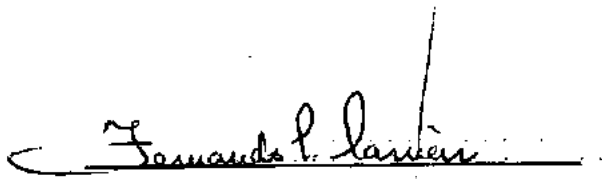


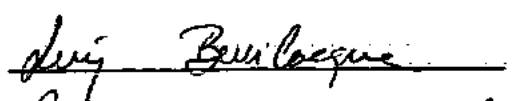
ANÁLISIS DE MARCOS CON NUDOS RIGIDOS POR EL METODO DE DIVISION EN SUBESTRUCTURAS - FORMULACION MATRICIAL - APLICACION A COMPUTADORES DIGITALES.

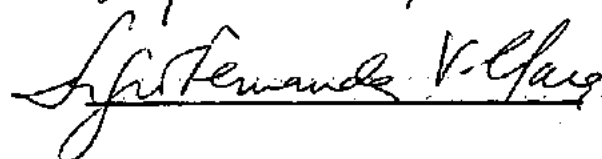
LUIS FRANCISCO ROJAS MONTERO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:

  
Presidente





RIO DE JANEIRO  
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL  
MAIO DE 1971

A:

Mis abnegados padres

Mi adorada esposa

Mis queridos hermanos

A G R A D E C I M E N T O S

Al professor Fernando L. L. B. Carneiro, por la valiosa orientación dada a este trabajo.

A mis profesores en la COPPE.

A mis profesores en la Universidad de Costa Rica.

A la Organización de los Estados Americanos (O.E.A), por el estímulo a estos programas de pos-graduación.

A los amigos del Núcleo de Computación Electrónica, por su colaboración.

S I N O P S I S

Es formulado el método de los desplazamientos, por medio de matrices, con una aplicación inmediata al análisis de estructuras planas por el método de división en subestructuras.

Es presentado al mismo tiempo un programa de computador, capaz de analizar grandes estructuras con la siguiente limitación:

número máximo de nudos 200

número máximo de miembros 300

y las cuales pueden contener miembros de sección transversal variable y rótulas.

El programa es caracterizado, por otra parte, en el hecho de haberse logrado una minimización en ciertas partes de él, si se compara con su ya casi clásica programación.

S Y N O P S I S

The stiffness method by means of matrices is formulated with immediate application to the analysis of plane frames using the division into substructures method.

At the same time a computer program that is capable of analyzing large structures is presented within the following limitations:

Maximum number of joints 200

Maximum number of members 300

and these can contain members with variable cross sections and releases.

On the other hand the program is characterized by the fact that a reduction of certain parts of it has been achieved when compared with its almost classical programming.

## S I N Ó P S E

É formulado o método dos deslocamentos, por meio de matrizes, com uma aplicação imediata à análise de estruturas planas pelo método de divisão em subestruturas.

É apresentado ao mesmo tempo um programa de computador capaz de analisar grandes estruturas com a seguinte limitação:

número máximo de nós 200

número máximo de membros 300

às quais podem conter membros de seção variável e descontínuidades.

O programa é caracterizado, por outra parte, no sentido de haver-se obtido uma minimização em certas partes dele, se se compara com sua já quase clássica programação.

I N D I C E

INTRODUCCION .....	1
CAPITULO I - FUNDAMENTOS DEL METODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS	
1.1.1 - ECUACIONES DE EQUILIBRIO .....	7
1.1.2 - ECUACIONES DE COMPATIBILIDAD .....	7
1.1.3 - RELACIONES DE ACCIÓN DESPLAZAMIENTO .....	8
1.2.1 - COEFICIENTE DE RIGIDEZ .....	9
1.3.1 - COEFICIENTE DE FLEXIBILIDAD .....	11
1.4.1 - ECUACIÓN BÁSICA DEL MÉTODO DE LOS DESPLAZA- MIENTOS .....	13
CAPITULO II - FORMULACION DEL METODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS	
2.1.1 - ETAPAS DEL ANÁLISIS .....	16
2.1.1.1 - Solución particular .....	16
2.1.1.2 - Solución complementaria .....	17
2.1.1.3 - Solución completa .....	18
2.2.1 - MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA MIEMBRO .....	20
2.2.2.1 - Matriz de rigidez a partir de la matriz de flexibilidad .....	31

2.3.1	- ACCIONES AML EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS	34
2.4.1	- RÓTULAS EN LOS MIEMBROS .....	37
2.5.1	- TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS .....	40
2.6.1	- MATRICES TOTALES [S] y [AML] .....	47

### CAPITULO III - ANALISIS DE GRANDES ESTRUCTURAS POR MEDIO DE SUBESTRUCTURAS

3.1.1	- CONCEPTO DE MATRIZ CONDENSADA .....	51
3.2.1	- ECUACIONES PARA EL MÉTODO DE ELIMINACIÓN EN SÉRIE .....	58
3.3.1	- ALMACENAMIENTO TEMPORARIO DE LAS INFORMACIO- NES .....	62

### CAPITULO IV - SUBROTINAS-SIMBOLOGIAS- DIAGRAMAS DE BLOQUES

4.1.1	- SUBROTINA CARIR .....	67
4.1.2	- SUBROTINA MIEMR .....	67
4.1.3	- SUBROTINA INTEG .....	68
4.1.4	- SUBROTINA CARVI .....	68
4.1.5	- SUBROTINA CAMBI .....	68
4.1.6	- SUBROTINA MATEL .....	68
4.1.7	- SUBROTINA DIVID .....	69
4.1.8	- SUBROTINA ESPAR .....	69
4.1.9	- SUBROTINA NUMER .....	69
4.1.10	- SUBROTINA ROTAC .....	69
4.2.1	- SIMBOLOGIAS .....	69



4.3.1	- DIAGRAMAS DE BLOQUES .....	75
4.3.1.1	- Cálculos de las subestructuras .....	76
4.3.2.1	- Cálculos de los resultados .....	78
4.3.3.1	- Diagrama de Bloques-Programa Principal .....	79
4.3.4.1	- Aclaraciones sobre el diagrama de bloques - Programa Principal .....	107
4.4.1	- DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LAS SUBROTINAS .....	116
4.4.1.1	- Subrotina Integ .....	116
4.4.1.2	- Subrotina Carir .....	116
4.4.1.3	- Subrotina Miemr .....	118
4.4.1.4	- Subrotina Matel .....	121
4.4.1.5	- Subrotina Cambi .....	122
4.4.1.6	- Subrotina Numer .....	123
4.4.1.7	- Subrotina Rotac .....	123
4.4.2	- ACLACARACIONES SOBRE LOS DIAGRAMAS DE BLO- QUES DE LAS SUBROTINAS .....	124
CAPITULO V - PROGRAMA PRINCIPAL Y SUS FORMATOS		
	DE ENTRADA .....	127
CAPITULO VI - CONCLUSIONES .....		
	DESENVOLVIMIENTO FUTURO .....	135
	BIBLIOGRAFIA .....	136

## I N T R O D U C C I O N

El reciente desarrollo de los computadores digitales, el empleo de nuevos criterios y métodos de análisis de las estructuras en general han evolucionado en los últimos años con una rapidez tan grande, que es común entre los calculistas y proyectistas la sensación de volverse obsoletos.

Por otra parte se ha dado la oportunidad a que se desarrollen métodos matriciales para el análisis de estructuras, los cuales a pesar de estar ya formulados, eran sumamente tediosos, requiriendo además el manejo de un gran número de ecuaciones; esto sumado a un posible y lógico error humano al trabajar con estos métodos, los transformó imprácticos en las oficinas especializadas de cálculo estructural.

Sin embargo, el problema no se solucionó completamente pues el computador como máquina que es, tiene cierta capacidad que limita el manejo de un cierto número de ecuaciones; claro está se hace referencia a computadores pequeños como por ejemplo al 1620 o mismo el 1130, pues cabe destacar que al exponerse este trabajo cuéntase con computadores mayores, los cuales no presentan problemas con estructuras de tamaño normal.

En la actualidad dependiendo del tamaño de la estructura se puede emplear uno de los tres procedimientos indi

cados a continuación:

- 1) Análisis de estructuras pequeñas empleando un programa como el indicado por la referencia (4)
- 2) Análisis de estructuras un poco mayores que las anteriores, empleando la matriz de rigidez de la estructura en forma de banda<sup>1</sup>.
- 3) Análisis de grandes estructuras por el método de división en subestructuras.

Lógicamente estos dos últimos procedimientos deben emplearse cuando no se cuente con computadores de gran capacidad; siendo la idea general de este trabajo el desarrollo del último mencionado anteriormente.

Como guía general al analizarse cualquier estructura, y decidirse sobre el grado de idealización deberá considerarse los siguientes aspectos:

- 1) Tipo de estructura a ser analizada.
- 2) Exactitud requerida de los resultados.
- 3) Tiempo y dinero disponibles para la obtención de los resultados.
- 4) Capacidad del programa empleado para el análisis.

No se entrará en el detalle de estos aspectos, pues no es la finalidad de este trabajo; asumiéndose de ante

mano que son conocidos y además respetados hasta donde fuere posible, por todo aquel que hiciere uso de este programa.

El principal motivo que originó la presentación de este trabajo, fue el interés de quien lo expone de profundizar más los conocimientos adquiridos durante el curso de "Mecánica de las Estructuras I"; así como también la necesidad de contar con un programa de este tipo; pues difícilmente en su país se podrá contar próximamente con computadores de gran capacidad.

Además se tiene la intención de desarrollar posteriormente este mismo programa, dándole una formulación y presentación por medio de matrices topológicas, así como de darle mayor flexibilidad en cuanto al número de subestructuras adyacentes a cada subestructura.

El programa presentado puede analizar como máximo diez (10) subestructuras, pudiendo estar formada cada una con treinta (30) miembros o veinte (20) nudos, dependiendo de cual valor se alcance primero.

En los dos primeros capítulos del trabajo que se presenta se dan los fundamentos del método de los desplazamientos; dejándose el capítulo tercero para la aplicación del método al análisis por medio de subestructuras.

En el capítulo cuarto se presentan la terminología, los diagramas de bloques del programa y también cier-

tas explicaciones en cuanto a las subrutinas empleadas; destinándose el capítulo quinto para la presentación del programa propiamente dicho y sus formatos de entrada.

Finalmente en el capítulo sexto se darán algunas conclusiones y comentarios generales sobre el programa.

El programa fue desarrollado en un computador IBM 1130 con 32 K de memoria interna.

## C A P I T U L O I

### FUNDAMENTOS DEL METODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS

El método de los desplazamientos como es bien conocido, puede ser formulado para varios tipos de estructuras, pero en el presente trabajo únicamente se mostrará su aplicación al análisis de estructuras planas; definiéndose estas como:

"Aquellas en las que los ejes de todos sus miembros yacen en un mismo plano y los cuales están sujetos únicamente a cargamento en ese plano".\*

El método de los desplazamientos es basado en la determinación de los desplazamientos de los nudos, valiéndose del conocido concepto de "indeterminancia cinemática". El grado de indeterminancia cinemática es en este caso igual al número de desplazamientos desconocidos en la estructura, también llamado como número de grados de libertad.

---

(\*). Exceptúanse las parrillas (grid), las cuales tienen la misma definición, excepto que su cargamento puede actuar normal a su plano.

En general cada nudo de la estructura plana tiene tres grados de libertad, correspondientes a los tres desplazamientos posibles; a saber:

- 1) traslación en el eje x;
- 2) traslación en el eje y;
- 3) rotación sobre el eje z.

Por supuesto estos tres ejes serán mutuamente ortogonales, y las direcciones positivas de los desplazamientos corresponderán a aquellas de los ejes coordenados.

### 1.1 - LEYES DE ANALISIS

En el análisis de cualquier estructura lo que se pretende es determinar, lo más exacto posible, los efectos de las acciones sobre la estructura, consistiendo estas de momentos y fuerzas actuando como cargas; claro que podrían considerarse otras como por ejemplo, efectos de tensión, efecto de temperatura, asentamiento de los nudos de soporte, etc; siendo su consideración para el análisis indicados posteriormente.

Los efectos que interesan al calculista son las fuerzas y momentos internos, los cuales le permitirán evaluar los esfuerzos y de esta manera, calcular la resistencia de la estructura. En muchos casos también es de interés el cálculo de las deformaciones, como seña el caso de tener

una interacción entre un marco rígido y un muro de carga<sup>12</sup>; así como también de las rotaciones, sobre todo cuando se trata de análisis plástico de las estructuras<sup>13</sup>.

Para obtener un análisis elástico lo más representativo posible debe usarse una o más de las siguientes leyes básicas:

- 1) Equilibrio
- 2) Compatibilidad
- 3) Relaciones de acción - desplazamiento

#### 1.1.1 - Ecuaciones de equilibrio.

Para una estructura plana situada en el plano "xy", y cargada en ese mismo plano hay tres ecuaciones de equilibrio:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_z = 0 \quad (1.1.1)$$

Estas tres ecuaciones a pesar de que no se usan tan explícitamente como fueron afirmadas anteriormente, constituyen por sí solas las bases fundamentales del método expuesto.

#### 1.1.2 - Ecuaciones de compatibilidad

Las ecuaciones de compatibilidad se refieren



principalmente a las exigencias de que todos los desplazamientos a través de la estructura son consistentes unos con otros. Compatibilidad - también conocido como "condiciones de consistente deformación" o "condiciones de geometría" requiere particularmente que los desplazamientos en los nudos sean consistentes (internamente), así como también que las condiciones de desplazamiento en los nudos de soporte sean satisfechas (externamente).

La condición anterior es satisfecha indirectamente al fijar todos los desplazamientos correspondientes a los nudos de soporte en la estructura y determinar aquellos desconocidos, los cuales por supuesto se mantienen consistentes a través de todo el proceso de análisis.

### 1.1.3 - Relaciones de acción-Desplazamiento

Antes de discutir este punto tendremos irremediablemente que definir dos valores, los cuales de aquí en adelante se llamarán como coeficientes siendo:

- 1) de rigidez
- 2) de flexibilidad

Las relaciones acción-desplazamiento para el propósito de este trabajo están basadas en el comportamiento

de linealidad elástica, expresada por la clásica ley de Hooke; ambos coeficientes anteriormente citados harán uso de ella para su formación.

### 1.2.1 - COEFICIENTE DE RIGIDEZ

Para su obtención considerese el resorte mostrado en la figura (1.2.1); si este resorte es sometido a

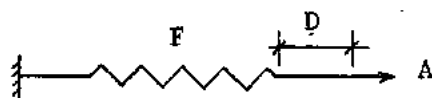


Figura 1.2.1

una acción A, el desplazamiento D es directamente proporcional a la acción A pudiéndose expresar esa relación como:

$$D = F A \quad (1.2.1)$$

Por definición "F" representa la flexibilidad del resorte y es el desplazamiento producido por una acción A unitaria.

El coeficiente de rigidez "S" del resorte se define ahora como la acción A producida cuando se provoca un desplazamiento D unitario, así:

$$A = S D \quad (1.2.2)$$

Comparando las dos ecuaciones anteriores puede observarse que:

$$S = \frac{1}{F} \quad \text{o} \quad F = \frac{1}{S} \quad (1.2.3)$$

Todas las estructuras elásticas pueden ser consideradas como constituidas de una combinación de resortes, pudiéndose extender las fórmulas anteriores a estructuras más complicadas; para hacer esto se debe introducir primero el concepto de coeficiente de influencia, definiéndose este como "aquel coeficiente que representa los efectos de una causa unitaria aislada."

Específicamente un coeficiente de influencia de rigidez (stiffness coefficient) representa la acción en un punto dado de la estructura, causado por un desplazamiento unitario en otro punto cualquiera de la misma.

Al considerar estas acciones, generalmente se tratan de acciones conocidas  $A_i$ ; correspondiendo a aquellos desplazamientos desconocidos  $D$ ; claro está que este coeficiente puede estar constituido por una serie de desplazamientos " $d$ "; ahora aplicando el principio de superposición, el cual es aplicable por tratarse de una estructura elástica lineal; el coeficiente  $S_i$  podrá expresarse como:

$$S_i = S_{i1} + S_{i2} + S_{i3} \dots \dots \dots + S_{id} \quad (1.2.4)$$

$$\text{o} \quad S_i = \sum_{j=1}^{j=d} S_{ij} \quad (1.2.5)$$

Considerando el total de las acciones  $A_i$ , causadas por los valores reales de  $D_1, D_2, \dots, D_d$  podrá escribirse:

$$A_i = S_{i1}D_1 + S_{i2}D_2 + \dots + S_{id}D_d \quad (1.2.6)$$

$$A_i = \sum_{j=1}^{j=d} S_{ij} D_j \quad (1.2.7)$$

lo cual en notación matricial corresponde a:

$$\{Ad\} = [S_{dd}] \cdot \{D_d\} \quad (1.2.8)$$

### 1.3.1 - COEFICIENTE DE FLEXIBILIDAD

El coeficiente de influencia de flexibilidad es aquel que representa el desplazamiento en un punto dado de la estructura causado por una acción unitaria en algún otro punto de la misma.

Estos desplazamientos generalmente corresponden a acciones desconocidas, usualmente conocidas como redundantes. Tal desplazamiento, relativo a una acción desconocida  $A$ , es llamado como  $D_a$ .

Como en el caso del coeficiente de rigidez, el de flexibilidad puede estar formado por la superposición de varias acciones, pudiéndose decir que el coeficiente de flexibi-

lidad representa el desplazamiento  $D_i$  en la dirección de  $A_i$  causada por una acción unitaria  $A_j$  actuando en un punto  $j$ .

Usando el principio de superposición, al igual que se hizo anteriormente, podrá decirse que para una serie de acciones  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , actuando sobre una estructura el coeficiente de flexibilidad  $F_i$  es dado por:

$$F_i = F_{i1} + F_{i2} + \dots + F_{in} \quad (1.3.1)$$

$$o \quad F_i = \sum_{j=1}^{j=n} F_{ij} \quad (1.3.2)$$

Si se considera ahora el total de desplazamientos  $D_i$  como resultado de los valores reales de un conjunto de redundantes  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , podrá decirse que:

$$D_{ai} = F_{i1} A_1 + F_{i2} A_2 + \dots + F_{in} A_n \quad (1.3.3)$$

$$o \quad D_{ai} = \sum_{j=1}^{j=n} F_{ij} A_j \quad (1.3.4)$$

lo cual corresponde a la siguiente notación matricial

$$\{D_a\} = [F_{aa}] \cdot \{A_a\} \quad (1.3.5)$$

### 1.4.1 - ECUACION BASICA DEL METODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS:

Consideremos nuevamente el resorte, mostrado en fig. (1.2.1), pero ahora en una forma que se denominará como "resorte condicionado"; dándosele ese nombre porque tendrá las siguientes cualidades:

- 1) Se le aplicará una acción  $AL$  en su extremo derecho, sin permitir desplazamiento del resorte.
- 2) Se anulará  $AL$  y se aplicará un desplazamiento  $D$  en su extremo derecho.

Considérese el resorte condicionado de la figura (1.4.1).



(a)



(b)



(c)

Figura 1.4.1

Por un simple procedimiento de la estática clásica puede concluirse que la "acción" en el lado izquierdo de la figura (1.4.1b) será idéntica en valor al correspondiente  $AL$ , pues si no sucediera eso no habría equilibrio; luego:

$$AL_b = AL \quad (1.4.1)$$

Con relación a la figura (1.4.1c), bastará retroceder a la ecuación (1.2.2) para saber que:

$$AL_c = S \cdot D \quad (1.4.2)$$

Superponiendo los, dos efectos el valor  $AL_f$  (valor final) estará compuesto por:

$$AL_f = AL_b + AL_c \quad (1.4.3)$$

$$o \quad AL_f = AL + S \cdot D \quad (1.4.4)$$

Aceptada que fue la ecuación (1.4.4) no queda más que, relacionarla al elemento de estructura plana utilizado en el programa obteniéndose así la misma ecuación (1.4.4), pero aplicada al elemento de estructura plana.

El valor de  $AL$  corresponderá a la matriz del cargamento externo del elemento, por lo tanto si se usa la misma notación del programa se concluye que:

$$AL \longrightarrow \{AML\} \quad (1.4.5)$$

Por su parte el valor de S, representará la matriz de rigidez del elemento de forma tal que:

$$S \longrightarrow [SM] \quad (1.4.6)$$

De la misma forma el valor D, estará asociado a la matriz de los desplazamientos de los nudos, pudiendo escribirse la relación:

$$D \longrightarrow \{DJ\} \quad (1.4.7)$$

Finalmente el valor  $AL_f$  corresponderá a la matriz de las acciones totales así:

$$AL_f \longrightarrow \{AM\} \quad (1.4.8)$$

Se está pues en capacidad de formular la ecuación deseada, en la siguiente forma:

$$\{AM\} = \{AML\} + [SM] \cdot \{DJ\} \quad (1.4.9)$$

Todas las deducciones efectuadas hasta aquí están referidas a un sistema de ejes convenientemente escogido y llamado "ejes locales", haciéndose su transformación a un sistema que se referirá toda la estructura a su debido tiempo; y el cual será llamado sistema de "ejes globales".



## C A P Í T U L O    I I

### FORMULACION DEL METODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS

Hasta ahora las principales y básicas ecuaciones aplicables al método de los desplazamientos han sido desarrolladas en el capítulo I; por la generalización de los métodos existentes y los bien conocidos principios. Antes de entrar en la formulación debe hacerse una explicación en cuanto a las etapas del análisis para tener una mejor comprensión de él.

#### 2.1.1 - ETAPAS DEL ANALISIS

El análisis de una estructura plana por el método de los desplazamientos puede ser dividida en las siguientes etapas:

- 1) Solución particular
- 2) Solución complementaria
- 3) Solución completa

##### 2.1.1.1 - Solución Particular

Esta solución también es conocida como Sistema

Principal, el cual es cinemáticamente determinado en el método de los desplazamientos y estáticamente determinado en el método de la flexibilidad. Corresponde a la estructura completamente restringida, obteniéndose esta condición por el empotramiento temporario de todos los desplazamientos de los nudos, los cuales son iguales a la indeterminancia cinemática de la estructura. Estos empotramientos son conocidos como empotramientos artificiales.

En esta etapa son calculadas las acciones causadas por las cargas actuando sobre la estructura empotrada. Debe distinguirse, sin embargo, dos tipos de acciones.

- a) aquellas causadas por el cargamento externo actuando en los puntos empotrados (cargas directamente aplicadas en los nudos).
- b) acciones en los extremos de los miembros causadas por la carga externa actuando en los puntos no empotrados (reacciones de empotramiento perfecto en los extremos de los miembros).

#### 2.1.1.2 - Solución complementaria

En esta solución lo que primero se determina

es la matriz de rigidez. Esta matriz representa los valores de las acciones en los puntos y direcciones de los desplazamientos de los nudos desconocidos, debido a valores unitarios de ellos mismos respectivamente. Multiplicando la matriz de rigidez por los desplazamientos de los nudos, asumiendo que estos son ya conocidos, se obtendrán las acciones en los nudos resultantes de los desplazamientos reales. En otras palabras la segunda etapa de la solución consiste en determinar los valores de las acciones en los nudos, quedando estas expresadas como función de los desplazamientos desconocidos.

#### 2.1.1.3 - Solución completa

Finalmente se llega al análisis completo de la estructura, representando el comportamiento real de la estructura, al considerar el equilibrio de fuerzas en cada nudo. Las acciones reales en cada nudo son las resultantes de aquellas obtenidas en la estructura completamente restringida más las requeridas para provocar los desplazamientos finales, verdaderos. Estas últimas son conocidas porque son cargas externas en las restricciones del problema dado. En el caso de que no haya cargamento externo en algún nudo particular, los valores de las acciones en ese nudo son tomadas como cero. Reescribiendo las ecuaciones de equilibrio para cada nudo, se puede calcular los desplazamientos desconocidos, y a partir de estos las acciones finales y reacciones de soporte.

