$,8 AS EYO$,8 AS EXYO
$
290 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOH$+"NO.DAT"
300 FIELD#2,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS LO1$,5 AS JO1$
310 CHAIN MERGE DRIVE$+"EFSUBM.BAS",320,ALL
320 CO=MBAN#2#NJ+2#NJ+1
330 FI=CO-1+2#NJ
340 A=0
350 FOR J=CO TO FI
360 A=A+1
370 F(A)=-S(J)
380 NEXT J
390 CO=MBAN#2#NJ+1+4#NJ
400 FI=CO-1+6#NJ
410 A=0
420 FOR J=CO TO FI
430 A=A+1
440 P(A)=S(J)
450 NEXT J
460 REM
470 REM CALCULO DE LAS TENSIONES EN LOS ELEMENTOS TRIANGULARES
480 REM
490 NI$=STR$(BIMP(3))
500 IF BIMP(3)>=10 THEN 530
510 NI$="0"+RIGHT$(NI$,1)
520 GOTO 540
530 NI$=RIGHT$(NI$,2)
540 LIN=0
550 FOR I=1 TO NM

```

```

560 GET#1,I+1
570 GOSUB 8000
580 EX0=CVS(EX0#)
590 EY0=CVS(EY0#)
600 EXY0=CVS(EXY0#)
610 UG=U
620 C=EG#/(2#AR#(1+UG)#E2)
630 ID(1)=MOD1#2-1
640 ID(2)=ID(1)+1
650 ID(3)=MOD2#2-1
660 ID(4)=ID(3)+1
670 IF MOD3=0 THEN 1120
680 ID(5)=MOD3#2-1
690 ID(6)=ID(5)+1
700 TO=1
710 HOME
720 PRINT "TENSIONES EN ELEMENTOS TRIANGULARES"
730 PRINT "=====*"
740 KRIG=EG#/(1+UG)#E2)
750 GX=C#(-P(ID(1))#E1#YJK#UG#XJK#P(ID(2))+E1#YIK#P(ID(3))-UG#XIK#P(ID(4))-E1#YI
J#P(ID(5))+UG#XIJ#P(ID(6)))
760 GX=GX-KRIG#(E1#EX0+UG#EY0)
770 GY=C#(-UG#YJK#P(ID(1))+E1#XJK#P(ID(2))+UG#YIK#P(ID(3))-E1#XIK#P(ID(4))-UG#YI
J#P(ID(5))+E1#XIJ#P(ID(6)))
780 GY=GY-KRIG#(UG#EX0+E1#EY0)
790 TXY=C#(E3#XJK#P(ID(1))-E3#YJK#P(ID(2))-E3#XIK#P(ID(3))+E3#YIK#P(ID(4))+E3#X
IJ#P(ID(5))-E3#YIJ#P(ID(6)))
800 TXY=TXY-KRIG#E3#EXY0
810 GMAX=0:GMIN=0:TAMAX=0:ANGMAX=0
820 IF GX-GY=0 THEN 900
830 RAD=SQR((2#TXY)^2+(GX-GY)^2)/2
840 CEN=(GX+GY)/2
850 GMAX=CEN+RAD
860 GMIN=CEN-RAD
870 TAMAX=RAD
880 ANGMAX=ATN(2#TXY/(GX-GY))#360/6.28319/2
890 IF GY>GX THEN ANGMAX=ANGMAX+90
900 IF LIN=0 THEN GOSUB 2600
910 GOSUB 2930
920 FOR J=1 TO NJ
930 IF J=MOD1 OR J=MOD2 OR J=MOD3 THEN 990
940 GOTO 1030
950 REM
960 REM SUMATORIA DE LAS TENSIONES DE LOS ELEMENTOS
970 REM TRIANGULARES QUE LLEGAN A UNA JUNTA
980 REM
990 GX(J)=GX(J)+GX
1000 GY(J)=GY(J)+GY
1010 TXY(J)=TXY(J)+TXY
1020 C(J)=C(J)+1
1030 NEXT J
1040 IF EX0=0 AND EY0=0 AND EXY0=0 THEN 1090
1050 LSET EX0%=MKS$(0)
1060 LSET EY0%=MKS$(0)
1070 LSET EXY0%=MKS$(0)
1080 PUT#1,I+1
1090 REM
1100 REM SUMA DE LAS FUERZAS INTERNAS QUE LLEGAN A UNA JUNTA
1110 REM

```

```

1120 FOR J=1 TO ND
1130 FOR K=1 TO ND
1140 F(ID(J))=F(ID(J))+SM(J,K)*S(MBAN*2*NJ+ID(K))
1150 NEXT K
1160 NEXT J
1170 NEXT I
1180 REM
1190 REM CALCULO DE LAS CARGAS O REACCIONES EN LAS JUNTAS
1200 REM
1210 CLOSE#1
1220 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOM$+N1$+".DAT"
1230 FIELD#3,8 AS CARGA$
1240 GET#3,2
1250 NJCAR=CVS(CARGA$)
1260 IF NJCAR=0 THEN 1430
1270 FOR I=1 TO NJCAR
1280 GET#3,11+(I-1)*3+1
1290 NOD1=CVS(CARGA$)
1300 GET#2,NOD1+1
1310 LO1=CVI(LO1$)
1320 JO1=CVI(JO1$)
1330 IF JO1=3 THEN 1420
1340 IF JO1=1 THEN 1390
1350 GET#3,11+(I-1)*3+2
1360 FX=CVS(CARGA$)
1370 F(2*NOD1-1)=F(2*NOD1-1) + FX
1380 IF JO1=2 THEN 1420
1390 GET#3,11+(I-1)*3+3
1400 FY=CVS(CARGA$)
1410 F(2*NOD1)=F(2*NOD1)+FY
1420 NEXT I
1430 CLOSE#2
1440 CLOSE#3
1450 REM
1460 REM TENSIONES PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS TRIANGULARES
1470 REM QUE LLEGAN A UNA JUNTA
1480 REM
1490 IF T0=0 THEN 1740
1500 T0=0
1510 T2=1
1520 HOME
1530 PRINT "TENSIONES PROMEDIO EN ELEMENTOS TRIANGULARES"
1540 PRINT "=====
1550 GOSUB 2600
1560 FOR I=1 TO NJ
1570 GX=0:GY=0:TXY=0:GMAX=0:GMIN=0:TMAX=0:ANGMAX=0
1580 IF C(I)=0 THEN 1720
1590 GX=GX(I)/C(I)
1600 GY=GY(I)/C(I)
1610 TXY=TXY(I)/C(I)
1620 IF GX-GY=0 THEN 1700
1630 RAD=SQR((2*TXY)^2+(GX-GY)^2)/2
1640 CEN=(GX+GY)/2
1650 GMAX=CEN+RAD
1660 GMIN=CEN-RAD
1670 TMAX=RAD
1680 ANGMAX=ATN(2*TXY/(GX-GY))*360/6.28319/2
1690 IF GY>GX THEN ANGMAX=ANGMAX+90

```

```

1700 LPRINT USING " ###          0000      000000.000 000000.000 000000.000 00
###.### 000000.000 000000.000 000000.000";I;C(I);GX;GY;TX
;GMAX;GMIN;TAMAX;ANGMAX;GZ
1710 IF 1/50=INT(1/50) THEN GOSUB 2600
1720 NEXT I
1730 T2=0
1740 T1=1
1750 HOME
1760 PRINT "CARGAS O REACCIONES EN LAS JUNTAS"
1770 PRINT "=====
1780 GOSUB 2600
1790 FOR I=1 TO NJ
1800 LPRINT USING " ### 000000000.000 000000000.000 ";I;F(2*I-1);F(2*I);
1810 IF 1/3=INT(1/3) THEN LPRINT " "
1820 IF 1/3/50=INT(1/3/50) THEN GOSUB 2600
1830 NEXT I
1840 T1=0
1850 HOME
1860 PRINT "REACCIONES EN LAS JUNTAS"
1870 PRINT "=====
1880 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
1890 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS NJR1$,5 AS NJR2$,16 AS RK1$,16 AS RK2$,5
AS L01$,5 AS J01$
1900 T3=1
1910 GOSUB 2600
1920 FOR I=1 TO NJ
1930 GET#1,I+1
1940 L01=CVI(L01$)
1950 J01=CVI(J01$)
1960 IF L01=0 AND J01=0 THEN 2000
1970 LPRINT USING" ### 000000000.000 000000000.000";I;F(2*I-1);F(2*I)
1980 LIN=LIN+1
1990 IF LIN/50=INT(LIN/50) THEN GOSUB 2600
2000 NEXT I
2010 CLOSE#1
2020 T3=0
2030 T4=1
2040 LIN=0
2050 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT"
2060 FIELD#1,5 AS MOD1$,5 AS MOD2$,5 AS MOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS XI
J$,8 AS XIX$,8 AS XJK$,8 AS YIJ$,8 AS YIK$,8 AS YJK$,8 AS EX0$,8 AS EY0$,8 AS EXY
0$
2070 FOR I=1 TO NM
2080 GET#1,I+1
2090 MOD3=CVS(MOD3$)
2100 IF MOD3<>0 THEN 2490
2110 REM
2120 REM CALCULO DE FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS
2130 REM
2140 HOME
2150 PRINT"FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS"
2160 PRINT"=====
2170 IF LIN=0 THEN GOSUB 2600
2180 REM
2190 REM FI, FJ, FUERZAS AXIALES DE EMPOTRAMIENTO
2200 REM EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS
2210 REM
2220 FI=CVS(EY0$)
2230 FJ=CVS(EXY0$)

```