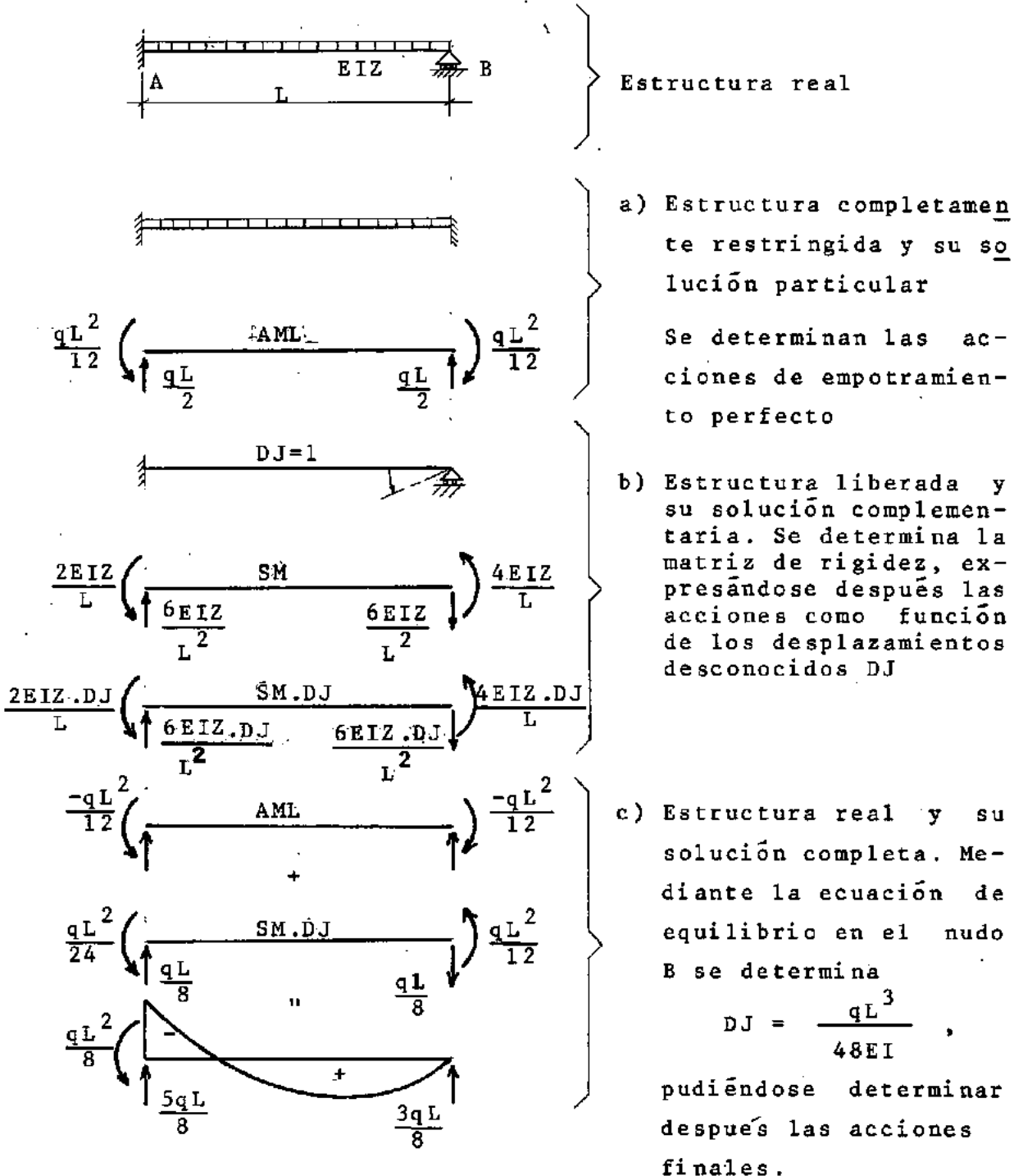


Figura 2.1.1

Estas tres etapas expuestas anteriormente serán el patrón seguido para el análisis, (con pequeñas variaciones), de cada una de las subestructuras, restando en el capítulo III, explicar la forma de tomar en cuenta la influencia de una subestructura sobre la otra.

Para lograr el análisis de cada subestructura se empezará por el cálculo de la matriz de rigidez de cada miembro por separado, estudiándose los dos casos posibles.

- 1) matriz de rigidez para miembros de sección transversal constante.
- 2) matriz de rigidez para miembros de sección transversal variable.

Cuando se trate de miembros de sección transversal variable su cálculo será basado en la matriz de flexibilidad la cual se dará por conocida<sup>4</sup>.

#### 2.2.1 - MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA MIEMBRO

Como se dijo el capítulo I cada uno de los nudos los cuales en lo sucesivo se denominarán como JJ y JK de un miembro, podrá en general desplazarse en tres direcciones diferentes, estando mostradas en la figura (2.2.1) sus sentidos positivos.

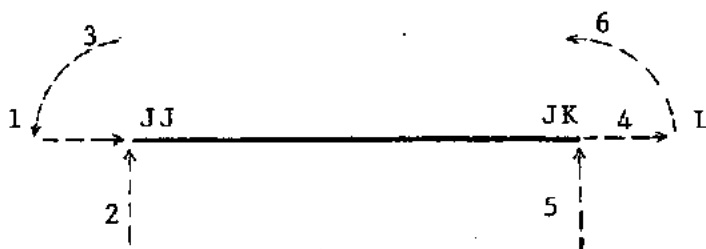


Figura 2.2.1

Como puede notarse el nudo JJ siempre quedará ubicado a la izquierda de acuerdo al orden creciente de la numeración de los desplazamientos. A cada desplazamiento anterior corresponderá por lo tanto seis acciones diferentes, que serán aquellas obtenidas al aplicar la definición de coeficiente de rigidez.

Estas seis acciones formarán por lo tanto cada una de las seis columnas de la matriz de rigidez de cada miembro.

Será llamado además con:

E módulo de elasticidad del material

AK área de la sección transversal

IZ momento de inercia de la sección respecto al eje Z.

L longitud del miembro

G módulo de resistencia al cortante

Considérese pues un miembro con sus respectivos desplazamientos y sus acciones desarrollados como muestra

La figura (2.2.2)

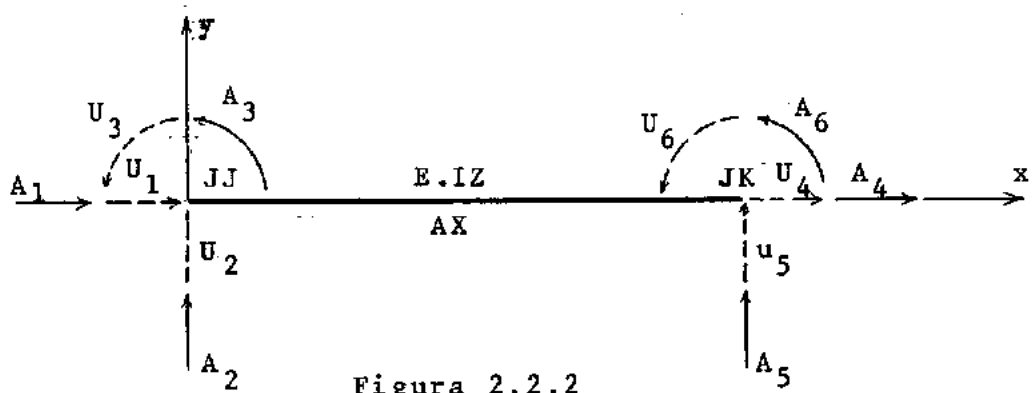


Figura 2.2.2

En la cual "U" y "A" representan desplazamientos y acciones respectivamente; también para hacer una distinción mejor se hace uso de la línea interrumpida para los desplazamientos.

#### 2.2.1.1 - Coefficientes de la matriz de rigidez

Únicamente se provocarán los tres desplazamientos del nudo JJ, siendo sus resultados fácilmente relacionados al nudo JK, debido a la simetría de la matriz de rigidez.

Los tres desplazamientos serán aplicados con las siguientes condiciones; como se muestra en la figura (2.2.1.1)<sup>2</sup>





$$A_1 = - \frac{du}{dx} \cdot E \cdot AX \quad (2.2.1.1)$$

Integrando

$$A_1 x = - U \cdot E \cdot AX + C_1 \quad (2.2.1.2)$$

Condiciones de contorno:

$$a) U = U_1 = 1 \text{ en } x = 0$$

$$b) U = U_4 = 0 \text{ en } x = L$$

De la condición a

$$C_1 = E AX$$

De la condición b

$$C_1 = A_1 L$$

igualando

$$A_1 = \frac{EAX}{L} \quad (2.2.1.3)$$

de la estática:

$$A_4 = A_1 = - \frac{EAX}{L} \quad (2.2.1.3)$$

El resto de las acciones  $A_2, A_3, A_5, A_6$  tendrán un valor nulo pues no hay influencia de este desplazamiento sobre ellos.

Si por definición la expresión:  $SM(I, J)$ , re-

presenta la acción en "I" debido a un desplazamiento unitario en "J", cuando el resto de los desplazamiento permanecen nulos podrá fácilmente relacionarse los diferentes valores de " $A_i$ " a los valores de SM (I, 1), donde I varía de uno hasta seis, quedando pues constituida la primer columna de la matriz de rigidez.

Continuando ahora con la condición (2) (ver figura 2.2.1.1) y recordando que la deflexión en cualquier punto es dada por<sup>7</sup>:

$$y = y_c + y_b \quad (2.2.1.4)$$

en donde

$y_c$  es deflexión debido al cortante

$y_b$  es deflexión debido al momento flector. Haciendo referencia a la figura (2.2.1.3)

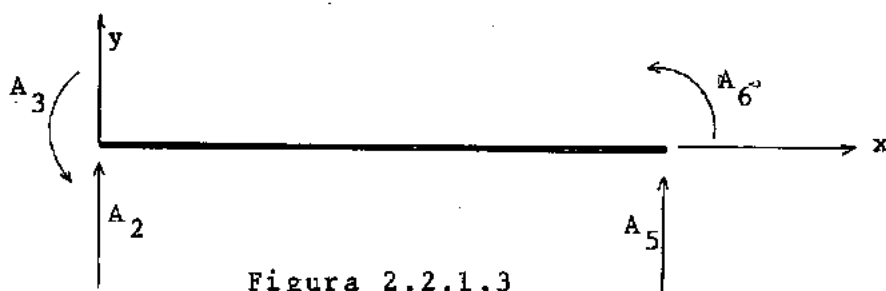


Figura 2.2.1.3

de la ecuación de curvatura se sabe que<sup>2</sup>:

$$A(x) = E \cdot IZ \cdot \frac{d^2 y_b}{dx^2} \quad (2.2.1.5)$$

por otra parte la deflexión por cortante está expresada por<sup>7</sup>,

$$\frac{dy_c}{dx} = - \frac{A_2}{G \cdot AY} \quad (2.2.1.6)$$

El momento en cualquier sección  $x$  es dado por:

$$A(x) = A_2 \cdot x - A_3 \quad (2.2.1.7)$$

Igualando las dos expresiones de  $A(x)$  se tiene:

$$E \cdot IZ \cdot \frac{d^2 y_b}{dx^2} = A_2 \cdot x - A_3 \quad (2.2.1.8)$$

integrando (2.2.1.6) y (2.2.1.8), y sustituyéndolas después en (2.2.1.4) se tiene:

$$E \cdot IZ \cdot y = \frac{A_2 \cdot x^3}{6} - \frac{A_3 \cdot x^2}{2} + (C_1 - \frac{A_2 \cdot E \cdot IZ}{G \cdot AY}) \cdot x + C_2 \quad (2.2.1.9)$$

condiciones de contorno

$$1) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{dy_c}{dx} = - \frac{A_2}{G \cdot AY} \quad \text{en } x = 0$$

$$2) \quad y = 0 \quad \text{en } x = L$$

$$3) \quad y = 1 \quad \text{en } x = 0$$

$$\text{llamando con}^7 \quad \phi = \frac{12 \cdot E \cdot IZ}{G \cdot AY \cdot L^2} \quad (2.2.1.10)$$

y sabiendo que  $A_3 = \frac{A_2 \cdot L}{2}$  (2.2.1.11)

la ecuación (2.2.1.9) se transforma en

$$E.IZ.y = \frac{A_2 x^3}{6} - \frac{A_3 x^2}{2} - \frac{A_2 \phi \cdot xL^2}{12} + (1 + \phi) \frac{L^3 A_2}{12} \quad (2.2.1.12)$$

de la estática se sabe que:

$$A_5 = -A_2 \quad (2.2.1.13)$$

$$A_6 = -A_3 + A_2 \cdot L \quad (2.2.1.14)$$

De la condición 3

$$A_2 = \frac{12 \cdot E \cdot IZ}{(1+\phi) L^3} \quad (2.2.1.15)$$

De (2.2.1.13)

$$A_5 = -\frac{12 \cdot E \cdot IZ}{(1+\phi) L^3} \quad (2.2.1.16)$$

De (2.2.1.11)

$$A_3 = \frac{6 \cdot E \cdot IZ}{(1+\phi) L^2} \quad (2.2.1.17)$$

De (2.2.1.14)

$$A_6 = \frac{6 \cdot E \cdot IZ}{(1+\phi) L^2} \quad (2.2.1.18)$$

En este caso se tiene que  $A_1$  y  $A_4$  son cero. Al igual que como se hizo anteriormente se puede concluir que ha quedado formada la columna dos de la matriz de rigidez.

Haciendo referencia en este caso a la condición (3) de la figura (2.2.1.1) y empleando la figura (2.2.1.3) se llega a la misma ecuación (2.2.1.9), con la única excepción de que las condiciones de contorno varían a la forma siguiente:

- 1)  $y = 0$  en  $x = 0$  y  $x = L$
- 2)  $\frac{dy}{dx} = \frac{dyc}{dx} = -\frac{A_2}{G \cdot AY}$  en  $x = L$
- 3)  $\frac{dyb}{dx} = \frac{dy}{dx} = \frac{dyc}{dx} = 1$  en  $x = 0$

Substituyendo las condiciones de contorno la ecuación (2.2.1.9) se transforma en:

$$E \cdot IZ \cdot y = \frac{A_2}{6} (x^3 - L^2 x) + \frac{A_3}{2} (L \cdot x - x^2) \quad (2.2.1.19)$$

siendo

$$A_2 = \frac{6 \cdot A_3}{(4+\phi) L} \quad (2.2.1.20)$$

Haciendo la derivada respectiva de (2.2.1.19) y usando la condición de contorno tres se concluye que

$$A_3 = \frac{E \cdot IZ \cdot (4 + \phi)}{(1 + \phi) L} \quad (2.2.1.21)$$

de (2.2.1.20)

$$A_2 = \frac{6 \cdot E \cdot IZ}{(1 + \phi) L^2} \quad (2.2.1.22)$$

de la estática

$$A_5 = - \frac{6 \cdot EIZ}{(1 + \phi)L^2} \quad (2.2.1.23)$$

y

$$A_6 = \frac{(2 - \phi)EIZ}{L(1 + \phi)} \quad (2.2.1.24)$$

En este caso también  $A_1$  y  $A_4$  tendrán un valor nulo. Haciendo un ordenamiento cuidadoso y adecuado puede construirse la matriz de rigidez fácilmente. Los restantes valores como se dijo se obtienen dando desplazamientos unitarios en las direcciones de  $U_4$ ,  $U_5$  y  $U_6$  respectivamente uno de cada vez; no se hizo pues corresponden a los casos  $U_1$ ,  $U_2$ , y  $U_3$ . La matriz de rigidez será pues:

	<u>E.AX</u>				
	L				
0	$\frac{12 \cdot E \cdot IZ}{L^3(1+\phi)}$			SIMÉTRICA	
0	$\frac{6 \cdot E \cdot IZ}{L^2(1+\phi)}$	$\frac{(4+\phi)E \cdot IZ}{L(1+\phi)}$			
SM	<u>-E.AX</u>	0	0	<u>E.AX</u>	
	L			L	
0	$\frac{-12 \cdot E \cdot IZ}{L^3(1+\phi)}$	$\frac{-6EIZ}{L^2(1+\phi)}$	0	$\frac{12 \cdot E \cdot IZ}{L^3(1+\phi)}$	
0	$\frac{6 \cdot E \cdot IZ}{L^2(1+\phi)}$	$\frac{(2-\phi)EIZ}{L(1+\phi)}$	0	$\frac{-6 \cdot EIZ}{L^2(1+\phi)}$	$\frac{(4+\phi)E \cdot IZ}{L(1+\phi)}$

(2.2.1.24)

No obstante haberse hecho un desarrollo detallado de la matriz de rigidez, esta es usada en el programa presentado sin la influencia del factor  $\phi$ , pues este factor tiene una influencia ínfima en los respectivos coeficientes.

La matriz quedará por lo tanto en la forma:





Como ya se sabe la matriz de rigidez de un miembro "i" puede ser expresada en la siguiente forma:

$$[SM]_i = \begin{bmatrix} SM_{jj, jj} & SM_{jj, jk} \\ SM_{jk, jj} & SM_{jk, jk} \end{bmatrix} \quad (2.2.2.1)$$

Puede fácilmente ser mostrado además que la submatriz  $[SM_{jk, jk}]$  es la inversa de la submatriz de flexibilidad  $[FM_{jk, jk}]$  de tal manera que:

$$[SM_{jk, jk}] = [FM_{jk, jk}]^{-1} \quad (2.2.2.2)$$

Lógicamente la submatriz  $[FM_{jk, jk}]$ , representa desplazamiento en las direcciones de  $U_4, U_5, U_6$ , cuando fueron aplicadas acciones unitarias en esas mismas direcciones; una de cada vez.

Con el auxilio de la figura (2.2.2.1), la cual

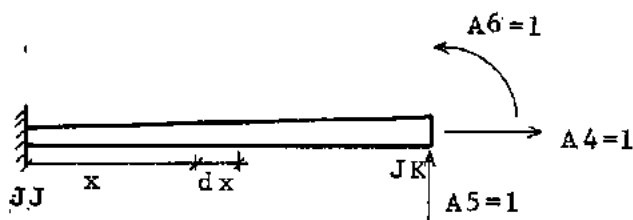


Figura 2.2.2.1

representa un miembro "i" con su extremo JJ empotrado, podrá

fácilmente; aplicándose el teorema de los trabajos virtuales, el cual en su forma más general es expresado para este caso particular como<sup>3</sup>:

$$FM(I, J) = \int_0^L \left[ N_{xi} \frac{N_{xj}}{E AX} + N_{yi} \frac{N_{yj}}{G AY} + M_{zi} \frac{M_{zj}}{E IZ} \right] dx \quad (2.2.2.3)$$

de esta última expresión puede obtenerse la submatriz  $[FM_{jk, jk}]$ , quedando esta en la forma siguiente:

$$[FM_{jk, jk}] = \begin{bmatrix} \int_0^L \frac{1}{E AX} dx & 0 & 0 \\ 0 & \int_0^L \frac{(L-x)^2}{E IZ} dx & \int_0^L \frac{(L-x)}{E IZ} dx \\ 0 & \int_0^L \frac{(L-x)}{E IZ} dx & \int_0^L \frac{1}{E IZ} dx \end{bmatrix} \quad (2.2.2.4)$$

puede notarse además que se ha despreciado la influencia del esfuerzo cortante. Al hacerse la descripción del programa propiamente dicho se indicará cuales subrutinas efectúan las integrales anteriores.

Si se representa el mismo miembro de la figura

(2.2.2.1) pero ahora bajo la acción de los coeficientes de ri gidez se tendrá de la figura (2.2.2.2), que:

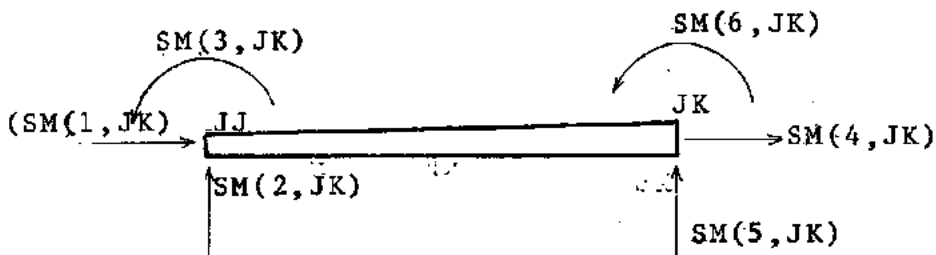


Figura 2.2.2.2

las acciones en el extremo JJ pueden ser fácilmente calculados a partir de las acciones en JK, de las condiciones de equilibrio; de manera que:

$$SM(1, JK) = - SM(4, JK) \quad (2.2.2.5)$$

$$SM(2, JK) = - SM(5, JK) \quad (2.2.2.6)$$

$$SM(3, JK) = - SM(5, JK) \cdot L + SM(6, JK) \quad (2.2.2.7)$$

El aprovechamiento de la simetría de la matriz de rigidez en conjunto con las tres últimas ecuaciones presentadas; así como la ecuación (2.2.2.2), es materia suficiente para la construcción total de la matriz de rigidez de un miembro de sección transversal variable.

### 2.3.1 - ACCIONES AML EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS

La determinación de las acciones AML en los ex

tremos de los miembros, cuando se trata de miembros de sección transversal constante, no representa ningún problema, pues el programa cuenta con una subrutina destinada a este fin.

Tratándose de miembros de sección transversal variable, el problema es diferente y su determinación será hecha siguiendo el procedimiento siguiente; partiendo de la misma figura (2.2.2.1) y usando la ecuación (2.2.2.3), los desplazamientos en la extremidad JK pueden ser determinados de la forma siguiente:

$$DJ(I) = \int_0^L \left[ N_{x,i} \frac{N_{x,L}}{E \cdot AX} + N_{y,i} \frac{N_{y,L}}{G \cdot AY} + M_{z,i} \frac{M_{z,L}}{E \cdot IZ} \right] dx$$

(2.3.1.1)

Las acciones en la extremidad JK son calculadas a partir del sistema de ecuaciones de compatibilidad del método de las fuerzas así:

$$[FM_{jk,jk}] \cdot \{AML_{jk}\} + \{DJ_{jk}\} = 0 \quad (2.3.1.2)$$

de donde

$$\{AML_{jk}\} = - [FM_{jk,jk}]^{-1} \cdot \{DJ_{jk}\} \quad (2.3.1.3)$$

la submatriz  $[FM_{jk,jk}]$ , puede fácilmente ser calculada como lo indica la ecuación (2.2.2.4)

La submatriz  $\{DJ_{jk}\}$  se calcula en base a la ecuación (2.3.1.1); asumiendo cargamente uniforme, normal y paralelo al eje del miembro así:

$$DJ(4) = WX \int_0^L \frac{L-x}{E AX} dx$$

$$DJ(5) = WY \int_0^L \frac{(L-x)^3}{2E.IZ} dx \quad (2.3.1.4)$$

$$DJ(6) = WY \int_0^L \frac{(L-x)^2}{2E.IZ} dx$$

En la cual WX y WY representan los cargamentos uniformes en toda la longitud del miembro.

Con estas dos submatrices  $[FM_{jk, jk}]$  y  $\{DJ_{jk}\}$  se puede calcular como se indica en la ecuación (2.3.1.3) los  $\{AML_{jk}\}$ ; pudiéndose por la condición de equilibrio calcular los  $\{AML_{jj}\}$  en la forma siguiente:

$$AML (1) = - [AML (4) + WX.L]$$

$$AML (2) = AML (5) \quad (2.3.1.5)$$

$$AML (3) = - AML (6)$$

Cuando hubiere cargas concentradas en otros puntos que no sean los nudos de la estructura, deberá crearse pa-

ra ahorrar tiempo de computación, nuevos nudos correspondientes a esas cargas concentradas; igual procedimiento se aplicará cuando se tengan momentos concentrados

#### 2.4.1 - ROTULAS EN LOS MIEMBROS

En las estructuras reales muchas veces se desea imponer ciertas condiciones adicionales sobre determinados miembros; estas se refieren generalmente a los desplazamientos y acciones resultantes de un determinado cargamento. En el presente trabajo se mostrará la alteración que deben sufrir las matrices de rigidez  $[SM]$  y las de las acciones  $\{AML\}$ , cuando se quiere anular una o varias componentes de la matriz  $\{AM\}$ ; introduciendo articulaciones o liberaciones constructivas especiales.

De acuerdo a lo indicado en la ecuación (1.4.9) la expresión matricial que relaciona las acciones con los desplazamientos es dada por:

$$\{AM\} = \{AML\} + [SM] \cdot \{DJ\} \quad (1.4.9)$$

esta ecuación podrá expresarse también en la forma siguiente:

$$\begin{bmatrix} AM_r \\ \vdots \\ AM_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AML_r \\ \vdots \\ AML_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SM_{rr} & SM_{ra} \\ \vdots & \vdots \\ SM_{ar} & SM_{aa} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DJ_r \\ \vdots \\ DJ_a \end{bmatrix} \quad (2.4.1.1)$$

en la cual el subíndice "a" indica simplemente las acciones que se desean anular; mientras que el subíndice "r" se ha empleado con el único fin de diferenciar el resto de las acciones; de las anteriores. Igual racionio se aplicó a las acciones {AML}, a la matriz {SM} y a los desplazamientos {DJ}.

Como la intención es anular los valores de la submatriz {AM<sub>a</sub>} la ecuación (2.4.1.1) puede ser escrita en la forma siguiente:

$$\begin{bmatrix} AM_r \\ \hline 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AML_r \\ \hline AML_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SM_{rr} & SM_{ra} \\ \hline SM_{ar} & SM_{aa} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DJ_r \\ \hline DJ_a \end{bmatrix} \quad (2.4.1.2)$$

desarrollando la expresión anterior se obtiene:

$$\begin{aligned} \{AM_r\} &= \{AML_r\} - [SM_{ra}] \cdot [SM_{aa}^{-1}] \cdot \{AML_a\} + \\ &+ [[SM_{rr}] - [SM_{ra}] \cdot [SM_{aa}^{-1}] \cdot [SM_{ar}]] \{DJ_r\} \end{aligned} \quad (2.4.1.3)$$

llamando:

$$\{AML^*\} = \{AML_r\} - [SM_{ra}] \cdot [SM_{aa}^{-1}] \cdot \{AML_a\} \quad (2.4.1.4)$$

$$y \quad [SM^*] = [[SM_{rr}] - [SM_{ra}] \cdot [SM_{aa}^{-1}] \cdot [SM_{ar}]] \quad (2.4.1.5)$$

la ecuación (2.4.1.3) se transforma en

$$\{AM_r\} = \{AML^*\} + [SM^*] \cdot \{DJ_r\} \quad (2.4.1.6)$$

esta última ecuación es idéntica a la (1.4.9) observándose por lo tanto que las nuevas matrices  $\{AML^*\}$  y  $[SM^*]$  deberán construirse de acuerdo a (2.4.1.4) y (2.4.1.5) respectivamente.

La ventaja del uso de la ecuación (2.4.1.6) es que cualquier singularidad<sup>11</sup> provocada por un exceso de liberaciones que transformen al elemento inestable, son reflejados automáticamente al invertirse la submatriz  $[SM_{aa}]$ , la cual queda singular.

En el programa presentado fueron usadas las mismas ecuaciones anteriores, con la diferencia de que las componentes de  $\{AM_a\}$ , son anuladas una de cada vez, transformándose las submatrices de la ecuación (2.4.1.3) en submatrices de un solo elemento; este procedimiento fue seguido en esta forma para ahorrar tiempo y memoria del computador. La consecuencia lógica de este procedimiento es que las singularidades anotadas anteriormente no van aparecer, debiendo contar el programa con ciertas comprobaciones, para poder descubrir las singularidades antes mencionadas.

La representación de las rótulas será la mostrada en la figura (2.4.1.1)



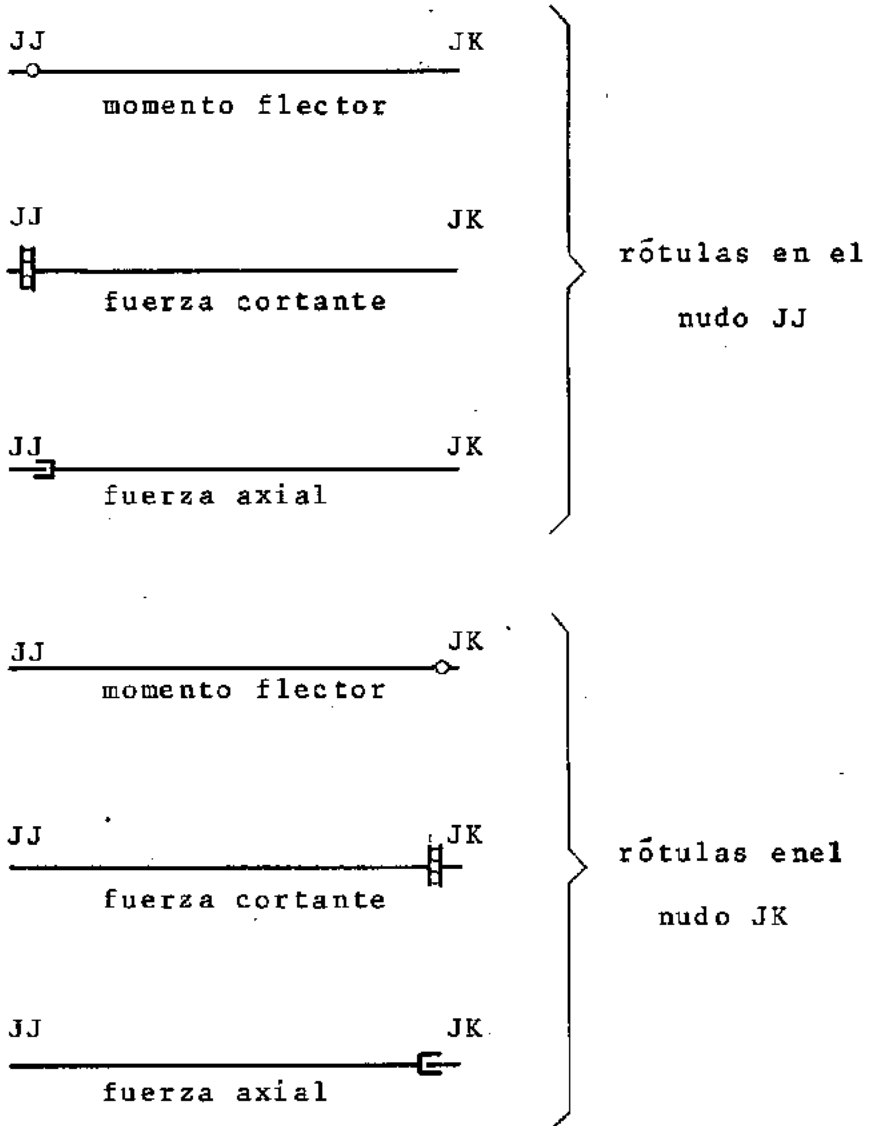


Figura 2.4.1.1

2.5.1 - TRANSFORMACION DE COORDENADAS:

Como quedó expresado anteriormente todas las deducciones efectuadas hasta el momento están relacionadas a un

sistema de ejes que se llamó ejes locales; es claro comprender que no todos los miembros tendrán el privilegio de estar en condiciones tales, que todas sus componentes; sean estas acciones o desplazamientos, correspondan a su vez a las componentes que tendría el mismo miembro en el sistema de ejes globales. Esta necesidad de transformación se debe a que el análisis deberá efectuarse en un único sistema de referencia, con el fin de relacionar los desplazamientos y acciones de un nudo de la estructura, cuando en aquel concurren varios miembros.

Considérese, por lo tanto, la figura (2.5.1.1) en ella se representa una acción  $AM$ , expresada en los dos sistemas de ejes: ejes locales y ejes globales.

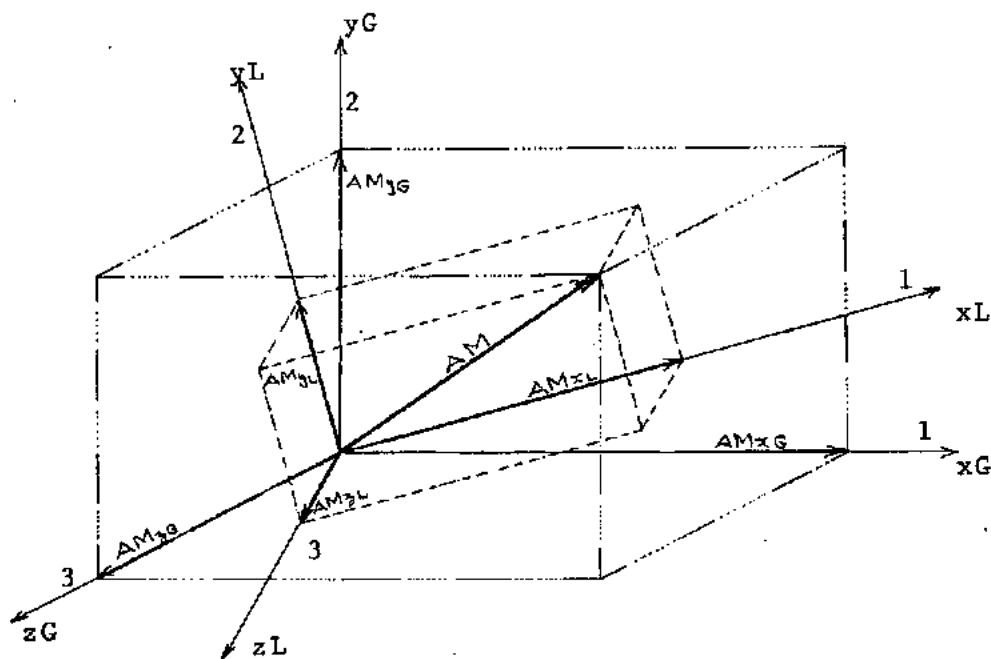


Figura 2.5.1.1

en la cual "L" y "G" representan los ejes locales y globales respectivamente y los números sobre los ejes representan las direcciones.

Se denominará en general como  $\lambda_{IJ}$ , con I y J variando de uno a tres, como los cosenos de los ejes locales con respecto a los ejes globales, de forma que la expresión  $\lambda_{31}$ , significa el coseno del ángulo que forma el eje  $z_L$  con el eje  $x_G$ .

La acción AM puede expresarse fácilmente por tres componentes en el sistema global ( $AM_{xG}, AM_{yG}, AM_{zG}$ ), o bien por tres componente en el sistema local ( $AM_{xL}, AM_{yL}, AM_{zL}$ ). La relación entre esos dos tipos de componentes es dado por la siguiente expresión matricial:

$$\{AM_L\} = \begin{Bmatrix} AM_{xL} \\ AM_{yL} \\ AM_{zL} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} AM_{xG} \\ AM_{yG} \\ AM_{zG} \end{Bmatrix} \quad (2.5.1.1)$$

De acuerdo a la figura (2.5.1.1), quedan establecidas desde ya las direcciones de los ejes, de manera que si se usa la misma notación del programa, se podrá denominar con:

$$[R] = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} CX & CY & 0 \\ -CY & CX & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5.1.2)$$

en la cual  $[R]$ , representa la matriz de transformación; la ecuación (2.5.1.1) se transforma en:

$$\{AM_L\} = [R]\{AM_G\} \quad (2.5.1.3)$$

De esta última ecuación se deduce que:

$$\{AM_G\} = [R]^{-1} \cdot \{AM_L\} \quad (2.5.1.4)$$

Observando la figura (2.5.1.1), esta última relación se puede obtener fácilmente, de manera que:

$$\{AM_G\} = \begin{bmatrix} AM_{xG} \\ AM_{yG} \\ AM_{zG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \lambda_{13} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \lambda_{23} \\ \lambda_{31} & \lambda_{32} & \lambda_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} AM_{xL} \\ AM_{yL} \\ AM_{zL} \end{bmatrix} \quad (2.5.1.5)$$

o bien:

$$\{AM_G\} = [R]^T \{AM_L\} \quad (2.5.1.6)$$

Comparando las ecuaciones (2.5.1.3) y (2.5.1.5) se deduce que:

$$[R]^{-1} = [R]^T \quad (2.5.1.7)$$

por lo tanto la matriz  $[R]$  es ortogonal<sup>5</sup>.

Expresiones similares pueden obtenerse para las acciones  $\{AML\}$  y pequeños desplazamientos  $\{DJ\}$ , de forma que para las acciones  $\{AML\}$ , se tiene:

$$\{AML_L\} = [R] \cdot \{AML_G\} \quad (2.5.1.8)$$

$$\{AML_G\} = [R]^T \cdot \{AML_L\} \quad (2.5.1.9)$$

y para los desplazamientos:

$$\{DJ_L\} = [R] \cdot \{DJ_G\} \quad (2.5.1.10)$$

$$\{DJ_G\} = [R]^T \cdot \{DJ_L\} \quad (2.5.1.11)$$

Reescribiendo la ecuación (1.4.9), se tiene la relación que existe entre las tres matrices  $\{AM\}$ ,  $\{AML\}$  y  $\{DJ\}$  en coordenadas locales, de manera que:

$$\{AM_L\} = \{AML_L\} + [SM_L] \cdot \{DJ_L\} \quad (2.5.1.12)$$

esta ecuación es la misma (1.4.9), excepto que se ha colocado el subíndice "L" para indicar coordenadas locales.

La ecuación (2.5.1.12) puede ser escrita también como:

$$\begin{bmatrix} AM_{jjL} \\ \hline AM_{jkL} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} AML_{jjL} \\ \hline AML_{jkL} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SM_{jj,jjL} & SM_{jj,jkL} \\ \hline SM_{jk,jjL} & SM_{jk,jkL} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DJ_{jjL} \\ \hline DJ_{jkL} \end{bmatrix} \quad (2.5.1.13)$$

Substituyendo (2.5.1.3), (2.5.1.8) y (2.5.1.10) en (2.5.1.13) se tiene):

$$\begin{bmatrix} R \cdot AM_{jjG} \\ \hline R \cdot AM_{jkG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \cdot AML_{jjG} \\ \hline R \cdot AML_{jkG} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SM_{jj,jjL} & SM_{jj,jkL} \\ \hline SM_{jk,jjL} & SM_{jk,jkL} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R \cdot DJ_{jjG} \\ \hline R \cdot DJ_{jkG} \end{bmatrix} \quad (2.5.1.14)$$

o bien:

$$\begin{bmatrix} R & 0 \\ \hline 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} AM_{jjG} \\ \hline AM_{jkG} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 \\ \hline 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} AML_{jjG} \\ \hline AML_{jkG} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} SM_{jj,jjL} & SM_{jj,jkL} \\ \hline SM_{jk,jjL} & SM_{jk,jkL} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R & 0 \\ \hline 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DJ_{jjG} \\ \hline DJ_{jkG} \end{bmatrix} \quad (2.5.1.15)$$

llamando con:

$$[RC] = \begin{bmatrix} R & O \\ O & R \end{bmatrix} \quad (2.5.1.16)$$

la ecuación (2.5.1.15) se transforma en:

$$[RC] \{AM_G\} = [RC] \{AML_G\} + [SM_L] [RC] \cdot \{DJ_G\} \quad (2.5.1.17)$$

o bien:

$$\{AM_G\} = \{AML_G\} + [RC]^{-1} [SM_L] [RC] \cdot \{DJ_G\} \quad (2.5.1.18)$$

debido a que la matriz  $[R]$  es ortogonal, la matriz  $[RC]$ , también lo será de manera que:

$$[RC]^{-1} = [RC]^T \quad (2.5.1.19)$$

substituyendo (2.5.1.19) en (2.5.1.18) se tiene:

$$\{AM_G\} = \{AML_G\} + [RC]^T [SM_L] [RC] \cdot \{DJ_G\} \quad (2.5.1.20)$$

si se llama con:

$$[SMD_G] = [RC]^T [SM_L] [RC] \quad (2.5.1.21)$$

se puede escribir finalmente:

$$\{AM_G\} = \{AML_G\} + [SMD_G] \cdot \{DJ_G\} \quad (2.5.1.22)$$

esta última ecuación, expresa la relación que existe entre las acciones y los desplazamientos en el sistema de ejes global, para cada miembro.

#### 2.6.1 - MATRICES TOTALES [S] y {AML}:

Por un uso adecuado de subíndice puede fácilmente relacionarse las matrices  $\{AML_G\}$  y  $[SMD_G]$ <sup>4</sup> con las matrices totales de cada subestructura  $[AML]$  y  $[S]$  obteniéndose una ecuación semejante a la (2.5.1.22) así:

$$\{AM\} = \{AML\} + [S] \cdot \{DJ\} \quad (2.5.1.23)$$

Lógicamente todas esas matrices estarán expresadas en el sistema de ejes global.

La ecuación (2.5.1.23) también puede ser escrita en la forma siguiente:

$$\begin{Bmatrix} AM_p \\ \vdots \\ AM_r \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} AML_p \\ \vdots \\ AML_r \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{pp} & S_{pr} \\ \vdots & \vdots \\ S_{rp} & S_{rr} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DJ_p \\ \vdots \\ DJ_r \end{Bmatrix} \quad (2.5.1.24)$$



en la cual los subíndices "r" y "p" indican los desplazamientos que se van a restringir o anular y los permisibles, respectivamente.

Desanollando (2.5.1.24) se tiene:

$$\{AM_p\} = \{AML_p\} + [S_{pp}] \cdot \{DJ_p\} + [S_{pr}] \{DJ_r\} \quad (2.5.1.25)$$

$$\{AM_r\} = \{AML_r\} + [S_{rp}] \cdot \{DJ_p\} + [S_{rr}] \cdot \{DJ_r\} \quad (2.5.1.26)$$

Si en las restricciones no se permite ningún desplazamiento la matriz  $\{DJ_r\}$  será nula, por lo tanto:

$$\{AM_p\} = \{AML_p\} + [S_{pp}] \cdot \{DJ_p\} \quad (2.5.1.27)$$

pudiéndose determinar los desplazamientos  $\{DJ_p\}$  fácilmente, pues el resto de las matrices son conocidas, de forma tal que:

$$\{DJ_p\} = [S_{pp}]^{-1} \cdot \{AM_p - AML_p\} \quad (2.5.1.28)$$

En el programa presentado, para ahorrar memoria de computador, no se hace uso de tanto subíndice, expresándose la ecuación (2.5.1.28) en la siguiente forma:

$$\{DJ\} = [S]^{-1} \cdot \{AML\} \quad (2.5.1.29)$$

$$\text{o bien} \quad \{AML\} = [S] \cdot \{DJ\} \quad (2.5.1.30)$$

sobreentendiéndose en este caso el subíndice "p".

En la ecuación (2.5.1.28) la matriz  $\{AML_p\}$  representa como ya se sabe las acciones en los extremos de los miembros, debido al cargamento actuante sobre ellos; sin embargo, cuando se desee considerar efectos de pretensión, asentamientos en los soportes, efectos de temperatura, etc su influencia puede calcularse fácilmente<sup>4</sup>, introduciéndose la matriz  $\{AML_p\}$  o parte de ella como datos directos, sin necesidad de usar las subrutinas destinadas para el cálculo de los  $\{AML_p\}$ .

### C A P Í T U L O III

#### ANÁLISIS DE GRANDES ESTRUCTURAS POR MEDIO DE SUBESTRUCTURAS

Como quedó expresado en la introducción; la idea fundamental de este trabajo es presentar un programa capaz de analizar, aquellas estructuras las cuales por su magnitud, saturan con sus datos y ecuaciones necesarias para su análisis toda la memoria del computador; cuando eso ocurriere deberá usarse un método de análisis por medio de subestructuras; usándose paralelamente los discos con que cuenta el computador usado, para el almacenamiento temporario de los datos de cada subestructura. Esta posibilidad de análisis tiene su contraparte en el sentido de que el tiempo de procesamiento se verá enormemente aumentado, transformándolo antieconómico cuando con él se analicen estructuras pequeñas. La pérdida de eficiencia anotada anteriormente se debe a que el tiempo de acceso cuando se usan los discos de almacenamiento es mayor que cuando no se usan.

El análisis se hará usando el método de "eliminación en serie"<sup>1</sup>; el cual básicamente consiste en analizar cada subestructura por medio de la ecuación (2.5.1.29), tomando en cada subestructura la influencia de la anterior; esta in-

fluencia consistirá de las matrices globales  $[S]$ ,  $\{AML\}$  y  $\{DJ\}$ :

### 3.1.1 - CONCEPTO DE MATRIZ CONDENSADA

Cuando una estructura está constituida por un gran número de miembros y consecuentemente, nudos también, aquella podrá dividirse en varias subestructuras de menor tamaño, de manera que estas faciliten el análisis de la estructura total.

Cada subestructura será análoga a un solo miembro; siendo generalmente considerada como una gran unidad constituida de un grupo de miembros.

Las interacciones en los puntos de intersección de estos grupos, es idéntica a aquella de los miembros que se reúnen en un nudo de la estructura. Por medio de las ecuaciones de equilibrio para los nudos interconectados son calculados los desplazamientos desconocidos y comunes a dos subestructuras.

Considérese la figura (3.1.1), la cual representa una estructura que será analizado por medio de subestructuras.

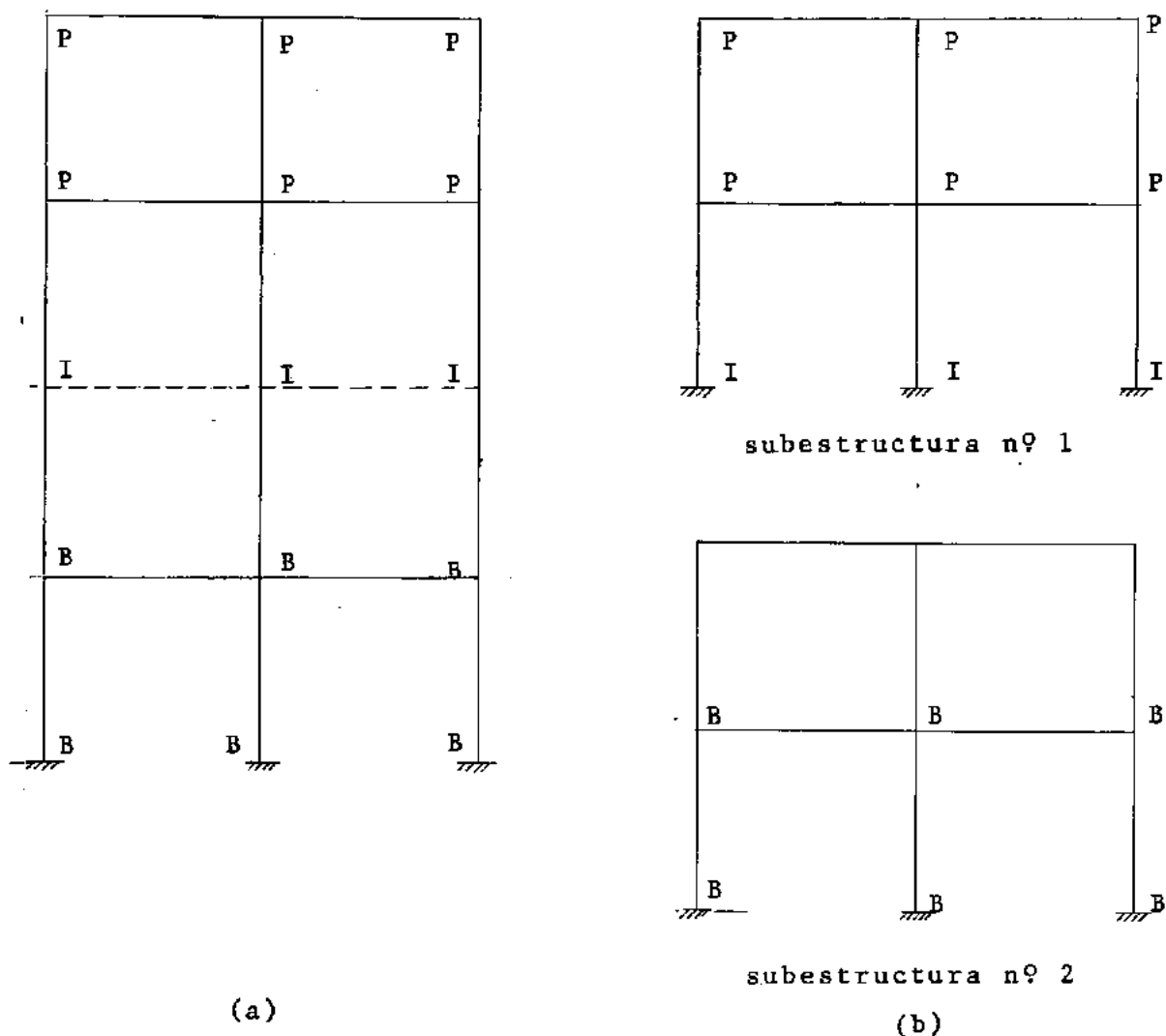


Figura 3.1.1

En la figura (3.1.1 a) se representa la estructura real, mientras que en la figura (3.1.1 b), se representan las dos subestructuras que se obtuvieron al introducir restricciones en aquellos nudos que unen las dos subestructuras. Estas restricciones se escogieron de tal manera que cada subestructura es aislada temporariamente de la otra, pudiéndose tratar separadamente en esta primera fase del análisis. La

interacción entre cada dos subestructuras es determinada al calcularse los desplazamientos de los nudos comunes a ambas, pudiéndose considerar esta segunda fase como la corrección a la primera.

Se denotarán con:

P - a los nudos de la subestructura Nº 1

I - a los nudos que unen ambas subestructuras

B - a los nudos de la subestructura Nº 2

Podrá escribirse una ecuación semejante a la (2.5.1.30) en la cual todas las matrices ahí presentes estén formadas por componentes correspondientes a los tres diferentes tipos de nudos anotados anteriormente; de manera tal que:

$$\begin{Bmatrix} \text{AML}_P \\ \text{AML}_I \\ \text{AML}_B \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{PP} & S_{PI} & S_{PB} \\ S_{IP} & S_{II} & S_{IB} \\ S_{BP} & S_{BI} & S_{BB} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \text{DJ}_P \\ \text{DJ}_I \\ \text{DJ}_B \end{Bmatrix} \quad (3.1.1)$$

Como los nudos del tipo I son restringidos totalmente, no habrá influencia directa de los nudos del tipo P sobre los nudos del tipo B, por lo tanto la ecuación (3.1.1) se transforma en:

$$\begin{bmatrix} AML_P \\ AML_I \\ AML_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{PP} & S_{PI} & 0 \\ S_{IP} & S_{II} & S_{IB} \\ 0 & S_{BI} & S_{BB} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} DJ_P \\ DJ_I \\ DJ_B \end{bmatrix} \quad (3.1.2)$$

La división de la matriz de rigidez  $S$  mostrada en la ecuación (3.1.2) puede ser representada esquemáticamente como muestra la figura (3.1.2)

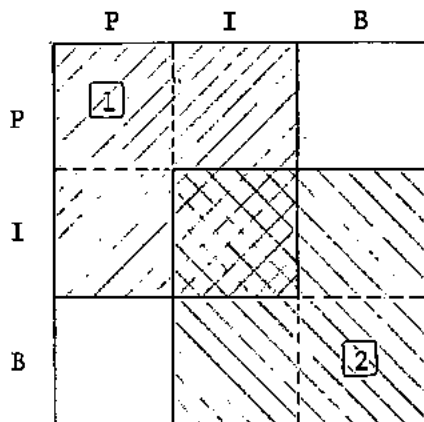


Figura 3.1.2

Los cuadrados traslapados en las franjas I corresponden a los nudos de intersección.