```

2800 LPRINT      "ELEMENTO  JI  JJ  JK  SIGMA X  SIGMA Y  TAU XY  SI
GMA MAX.  SIGMA MIN.  TAU MAX.  ANGULO S. MAX. SIGMA Z"
2810 LPRINT LINEA$
2820 LIN=0
2830 RETURN
2840 LPRINT LINEA$
2850 LPRINT "  CARGAS O REACCIONES EN LAS JUNTAS"
2860 LPRINT LINEA$
2870 FOR I=1 TO 3
2880 LPRINT      "JUNTA          FX          FY  ";
2890 NEXT I
2900 LPRINT " "
2910 LPRINT LINEA$
2920 RETURN
2930 LIN=LIN+1
2940 IF LIN/50=INT(LIN/50) THEN GOSUB 2600
2950 LPRINT USING " ###      ### ### ### #####.###  #####.### #####.### ###
###.###  #####.###  #####.###  #####.###  #####.###";I;NOD1;NOD2;NOD3
:GX;GY;TXY;GMAX;GMIN;TAMAX;ANGMAX;GZ
2960 RETURN
2970 LPRINT LINEA$
2980 LPRINT "  TENSIONES PROMEDIO EN LAS JUNTAS DE LOS ELEMENTOS TRIANGULARES"
2990 LPRINT LINEA$
3000 LPRINT      "  JUNTA  NRO.DE ELEMENTOS SIGMA X  SIGMA Y  TAU XY  SI
GMA MAX.  SIGMA MIN.  TAU MAX.  ANGULO S. MAX. SIGMA Z"
3010 LPRINT LINEA$
3020 LIN=0
3030 RETURN
3040 LPRINT LINEA$
3050 LPRINT "  REACCIONES EN LAS JUNTAS"
3060 LPRINT LINEA$
3070 LPRINT      "  JUNTA  REACCION X  REACCION Y"
3080 LPRINT LINEA$
3090 RETURN
3100 LPRINT LINEA$
3110 LPRINT "  FUERZAS AXIALES EN LOS ELEMENTOS RECTILINEOS"
3120 LPRINT LINEA$
3130 LPRINT "  ELEMENTO  JI  JJ  NI  NJ"
3140 LIN=0
3150 RETURN

```

```

8000 NOD1=CVI(NOD1$)
8010 NOD2=CVI(NOD2$)
8020 NOD3=CVI(NOD3$)
8030 T=CVS(T$)
8040 MT=CVI(MAT$)
8050 AR=CVS(AR$)
8060 XIJ=CVS(XIJ$)
8070 YIK=CVS(YIK$)
8080 XJK=CVS(XJK$)
8090 YIJ=CVS(YIJ$)
8100 YIK=CVS(YIK$)
8110 YJK=CVS(YJK$)
8120 E1=EE1(MT)
8130 E2=EE2(MT)
8140 E3=EE3(MT)
8150 EG#=EG$(MT)
8160 U=UG(MT)
8170 ND=6
8180 IF NOD3=0 THEN ND=4
8190 FOR J=1 TO ND
8200   FOR K=1 TO ND
8210     SM(J,K)=0
8220   NEXT K
8230 NEXT J
8240 IF NOD3(<>) THEN 8460
8250 REM--
8260 REM--  MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN
8270 REM--  ELEMENTO RECTILINEO
8280 REM--
8290 A=EG$*T/AR
8300 XJK=XJK*YJK
8310 SM(1,1)=XIK*A
8320 SM(1,2)=XJK*A
8330 SM(1,3)=-SM(1,1)
8340 SM(1,4)=-SM(1,2)
8350 SM(2,2)=YIK*A
8360 SM(2,3)=SM(1,4)
8370 SM(2,4)=-SM(2,2)
8380 SM(3,3)=SM(1,1)
8390 SM(3,4)=SM(1,2)
8400 SM(4,4)=SM(2,2)
8410 GOTO 8680
8420 REM--
8430 REM--  MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN
8440 REM--  ELEMENTO TRIANGULAR
8450 REM--
8460 A=EG$*T/(4*AR*(1+U)*E2)
8470 SM(1,1)=A*(E1*YJK*YJK+E3*XJK*XJK)
8480 SM(1,2)=A*(-U-E3)*XJK*YJK
8490 SM(1,3)=A*(-E1*YIK*YJK-E3*XJK*XIK)
8500 SM(1,4)=A*(U*XIK*YJK+E3*XJK*YIK)
8510 SM(1,5)=A*(E1*YIJ*YJK+E3*XJK*XIJ)
8520 SM(1,6)=A*(-U*XIJ*YJK-E3*XJK*YIJ)
8530 SM(2,2)=A*(E1*XJK*XJK+E3*YJK*YJK)
8540 SM(2,3)=A*(U*YIK*XJK+E3*YJK*XIK)
8550 SM(2,4)=A*(-E1*XIK*XJK-E3*YJK*YIK)
8560 SM(2,5)=A*(-U*YIJ*XJK-E3*YJK*XIJ)
8570 SM(2,6)=A*(E1*XIJ*XJK+E3*YJK*YIJ)
8580 SM(3,3)=A*(E1*YIK*YIK+E3*XIK*XIK)

```

```
8590 SM(3,4)=A*(-U-E3)*XIK*YIK
8600 SM(3,5)=A*(-E1*YIJ*YIK-E3*XIK*XIJ)
8610 SM(3,6)=A*(U*XIJ*YIK+E3*XIK*YIJ)
8620 SM(4,4)=A*(E1*XIK*XIK+E3*YIK*YIK)
8630 SM(4,5)=A*(U*YIJ*XIK+E3*YIK*XIJ)
8640 SM(4,6)=A*(-E1*XIJ*XIK-E3*YIK*YIJ)
8650 SM(5,5)=A*(E1*YIJ*YIJ+E3*XIJ*XIJ)
8660 SM(5,6)=A*(-U-E3)*XIJ*YIJ
8670 SM(6,6)=A*(E1*XIJ*XIJ+E3*YIJ*YIJ)
8680 FOR J=2 TO ND
8690 FOR K= 1 TO J-1
8700 SM(J,K)=SM(K,J)
8710 NEXT K
8720 NEXT J
8730 RETURN
8740 REM--
8750 REM-- EFSUBM.BAS
8760 REM--
8770 REM-- SUBPROGRAMA QUE CALCULA LA
8780 REM-- MATRIZ DE RIGIDEZ DE UN
8790 REM-- ELEMENTO (TRIANG. O RECT.)
8800 REM--
8810 REM-- ULTIMA MODIF. 11-AGO-84
```

```
10000 KK=1
10010 FOR I=1 TO NE-1
10020 KK=KK+MB
10030 IF S(KK)=<0 THEN 10200
10040 L=MB-1
10050 IF I<L THEN L=I
10060 FOR J=1 TO L
10070 KI=(I-L-I+J)*MB+1
10080 IF S(KI)=<0 THEN S(NES+J)=0:GOTO 10100
10090 S(NES+J)=S((I-L-I+J)*MB+L-J+2)/S(KI)
10100 NEXT J
10110 LI=MB-1
10120 IF NE-I<LI THEN LI=NE-I
10130 FOR J=1 TO LI
10140 L2=MB-J
10150 IF L2>L THEN L2=L
10160 FOR K=1 TO L2
10170 S(I*MB+J)=S(I*MB+J)-S(NES+K+L-L2)*S((I-L2-I+K)*MB+J+1+L2-K)
10180 NEXT K
10190 NEXT J
10200 NEXT I
10210 RETURN
10220 REM--
10230 REM-- EFSUBS.BAS
10240 REM-- SUBPROGRAMA QUE TRIANGULARIZA
10250 REM-- UNA MATRIZ SIMETRICA DE BANDA
10260 REM-- POR EL METODO DE GAUSS
10270 REM--
10280 REM-- ULTIMA MODIF. 08-AGO-84
```

```

10000 KK=1
10010 IF S(1)<=0 THEN S(NES+1)=0
10020 FOR I=1 TO NE-1
10030  KK=KK+MB
10040  IF S(KK)>0 THEN 10060
10050  S(NES+I+1)=0 : GOTO 10130
10060  L=MB-I
10070  IF I<L THEN L=I
10080  FOR J=1 TO L
10090  KI=(I-L-I+J)*MB+1
10100  IF S(KI)<=0 THEN 10120
10110  S(NES+I+1)=S(NES+I+1)-S(NES+I-L+J)*S((I-L-I+J)*MB+L-J+2)/S(KI)
10120  NEXT J
10130  NEXT I
10140  IF S((NE-1)*MB+1)<=0 THEN 10170
10150  S(NES+NE)=S(NES+NE)/S((NE-1)*MB+1)
10160  GOTO 10180
10170  S(NES+NE)=0
10180  FOR I=1 TO NE-1
10190  K=NE-I
10200  IF S((K-1)*MB+1)<=0 THEN 10270
10210  L=MB-I
10220  IF I < L THEN L=I
10230  FOR J=1 TO L
10240  S(NES+NE-I)=S(NES+NE-I)-S(NES+NE-I+L-J+1)*S((NE-I-1)*MB+1+L-J+1)
10250  NEXT J
10260  S(NES+NE-I)=S(NES+NE-I)/S((K-1)*MB+1)
10270  NEXT I
10280  RETURN
10290  REM--
10300  REM-- EFSUB%.BAS
10310  REM--
10320  REM-- SUBPROGRAMA QUE CALCULA EL
10330  REM-- VECTOR INCOGNITA LUEGO DE
10340  REM-- TENER LA MATRIZ TRIANGULARIZADA
10350  REM--
10360  REM-- ULTIMA MODIF. 08-AGO-84

```

2 Listado de Programas de Aplicación
al Medio Continuo-

```

10 REM -- MCM01.BAS
20 REM --
30 REM -- MENU PRINCIPAL DE PROGRAMAS DE APLICACION DEL
40 REM -- METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS AL MEDIO CONTINUO
50 REM --
60 REM -- ULTIMA MODIFICACION 07-OCT-84
70 REM --
80 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 IF NOM$<>" THEN 300
100 GOSUB 490
110 PRINT "          PARAMETROS INICIALES "
120 PRINT "          ===== "
130 PRINT " "
140 PRINT " NOMBRE DE LA MALLA "
150 PRINT " ( 4 LETRAS ) ";
160 INPUT NOM$
170 IF LEN(NOM$)>4 THEN 140
180 PRINT " NOMBRE DEL PROBLEMA "
190 PRINT " ( 50 LETRAS ) ";
200 INPUT TITULO$
210 IF LEN(TITULO$)>50 THEN 180
220 PRINT " DISCO DE DATOS (A/B/C/D/E) ";
230 INPUT DRIVE$
240 IF DRIVE$<>"B" AND DRIVE$<>"A" AND DRIVE$<>"C" AND DRIVE$<>"D" AND DRIVE$<>"
E" THEN 220
250 DRIVE$=DRIVE$+";"
260 PRINT " DISCO DE PROG. (A/B/C/D/E) ";
270 INPUT DRIVEP$
280 IF DRIVEP$<>"B" AND DRIVEP$<>"A" AND DRIVEP$<>"C" AND DRIVEP$<>"D" AND DRIVE
P$<>"E" THEN 260
290 DRIVEP$=DRIVEP$+";"
300 GOSUB 490
310 REM--
320 REM-- OPCIONES DEL MENU PRINCIPAL
330 REM--
340 PRINT "          MENU PRINCIPAL (MALLA=";NOM$;") "
350 PRINT "          ----- "
360 PRINT " "
370 PRINT " (1) MENU DE DATOS GEOMETRICOS "
380 PRINT " "
390 PRINT " (2) CALCULOS "
400 PRINT " "
410 PRINT " (3) MODIFICAR PARAMETROS "
420 PRINT " "
430 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
440 INPUT NUM
450 IF NUM<1 OR NUM>3 THEN 430
460 ON NUM GOTO 470,480,100
470 CHAIN DRIVEP$+"MCM02.BAS"
480 CHAIN DRIVEP$+"MCM01.BAS"
490 CLS
500 PRINT "          METODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS "
510 PRINT "          ----- "
520 PRINT " "
530 RETURN

```