Desarrollando la ecuación (3.1.2) se tiene:

$$AML_P = S_{PP} \cdot DJ_P + S_{PI} \cdot DJ_I \quad (3.1.3)$$

$$AML_I = S_{IP} \cdot DJ_P + S_{II} DJ_I + S_{IB} \cdot DJ_B \quad (3.1.4)$$

$$AML_B = S_{BI} DJ_I + S_{BB} \cdot DJ_B \quad (3.1.5)$$

Las ecuaciones anteriores pueden ser resueltas para los vectores de los desplazamientos desconocidos por un procedimiento semejante al usado en álgebra lineal notándose sin embargo que los términos son submatrices en lugar de escalares; teniendo cada paso de la solución una interpretación física en la estructura real.

Usando el proceso de eliminación en serie, como primer paso se determina  $DJ_P$  de la ecuación (3.1.3).

$$DJ_P = S_{PP}^{-1} (AML_P - S_{PI} \cdot DJ_I) \quad (3.1.6)$$

Substituyendo la ecuación (3.1.6) en (3.1.4) se

llega a

$$AML_I^* = S_{II}^* \cdot DJ_I + S_{IB} \cdot DJ_B \quad (3.1.7)$$

en la cual

$$AML_I^* = AML_I - S_{IP} \cdot S_{PP}^{-1} \cdot AML_P \quad (3.1.8)$$

$$S_{II}^* = S_{II} - S_{IP} \cdot S_{PP}^{-1} \cdot S_{PI} \quad (3.1.9)$$



La nueva submatriz de rigidez  $S_{II}^*$  es llamada "matriz de rigidez condensada". Esta matriz es una modificación de la matriz original  $S_{II}$ , siendo la matriz modificante el triple producto  $(-S_{IP} \cdot S_{PP}^{-1} \cdot S_{PI})$

Físicamente la matriz condensada  $S_{II}^*$ , representa la matriz de rigidez para los nudos del tipo I (nudos de intersección de las dos subestructuras), mientras los nudos del tipo P en la estructura N° 1 pueden desplazarse libremente. En otras palabras, el modelo analítico de la estructura es transformado de una condición completamente rígida, a una condición parcialmente rígida.

Igualmente el vector  $AML_I^*$  dado en la ecuación (3.1.8), representa las cargas reales aplicadas en los nudos del tipo I, modificados por el triple producto  $(-S_{IP} \cdot S_{PP}^{-1} \cdot AML_P)$ . Este producto representa las cargas equivalentes en los nudos del tipo I, debido a las cargas aplicadas en los nudos del tipo P, en la estructura parcialmente restringida.

Para aclarar cualquier duda que hubiere quedado podrá verse nuevamente la sección (2.4.1), pues en ella se dedujo detalladamente las matrices antes mencionadas, aunque con diferente notación.

Prosiguiendo con el análisis de la ecuación (3.1.7) se obtiene:

$$DJ_I = S_{II}^{*-1} (AML_I^* - S_{IB} \cdot DJ_B) \quad (3.1.10)$$

Sustituyendo la ecuación (3.1.10) en (3.1.5)

se obtiene agrupando términos:

$$AML_B^* = S_{BB}^* \cdot DJ_B \quad (3.1.11)$$

en la cual

$$AML_B^* = AML_B - S_{BI} \cdot S_{II}^{*-1} \cdot AML_I^* \quad (3.1.12)$$

$$S_{BB}^* = S_{BB} - S_{BI} \cdot S_{II}^{*-1} \cdot S_{IB} \quad (3.1.13)$$

Las nuevas matrices  $S_{BB}^*$  y  $AML_B^*$  son matrices condensadas de rigidez y carga para los nudos del tipo B, para la estructura parcialmente restringida, en la cual los nudos del tipo P y I se pueden desplazar libremente.

De ecuación (3.1.11)

$$DJ_B = S_{BB}^{*-1} \cdot AML_B^* \quad (3.1.14)$$

Finalmente los desplazamientos  $DJ_I$  y  $DJ_P$  pueden ser calculados por una sustitución "hacia atrás" en las ecuaciones (3.1.10) y (3.1.6) respectivamente.

Un hecho fundamental en el método de eliminación

en serie, es que los grupos de los desplazamientos son eliminados consecutivamente, procediendo del final de una subestructura al inicio de la otra.

Otro punto que no quedó bien claro por tratarse únicamente de dos subestructuras, es que los nudos restringidos temporariamente, deben ser comunes exclusivamente a dos subestructuras. Bajo esta condición, cada grupo de desplazamientos es completamente eliminado entre pares de subestructuras.

### 3.2.1 - ECUACIONES PARA EL MÉTODO DE ELIMINACION EN SERIE:

Cuando una estructura es dividida en "n" subestructuras, de una manera semejante a la hecha en la sección (3.1.1); se podrá escribir una ecuación similar a la (3.1.1), en la cual se cambiará el subíndice (P) y (B), por una numeración consecutiva desde uno hasta el número de subestructuras "n". El subíndice (I) no aparecerá, pues los valores correspondientes a los nudos de intersección, estarán contenidos en la siguiente subestructura, cuando se analice una determinada subestructura. Este procedimiento se ha seguido con el fin de facilitar el manejo de todas las matrices. Por lo tanto la ecuación (3.1.1) tomará la siguiente forma:

$$\begin{array}{|l}
 \text{AML}_1 \\
 \text{AML}_2 \\
 \dots \\
 \dots \\
 \text{AML}_i \\
 \text{AML}_{i+1} \\
 \dots \\
 \text{AML}_{n-1} \\
 \text{AML}_n
 \end{array}
 \begin{array}{|l}
 S_{1,1} \quad S_{1,2} \\
 S_{2,1} \quad S_{2,2} \quad S_{2,3} \quad \dots \quad 0 \\
 \dots \\
 \dots \\
 S_{i,i-1} \quad S_{i,i} \quad S_{i,i+1} \\
 S_{i+1,i} \quad S_{i+1,i+1} \quad S_{i+1,i+2} \\
 \dots \quad \dots \quad \dots \\
 0 \quad \dots \quad S_{n-1,n-2} \quad S_{n-1,n-1} \quad S_{n-1,n} \\
 \dots \quad \dots \quad S_{n,n-1} \quad S_{n,n}
 \end{array}
 \begin{array}{|l}
 \text{DJ}_1 \\
 \text{DJ}_2 \\
 \dots \\
 \dots \\
 \text{DJ}_i \\
 \text{DJ}_{i+1} \\
 \dots \\
 \text{DJ}_{n-1} \\
 \text{DJ}_n
 \end{array}$$

(3.2.1)

Desarrollando la ecuación (3.2.1) se obtiene:

$$\text{AML}_1 = S_{1,1} \text{DJ}_1 + S_{1,2} \text{DJ}_2 \quad (\text{a})$$

$$\text{AML}_2 = S_{2,1} \text{DJ}_1 + S_{2,2} \text{DJ}_2 + S_{2,3} \text{DJ}_3 \quad (\text{b})$$

... ..

... ..

$$AML_i = S_{i,i-1} DJ_{i-1} + S_{i,i} DJ_i + S_{i,i+1} DJ_{i+1} \quad (i)$$

$$AML_{i+1} = S_{i+1,i} DJ_i + S_{i+1,i+1} DJ_{i+1} + S_{i+1,i+2} DJ_{i+2} \quad (i+1) \quad (3.2.2)$$

... ..

$$AML_{n-1} = S_{n-1,n-2} DJ_{n-2} + S_{n-1,n-1} DJ_{n-1} + S_{n-1,n} DJ_n \quad (n-1)$$

$$AML_n = S_{n;n-1} DJ_{n-1} + S_{n,n} DJ_n \quad (n)$$

En el método de eliminación en serie, los desplazamientos son eliminados en un proceso "hacia adelante", el cual es iniciado por el cálculo de  $DJ_1$  de la ecuación (3.2.2 (a)):

$$DJ_1 = S_{1,1}^{-1} (AML_1 - S_{1,2} \cdot DJ_2) \quad (3.2.3)$$

Cualquier valor recuerrente para  $DJ_i$  será dado por

$$DJ_i = S_{i,i}^*^{-1} (AML_i^* - S_{i,i+1} \cdot DJ_{i+1}) \quad (3.2.4)$$

con

$$AML_{i+1}^* = S_{i+1,i+1}^* DJ_{i+1} + S_{i+1,i+2} \cdot DJ_{i+2} \quad (3.2.5)$$

y en la cual

$$S_{i+1,i+1}^* = S_{i+1,i+1} - S_{i+1} \cdot S_{i,i}^{*-1} \cdot S_{i,i+1} \quad (3.2.6)$$

$$AML_{i+1}^* = AML_{i+1} - S_{i+1} \cdot S_{i,i}^{*-1} \cdot AML_i^* \quad (3.2.7)$$

en estas ecuaciones el valor de "i" será tal que  $n-1 > i > 2$

La última eliminación llevará a:

$$DJ_n = S_{n,n}^{*-1} \cdot AML_n^* \quad (3.2.8)$$

en la cual

$$S_{n,n}^{*-1} = S_{n,n} - S_{n,n-1} \cdot S_{n-1,n-1}^{*-1} \cdot S_{n-1,n} \quad (3.2.9)$$

$$AML_n^* = AML_n - S_{n,n-1} \cdot S_{n-1,n-1}^{*-1} \cdot AML_{n-1}^* \quad (3.2.10)$$

Partiendo de la ecuación (3.2.8) y mediante una sustitución "hacia atrás", puede llegarse a la ecuación (3.2.3), que corresponde a  $DJ_1$ ; completando el análisis de toda la estructura.

Debe aclararse nuevamente que con el fin de ahorrar memoria del computador todas las ecuaciones indicadas de (3.2.3)

a (3.2.10) serán efectuadas sobreentendiéndose los subíndices.

### 3.3.1 - ALMACENAMIENTO TEMPORARIO DE LAS INFORMACIONES:

Todo programa de computador que utilice el método de reducción en serie, involucra dos pasos esenciales a través del análisis de la estructura:

- 1) eliminación hacia adelante
- 2) sustitución hacia atrás

Por lo tanto en cualquier etapa del análisis, únicamente la información relativa a una sola subestructura necesita estar en la memoria del computador, mientras que la información correspondiente al resto de las subestructuras debe estar almacenada en los discos destinados a este fin, de donde fácilmente pueden ser traídas a la memoria del computador cuándo se requierran. Se debe notar por lo tanto que la división de la estructura, el método de eliminación de los desplazamientos y la manipulación del almacenamiento en los discos, está enormemente relacionada.

Considérese la figura (3.3.1) en la cual se representa una porción de una estructura que se está analizando.

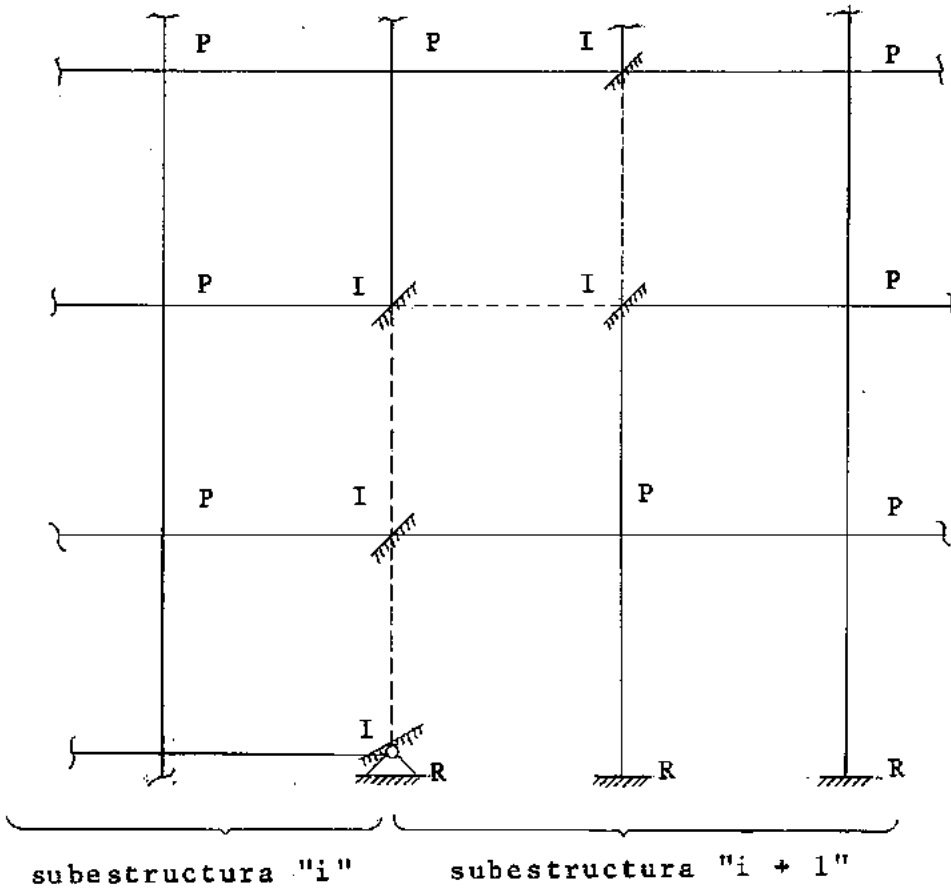


Figura 3.1.1

En dicha figura se encuentran presentes los si guientes tipos de nudos:

P nudos cuyo movimiento permitido en la subestructura "i"

R nudos cuyo movimiento es restringido en las subestructuras "i" e "i+1"

I nudos temporariamente restringidos y que unen las subestructuras "i" e "i+1"



El nudo en la figura (1.3.1) cuyo momento flector es nulo, será asumido como siendo del tipo I en la subestructura "i", mientras que en la subestructura "i+1" será considerado como nudo del tipo R

La ecuación matricial que relaciona las acciones y los desplazamientos de los nudos antes mencionados en la subestructura "i" será:

$$\begin{bmatrix} \text{AML}_P \\ \text{AML}_I \\ \text{AML}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{PP} & S_{PI} & S_{PR} \\ S_{IP} & S_{II} & S_{IR} \\ S_{RP} & S_{RI} & S_{RR} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{DJ}_P \\ \text{DJ}_I \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.3.1)$$

o bien:

$$\text{AML}_P = S_{PP} \cdot \text{DJ}_P + S_{PI} \cdot \text{DJ}_I \quad (3.3.2)$$

$$\text{AML}_I = S_{IP} \cdot \text{DJ}_P + S_{II} \cdot \text{DJ}_I \quad (3.3.3)$$

$$\text{AML}_R = S_{RP} \cdot \text{DJ}_P + S_{RI} \cdot \text{DJ}_I \quad (3.3.4)$$

Fácilmente se deduce de (3.3.2) que:

$$\text{DJ}_P = S_{PP}^{-1} (\text{AML}_P - S_{PI} \cdot \text{DJ}_I) \quad (3.3.5)$$

Esquemáticamente la ecuación (3.3.1) puede representarse por:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{AML}_P \\ \hline \text{AML}_I \\ \hline \text{AML}_R \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline \text{S}_{PP} & \text{S}_{PI} & \text{S}_{PR} \\ \hline \text{S}_{IP} & \text{S}_{II} & \text{S}_{IR} \\ \hline \text{S}_{RP} & \text{S}_{RI} & \text{S}_{RR} \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline \text{DJ}_P \\ \hline \text{DJ}_I \\ \hline \text{D}_O \\ \hline \end{array} \quad (3.3.6)$$

Antes de iniciarse el análisis de la subestructura "i+1" deberá primero calcularse la influencia de la subestructura "i"; esto se hace fácilmente de acuerdo a las ecuaciones (3.2.6) y (3.2.7); por lo tanto las influencias serán:

$$\text{S}_{II}^* = \text{S}_{II} - \text{S}_{IP} \cdot \text{S}_{PP}^{-1} \cdot \text{S}_{PI} \quad (3.3.7)$$

$$\text{y} \quad \text{AML}_I^* = \text{AML}_I - \text{S}_{IP} \cdot \text{S}_{PP}^{-1} \cdot \text{AML}_P \quad (3.3.8)$$

Determinadas estas influencias, podrá plantearse una ecuación semejante a la (3.3.1), pero en este caso referida a la subestructura "i+1", la cual esquemáticamente puede representarse por:

$AML_I^*$	$S_{II}^*$			
$AML_P$	$S_{PP}$	$S_{PI}$	$S_{PR}$	$DJ_P$
$AML_I$	$S_{IP}$	$S_{II}$	$S_{IR}$	$DJ_I$
$AML_R$	$S_{RP}$	$S_{RI}$	$S_{RR}$	$DJ_R$

(3.3.9)

en este caso las partes subrayadas de las submatrices  $\{AML_P\}$  y  $\{S_{PP}\}$ , están dadas por (3.3.8) y (3.3.7) respectivamente.

Las ecuaciones (3.3.5), (3.3.7) y (3.3.8), serán básicamente las usadas para el análisis por medio de subestructuras.

Las submatrices  $\{AML_I^*\}$  y  $\{S_{II}^*\}$  son denominadas en el programa como matrices residuales de carga y rigidez respectivamente.

Se repite nuevamente que para ahorro de memoria del computador y debido a que la técnica de programación empleada lo permite, las matrices presentadas, en general aparecerán sin aquellos índices indentificativos de cada subestructura, empleándose por lo tanto como matrices generalizadas para cualquier subestructura, en la forma siguiente:

$$\{AML\} = [S] \cdot \{DJ\} \quad (3.3.10)$$

## C A P Í T U L O IV

### SUBROTINAS - SIMBOLOGIAS - DIAGRAMAS DE

#### BLOQUE

Serán presentadas todas las subrutinas de acuerdo al orden en que aparecen en el programa, dándosele a cada una la explicación correspondiente en cuanto a su participación dentro del mismo.

#### 4.1.1 - Subrutina Carir

Calcula en coordenadas locales las acciones en los extremos de los miembros cuando su sección transversal fuere variable. Únicamente podrá usarse para carga distribuida y uniforme en toda la longitud del miembro.

#### 4.1.2 - Subrutina Miemr

Construye en coordenadas locales la matriz de rigidez de cada miembro cuya sección transversal fuere variable; incluyendo las rótulas posteriormente si las hubiere.

#### 4.1.3 - Subrotina Integ :

Es complemento de las subrotinas "Carit" y "Miembr.", pues integra, usando la conocida regla de Simpson, las funciones suministradas por estas dos subrotinas.

#### 4.1.4 - Subrotina Garvi :

Calcula en coordenadas locales las acciones en los extremos de los miembros, cuando su sección transversal fuere constante, usando las clásicas fórmulas de resistencia de los materiales; incluyendo después las rótulas si las hubiere.

#### 4.1.5 - Subrotina Cambi :

Altera la matriz de rigidez en cada miembro cuando en él existen rótulas.

#### 4.1.6 - Subrotina Matel :

Construye la matriz de rigidez de cada miembro de sección transversal constante, incluyendo las rótulas posteriormente si las hubiere.

#### 4.1.7 - Subrotina Divid

Descompone la matriz de rigidez global de cada subestructura en dos franjas triangulares como preparó para su inversión.

#### 4.1.8 - Subrotina Espar

Invierte la matriz de rigidez sumitrada por la subrotina "DIVID", usando el método de la raíz cuadrada de Cholesky.

#### 4.1.9 - Subrotina Numer

Calcula la numeración de los desplazamientos de los nudos.

#### 4.1.10 - Subrotina Rotac

Construye la matriz de rotación de cada miembro.

#### 4.2.1 - SIMBOLOGIAS

Unicamente se aclararán las simbologías de aquel

Las variables y expresiones, que sean necesarias para la utilización del programa, pues se han usado una serie de variables, utilizables únicamente como medio de llegar o resultados finales y que no tienen ningún interés al programador.

Además serán presentadas siguiendo el orden en que aparecen en el programa; siendo mientras no se diga lo contrario, aplicables a cada subestructura.

- SN Designa el número de la estructura a ser analizada.
- NSU Número de subestructuras que se divide la estructura.
- NLS Número de cargamentos diferentes.
- CNJ Número acumulativo de nudos hasta la subestructura anterior.
- CNM Número acumulativo de miembros hasta la subestructura anterior.
- NCA Número de nudos de intersección en cada subestructura con la anterior.
- SUBN Número de cada subestructura.
- M Número total de miembros.
- NJ Número total de nudos.
- NR Número total de restricciones

- NRJ    Número total de nudos restringidos.
- MIS    Número de miembros cuya sección transversal es variable.
- MCL    Número de miembros que contienen rótulas.
- E      Módulo de elasticidad del material.
- N      Número de grados de libertad.
- NN( )   Número de cualquier nudo.
- X( );Y( )   Coordenadas de los nudos.
- IM( )   Número de cualquier miembro.
- JJ( )JK( )   Designa los nudos de cada miembro.
- MI( )   Indica si un determinado miembro es de sección variable
- MCR( )   Indica si un determinado miembro contiene rótulas.
- AX ( )   Designa la sección transversal del miembro.
- IZ ( )   Designa el momento de inercia de cada miembro.
- L ( )    Representa la longitud total de cada miembro.
- RC[ ]   Matriz usada para la transformación de coordenadas.
- LR ( )   Indica la restricción en una determinada dirección.



- LR1 ( ) Restricción en el sentido x.
- LR2 ( ) Restricción en el sentido y.
- LR3 ( ) Restricción en el sentido z.
- VCL [ , ] Matriz conteniendo los miembros y sus respectivas rótulas.
- LR4 [ , ] Matriz auxiliar para la lectura de los miembros y sus rótulas.
- LDNR1 Número total de restricciones de los nudos de intersección con la subestructura anterior.
- NR1 Número total de restricciones de los nudos de intersección con la subestructura siguiente.
- LCR1 ( ) Lista acumulativa de las restricciones de los nudos de intersección con la subestructura siguiente.
- LCR2 ( ) Lista acumulativa de las restricciones de los nudos de soporte.
- LCR ( ) Suma de las dos listas acumulativas anteriores, (LCR1 ( ) y LCR2 ( )).
- NR2 Número total de restricciones en los nudos de soporte.

- S [ , ] Matriz de rigidez total en coordenadas glo bales.
- AC { , } Matriz de las cargas combinadas en los nu dos.
- TEM1 { } Matriz para el al macenamiento temporario de la matriz de rigidez [S].
- TEM2 { } Matriz para el almacenamiento temporario de la matriz de las cargas combinadas.
- KE { } Matriz de la numeración de los despla zamientos.
- KN { } Matriz de la re-numeración de los despla za mientos.
- B( ), H( ) Area y momento de inercia respectivamen te de cada sección transversal variable, de un miembro irregular.
- KI Es el número de valores de B( ) e H( )
- SM [ , ] Representa la matriz de rigidez de cada miembro en coordenadas locales.
- SMR [ , ] Matriz auxiliar para el cálculo de la ma triz [SMD].
- SMD [ , ] Matriz de rigidez de cada miembro en coor denadas globales.

- AE { , } Matriz de las acciones equivalentes en los extremos de los miembros.
- A { , } Matriz de las acciones aplicadas en los nudos.
- LML { , } Matriz que indica cuales miembros tienen cargamento y cuales no.
- AML { , } Matriz de las acciones en los extremos de los miembros.
- LN Número de cualquier tipo de cargamento.
- NLJ Número de nudos con cargas aplicadas
- NLM Número de miembros con cargamento.
- AT1 ( ) Carga aplicada en el sentido x
- AT2 ( ) Carga aplicada en el sentido y
- AT3 ( ) Carga aplicada en el sentido z
- NCC Número de grupos de cargas en un miembro sometido a cargamento.
- LOE Valor que indica si las acciones en los extremos de los miembros van a ser leídas o calculadas.
- DML { , } Matriz auxiliar para la escritura de las acciones {AML}.

$D( )$ ,  $DJ( )$  Matrices que contienen los desplazamientos de los nudos.

$CX( )$   $CY( )$  Cosenos del ángulo que forma cada miembro con los ejes "x" e "y" respectivamente.

$[ ]^{-1}$  Matriz inversa

$[ ]^T$  Matriz transpuesta.

#### 4.3.1 - DIAGRAMAS DE BLOQUES

Antes de entrar en el detalle de los diagramas de bloques, deberá indicarse en forma global el procedimiento seguido en cuanto a la entrada de los datos y salida de los resultados; además las simbologías empleadas en los diagramas de bloques corresponden a aquellas usadas en la referencia (1).

El análisis de cualquier estructura deberá efectuarse siguiendo el siguiente procedimiento:

- A) Cálculos de las subestructuras; eliminación hacia adelante.
- B) Cálculo de los resultados, sustitución hacia atrás.

#### 4.3.1.1 - Calculos de las subestructuras:

Las informaciones serán dadas en el siguiente orden:

A-1 Entrada e impresión de datos de control de la estructura y subestructuras; reacomodo de las matrices.

- a. Datos generales de la constitución de las subestructuras
- b. Coordenadas de los nudos
- c. Información sobre los miembros; cosenos directores
- d. Restricciones en los nudos; lista acumulativa de las restricciones
- e. Rótulas en los miembros
- f. Reacomodo de las matrices residuales de carga y rigidez.

A-2 Matriz de rigidez de las subestructuras

- a. Numeración de los desplazamientos
- b. Re-numeración de los desplazamientos
- c. Matriz de rigidez de cada miembro; regular e irregular

- d. Matriz de rigidez global
  - e. Descomposición e inversión de la matriz de rigidez global
- A-3 Entrada e impresión de los datos de los cargamentos
- a. Número de cargamento; nudos y miembros cargados
  - b. Acciones aplicadas en los nudos
  - c. Acciones en los extremos de los miembros; lecturas o cálculo.
- A-4 Construcción de las matrices asociadas con las cargas
- a. Cargas equivalentes en los nudos
  - b. Cargas combinadas en los nudos
- A-5 Cálculo de las matrices condensadas
- a. Matrices para sustitución hacia atrás
  - b. Matrices condensadas de carga y rigidez
  - c. Reacomodo de las coordenadas de los nudos

#### 4.3.2.1 - Cálculo de los resultados:

B-1 Desplazamientos de los nudos

a. Última subestructura

b. Otras subestructura

c. Expansión de la matriz de los desplazamientos.

B-2 Acciones en los extremos de los miembros

B-3 Reacciones de soporte

B-4 Impresión de los resultados

a. Desplazamiento de los nudos

b. Acciones en los extremos de los miembros

c. Reacciones de soporte.

Será presentado el diagrama de bloques correspondiente al programa principal, y de aquellas subrutinas que se consideren necesarias y que no aparezcan dentro de la literatura indicada por la bibliografía.

4.3.3.1 - DIAGRAMA DE BLOQUES-PROGRAMA PRINCIPAL

A - Cálculos de las subestructuras, eliminación hacia adelante

A-1 Entrada e impresión de datos de control de la estructura y subestructuras; reacomodo de las matrices.

a. Datos generales de la constitución de las subestructuras.

(1) Título: ANALISIS DE MARCOS CON NUDOS RIGIDOS  
POR EL METODO DE DIVISION EN SUB-ESTRUCTURAS

A-1

(2)

SN, NSU, NLS

(3)

SN < 1

CALL EXIT

(4)

CNJ = 0, CNM = 0, NCA = 0



(5) Subtítulo: MARCO NO. (SN) DIVIDIDO EN (NSU) SUBESTRUCTURAS CON (NLS) TIPOS DE CARGAMENTO

(6)  $SUBN = 0$

A-1A

(7)  $SUBN = SUBN + 1$

$NCA = NCA + 1$

(8) Subtítulo: DATOS PARA LA SUBESTRUCTURA (SUBN)

M, NJ, NR, NRJ, MIS, MCL, E

$N = 3NJ - NR$

M, N, NJ, NR, NRJ, MIS, MCL, E

b. Coordenadas de los nudos

(1)  $NN(J), X(J), Y(J), I = NCA, 1, NJ$

$CNJ + NJ - NN(NJ) \neq 0$

LECTURA ERRADA  
DE LOS DATOS-  
PARE

NN(J, X(J), Y(J), J = NCA, 1, NJ

c. Información sobre los miembros; cosenos directores

(1) (IM(J), JJ(J), JK(J), MI(J), MCR(J), AX(J),  
IZ(J), J = 1, 1, M)

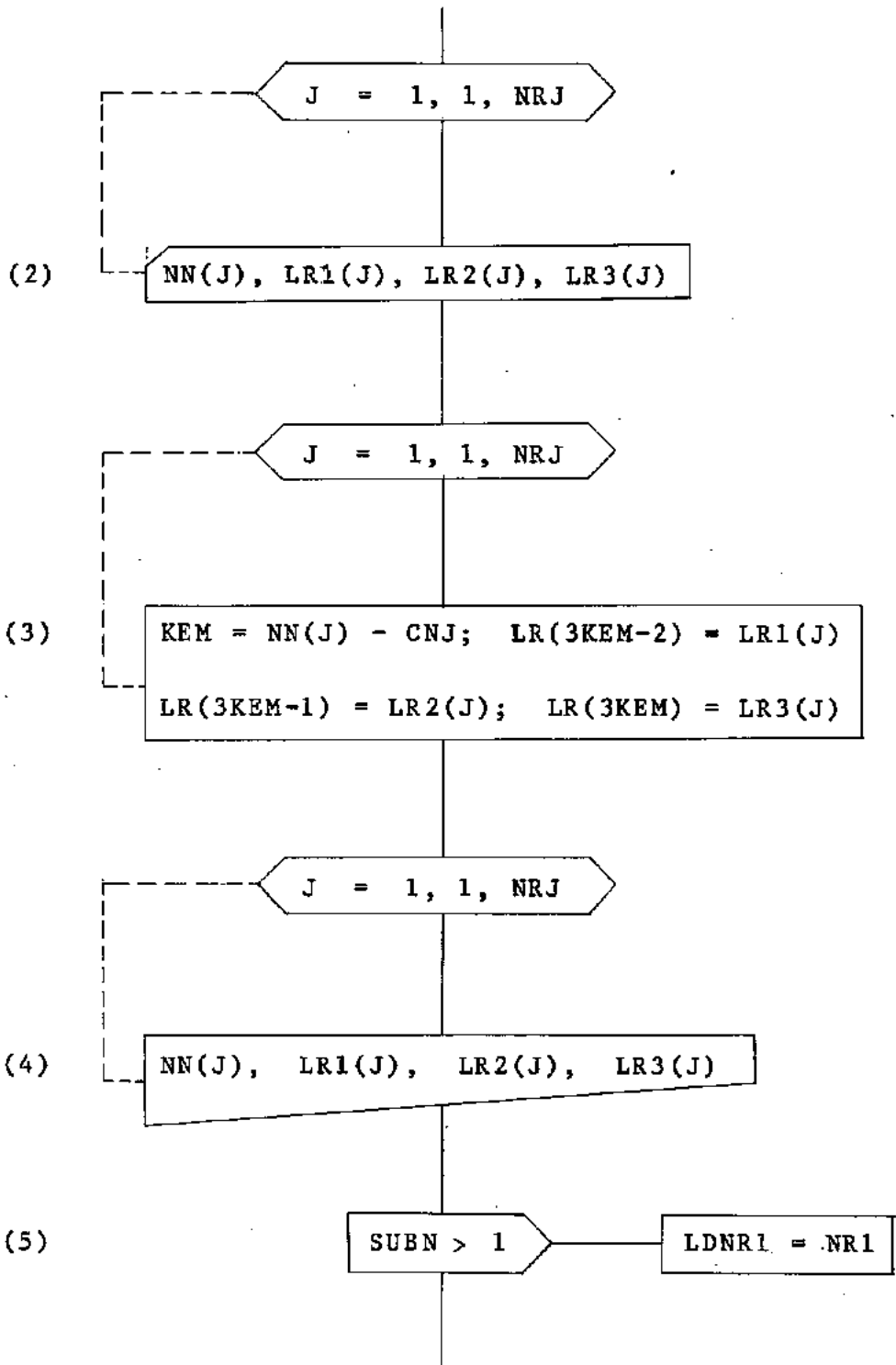
I = 1, 1, M

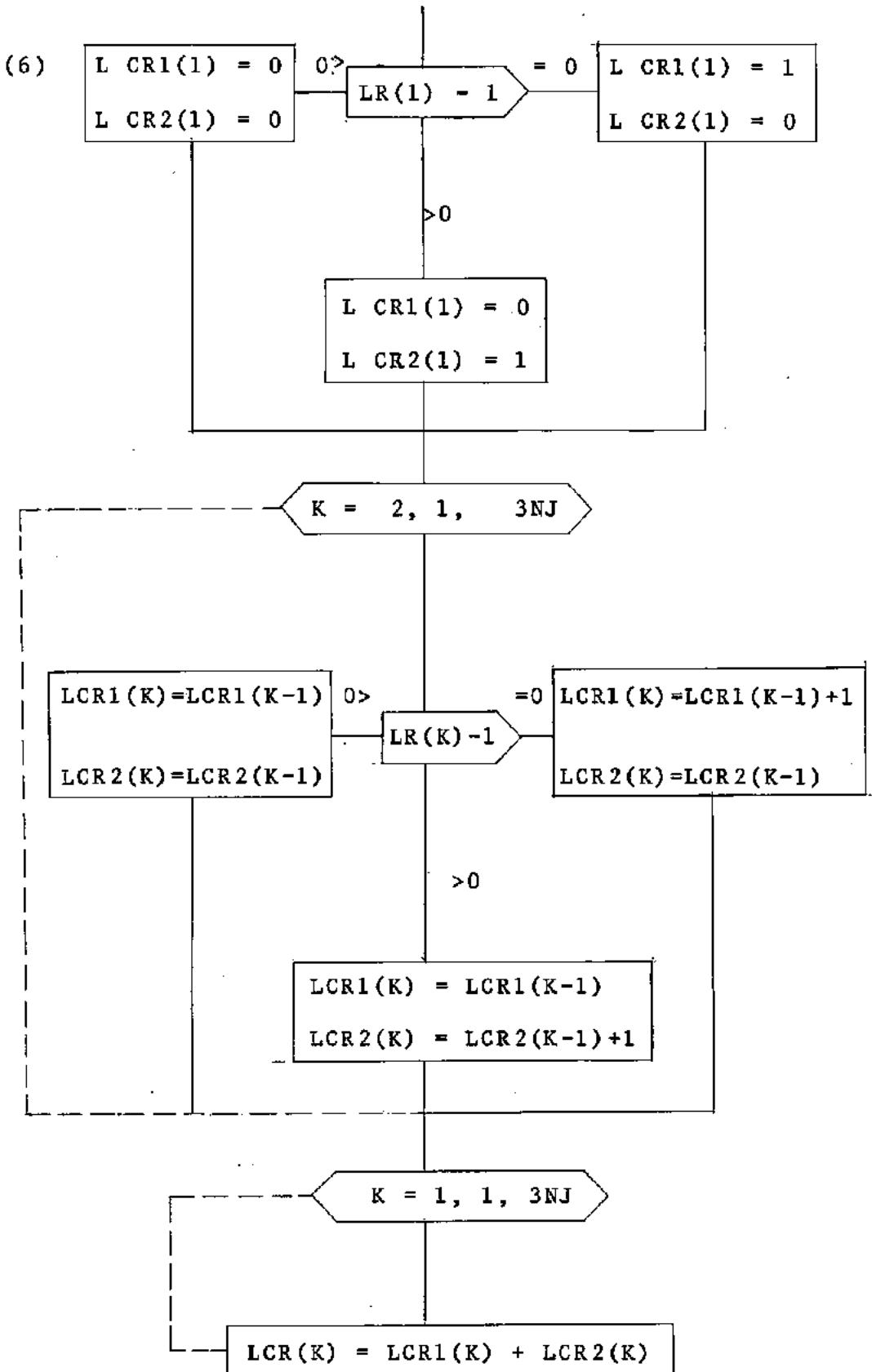
(2) J = JJ(I) - CNJ; K = JK(I) - CNJ  
XCL = X(K) - X(J); YCL = Y(K) - Y(J)  
L(I) = SQRT (XCL\*\*2 + YCL\*\*2)  
CX(I) = XCL/L(I); CY(I) = YCL/L(I)

(3) (IM(I), JJ(I), JK(I), MI(I), MCR(I),  
AX(I), IZ(I), L(I), I = 1, 1, M)

d. Restricciones en los nudos; lista acumulativa de las restricciones.

(1) Anular todos los valores de LR( )



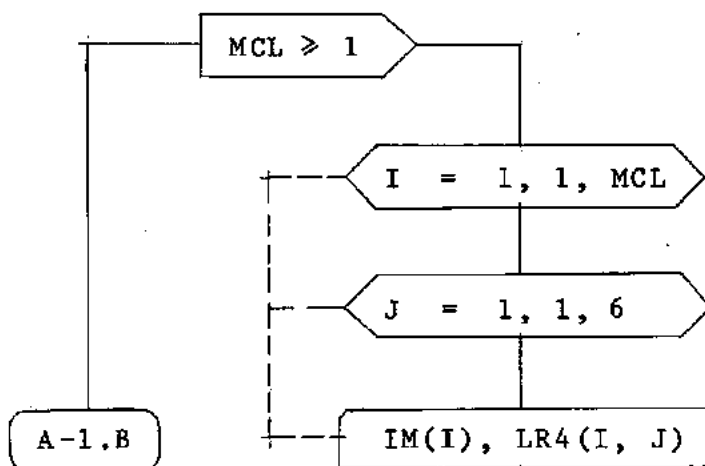


(7)

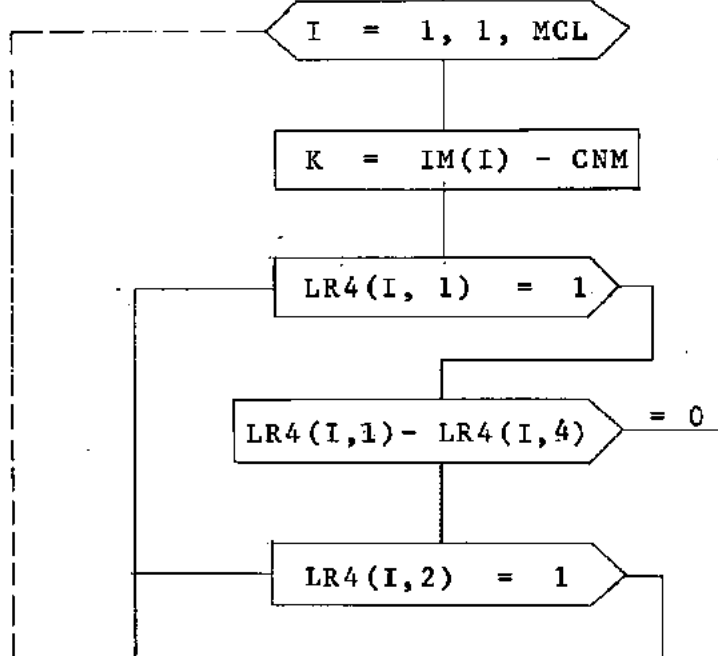
$$\text{NR1} = \text{LCR1}(3\text{NJ}); \text{NR2} = \text{NR} - \text{NR1}; \text{NNR1} = \text{NR1} + 1.$$

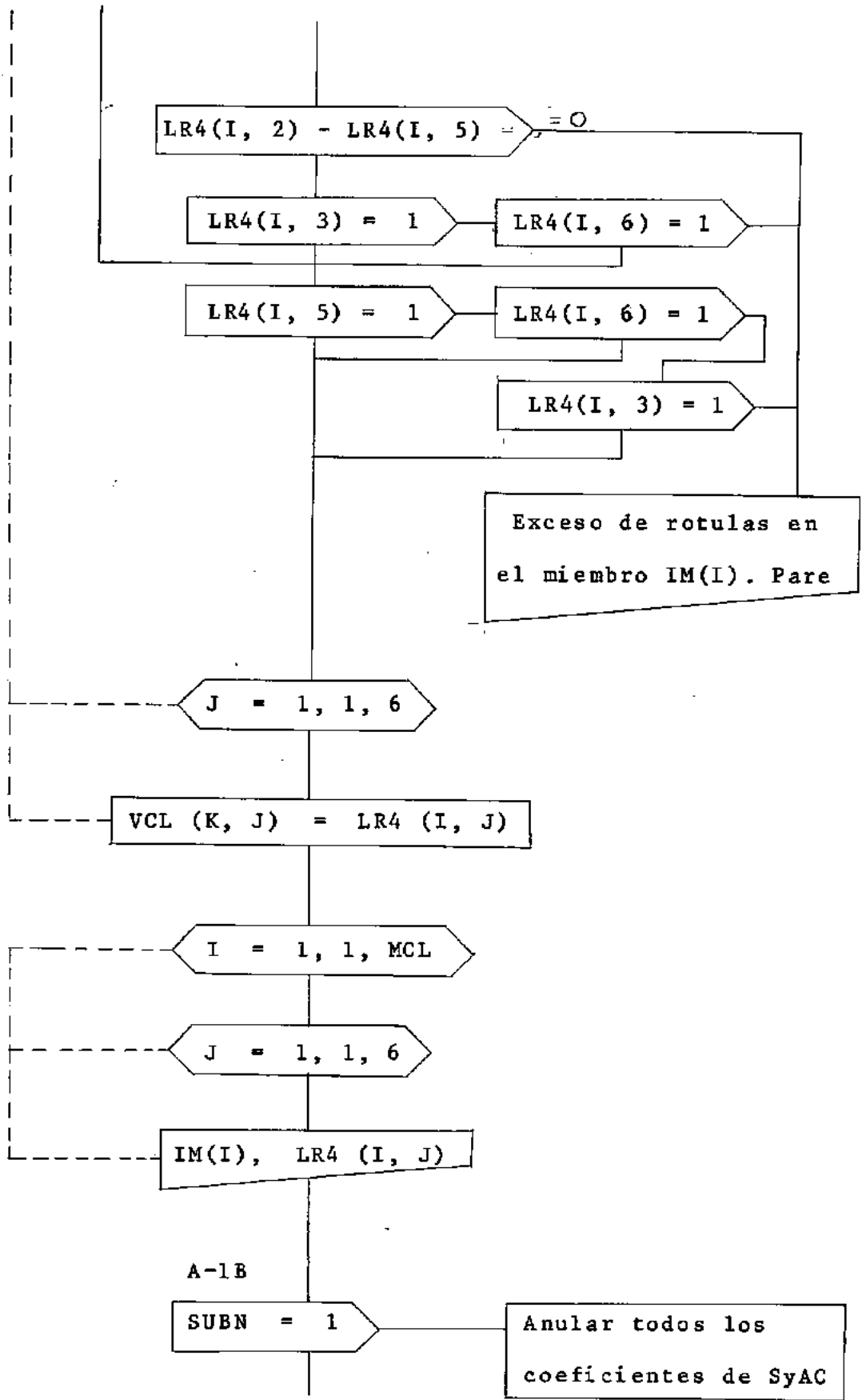
e. Rótulas en los miembros.

(1)



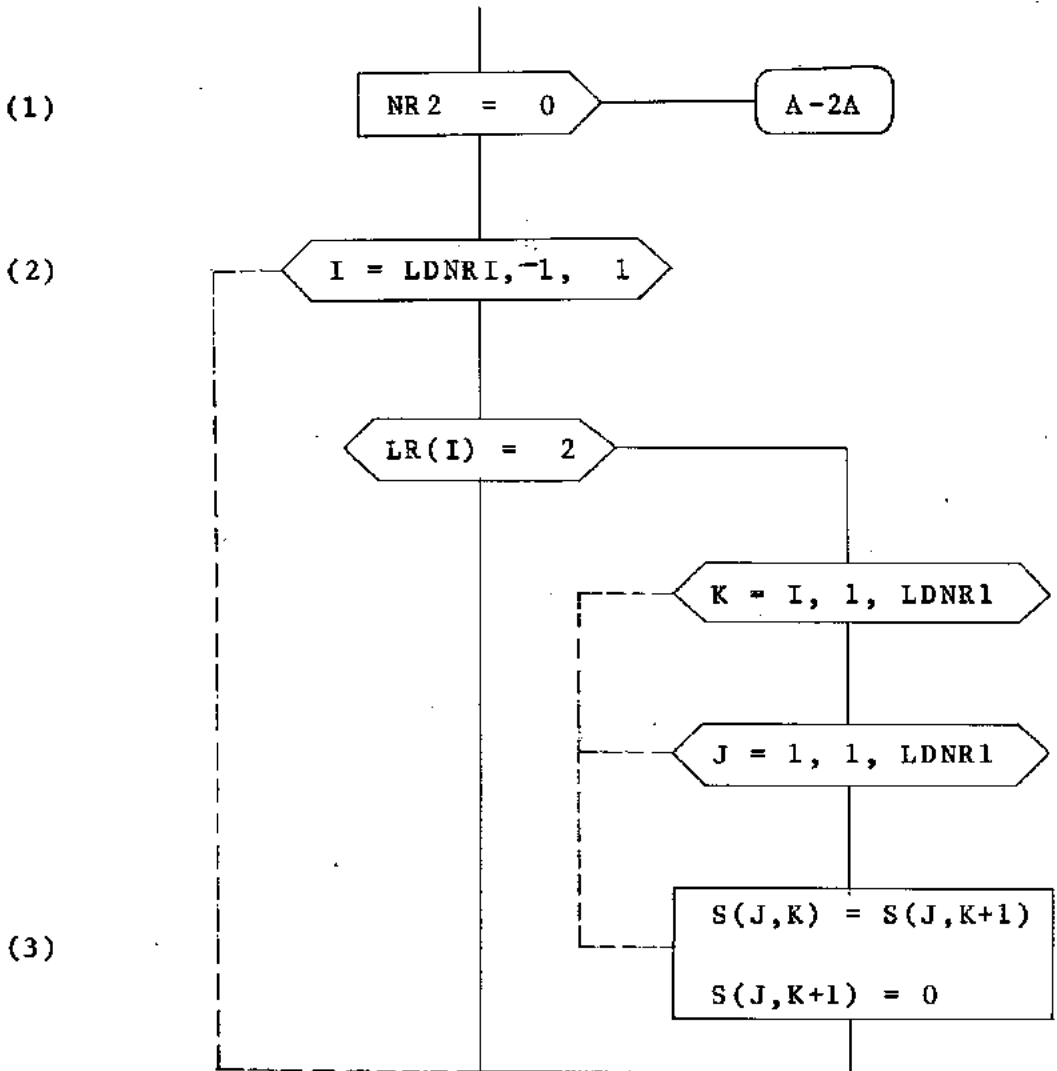
(2)