```

10 REM -- MCM02.BAS
20 REM --
30 REM -- MENU DE DATOS GEOMETRICOS
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 03-OCT-84
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVE$
80 GOSUB 370
90 PRINT " (1) INGRESO DE CONSTANTES DE MATERIALES "
100 PRINT " "
110 PRINT " (2) INGRESO GEOM. MANUAL "
120 PRINT " "
130 PRINT " (3) INGRESO GEOM. AUTOMATICA (C.CART) "
140 PRINT " "
150 PRINT " (4) INGRESO GEOM. AUTOMATICA (C.POLARES) "
160 PRINT " "
170 PRINT " (5) MODIF. DE DATOS GEOMETRICOS "
180 PRINT " "
190 PRINT " (6) INGRESO DE VALORES PRESCRITOS "
200 PRINT " "
210 PRINT " (7) GENERA PROPIEDADES Y LISTA "
220 PRINT " "
230 PRINT " (8) REGRESA AL MENU ANTERIOR "
240 PRINT " "
250 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
260 INPUT NUM
270 IF NUM<1 OR NUM>8 THEN 250
280 ON NUM GOTO 290,300,310,320,330,340,350,360
290 CHAIN DRIVE$+"MCI001.BAS"
300 CHAIN DRIVE$+"MCI002.BAS"
310 CHAIN DRIVE$+"MCI003.BAS"
320 CHAIN DRIVE$+"MCI004.BAS"
330 CHAIN DRIVE$+"MCI005.BAS"
340 CHAIN DRIVE$+"MCI006.BAS"
350 CHAIN DRIVE$+"MCI007.BAS"
360 CHAIN DRIVE$+"MCM01.BAS"
370 CLS
380 PRINT "          MENU DE DATOS GEOMETRICOS          "
390 PRINT "          -----          "
400 PRINT " "
410 RETURN

```

```

10 REM -- MCID01
20 REM --
30 REM -- INGRESO LAS CONSTANTES DE LOS MATERIALES
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 03-OCT-84
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 GOSUB 330
90 INPUT " TIPOS DE CONSTANTES ";TC
100 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"MAT.DAT"
110 FIELD#1,8 AS C$,8 AS LAM$,16 AS KX$,16 AS KY$
120 LSET C$=MK$(TC)
130 LSET LAM$=MK$(0)
140 LSET KX$=MK$(0)
150 LSET KY$=MK$(0)
160 PUT#1,1
170 FOR I=1 TO TC
180 GOSUB 330
190 PRINT " VALORES DE LAS CONSTANTES TIPO ";I
200 PRINT " "
210 INPUT " VALOR DE C ";C
220 INPUT " VALOR DE LAMBDA ";LAM
230 INPUT " VALOR DE KX ";KX#
240 INPUT " VALOR DE KY ";KY#
250 LSET C$=MK$(C)
260 LSET LAM$=MK$(LAM)
270 LSET KX$=MK$(KX#)
280 LSET KY$=MK$(KY#)
290 PUT#1,I+1
300 NEXT I
310 CLOSE#1
320 CHAIN DRIVE$+"NCH02"
330 CLS
340 PRINT " INGRESO DE CONSTANTES DE MATERIALES "
350 PRINT " ----- "
360 PRINT " "
370 RETURN

```

```

10 REM -- MCID02
20 REM --
30 REM -- INGRESO DE GEOMETRIA MANUAL
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 07-OCT-84
60 REM --
70 DIM X(200),Y(200)
80 COMMON NON$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
90 GOSUB 770
100 INPUT " NUMERO DE NODOS " ;NJ
110 INPUT " NUMERO DE ELEMENTOS " ;NM
120 INPUT " MATERIAL DE ELEMENTOS CONSTANTE (S/N) " ;ESP$
130 IF ESP$("<"S" AND ESP$("<"N" THEN 120
140 IF ESP$="N" THEN 160
150 INPUT " MATERIAL DE LOS ELEMENTOS " ;MAT
160 OPEN "R",#2,DRIVE$+NON$+"NO.DAT"
170 FIELD#2,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
180 LSET XNOD$=MKS$(NJ)
190 LSET YNOD$=MKS$(0)
200 LSET JP$=MKI$(0)
210 LSET VP$=MKS$(0)
220 PUT#2,1
230 GOSUB 770
240 FOR I=1 TO NJ
250 PRINT " COORD. X DEL NODO " ;I;" ";
260 INPUT X(I)
270 PRINT " COORD. Y DEL NODO " ;I;" ";
280 INPUT Y(I)
290 LSET XNOD$=MKS$(X(I))
300 LSET YNOD$=MKS$(Y(I))
310 PUT#2,I+1
320 NEXT I
330 CLOSE#2
340 OPEN "R",#3,DRIVE$+NON$+"EL.DAT",132
350 FIELD#3,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C21
$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,8
AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$
360 MBAN=0
370 LSET NOD1$=MKI$(NM)
380 GOSUB 590
390 PUT#3,1
400 GOSUB 770
410 FOR I=1 TO NM
420 PRINT " DATOS DEL ELEMENTO " ;I
430 PRINT " "
440 INPUT " NODO 1 " ;NOD1
450 INPUT " NODO 2 " ;NOD2
460 INPUT " NODO 3 " ;NOD3
470 IF ESP$="S" THEN 490
480 INPUT " TIPO MATERIAL " ;MAT
490 LSET NOD1$=MKI$(NOD1)
500 LSET NOD2$=MKI$(NOD2)
510 LSET NOD3$=MKI$(NOD3)
520 LSET T$=MKS$(1)
530 LSET MAT$=MKI$(MAT)
540 GOSUB 630
550 PUT#3,I+1
560 NEXT I
570 CLOSE#3

```

```
580 CHAIN DRIVE$+*HCM02*
590 LSET NOD2$=MKI$(0)
600 LSET NOD3$=MKI$(0)
610 LSET T$=MKS$(0)
620 LSET MAT$=MKI$(0)
630 LSET AR$=MKS$(0)
640 LSET C21$=MKS$(0)
650 LSET C22$=MKS$(0)
660 LSET C23$=MKS$(0)
670 LSET C31$=MKS$(0)
680 LSET C32$=MKS$(0)
690 LSET C33$=MKS$(0)
700 LSET H1$=MKS$(0)
710 LSET H2$=MKS$(0)
720 LSET H3$=MKS$(0)
730 LSET F1$=MKS$(0)
740 LSET F2$=MKS$(0)
750 LSET F3$=MKS$(0)
760 RETURN
770 CLS
780 PRINT "          INGRESO DE GEOMETRIA MANUAL "
790 PRINT "          ----- "
800 PRINT " "
810 RETURN
```

```

10 REM -- MCID03.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA GENERACION AUTOMATICA DE LA MALLA
30 REM -- COORDENADAS CARTESIANAS
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 07-OCT-84
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 DIM NT(30),X(30,6),Y(30,6)
90 DIM ST(30,5),FP(30,5)
100 DIM XP(200),YP(200)
110 REM
120 REM -- INGRESO DE DATOS GENERALES DE LA MALLA
130 REM
140 CLS
150 PRINT "          GENERACION AUTOMATICA "
160 PRINT "          DE LA MALLA "
170 PRINT "          (COORD. CARTESIANAS) "
180 PRINT " "
190 PRINT " NUMERO DE LINEAS ";
200 INPUT NL
210 IF NL<=1 THEN 190
220 ESP=1
230 PRINT " TIPO DE MATERIAL ";
240 INPUT MT
250 PRINT " RAZON ENTRE ELEMENTOS "
260 PRINT " (0) TOTAL "
270 PRINT " (1) POR LINEA "
280 PRINT " (2) POR TRAMO ";
290 INPUT FP
300 IF FP<>0 AND FP<>1 AND FP<>2 THEN 250
310 IF FP<>0 THEN 390
320 PRINT " RAZON TOTAL ";
330 INPUT FP(1,1)
340 IF FP(1,1)=<0 THEN 320
350 REM
360 REM INGRESO DE DATOS CORRESPONDIENTES A CADA
370 REM LINEA Y CADA TRAMO DE LA MISMA LINEA
380 REM
390 FOR I=1 TO NL
400 PRINT " NUMERO DE TRAMOS EN LA LINEA ";I;" ";
410 INPUT NT(I)
420 IF NT(I)=<0 THEN 400
430 PRINT " COORDENADA X INICIAL LINEA ";I;" ";
440 INPUT X(I,1)
450 PRINT " COORDENADA Y INICIAL LINEA ";I;" ";
460 INPUT Y(I,1)
470 IF FP=0 OR FP=2 THEN 520
480 PRINT " RAZON POR LINEA DE LA LINEA ";I;" ";
490 INPUT FP(I,1)
500 IF FP(I,1)=<0 THEN 480
510 GOTO 530
520 FP(I,1)=FP(1,1)
530 FOR J=1 TO NT(I)
540 PRINT " COORDENADA X FINAL TRAMO ";J;" ";
550 INPUT X(I,J+1)
560 PRINT " COORDENADA Y FINAL TRAMO ";J;" ";
570 INPUT Y(I,J+1)
580 PRINT " NUMERO DE SEGMENTOS TRAMO ";J;" ";
590 INPUT ST(I,J)

```