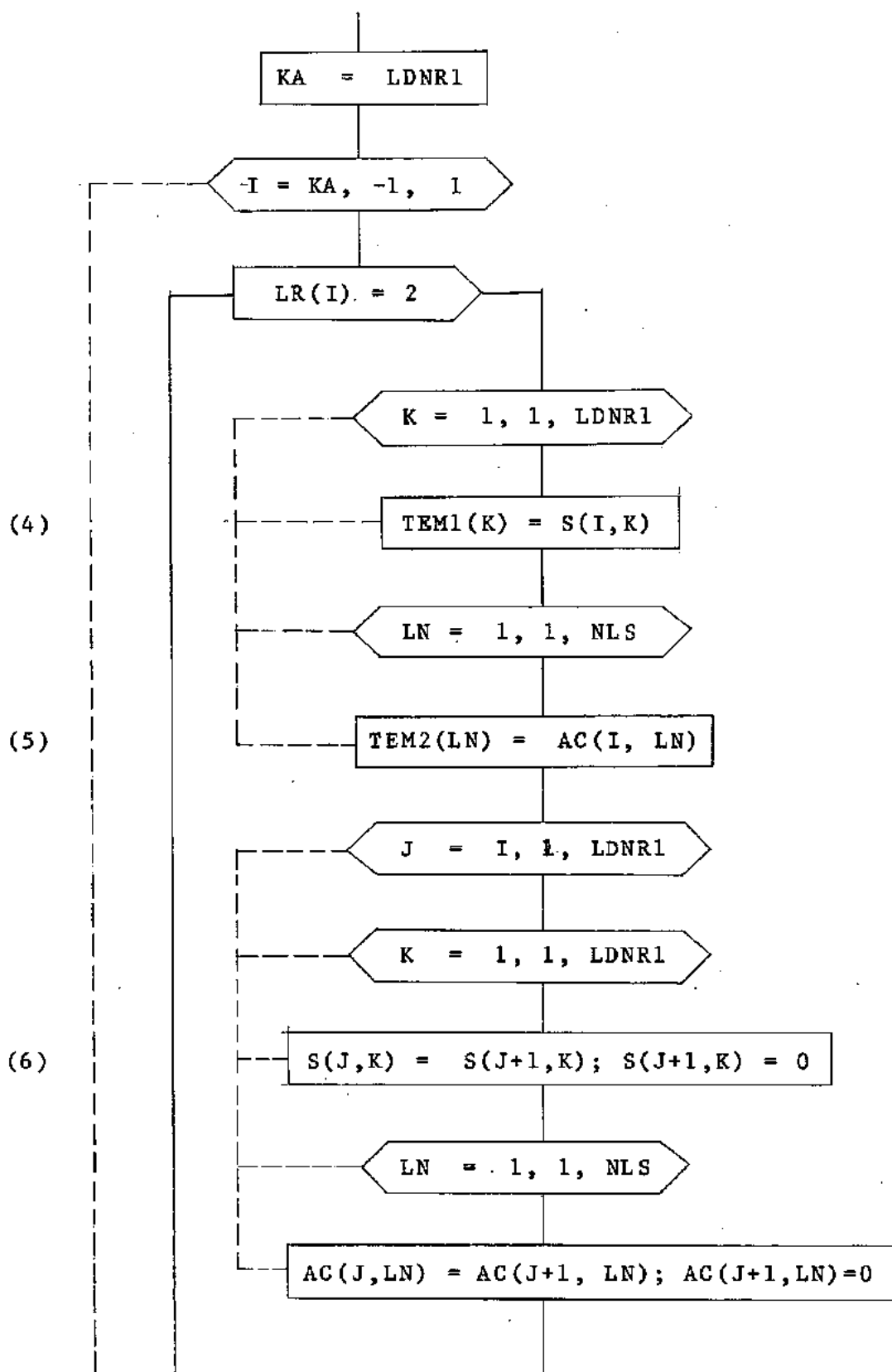




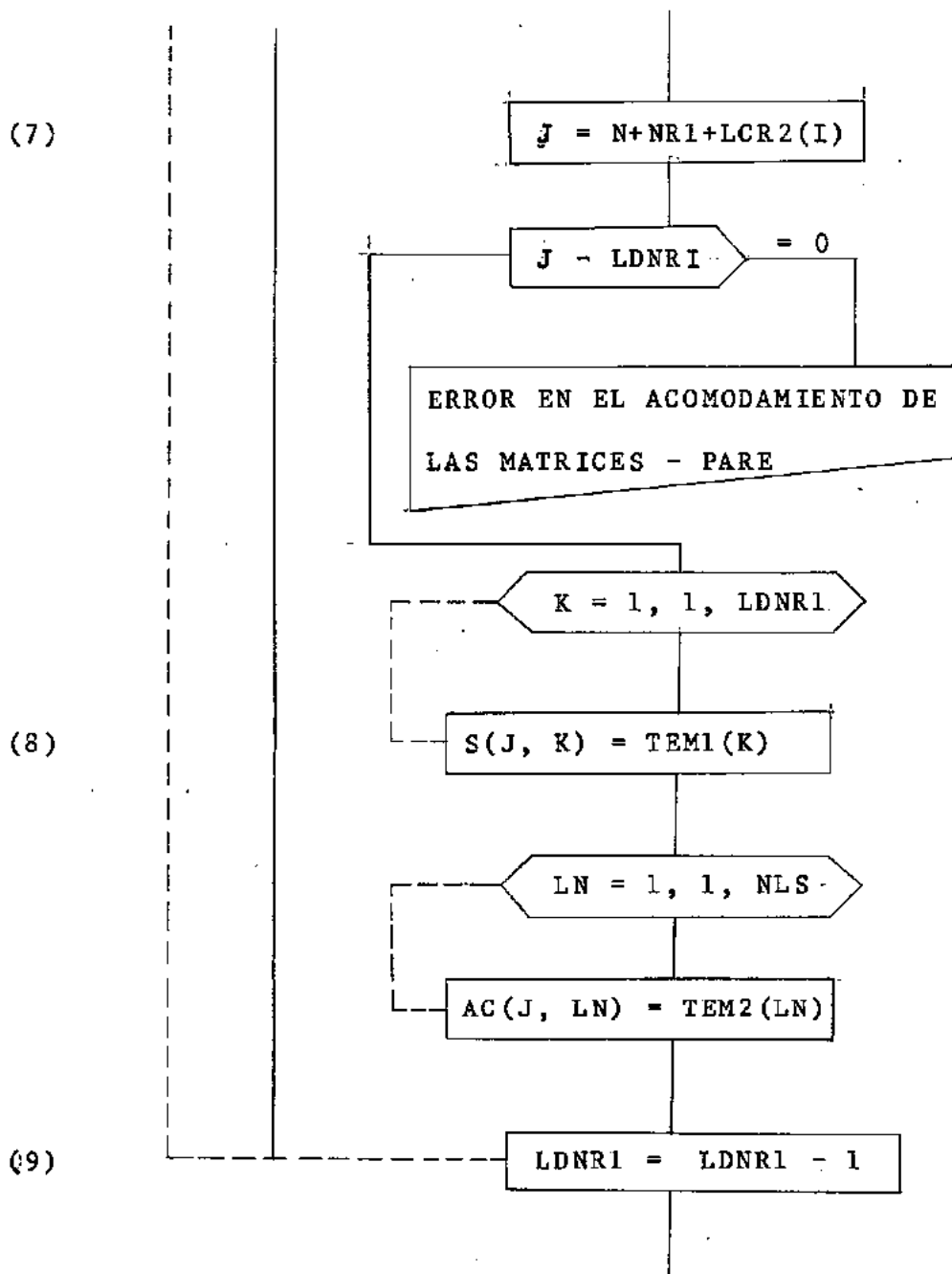
Anular los coeficientes de  $S_y$  AC, excepto los correspondientes a la influencia de la subestructura anterior

f. Reacomodo de las matrices residuales de carga y rigidez.







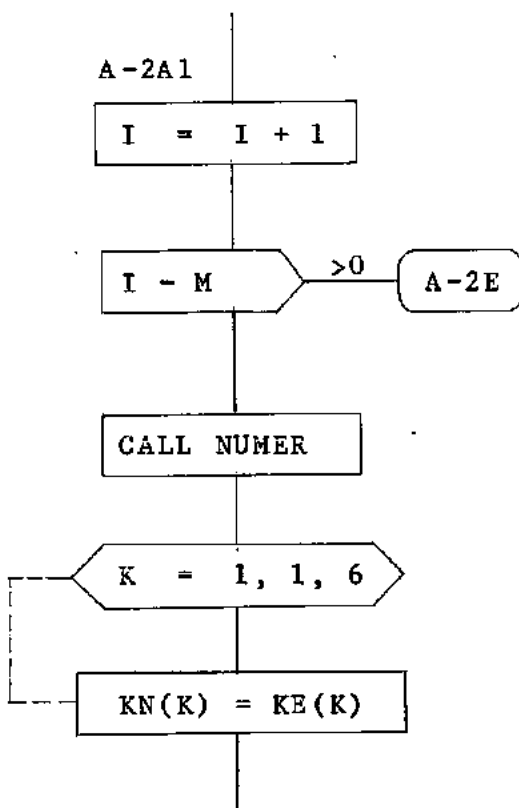


A-2 Matriz de rigidez de las subestructuras

a. Numeración de los desplazamientos

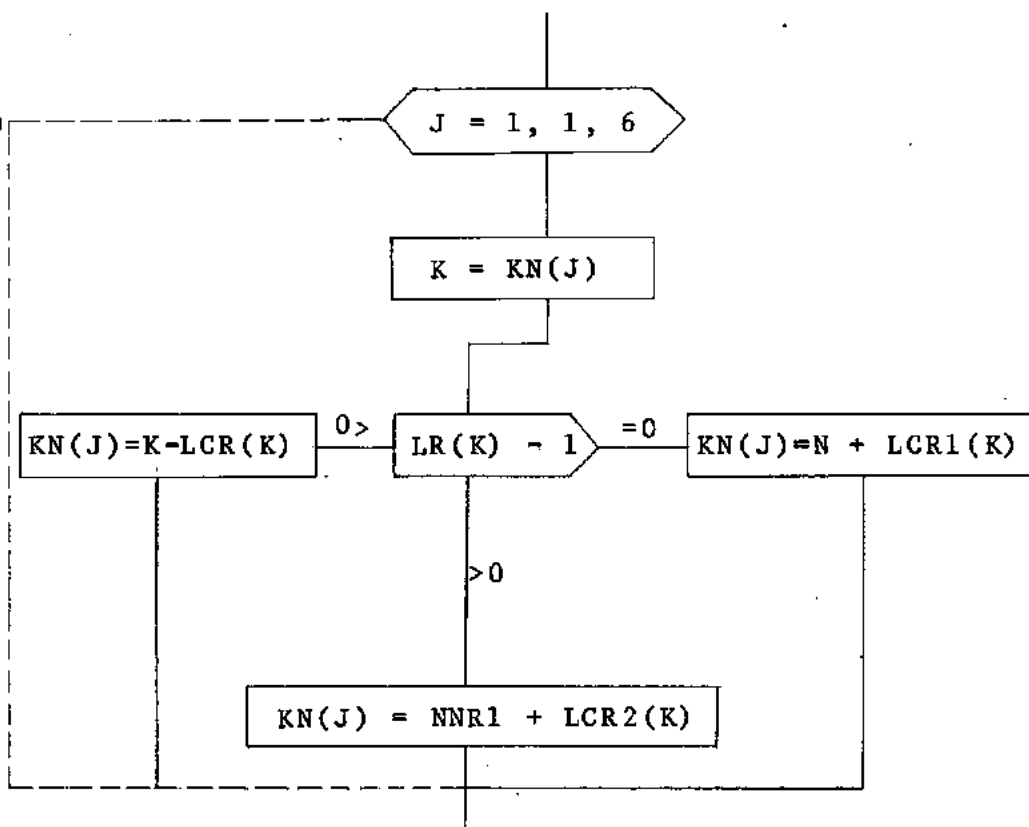


(2)



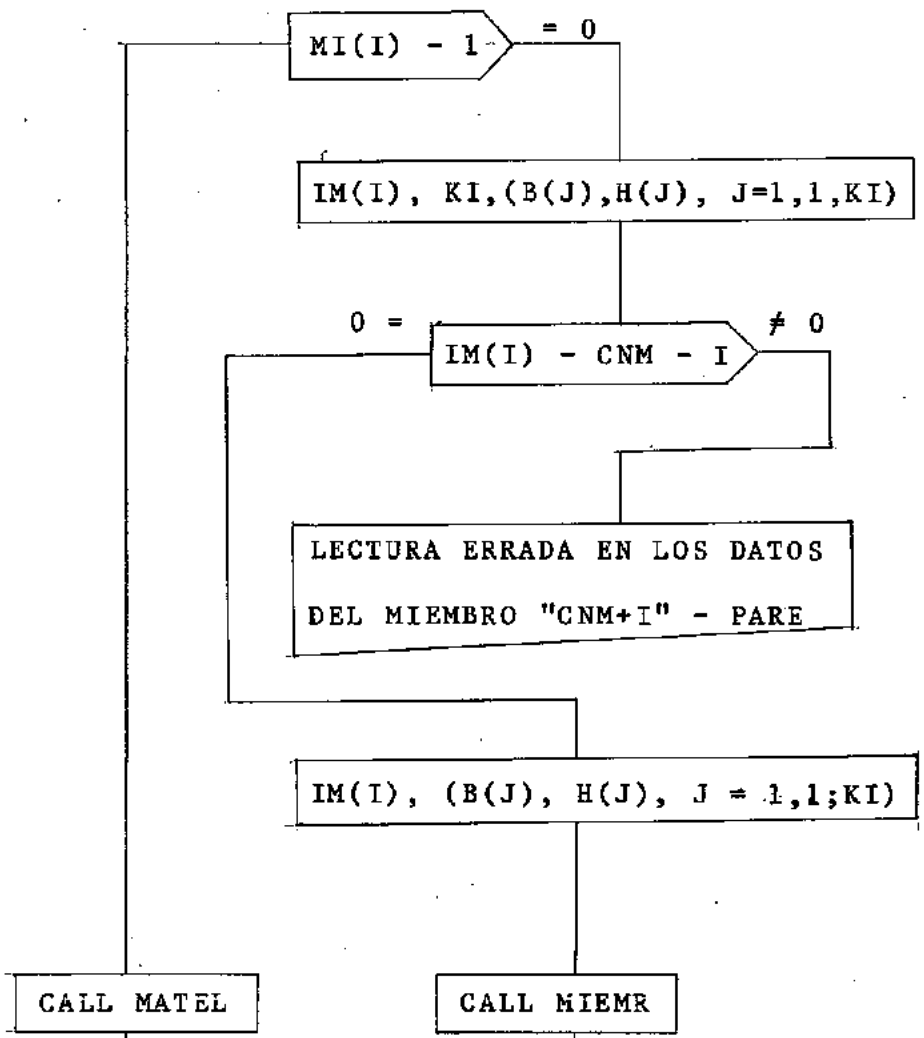
## b. Renumeración de los desplazamientos

(3)

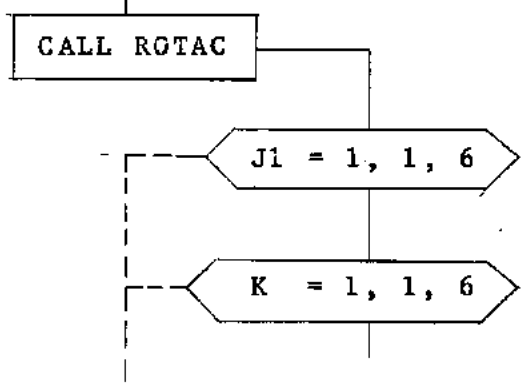


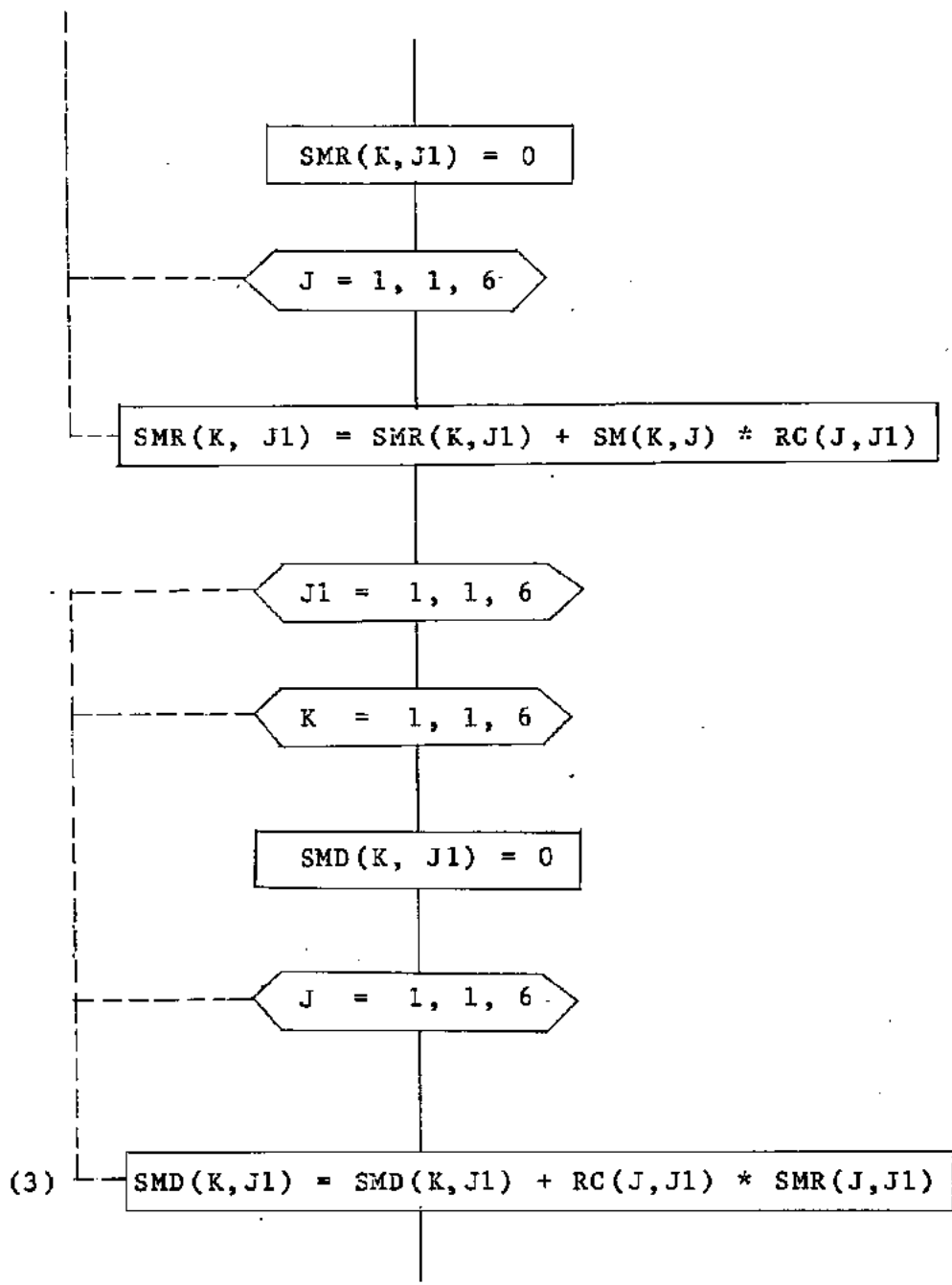
c. Matriz de rigidez de cada miembro: regular e irregular.

(1)

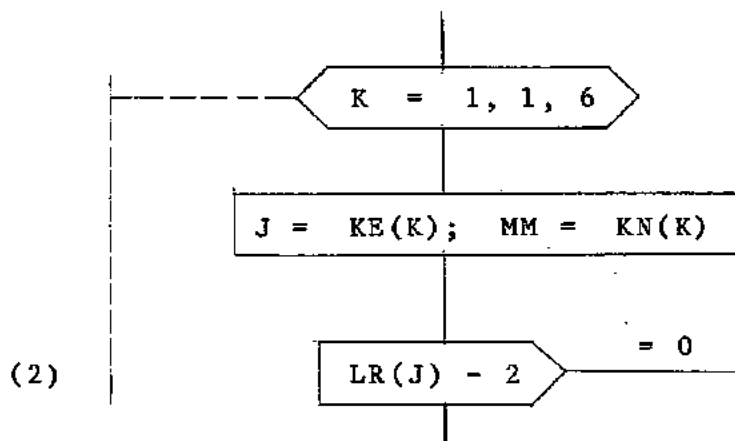


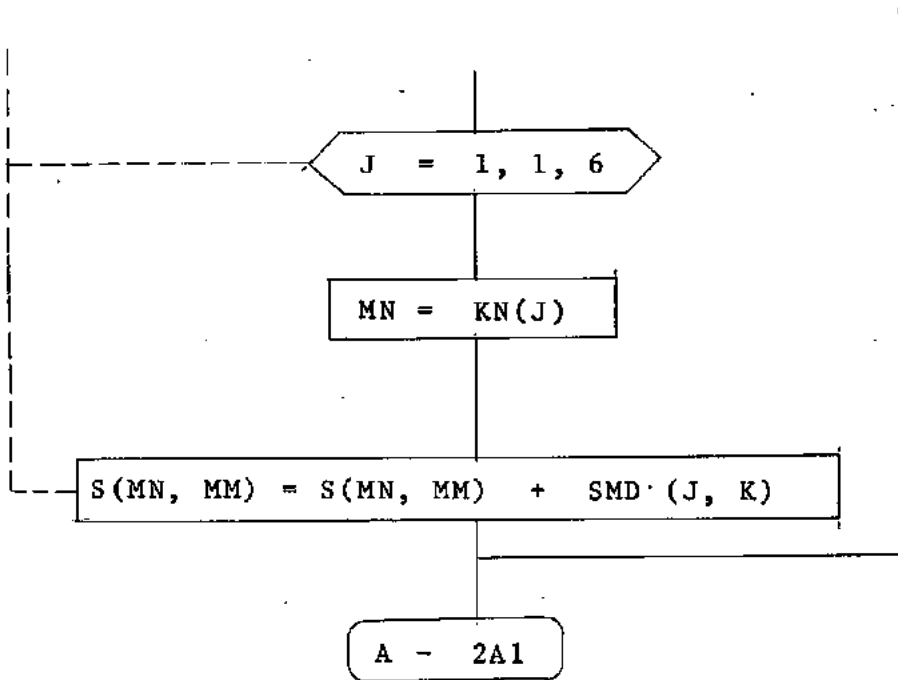
(2)



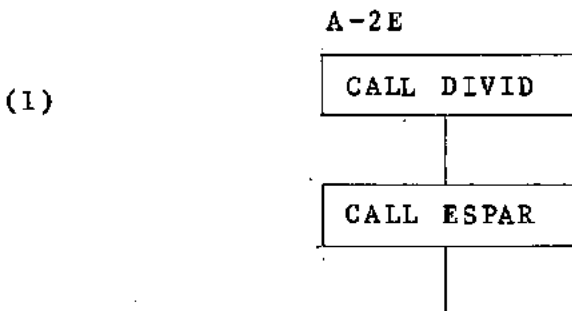


## d. Matriz de rigidez global

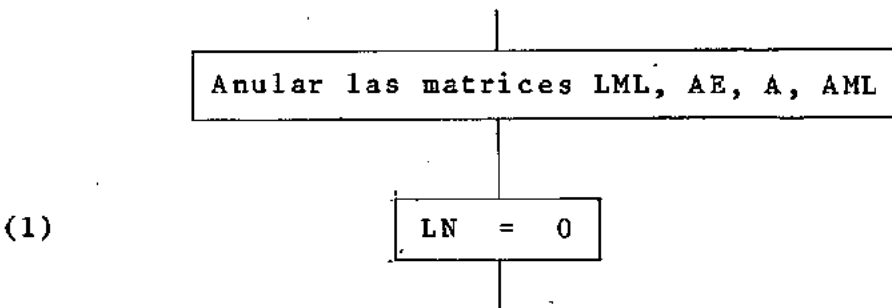




e. Inversión de la matriz de rigidez global

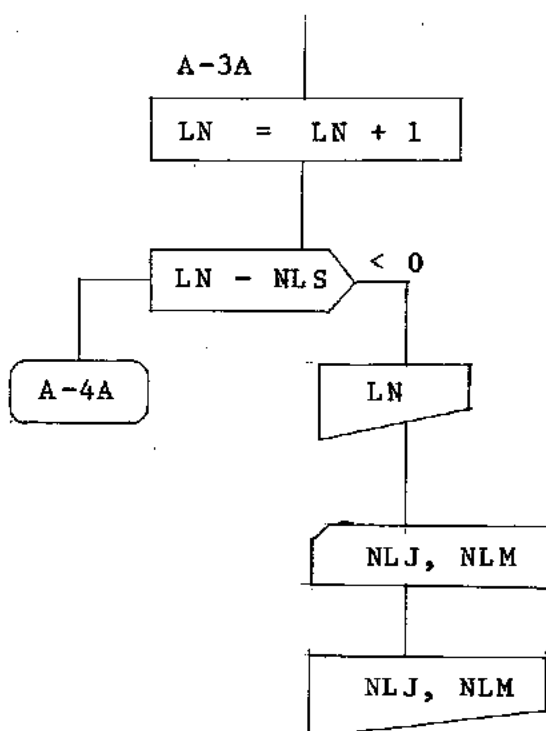


A-3 Entrada e impresión de los datos de los cargamentos



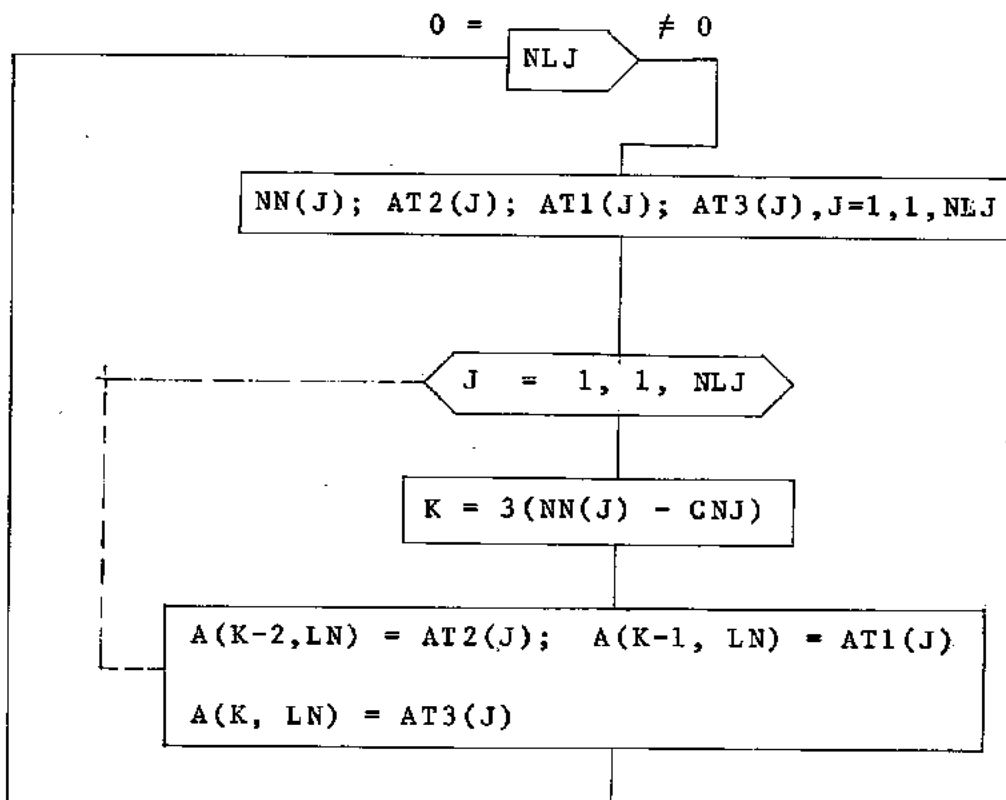
a. Número del cargamento, nudos y miembros cargados.

(2)



(3)

b. Acciones aplicadas en los nudos.

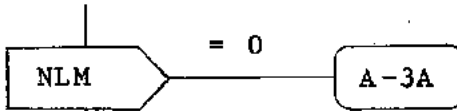


(1)

$$NN(J), AT2(J), AT1(J); AT3(J), J=1,1,NLJ$$

c. Acciones en los extremos de los miembros.

(1)



$$K = 6(LN-1) + 1$$

$$J = 1, 1, NLM$$

(2)

$$I, NCC, LOE$$

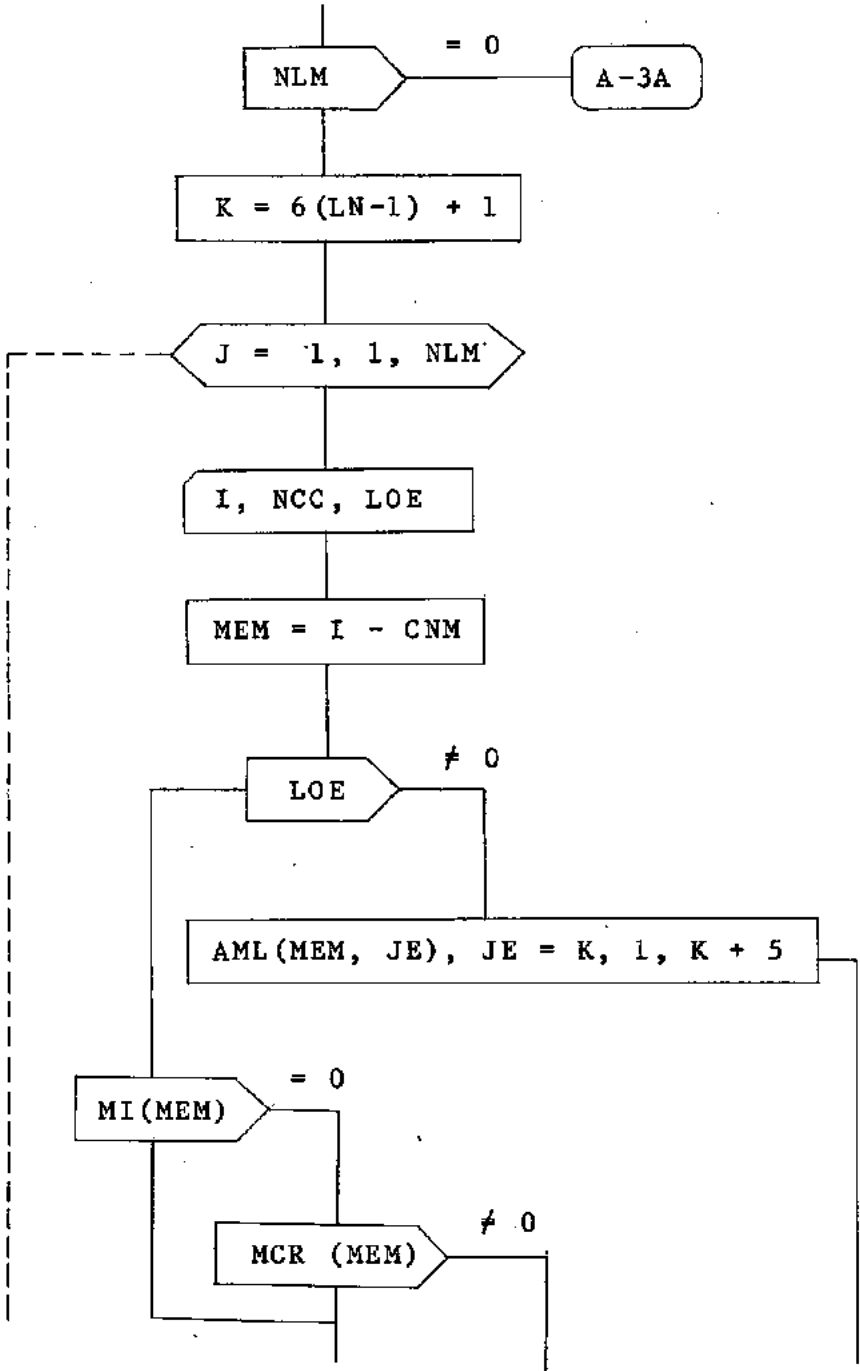
$$MEM = I - CNM$$

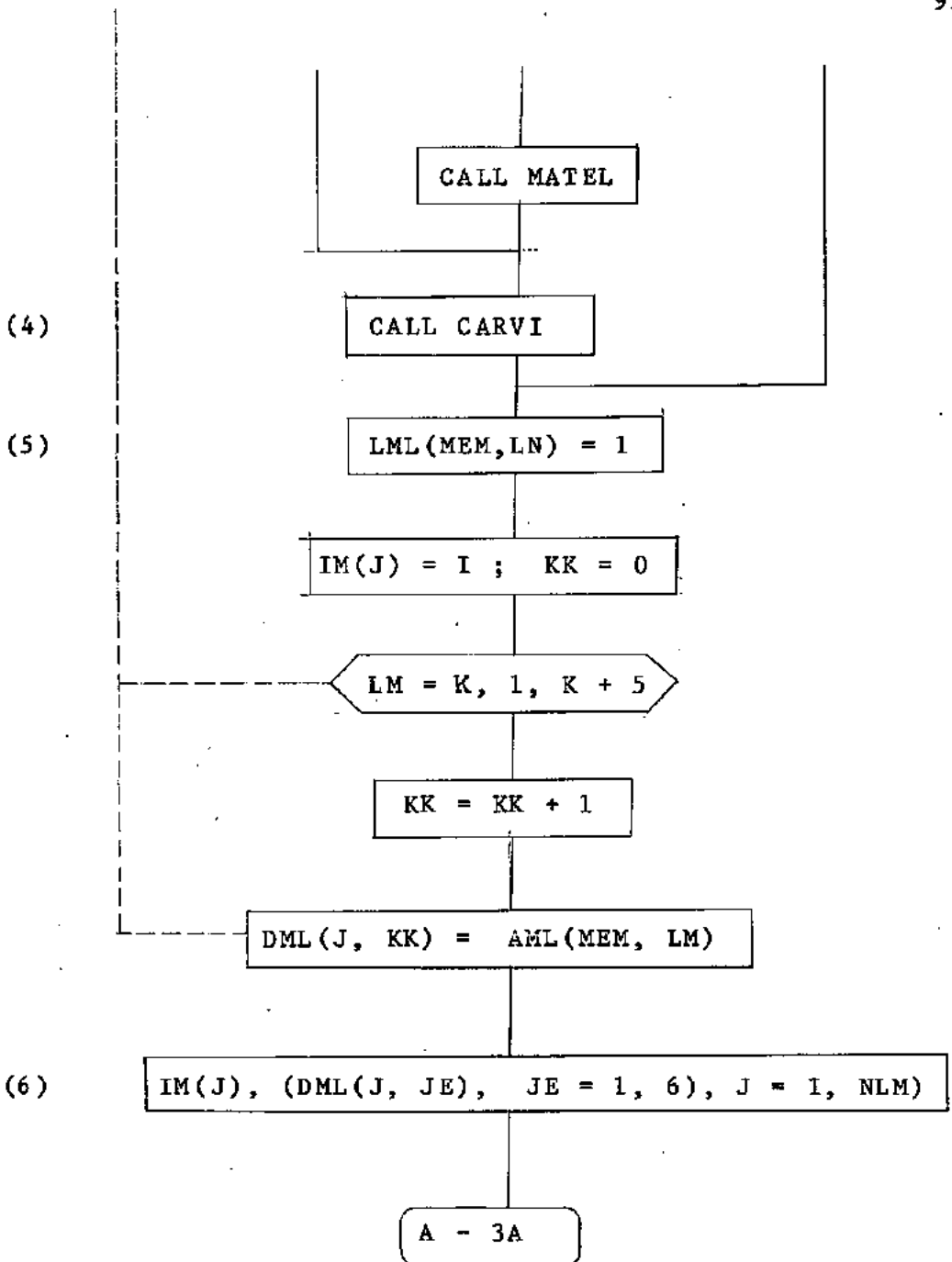
(3)

$$LOE \neq 0$$

$$AML(MEM, JE), JE = K, 1, K + 5$$

$$MI(MEM) = 0$$

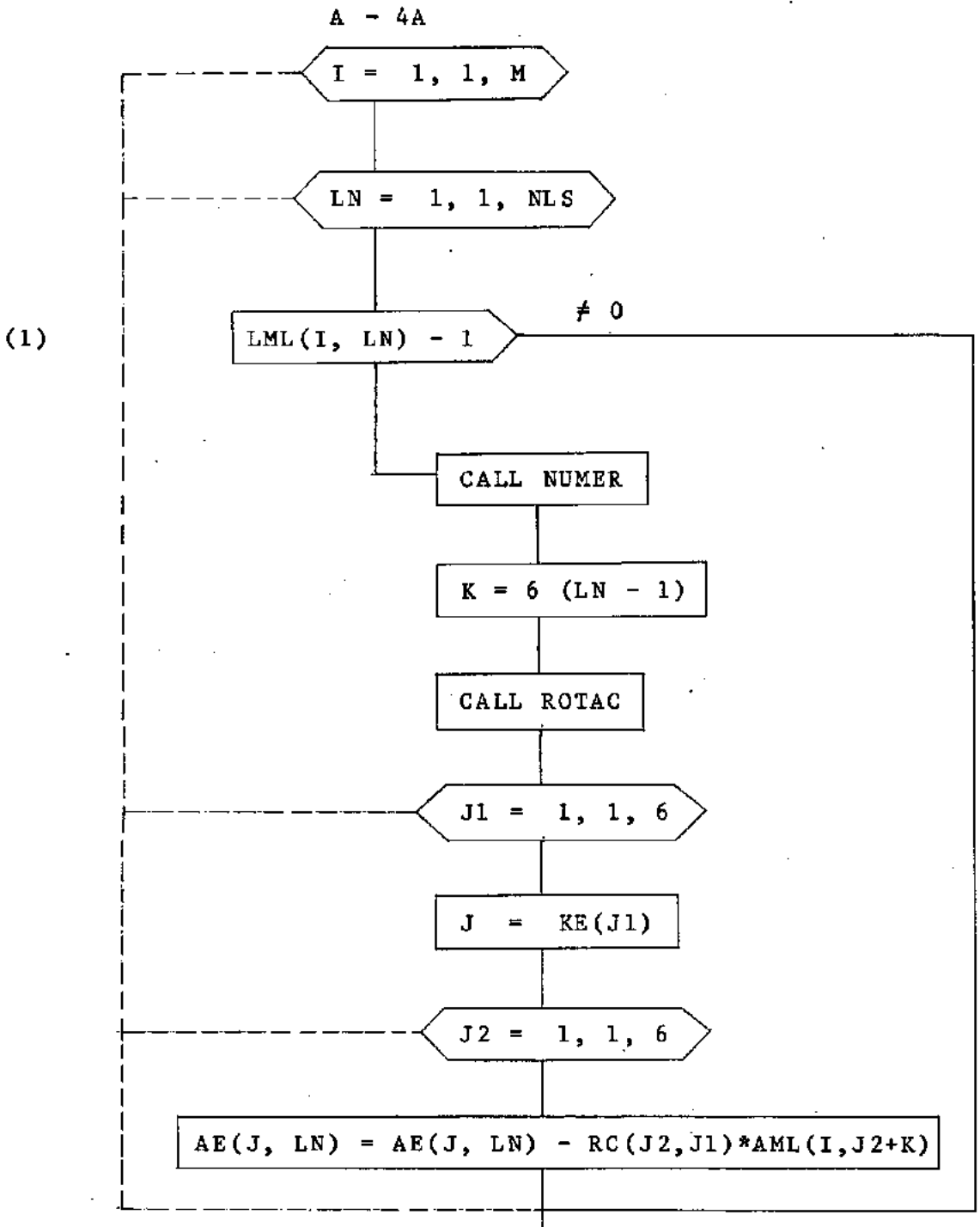
$$MCR(MEM) \neq 0$$




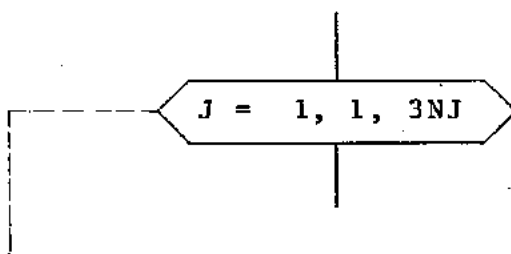
A-4 Construcción de las matrices asociadas con las cargas.

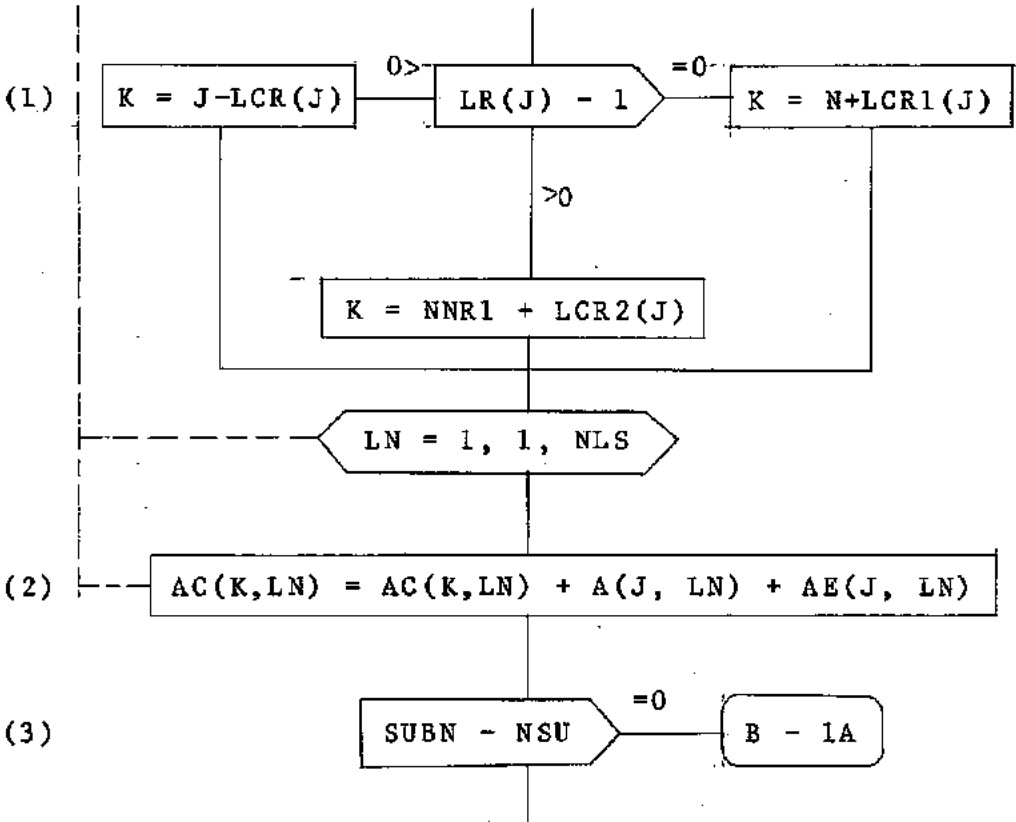
a. Cargas equivalentes en los nudos





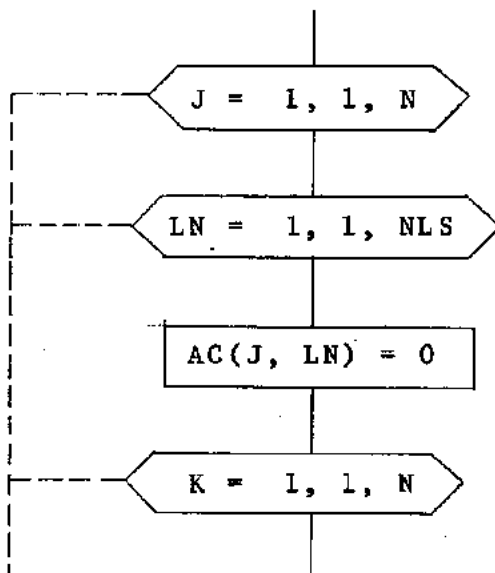
b. Cargas combinadas en los nudos

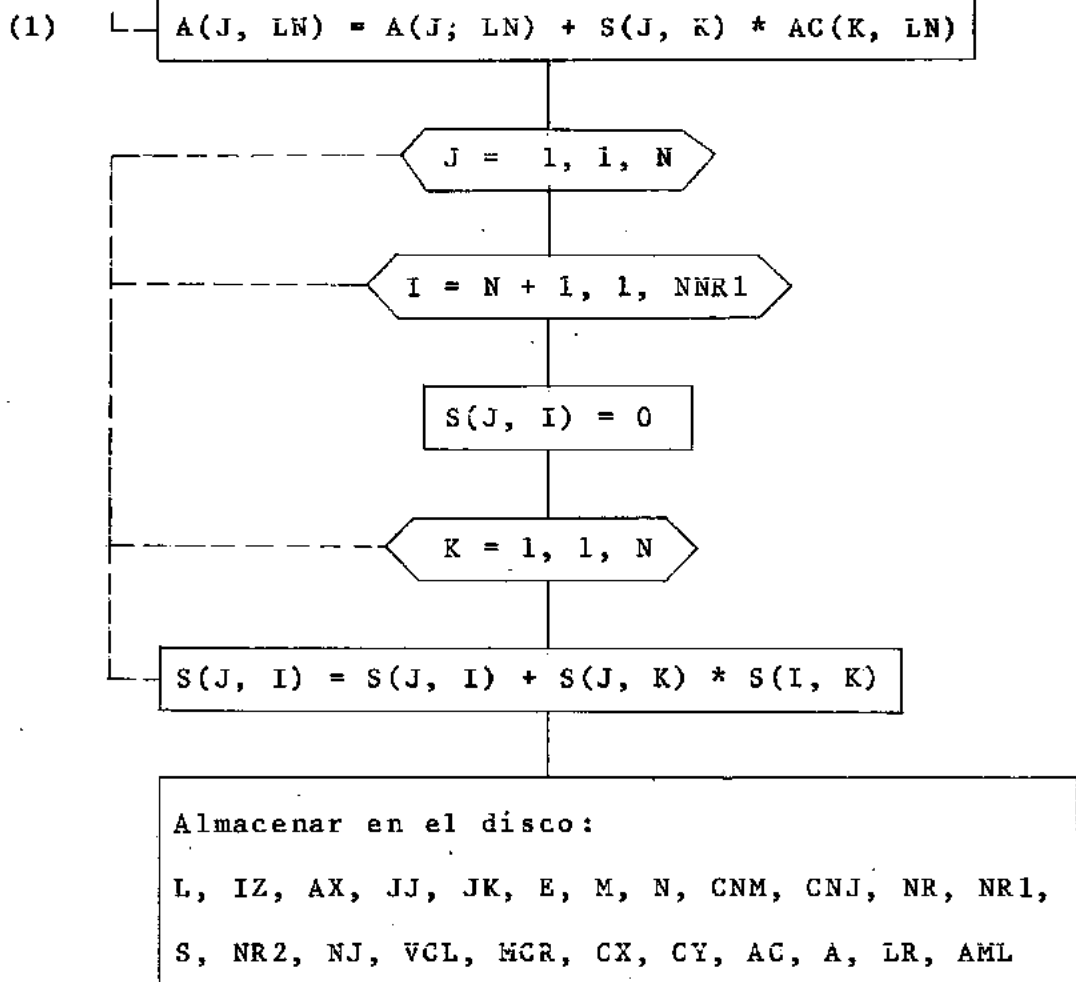




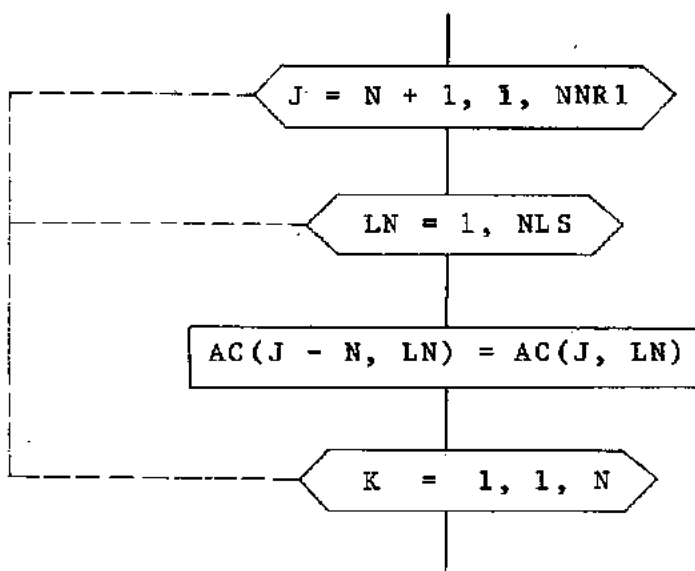
### A-5 Cálculo de las matrices condensadas

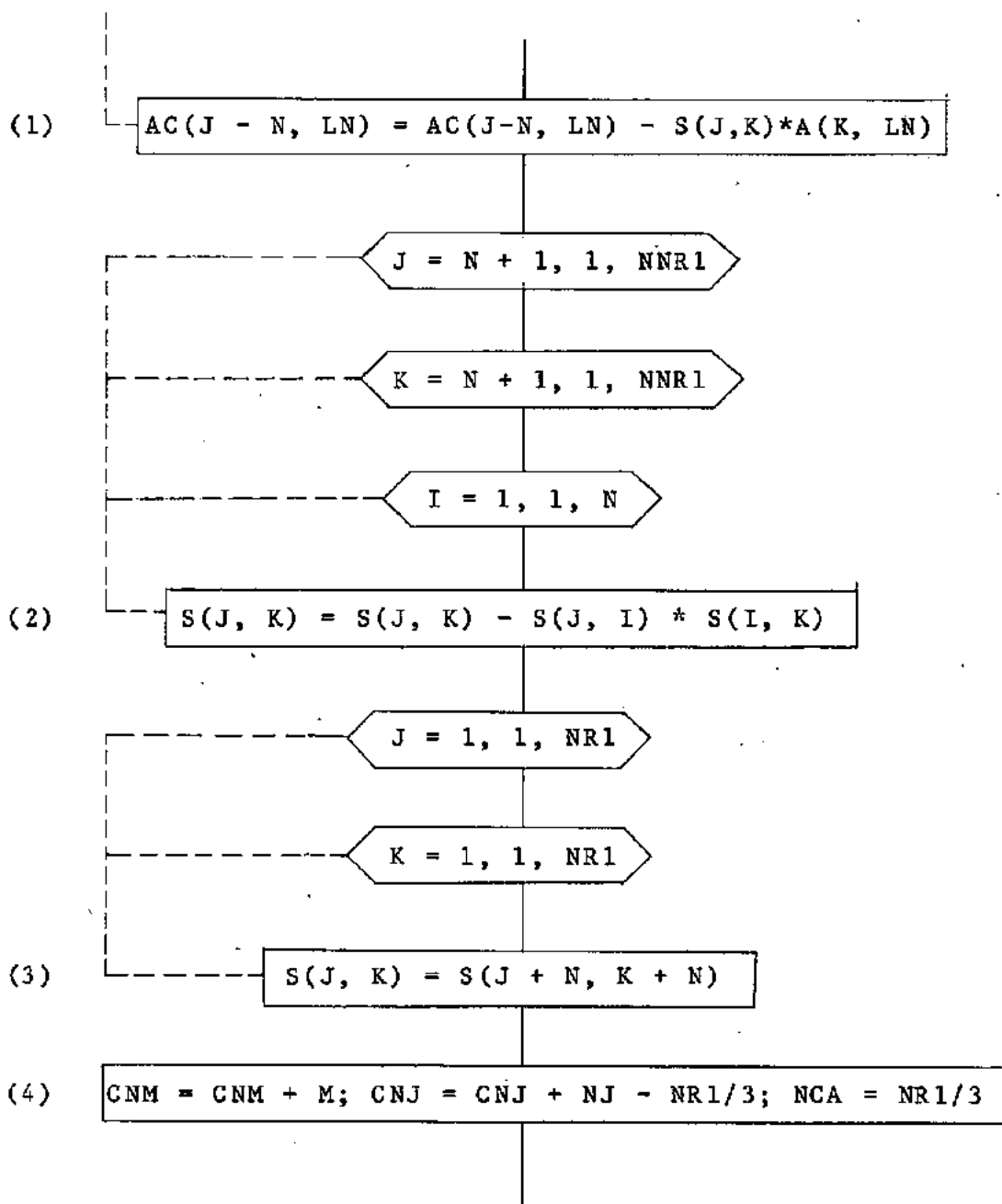
a. Matrices necesarias para la sustitución hacia atrás.