```

600 IF ST(I,J)=<0 THEN 580
610 IF FP<>2 THEN 660
620 PRINT " RAZON POR TRAMO DEL   TRAMO ";J;" ";
630 INPUT FP(I,J)
640 IF FP(I,J)=<0 THEN 620
650 GOTO 670
660 FP(I,J)=FP(I,1)
670 NEXT J
680 NEXT I
690 NODO=0
700 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
710 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
720 AUX=0
730 LSET XNOD$=MKS$(AUX)
740 LSET YNOD$=MKS$(AUX)
750 LSET JP$=MKI$(AUX)
760 LSET VP$=MKS$(AUX)
770 PUT#1,1
780 REM
790 REM CALCULO DE LAS COORDENADAS DE CADA NODO DE LA MALLA
800 REM
810 FOR I=1 TO NL
820 NODO=NODO+1
830 XP(NODO)=X(I,1)
840 YP(NODO)=Y(I,1)
850 LSET XNOD$=MKS$(XP(NODO))
860 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
870 PUT#1,NODO+1
880 REM
890 REM A PARTIR DE LA ECUACION DEL TERMINO GENERAL
900 REM DE UNA PROGRESION GEOMETRICA
910 REM
920 FOR J=1 TO NT(I)
930 X1=X(I,J)
940 Y1=Y(I,J)
950 F3=FP(I,J)^ST(I,J)
960 IF F3=1 THEN 1000
970 F1=(X(I,J+1)-X1)/(F3-1)
980 F2=(Y(I,J+1)-Y1)/(F3-1)
990 GOTO 1020
1000 F1=(X(I,J+1)-X1)/ST(I,J)
1010 F2=(Y(I,J+1)-Y1)/ST(I,J)
1020 F3=FP(I,J)
1030 FOR L=1 TO ST(I,J)-1
1040 NODO=NODO+1
1050 IF F3=1 THEN 1100
1060 XP(NODO)=X1+F1*(F3-1)
1070 YP(NODO)=Y1+F2*(F3-1)
1080 F3=F3*FP(I,J)
1090 GOTO 1120
1100 XP(NODO)=X1+L*F1
1110 YP(NODO)=Y1+L*F2
1120 LSET XNOD$=MKS$(XP(NODO))
1130 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
1140 PUT#1,NODO+1
1150 NEXT L
1160 NODO=NODO+1
1170 XP(NODO)=X(I,J+1)
1180 YP(NODO)=Y(I,J+1)

```

```

1190 LSET XNOD$=MKS$(XP(NODO))
1200 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
1210 PUT#1,NODO+1
1220 NEXT J
1230 NEXT I
1240 REM
1250 REM SE ALMACENA EN EL REGISTRO I EL NUMERO DE NODOS DE LA MALLA
1260 REM
1270 LSET XNOD$=MKS$(NODO)
1280 LSET YNOD$=MKS$(NODO)
1290 PUT#1,1
1300 CLOSE#1
1310 REM
1320 REM LOS ELEMENTOS GENERADOS POR ESTE PROGRAMA SON TRIANGULARES
1330 REM
1340 REM NUMERACION DE LOS ELEMENTOS DE LA MALLA.
1350 REM
1360 NE=0
1370 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOH$+"EL.DAT",132
1380 FIELD#1,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C2
1$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,
8 AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$
1390 AUX=0
1400 LSET NOD1$=MKI$(AUX)
1410 LSET NOD2$=MKI$(AUX)
1420 LSET NOD3$=MKI$(AUX)
1430 LSET T$=MKS$(ESP)
1440 LSET MAT$=MKI$(MT)
1450 LSET AR$=NKS$(AUX)
1460 LSET C21$=MKS$(AUX)
1470 LSET C22$=MKS$(AUX)
1480 LSET C23$=MKS$(AUX)
1490 LSET C31$=MKS$(AUX)
1500 LSET C32$=MKS$(AUX)
1510 LSET C33$=MKS$(AUX)
1520 LSET F1$=MKS$(AUX)
1530 LSET F2$=MKS$(AUX)
1540 LSET F3$=MKS$(AUX)
1550 LSET H1$=MKS$(AUX)
1560 LSET H2$=MKS$(AUX)
1570 LSET H3$=MKS$(AUX)
1580 PUT#1,1
1590 REM
1600 REM LA INCIDENCIA NODAL DE CADA ELEMENTO ES
1610 REM ALMACENADA EN SENTIDO ANTI-HORARIO
1620 REM
1630 NII=1
1640 MID=2
1650 FOR I=1 TO NT(1)
1660 MID=MID+ST(I,1)
1670 NEXT I
1680 FOR I=1 TO NL-1
1690 IF NT(I)<NT(I+1) THEN 1760
1700 FOR K=1 TO NT(I)
1710 NSI=ST(I,K)
1720 NSD=ST(I+1,K)
1730 GOSUB 1980
1740 NEXT K
1750 GOTO 1850

```

```

1760 NSI=0
1770 NSD=0
1780 FOR J=1 TO NT(I)
1790   NSI=NSI+ST(I,J)
1800 NEXT J
1810 FOR J=1 TO NT(I+1)
1820   NSD=NSD+ST(I+1,J)
1830 NEXT J
1840 GOSUB 1980
1850 NII=NII+1
1860 MID=MID+1
1870 NEXT I
1880 LSET NOD1$=MKI$(NE)
1890 LSET NOD2$=MKI$(NE)
1900 LSET NOD3$=MKI$(NE)
1910 PUT#1,1
1920 CLOSE#1
1930 CHAIN DRIVEP$+"MCM02.BAS"
1940 REM
1950 REM LOS ELEMENTOS SE ESCOGEN SIGUIENDO
1960 REM EL CRITERIO DE LA MENOR DIAGONAL
1970 REM
1980 FOR J=1 TO NSI
1990   IF J=NSI AND NSI>NSD THEN 2370
2000   NOD01=NII
2010   NOD02=NOD01+1
2020   NOD03=MID
2030   NOD04=NOD03+1
2040   D1=(XP(NOD01)-XP(NOD04))^2+(YP(NOD01)-YP(NOD04))^2
2050   D2=(XP(NOD02)-XP(NOD03))^2+(YP(NOD02)-YP(NOD03))^2
2060   IF D1>D2 THEN 2180
2070   NE=NE+1
2080   LSET NOD1$=MKI$(NOD01)
2090   LSET NOD2$=MKI$(NOD03)
2100   LSET NOD3$=MKI$(NOD04)
2110   PUT#1,NE+1
2120   NE=NE+1
2130   LSET NOD1$=MKI$(NOD01)
2140   LSET NOD2$=MKI$(NOD04)
2150   LSET NOD3$=MKI$(NOD02)
2160   PUT#1,NE+1
2170   GOTO 2280
2180   NE=NE+1
2190   LSET NOD1$=MKI$(NOD01)
2200   LSET NOD2$=MKI$(NOD03)
2210   LSET NOD3$=MKI$(NOD02)
2220   PUT#1,NE+1
2230   NE=NE+1
2240   LSET NOD1$=MKI$(NOD02)
2250   LSET NOD2$=MKI$(NOD03)
2260   LSET NOD3$=MKI$(NOD04)
2270   PUT#1,NE+1
2280   IF J<>NSI OR NSD<NSI THEN 2450
2290   NE=NE+1
2300   LSET NOD1$=MKI$(NOD02)
2310   AUX=NOD04+1
2320   LSET NOD2$=MKI$(NOD04)
2330   LSET NOD3$=MKI$(AUX)
2340   PUT#1,NE+1

```

```
2350 NID=NID+1
2360 GOTO 2450
2370 NE=NE+1
2380 LSET NOD1$=MKI$(NOD02)
2390 AUX=NOD02+1
2400 LSET NOD2$=MKI$(NOD04)
2410 LSET NOD3$=MKI$(AUX)
2420 PUT#1,NE+1
2430 NII=NII+1
2440 GOTO 2470
2450 NII=NII+1
2460 NID=NID+1
2470 NEXT J
2480 RETURN
```

```

10 REM -- MCID04.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA GENERACION AUTOMATICA DE LA MALLA
30 REM -- COORDENADAS POLARES
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 07-OCT-84
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 DIM XP(200),YP(200)
90 CLS
100 PRINT "          GENERACION AUTOMATICA DE LA MALLA "
110 PRINT "          (COORDENADAS POLARES) "
120 PRINT " "
130 T=1
140 PRINT " TIPO DE MATERIAL          ";
150 INPUT MT
160 PRINT " RADIO INTERIOR          ";
170 INPUT RINT
180 PRINT " RADIO EXTERIOR          ";
190 INPUT REXT
200 PRINT " NUMERO DE SEGMENTOS          ";
210 INPUT NSEG
220 IF NSEG <= 0 THEN 200
230 PRINT " RAZON ENTRE SEGMENTOS          ";
240 INPUT RAZON
250 IF RAZON <= 0 THEN 230
260 PRINT " NUMERO DE ANGULOS          ";
270 INPUT NANG
280 IF NANG <= 0 THEN 260
290 PRINT " VALOR ANGULO (GRADOS)          ";
300 INPUT VANG
310 IF VANG <= 0 THEN 290
320 ANG=VANG/57.2958
330 NODO=0
340 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
350 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
360 AUX=0
370 LSET XNOD$=MKS$(AUX)
380 LSET YNOD$=MKS$(AUX)
390 LSET JP$=MKI$(0)
400 LSET VP$=MKS$(0)
410 PUT#1,1
420 FOR I=1 TO NANG+1
430 NODO=NODO+1
440 ANGULO=(I-1)*ANG
450 XP(NODO)=RINT*COS(ANGULO)
460 YP(NODO)=RINT*SIN(ANGULO)
470 LSET XNOD$=MKS$(XP(NODO))
480 LSET YNOD$=MKS$(YP(NODO))
490 PUT#1,NODO+1
500 X1=XP(NODO)
510 Y1=YP(NODO)
520 XF=REXT*COS(ANGULO)
530 YF=REXT*SIN(ANGULO)
540 F3=RAZON^NSEG
550 IF F3=1 THEN 590
560 F1=(XF-X1)/(F3-1)
570 F2=(YF-Y1)/(F3-1)
580 GOTO 610
590 F1=(XF-X1)/NSEG

```

```

600 F2=(YF-Y1)/NSEG
610 F3=RAZON
620 FOR L=1 TO NSEG
630 NOD0=NOD0+1
640 IF F3=1 THEN 690
650 XP(NOD0)=X1+F1*(F3-1)
660 YP(NOD0)=Y1+F2*(F3-1)
670 F3=F3*RAZON
680 GOTO 710
690 XP(NOD0)=X1+L*F1
700 YP(NOD0)=Y1+L*F2
710 LSET XNOD$=MKS$(XP(NOD0))
720 LSET YNOD$=MKS$(YP(NOD0))
730 PUT#1,NOD0+1
740 NEXT L
750 NEXT I
760 LSET XNOD$=MKS$(NOD0)
770 LSET YNOD$=MKS$(NOD0)
780 PUT#1,1
790 CLOSE#1
800 NE=0
810 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT",132
820 FIELD#1,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C21
$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,8
AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$
830 AUX=0
840 LSET NOD1$=MKI$(AUX)
850 LSET NOD2$=MKI$(AUX)
860 LSET NOD3$=MKI$(AUX)
870 LSET T$=MKS$(T)
880 LSET MAT$=MKI$(MT)
890 LSET AR$=MKS$(AUX)
900 LSET C21$=MKS$(AUX)
910 LSET C22$=MKS$(AUX)
920 LSET C23$=MKS$(AUX)
930 LSET C31$=MKS$(AUX)
940 LSET C32$=MKS$(AUX)
950 LSET C33$=MKS$(AUX)
960 LSET F1$=MKS$(AUX)
970 LSET F2$=MKS$(AUX)
980 LSET F3$=MKS$(AUX)
990 LSET H1$=MKS$(AUX)
1000 LSET H2$=MKS$(AUX)
1010 LSET H3$=MKS$(AUX)
1020 PUT#1,1
1030 N11=1
1040 N10=2+NSEG
1050 FOR I=1 TO NANG
1060 FOR J=1 TO NSEG
1070 NOD01=N11
1080 NOD02=NOD01+1
1090 NOD03=N10
1100 NOD04=NOD03+1
1110 NE=NE+1
1120 LSET NOD1$=MKI$(NOD01)
1130 LSET NOD2$=MKI$(NOD02)
1140 LSET NOD3$=MKI$(NOD03)
1150 PUT#1,NE+1
1160 NE=NE+1

```

```
1170 LSET MOD1$=MKI$(NOD02)
1180 LSET MOD2$=MKI$(NOD04)
1190 LSET MOD3$=MKI$(NOD03)
1200 PUT#1,NE+1
1210 NII=NII+1
1220 NID=NID+1
1230 NEXT J
1240 NII=NII+1
1250 NID=NID+1
1260 NEXT I
1270 LSET MOD1$=MKI$(NE)
1280 LSET MOD2$=MKI$(NE)
1290 LSET MOD3$=MKI$(NE)
1300 PUT#1,1
1310 CLOSE#1
1320 CHAIN DRIVEP$+"MCH02.BAS"
```

```

10 REM -- MCI005.BAS
20 REM -- PROGRAMA PARA MODIFICACION DE
30 REM -- DATOS GEOMETRICOS
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 07-OCT-84.
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 DIM NOLEI(30),ELEELI(60)
90 DIM XNUE(30),YNUE(30),NODEAX(60,3),MATEAX(60),AREAE(60)
100 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
110 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
120 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT",132
130 FIELD#2,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C21$,
$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,8
AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$
140 GET#1,1
150 NODO=CVS(XNOD$)
160 GET#2,1
170 NE=CVI(NOD1$)
180 CLS
190 PRINT "      MODIFICACION DE GEOMETRIA (MALLA=";NOM$;" )"
200 PRINT "      ----- "
210 PRINT " "
220 PRINT " (1) MODIFICAR COORDENADAS DE NODOS "
230 PRINT " "
240 PRINT " (2) MODIFICAR INCIDENCIA DE ELEMENTOS "
250 PRINT " "
260 PRINT " (3) ELIMINAR ELEMENTOS "
270 PRINT " "
280 PRINT " (4) ELIMINAR NODOS "
290 PRINT " "
300 PRINT " (5) AGREGAR NODOS Y/O ELEMENTOS "
310 PRINT " "
320 PRINT " (6) MODIFICAR TIPO DE MATERIAL "
330 PRINT " "
340 PRINT " (7) TERMINAR "
350 PRINT " "
360 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
370 INPUT NUM
380 IF NUM<1 OR NUM>7 THEN 180
390 ON NUM GOTO 470,670,1620,900,1970,3360,400
400 CLS
410 CLOSE#1
420 CLOSE#2
430 CHAIN DRIVEP$+"MCM02.BAS"
440 REM --
450 REM -- MODIFICACION DE NODOS
460 REM --
470 CLS
480 NOD=0
490 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU. "
500 PRINT " "
510 PRINT " NUMERO DEL NODO A MODIFICAR ";
520 INPUT NOD
530 IF NOD=0 THEN 180
540 IF NOD>NODO THEN PRINT " ERROR : NODO NO EXISTE " : GOTO 470
550 PRINT " COORDENADA X DEL NODO ";
560 INPUT XNOD
570 PRINT " COORDENADA Y DEL NODO ";

```

```

580 INPUT YNOD
590 GET#1,NOD+1
600 LSET XNOD$=MKS$(XNOD)
610 LSET YNOD$=MKS$(YNOD)
620 PUT#1,NOD+1
630 GOTO 470
640 REM--
650 REM-- MODIFICACION DE ELEMENTOS
660 REM--
670 CLS
680 ELEM=0
690 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU"
700 PRINT " "
710 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO A MODIFICAR ";
720 INPUT ELEM
730 IF ELEM=0 THEN 180
740 IF ELEM>NE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 710
750 PRINT " NODO 1 DEL ELEMENTO ";
760 INPUT NODO1
770 PRINT " NODO 2 DEL ELEMENTO ";
780 INPUT NODO2
790 PRINT " NODO 3 DEL ELEMENTO ";
800 INPUT NODO3
810 GET#2,ELEM+1
820 LSET NOD1$=MK1$(NODO1)
830 LSET NOD2$=MK1$(NODO2)
840 LSET NOD3$=MK1$(NODO3)
850 PUT#2,ELEM+1
860 GOTO 670
870 REM--
880 REM-- ELIMINACION DE NODOS
890 REM--
900 CLS
910 PRINT " NUMERO DE NODOS A ELIMINAR ";
920 INPUT NNE
930 PRINT " "
940 PRINT " LOS NODOS DEBEN INGRESARSE "
950 PRINT " EN ORDEN CRECIENTE "
960 PRINT " "
970 FOR I=1 TO NNE
980 PRINT " NUMERO DEL NODO ";I;" ";
990 INPUT NODELI(I)
1000 IF NODELI(I)>NODO THEN PRINT " ERROR : NODO NO EXISTE " : GOTO 980
1010 NEXT I
1020 NODO1=NODO-NNE
1030 LSET XNOD$=MKS$(NODO1)
1040 LSET YNOD$=MKS$(NODO1)
1050 PUT#1,1
1060 ELI=2
1070 REM--
1080 REM-- SE GRABAN EN EL ARCHIVO DE
1090 REM-- NODOS SOLAMENTE LOS NODOS
1100 REM-- NO ELIMINADOS, RENUMERANDOSE
1110 REM-- EN EL MISMO ORDEN
1120 REM--
1130 FOR I=NODELI(I)+1 TO NODO
1140 IF ELI>NNE THEN 1180
1150 IF I<>NODELI(ELI) THEN 1180
1160 ELI=ELI+1

```

```

1170     GOTO 1200
1180 GET#1,I+1
1190 PUT#1,I+2-ELI
1200 NEXT I
1210 ELI=0
1220 REM--
1230 REM-- SE ELIMINAN DEL ARCHIVO DE
1240 REM-- ELEMENTOS LOS ELEMENTOS QUE
1250 REM-- LLEGABAN A LOS NODOS ELIMINADOS
1260 REM-- RENUMERANDOSE LOS ELEMENTOS
1270 REM-- RESTANTES Y REACTUALIZANDO
1280 REM-- SUS INCIDENCIAS
1290 REM--
1300 FOR I=1 TO NE
1310 GET#2,I+1
1320 NODO1=CVI(NODO1$)
1330 NODO2=CVI(NODO2$)
1340 NODO3=CVI(NODO3$)
1350 RES1=0
1360 RES2=0
1370 RES3=0
1380 FOR J=1 TO NNE
1390 IF NOD1=NODELI(J) OR NODO2=NODELI(J) OR NODO3=NODELI(J) THEN 1500
1400 IF NODO1>NODELI(J) THEN RES1=RES1+1
1410 IF NODO2>NODELI(J) THEN RES2=RES2+1
1420 IF NODO3>NODELI(J) THEN RES3=RES3+1
1430 NEXT J
1440 IF ELI=0 AND RES1=0 AND RES2=0 AND RES3=0 THEN 1510
1450 LSET NOD1$=MKI$(NODO1-RES1)
1460 LSET NOD2$=MKI$(NODO2-RES2)
1470 LSET NOD3$=MKI$(NODO3-RES3)
1480 PUT#2,I+1-ELI
1490 GOTO 1510
1500 ELI=ELI+1
1510 NEXT I
1520 NE=NE-ELI
1530 LSET NOD1$=MKI$(NE)
1540 LSET NOD2$=MKI$(NE)
1550 LSET NOD3$=MKI$(NE)
1560 PUT#2,1
1570 NODO=NODO1
1580 GOTO 180
1590 REM--
1600 REM-- ELIMINACION DE ELEMENTOS
1610 REM--
1620 CLS
1630 PRINT " NUMERO DE ELEMENTOS A ELIMINAR ";
1640 INPUT NEE
1650 IF NEE=0 THEN 180
1660 PRINT " "
1670 PRINT "          LOS ELEMENTOS DEBEN INGRESARSE "
1680 PRINT "          EN ORDEN CRECIENTE "
1690 PRINT " "
1700 FOR I=1 TO NEE
1710 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO ";I;" ";
1720 INPUT ELEELI(I)
1730 IF ELEELI(I) >NE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 1710
1740 NEXT I
1750 ELI=2

```

```

1760 REM-- SE GRABAN EN EL ARCHIVO DE
1770 REM-- LOS ELEMENTOS NO ELIMINADOS
1780 REM-- RENUMERANDOSE
1790 REM--
1800 FOR I=ELEELI(1)+1 TO NE
1810 IF ELI>NEE THEN 1850
1820 IF I<> ELEELI(ELI) THEN 1850
1830 ELI=ELI+1
1840 GOTO 1870
1850 GET#2,I+1
1860 PUT#2,I+2-ELI
1870 NEXT I
1880 NE=NE-NEE
1890 LSET MOD1$=MK1$(NE)
1900 LSET MOD2$=MK1$(NE)
1910 LSET MOD3$=MK1$(NE)
1920 PUT#2,I
1930 GOTO 180
1940 REM--
1950 REM-- AGREGAR NODOS NUEVOS
1960 REM--
1970 CLS
1980 PRINT " NOMBRE DEL NUEVO ARCHIVO "
1990 PRINT " ( 4 LETRAS ) "
2000 INPUT NOMNUE$
2010 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOMNUE$+"NO.DAT"
2020 FIELD#3,8 AS XNUEN$,8 AS YNUEN$,5 AS JPNUEN$,8 AS VPNUEN$
2030 PRINT " NUMERO DE NODOS A AGREGAR ";
2040 INPUT NNA
2050 PRINT " "
2060 PRINT " LOS NODOS DEBEN INGRESARSE "
2070 PRINT " EN ORDEN CRECIENTE "
2080 PRINT " "
2090 FOR I=1 TO NNA
2100 PRINT " NUMERO DEL NODO ";I;" ";
2110 INPUT NODELI(I)
2120 PRINT " .COORD. X DEL NODO ";I;" ";
2130 INPUT XNUE(I)
2140 PRINT " .COORD. Y DEL NODO ";I;" ";
2150 INPUT YNUE(I)
2160 NEXT I
2170 LSET XNUEN$=MKS$(NODO+NNA)
2180 LSET YNUEN$=MKS$(NODO+NNA)
2190 GOSUB 3780
2200 PUT#3,I
2210 J=1
2220 K=1
2230 REM--
2240 REM-- SE GRABAN LOS NODOS AGREGADOS
2250 REM-- Y LOS ANTERIORES
2260 REM--
2270 FOR I=1 TO NODO
2280 GET#1,I+1
2290 IF J>NNA THEN 2390
2300 IF NODELI(J)=0 THEN 2320
2310 IF NODELI(J)<>I THEN 2390
2320 LSET XNUEN$=MKS$(XNUE(J))
2330 LSET YNUEN$=MKS$(YNUE(J))
2340 GOSUB 3780

```

```

2350 PUT#3,K+1
2360 K=K+1
2370 J=J+1
2380 GOTO 2290
2390 LSET XNUEN$=XNOD$
2400 LSET YNUEN$=YNOD$
2410 LSET JPMUEN$=JP$
2420 LSET VPMUEN$=VP$
2430 PUT#3,K+1
2440 K=K+1
2450 NEXT I
2460 FOR L=1 TO NNA-J+1
2470 LSET XNUEN$=MK$$(XNUEN$(J+L-1))
2480 LSET YNUEN$=MK$$(YNUEN$(J+L-1))
2490 GOSUB 3780
2500 PUT#3,K+L
2510 NEXT L
2520 CLOSE#3
2530 NDDO=NOD+NNA
2540 REM--
2550 REM-- SE RENÚMERA LA INCIDENCIA
2560 REM-- DE LOS ELEMENTOS
2570 REM--
2580 FOR I=1 TO NE
2590 SET#2,I+1
2600 NDDO1=CVI(NOD1$)
2610 NDDO2=CVI(NOD2$)
2620 NDDO3=CVI(NOD3$)
2630 SUM1=0
2640 SUM2=0
2650 SUM3=0
2660 FOR J=1 TO NNA
2670 IF NDDO1>=NODELI(J) THEN SUM1=SUM1+1
2680 IF NDDO2>=NODELI(J) THEN SUM2=SUM2+1
2690 IF NDDO3>=NODELI(J) THEN SUM3=SUM3+1
2700 NEXT J
2710 IF SUM1=0 AND SUM2=0 AND SUM3=0 THEN 2760
2720 LSET NOD1$=MK1$(NDDO1+SUM1)
2730 LSET NOD2$=MK1$(NDDO2+SUM2)
2740 LSET NOD3$=MK1$(NDDO3+SUM3)
2750 PUT#2,I+1
2760 NEXT I
2770 REM--
2780 REM-- AGREGAR ELEMENTOS NUEVOS
2790 REM--
2800 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOMNUE$+"EL.DAT",132
2810 FIELD#2,5 AS NNUE1$,5 AS NNUE2$,5 AS NNUE3$,8 AS TNUE$,5 AS MNUE$,8 AS ARM$,
,8 AS C21N$,8 AS C22N$,8 AS C23N$,8 AS C31N$,8 AS C32N$,8 AS C33N$,8 AS H1N$,8 AS
S H2N$,8 AS H3N$,8 AS F1N$,8 AS F2N$,8 AS F3N$
2820 PRINT " NUMERO DE ELEMENTOS A AGREGAR ";
2830 INPUT NEA
2840 EET=1
2850 PRINT " MATERIAL ELEMENTOS CONSTANTE (S/N) ";
2860 INPUT MET$
2870 IF MET$<>"S" AND MET$<>"N" THEN 2850
2880 IF MET$="N" THEN 2910
2890 PRINT " INGRESE MATERIAL DE ELEMENTOS ";
2900 INPUT MET
2910 PRINT " "

```

```

2920 FOR I=1 TO NEA
2930 FOR J=1 TO 3
2940 PRINT " NODO ";J;" DEL ELEMENTO ";I;" ";
2950 INPUT NODEAX(I,J)
2960 NEXT J
2970 AREAE(I)=EET
2980 IF MET$="S" THEN 3020
2990 PRINT " MATERIAL DEL ELEMENTO ";I;" ";
3000 INPUT MATEAX(I)
3010 GOTO 3030
3020 MATEAX(I)=MET
3030 NEXT I
3040 LSET NNUE1$=MKI$(NE+NEA)
3050 LSET NNUE2$=MKI$(NE+NEA)
3060 LSET NNUE3$=MKI$(NE+NEA)
3070 LSET TNUE$=MKS$(NE+NEA)
3080 LSET MNUE$=MKI$(NE+NEA)
3090 GOSUB 3810
3100 PUT#3,1
3110 FOR I=1 TO NE
3120 GET#2,I+1
3130 LSET NNUE1$=NOD1$
3140 LSET NNUE2$=NOD2$
3150 LSET NNUE3$=NOD3$
3160 LSET TNUE$=T$
3170 LSET MNUE$=MAT$
3180 GOSUB 3810
3190 PUT#3,I+1
3200 NEXT I
3210 FOR I=1 TO NEA
3220 LSET NNUE1$=MKI$(NODEAX(I,1))
3230 LSET NNUE2$=MKI$(NODEAX(I,2))
3240 LSET NNUE3$=MKI$(NODEAX(I,3))
3250 LSET TNUE$=MKS$(AREAE(I))
3260 LSET MNUE$=MKI$(MATEAX(I))
3270 GOSUB 3810
3280 PUT#3,NE+I+1
3290 NEXT I
3300 CLOSE#3
3310 NE=NE+NEA
3320 GOTO 180
3330 REM--
3340 REM-- MODIFICACION DE MATERIAL DE ELEMENTOS
3350 REM--
3360 CLS
3370 PRINT " (1) MODIFICACION POR GRUPOS "
3380 PRINT " "
3390 PRINT " (2) MODIFICACION POR ELEMENTOS "
3400 PRINT " "
3410 PRINT " (3) REGRESAR "
3420 PRINT " "
3430 PRINT " INGRESE EL NUMERO DESEADO ";
3440 INPUT NUM2
3450 IF NUM2<1 OR NUM2>3 THEN 3370
3460 ON NUM2 GOTO 3470,3640,180
3470 CLS
3480 PRINT " NUMERO DE GRUPOS A MODIFICAR ";
3490 INPUT NG
3500 FOR I=1 TO NG

```

```
3510 PRINT " ELEMENTO INICIAL DEL GRUPO ";I;" ";
3520 INPUT EIG
3530 PRINT " ELEMENTO FINAL DEL GRUPO ";I;" ";
3540 INPUT EFG
3550 PRINT " MATERIAL DEL GRUPO ";I;" ";
3560 INPUT MG
3570 FOR J=EIG TO EFG
3580 GET#2,J+1
3590 LSET MAT$=MKI$(MG)
3600 PUT#2,J+1
3610 NEXT J
3620 NEXT I
3630 GOTO 180
3640 CLS
3650 ELEM=0
3660 PRINT " INGRESE CERO (0) PARA REGRESAR AL MENU "
3670 PRINT " "
3680 PRINT " NUMERO DEL ELEMENTO A MODIFICAR ";
3690 INPUT ELEM
3700 IF ELEM=0 THEN 180
3710 IF ELEM>NE THEN PRINT " ERROR : ELEMENTO NO EXISTE " : GOTO 3670
3720 PRINT " INGRESE MATERIAL DEL ELEMENTO ";
3730 INPUT MT
3740 GET#2,ELEM+1
3750 LSET MAT$=MKI$(MT)
3760 PUT#2,ELEM+1
3770 GOTO 3650
3780 LSET JPNUE$=MKI$(0)
3790 LSET VPNUEN$=MKS$(0)
3800 RETURN
3810 LSET ARN$=MKS$(0)
3820 LSET C21N$=MKS$(0)
3830 LSET C22N$=MKS$(0)
3840 LSET C23N$=MKS$(0)
3850 LSET C31N$=MKS$(0)
3860 LSET C32N$=MKS$(0)
3870 LSET C33N$=MKS$(0)
3880 LSET F1N$=MKS$(0)
3890 LSET F2N$=MKS$(0)
3900 LSET F3N$=MKS$(0)
3910 LSET H1N$=MKS$(0)
3920 LSET H2N$=MKS$(0)
3930 LSET H3N$=MKS$(0)
3940 RETURN
```

```

10 REM -- MCID06
20 REM --
30 REM -- INGRESO DE LOS VALORES PRESCRITOS
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION 07-OCT-84
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 GOSUB 730
90 PRINT " "
100 PRINT " (1) INGRESO DE VALORES PRESCRITOS EN LOS ELEMENTOS "
110 PRINT " "
120 PRINT " (2) INGRESO DE VALORES PRESCRITOS EN LAS JUNTAS "
130 PRINT " "
140 PRINT " (3) ELIMINAR VALORES PRESCRITOS EN LAS JUNTAS "
150 PRINT " "
160 PRINT " (4) REGRESAR AL MENU DE DATOS GEOMETRICOS "
170 PRINT " "
180 PRINT " INGRESE EL NUMERO DE LA FUNCION DESEADA ";
190 INPUT NUM
200 IF NUM<1 OR NUM>4 THEN 180
210 ON NUM GOTO 490,220,360,720
220 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
230 FIELD#2,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
240 GOSUB 730
250 INPUT " NRO. DE JUNTAS CON VALORES PRESCRITOS ";NJP
260 FOR I=1 TO NJP
270 INPUT " NRO. DE LA JUNTA CON VALOR PRESCRITO ";NJVP
280 GET#2,NJVP+1
290 INPUT " VALOR PRESCRITO ";VP
300 LSET JP$=MKI$(1)
310 LSET VP$=MKS$(VP)
320 PUT#2,NJVP+1
330 NEXT I
340 CLOSE#2
350 GOTO 80
360 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
370 FIELD#2,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
380 GOSUB 730
390 INPUT " NRO. DE JUNTAS A ELIMINAR VAL. PRESCRITO ";NJP
400 FOR I=1 TO NJP
410 INPUT " NRO. DE LA JUNTA SIN VALOR PRESCRITO ";NJVP
420 GET#2,NJVP+1
430 LSET JP$=MKI$(0)
440 LSET VP$=MKS$(0)
450 PUT#2,NJVP+1
460 NEXT I
470 CLOSE#2
480 GOTO 80
490 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT",132
500 FIELD#3,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C21
$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,8
AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$
510 GOSUB 730
520 INPUT " NRO. DE ELEM. CON F Y/O H PRESCRITOS ";NMP
530 FOR I=1 TO NMP
540 INPUT " NRO. DE MIEMBRO CON VALOR PRESCRITO ";NMVP
550 INPUT " VALOR F1 ";F1
560 INPUT " VALOR F2 ";F2
570 INPUT " VALOR F3 ";F3

```

```
580 INPUT " VALOR H1 ";H1
590 INPUT " VALOR H2 ";H2
600 INPUT " VALOR H3 ";H3
610 GET#3,MMVP+1
620 LSET F1$=MKS$(F1)
630 LSET F2$=MKS$(F2)
640 LSET F3$=MKS$(F3)
650 LSET H1$=MKS$(H1)
660 LSET H2$=MKS$(H2)
670 LSET H3$=MKS$(H3)
680 PUT#3,MMVP+1
690 NEXT I
700 CLOSE#3
710 GOTO 80
720 CHAIN DRIVE$+"MCM02"
730 CLS
740 PRINT " INGRESO DE VALORES PRESCRITOS "
750 PRINT " ----- "
760 PRINT " "
770 RETURN
```

```

10 REM--      MCID07.BAS
20 REM-- PROGRAMA PARA LISTAR LOS DATOS GEOMETRICOS Y
30 REM-- GENERAR LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LOS MIEMBROS
40 REM--
50 REM-- ULTIMA MODIFICACION   11-NOV-84
60 REM--
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 DIM XN(1000),YN(1000)
90 LINEA$="-----"
-----"
100 CLS
110 PRINT "          LISTA GEOMETRIA Y PROPIEDADES DE LOS MIEMBROS "
120 PRINT "-----"
130 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"MAT.DAT"
140 FIELD#1,8 AS C$,8 AS LAM$,16 AS KX$,16 AS KY$
150 GET#1,1
160 TC=CVS(C$)
170 GOSUB 1260
180 REM--
190 REM--      LISTADO DE MATERIALES
200 REM--
210 FOR I=1 TO TC
220 GET#1,I+1
230 C=CVS(C$)
240 LAM=CVS(LAM$)
250 KX#=CVD(KX$)
260 KY#=CVD(KY$)
270 LPRINT USING " ##  0.0000^^^^  0.0000^^^^  0.000000^^^^  0.000000^^
^^ ";I;C;LAM;KX#;KY#
280 NEXT I
290 CLOSE#1
300 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
310 FIELD#1,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
320 GET#1,1
330 NODO=CVS(XNOD$)
340 GOSUB 1340
350 REM--
360 REM--      LISTADO DE NODOS
370 REM--
380 FOR I=1 TO NODO
390 GET#1,I+1
400 XN(I)=CVS(XNOD$)
410 YN(I)=CVS(YNOD$)
420 IF NLIN<>60 THEN 440
430   GOSUB 1340
440 JP=CVI(JP$)
450 VP=CVS(VP$)
460 IF JP=1 THEN 490
470 LPRINT USING " ####  0000000.0000  0000000.0000 ";I;XN(I);YN(I)
480 GOTO 500
490 LPRINT USING " ####  0000000.0000  0000000.0000  00000000.00 ";
I;XN(I);YN(I);VP
500 NLIN=NLIN+1
510 NEXT I
520 CLOSE#1
530 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT",132
540 FIELD#1,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C21
$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,8
AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$

```

```

550 GET#1,1
560 NE=CVI(NOD1$)
570 GOSUB 1420
580 MBAN=0
590 REM--
600 REM-- LISTADO DE ELEMENTOS
610 REM--
620 FOR I=1 TO NE
630 GET#1,I+1
640 NOD1=CVI(NOD1$)
650 NOD2=CVI(NOD2$)
660 NOD3=CVI(NOD3$)
670 MAT=CVI(MAT$)
680 F1=CVS(F1$)
690 F2=CVS(F2$)
700 F3=CVS(F3$)
710 H1=CVS(H1$)
720 H2=CVS(H2$)
730 H3=CVS(H3$)
740 IF ABS(NOD1-NOD2)>MBAN THEN MBAN=ABS(NOD1-NOD2)
750 IF ABS(NOD2-NOD3)>MBAN THEN MBAN=ABS(NOD2-NOD3)
760 IF ABS(NOD1-NOD3)>MBAN THEN MBAN=ABS(NOD1-NOD3)
770 X1=XN(NOD1)
780 X2=XN(NOD2)
790 X3=XN(NOD3)
800 Y1=YN(NOD1)
810 Y2=YN(NOD2)
820 Y3=YN(NOD3)
830 AR=((X2-X1)*(Y3-Y1)-(X3-X1)*(Y2-Y1))/2
840 C21=(Y2-Y3)/(2*AR)
850 C22=(Y3-Y1)/(2*AR)
860 C23=(Y1-Y2)/(2*AR)
870 C31=(X3-X2)/(2*AR)
880 C32=(X1-X3)/(2*AR)
890 C33=(X2-X1)/(2*AR)
900 LSET AR$=MKS$(AR)
910 LSET C21$=MKS$(C21)
920 LSET C22$=MKS$(C22)
930 LSET C23$=MKS$(C23)
940 LSET C31$=MKS$(C31)
950 LSET C32$=MKS$(C32)
960 LSET C33$=MKS$(C33)
970 PUT#1,I+1
980 IF NLIN<>60 THEN 1000
990 GOSUB 1420
1000 IF F1=0 AND F2=0 AND F3=0 AND H1=0 AND H2=0 AND H3=0 THEN 1030
1010 LPRINT USING "#### ##### 0000 0000 00 000.00 0.#####^ 0.#####^
0.#####^ 0.#####^ 0.#####^ 0.#####^";1;NOD1;NOD2;NOD3;MAT;AR;F
1;F2;F3;H1;H2;H3
1020 GOTO 1040
1030 LPRINT USING "#### ##### 0000 0000 00 000.00
";1;NOD1;NOD2;NOD3;MAT;AR
1040 NLIN=NLIN+1
1050 NEXT I
1060 MBAN=MBAN+1
1070 GET#1,1
1080 LSET NOD2$=MK1$(MBAN)
1090 PUT#1,1
1100 CLOSE#1

```

```

1110 CHAIN DRIVEP$+"MCM02.BAS"
1120 REM--
1130 REM-- IMPRESION DE ENCABEZADOS
1140 REM--
1150 LPRINT CHR$(12)
1160 LPRINT CHR$(31)
1170 WIDTH "LPT1:",132
1180 LPRINT "*****"
*****"
1190 LPRINT "+      APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION
          +"
1200 LPRINT "+      DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO
          +"

1210 LPRINT "*****"
*****"
1220 LPRINT TITULO$
1230 LPRINT " "
1240 NLIN=8
1250 RETURN
1260 GOSUB 1150
1270 LPRINT " CONSTANTES DE LOS MATERIALES "
1280 LPRINT LINEA$
1290 LPRINT "NRO          C          LAMBDA          KY          KY"
1300 LPRINT LINEA$
1310 LPRINT " "
1320 NLIN=NLIN+5
1330 RETURN
1340 GOSUB 1150
1350 LPRINT " DATOS DE LAS JUNTAS "
1360 LPRINT LINEA$
1370 LPRINT "JUNTA          X          Y          VALOR PRESCRITO "
1380 LPRINT LINEA$
1390 LPRINT " "
1400 NLIN=NLIN+5
1410 RETURN
1420 GOSUB 1150
1430 LPRINT "DATOS DE LOS ELEMENTOS"
1440 LPRINT LINEA$
1450 LPRINT "ELEM.  JI  JJ  JK MAT  AREA          F1          F2
          F3          HI          H2          H3 "
1460 LPRINT LINEA$
1470 LPRINT " "
1480 NLIN=NLIN+5
1490 RETURN

```

```

10 REM -- MCCM01.BAS --
20 REM --
30 REM --  CALCULOS
40 REM --
50 REM -- ULTIMA MODIFICACION      11-NOV-84
60 REM --
70 COMMON NOM$,TITULO$,DRIVE$,DRIVEP$
80 DIM SKE(3,3),P(3),ID(3),C(10),LAM(10),KX$(10),KY$(10)
90 DIM S(1000),Q(50)
100 DEF FNM(I,J)=(I-1)*MBAN+J-I+1
110 WIDTH "LPT1:",132
120 CLS
130 PRINT "          CALCULOS "
140 PRINT "          ----- "
150 PRINT " "
160 OPEN "R",#1,DRIVE$+NOM$+"MAT.DAT"
170 FIELD#1,8 AS C$,8 AS LAM$,16 AS KX$,16 AS KY$.
180 GET#1,1
190 TC=CVS(C$)
200 FOR I=1 TO TC
210  GET#1,I+1
220  C(I)=CVS(C$)
230  LAM(I)=CVS(LAM$)
240  KX$(I)=CVD(KX$)
250  KY$(I)=CVD(KY$)
260 NEXT I
270 CLOSE#1
280 OPEN "R",#2,DRIVE$+NOM$+"EL.DAT",132
290 FIELD#2,5 AS NOD1$,5 AS NOD2$,5 AS NOD3$,8 AS T$,5 AS MAT$,8 AS AR$,8 AS C21
$,8 AS C22$,8 AS C23$,8 AS C31$,8 AS C32$,8 AS C33$,8 AS H1$,8 AS H2$,8 AS H3$,8
AS F1$,8 AS F2$,8 AS F3$
300 GET#2,1
310 NM=CVI(NOD1$)
320 MBAN=CVI(NOD2$)
330 GOSUB 1900
340 FOR I=1 TO NM
350  GET#2,I+1
360  GOSUB 1790
370  T=CVS(T$)
380  MAT=CVI(MAT$)
390  H1=CVS(H1$)
400  H2=CVS(H2$)
410  H3=CVS(H3$)
420  F1=CVS(F1$)
430  F2=CVS(F2$)
440  F3=CVS(F3$)
450  L1=(C23+C22+C33+C33)^.5*AR*2
460  L2=(C21+C21+C31+C31)^.5*AR*2
470  L3=(C22+C22+C32+C32)^.5*AR*2
480  H1=H1*L1/6
490  H2=H2*L2/6
500  H3=H3*L3/6
510  KX#=AR*KX$(MAT)
520  KY#=AR*KY$(MAT)
530  LAM=LAM(MAT)*AR/12
540  SKE(1,1)=KX#+C21*C21+KY#+C31*C31-2*LAM-2*(H1+H3)
550  SKE(1,2)=KX#+C21*C22+KY#+C31*C32-LAM-H1
560  SKE(1,3)=KX#+C21*C23+KY#+C31*C33-LAM-H3
570  SKE(2,2)=KX#+C22*C22+KY#+C32*C32-2*LAM-2*(H1+H2)

```

```

580 SKE(2,3)=KY#*C22*C23+KY#*C32*C33-LAM-H2
590 SKE(3,3)=KY#*C23*C23+KY#*C33*C33-2*(H2+H3)
600 FOR J=2 TO 3
610   FOR K=1 TO J-1
620     SKE(J,K)=SKE(K,J)
630   NEXT K
640 NEXT J
650 C=-C(MAT)*AR/3
660 F1=.5*F1*L1
670 F2=.5*F2*L2
680 F3=.5*F3*L3
690 P(1)=F1+F3+C
700 P(2)=F1+F2+C
710 P(3)=F2+F3+C
720 ID(1)=NOD1
730 ID(2)=NOD2
740 ID(3)=NOD3
750 FOR J=1 TO 3
760   FOR K=J TO 3
770     IF ID(J)>ID(K) THEN 800
780     IND=FNM(ID(J),ID(K))
790     GOTO 810
800     IND=FNM(ID(K),ID(J))
810     S(IND)=S(IND)+SKE(J,K)
820   NEXT K
830 NEXT J
840 FOR J=1 TO 3
850   Q(ID(J))=P(J)+Q(ID(J))
860 NEXT J
870 IF (I-1)/7 = INT ((I-1)/7) AND I<>1 THEN GOSUB 1900
880 LPRINT USING " ELEMENTO=#### " ; I
890 LPRINT " MATRIZ k "
900 FOR J=1 TO 3
910   LPRINT USING "      0.#####^      0.#####^      0.#####^ ";SKE(J,1);
SKE(J,2);SKE(J,3)
920 NEXT J
930 LPRINT " VECTOR P"
940 LPRINT USING "      0.#####^      0.#####^      0.#####^ ";P(1);P(2);
P(3)
950 LPRINT " "
960 NEXT I
970 OPEN "R",#3,DRIVE$+NOM$+"NO.DAT"
980 FIELD#3,8 AS XNOD$,8 AS YNOD$,5 AS JP$,8 AS VP$
990 GET#3,1
1000 NJ=CVS(XNOD$)
1010 GOSUB 1900
1020 LPRINT " MATRIZ K (SIN APLICAR CONDICIONES DE BORDE)"
1030 GOSUB 1990
1040 LPRINT " VECTOR Q (SIN APLICAR CONDICIONES DE BORDE)"
1050 FOR J=1 TO NJ
1060   LPRINT USING "      0.#####^ ";Q(J);
1070   IF INT(J/5)<J/5 THEN 1100
1080   LIN=LIN+1
1090   LPRINT " " : IF LIN=58 THEN GOSUB 1900
1100 NEXT J
1110 LPRINT " "
1120 FOR I=1 TO NJ
1130   GET#3,I+1
1140   IF CVI(JP$)=0 THEN 1300

```

```

1150 VP=CVS(VP$)
1160 Q(I)=VP
1170 FOR J=1 TO NJ
1180 IF J=I THEN 1280
1190 IF I>J THEN 1230
1200 IND=FNM(I,J)
1210 IF J-I>MBAN THEN IND=0
1220 GOTO 1250
1230 IND=FNM(J,I)
1240 IF I-J>MBAN THEN IND=0
1250 Q(J)=Q(J)-S(IND)*VP
1260 S(IND)=0
1270 GOTO 1290
1280 S(FNM(I,J))=1
1290 NEXT J
1300 NEXT I
1310 CLOSE#3
1320 LPRINT " MATRIZ K (APLICADAS LAS CONDICIONES DE BORDE)"
1330 GOSUB 1990
1340 LPRINT " VECTOR Q (APLICADAS LAS CONDICIONES DE BORDE)"
1350 FOR J=1 TO NJ
1360 LPRINT USING " 0.#####^" Q(J);
1370 IF INT(J/5)<>J/5 THEN 1400
1380 LIN=LIN+1
1390 LPRINT " " : IF LIN=58 THEN GOSUB 1900
1400 NEXT J
1410 NES=NJ*MBAN
1420 NE=NJ
1430 MB=MBAN
1440 CHAIN MERGE DRIVE$+"MCSUBS.BAS",1450,ALL
1450 GOSUB 10000
1460 FOR I=1 TO NJ
1470 S(NES+I)=Q(I)
1480 NEXT I
1490 CHAIN MERGE DRIVE$+"MCSUBD.BAS",1500,ALL
1500 GOSUB 10000
1510 GOSUB 1900
1520 GOSUB 2110
1530 FOR J=1 TO NJ
1540 LPRINT USING "##### 0.#####^" J;S(NES+J)
1550 LIN=LIN+1
1560 IF LIN<>58 THEN 1580
1570 GOSUB 1900 : GOSUB 2110
1580 NEXT J
1590 TEGRAL=0
1600 GOSUB 2150
1610 FOR I=1 TO NM
1620 GET#2,I+1
1630 GOSUB 1790
1640 Q1=S(NES+NOD1)
1650 Q2=S(NES+NOD2)
1660 Q3=S(NES+NOD3)
1670 DX=C21*Q1+C22*Q2+C23*Q3
1680 DY=C31*Q1+C32*Q2+C33*Q3
1690 TEGEL=AR*(Q1+Q2+Q3)/3
1700 TEGRAL=TEGEL+TEGRAL
1710 LPRINT USING " ##### 0.#####^" 0.#####^"
; I;DX;DY;TEGEL
1720 LIN=LIN+1

```

```

1730 IF LIN<>58 THEN 1750
1740 GOSUB 1900:GOSUB 2150
1750 NEXT I
1760 CLOSE#2
1770 LPRINT " ": LPRINT "VALOR DE LA INTEGRAL PARA TODO EL MEDIO = ";TEGRAL
1780 CHAIN DRIVEP$+"MCH01.BAS"
1790 MOD1=CVI(MOD1$)
1800 MOD2=CVI(MOD2$)
1810 MOD3=CVI(MOD3$)
1820 AR=CVS(AR$)
1830 C21=CVS(C21$)
1840 C22=CVS(C22$)
1850 C23=CVS(C23$)
1860 C31=CVS(C31$)
1870 C32=CVS(C32$)
1880 C33=CVS(C33$)
1890 RETURN
1900 LPRINT CHR$(12)
1910 LPRINT "*****"
*****"
1920 LPRINT "+      APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO A LA SOLUCION
+"
1930 LPRINT "+      DE PROBLEMAS DEL MEDIO CONTINUO
+"
1940 LPRINT "*****"
*****"
1950 LPRINT TITULO$
1960 LPRINT " "
1970 LIN=8
1980 RETURN
1990 FOR J=1 TO NJ
2000 LPRINT USING "FILA ####";J;
2010 FOR K=1 TO MBAN
2020 IND=(J-1)*MBAN+K
2030 IF INT(K/6)=K/6 THEN LPRINT " " : LPRINT " " : LIN=LIN+1
2040 LPRINT USING " #.#####^";S(IND);
2050 IF LIN=58 THEN GOSUB 1900
2060 NEXT K
2070 LPRINT " " : LIN=LIN+1
2080 IF LIN=58 THEN GOSUB 1900
2090 NEXT J
2100 RETURN
2110 LPRINT " "
2120 LPRINT "JUNTA      VALOR DE LA VARIABLE"
2130 LPRINT "-----"
2140 RETURN
2150 LPRINT " "
2160 LPRINT "ELEMENTO      DERIVADA X      DERIVADA Y      INTEGRAL"
2170 LPRINT "-----"
2180 RETURN

```

```
1000 KK=1
10010 FOR I=1 TO NE-1
10020 KK=KK+MB
10030 IF S(KK)=<0 THEN 10200
10040 L=MB-1
10050 IF I<L THEN L=I
10060 FOR J=1 TO L
10070 KI=(I-L-1+J)*MB+1
10080 IF S(KI)=<0 THEN S(NES+J)=0 : GOTO 10100
10090 S(NES+J)=S((I-L-1+J)*MB+L-J+2)/S(KI)
10100 NEXT J
10110 L1=MB-1
10120 IF NE-I<L1 THEN L1=NE-I
10130 FOR J=1 TO L1
10140 L2=MB-J
10150 IF L2>L THEN L2=L
10160 FOR K=1 TO L2
10170 S(I*MB+J)=S(I*MB+J)-S(NES+K+L-L2)*S((I-L2-1+K)*MB+J+1+L2-K)
10180 NEXT K
10190 NEXT J
10200 NEXT I
10210 RETURN
10220 REM--
10230 REM-- MCSUBS.BAS
10240 REM-- SUBPROGRAMA QUE TRIANGULARIZA
10250 REM-- POR EL METODO DE GAUSS
10260 REM--
10270 REM-- ULTIMA MODIFICACION 21-SEP-84 (IBM)
```

```

10000 KK=1
10010 IF S(1)<=0 THEN S(NES+1)=0
10020 FOR I=1 TO NE-1
10030 KK=KK+MB
10040 IF S(KK)>0 THEN 10060
10050 S(NES+I+1)=0 : GOTO 10130
10060 L=MB-1
10070 IF I<L THEN L=I
10080 FOR J=1 TO L
10090 KI=(I-L-1+J)*MB+1
10100 IF S(KI)<=0 THEN 10120
10110 S(NES+I+1)=S(NES+I+1)-S(NES+I-L+J)*S((I-L-1+J)*MB+L-J+2)/S(KI)
10120 NEXT J
10130 NEXT I
10140 IF S((NE-1)*MB+1)<=0 THEN 10170
10150 S(NES+NE)=S(NES+NE)/S((NE-1)*MB+1)
10160 GOTO 10180
10170 S(NES+NE)=0
10180 FOR I=1 TO NE-1
10190 K=NE-I
10200 IF S((K-1)*MB+1)<=0 THEN 10270
10210 L=MB-1
10220 IF I<L THEN L=I
10230 FOR J=1 TO L
10240 S(NES+NE-I)=S(NES+NE-I)-S(NES+NE-I+L-J+1)*S((NE-I-1)*MB+1+L-J+1)
10250 NEXT J
10260 S(NES+NE-I)=S(NES+NE-I)/S((K-1)*MB+1)
10270 NEXT I
10280 RETURN
10290 REM--
10300 REM-- MCSUBD.BAS
10310 REM--
10320 REM-- SUBPROGRAMA QUE CALCULA EL
10330 REM-- VECTOR INCOGNITA LUEGO DE TENER
10340 REM-- LA MATRIZ TRIANGULARIZADA
10350 REM--
10360 REM-- ULTIMA MODIFICACION 21-SEP-84 (IBM-PC)

```