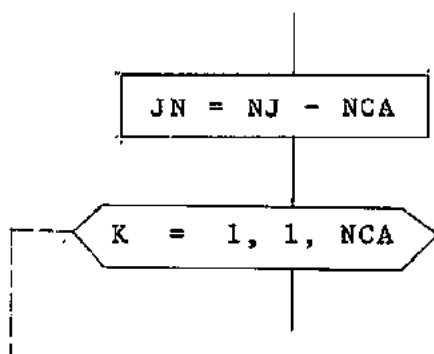


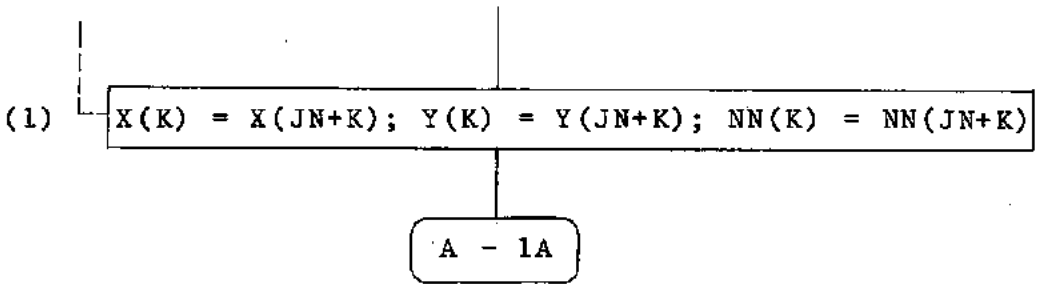
b. Matrices condensadas de carga y rigidez .





c. Reacomodo de las coordenadas de los nudos.

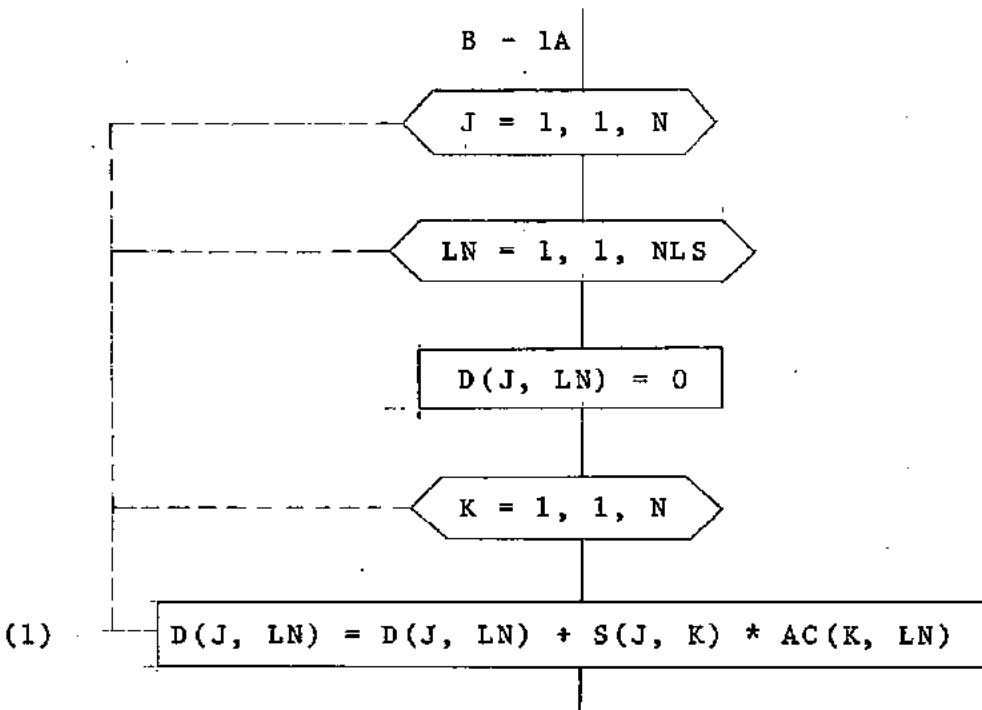




B - Cálculo de los resultados; sustitución hacia atrás.

B-1 Desplazamientos de los nudos

a. Última subestructura



b. Otras subestructuras

B- 1B

SUBN = SUBN - 1

Leer del disco:

L, IZ, AX, JJ, JK, E, M, N, CNM, CNJ, NR, NR1,  
S, NR2, NJ, VCL, MC, CX, CY, AC, A, LR, AML.

$NNR1 = N + NR1; NI = N + 1$

$JEE = 1, 1, N$

$JEM = NNR1 - JEE + 1$

$J = JEM, 1, NI$

$LN = 1, 1, NLS$

(1)  $D(J, LN) = DJ(J-N, LN)$

$J = 1, 1, N$

$LN = 1, 1, NLS$

$D(J, LN) = A(J, LN)$

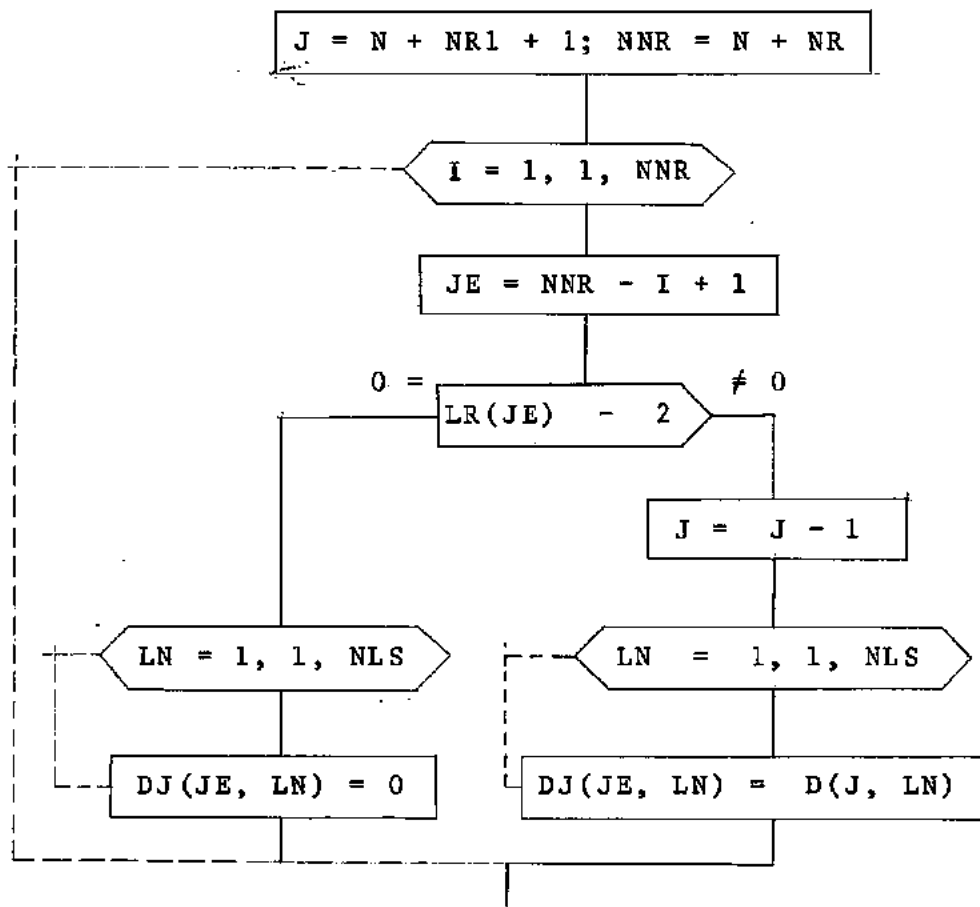
$K = NI, 1, NNR1$

(2)  $D(J, LN) = D(J, LN) - S(J, K) * D(K, LN)$

B - 1C

c. Expansión matriz de los desplazamientos

B - 1 C

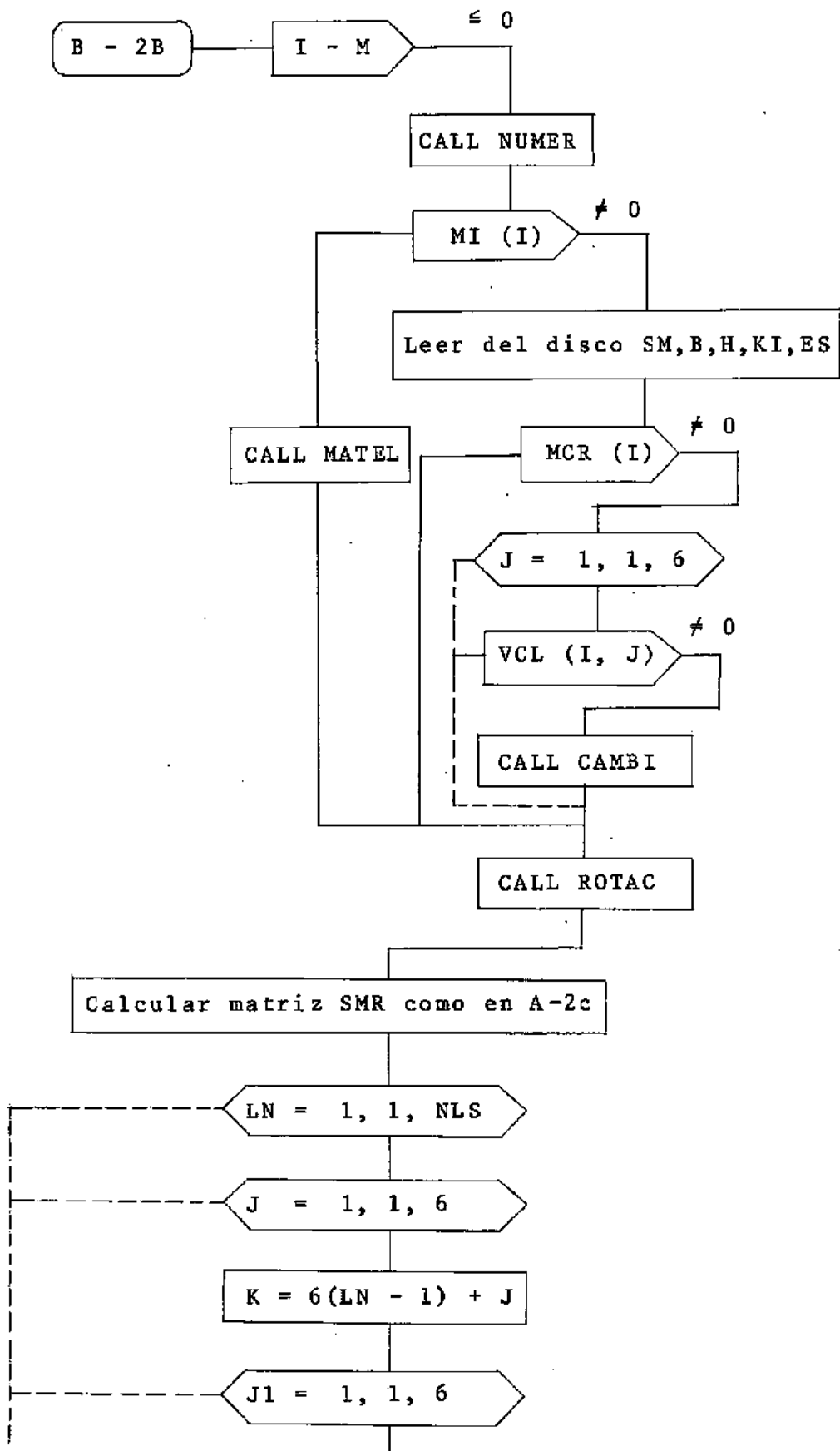


B.2.a Acciones en los extremos de los miembros para cada subestructura.

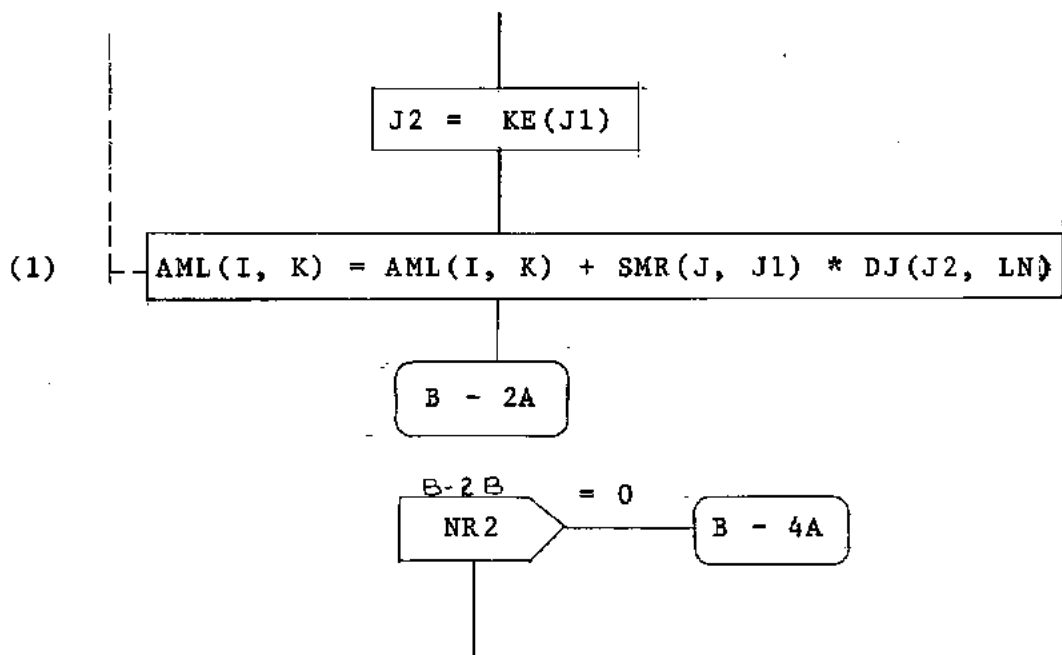
I = 0

B - 2A

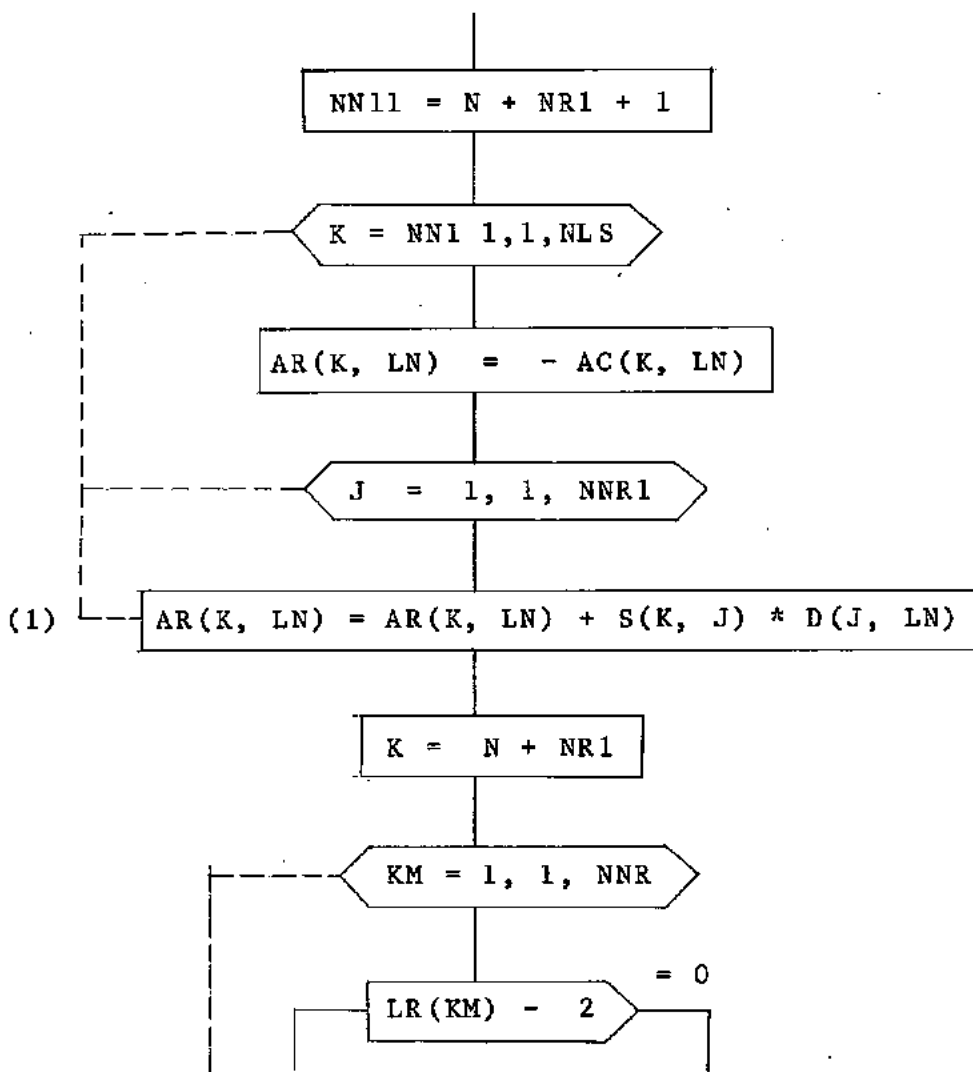
I = I + 1

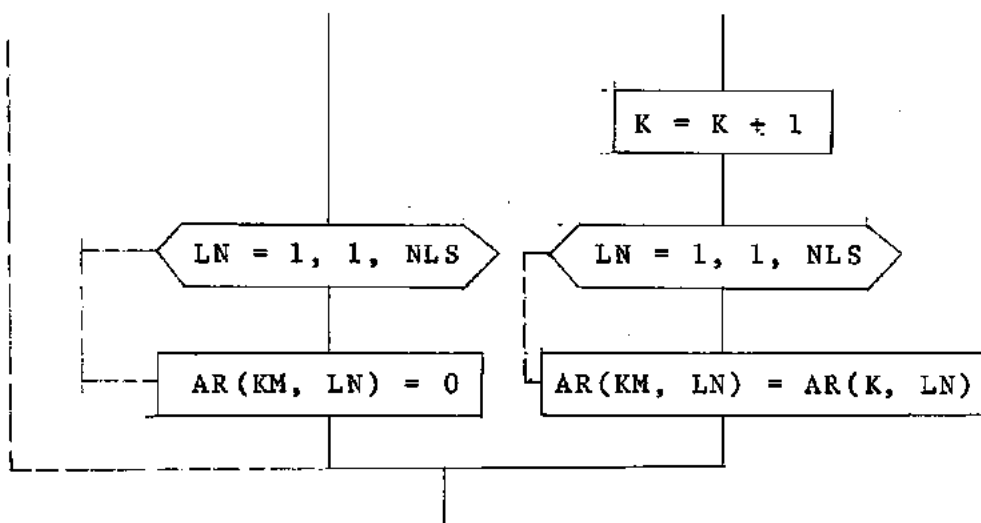






### B.3.a Reacciones de soporte

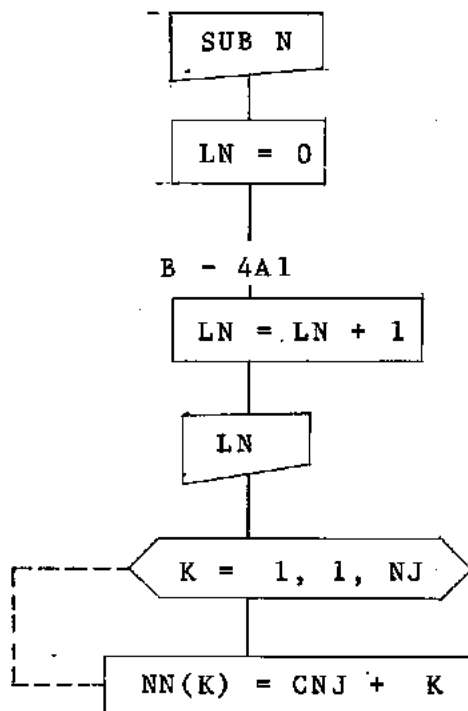




#### B-4 Impresión de los resultados

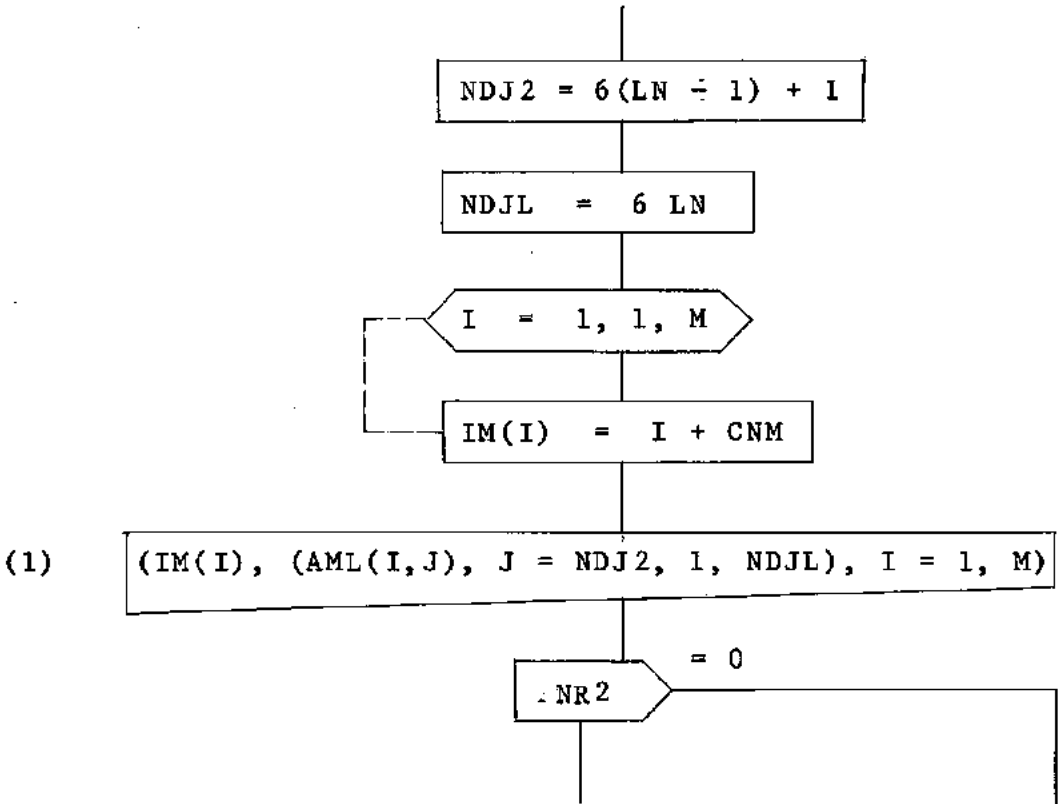
##### a. Desplazamientos de los nudos

B - 4A

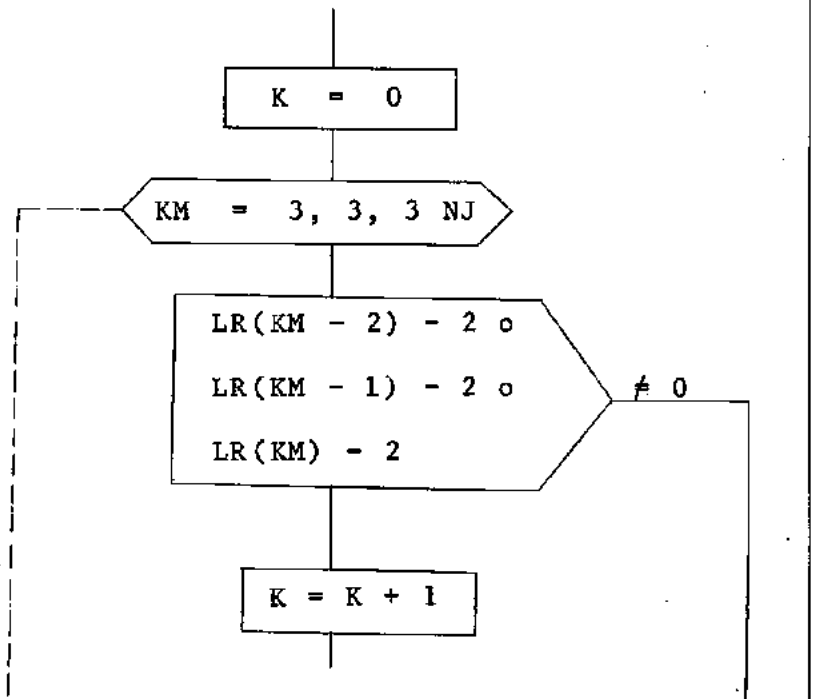


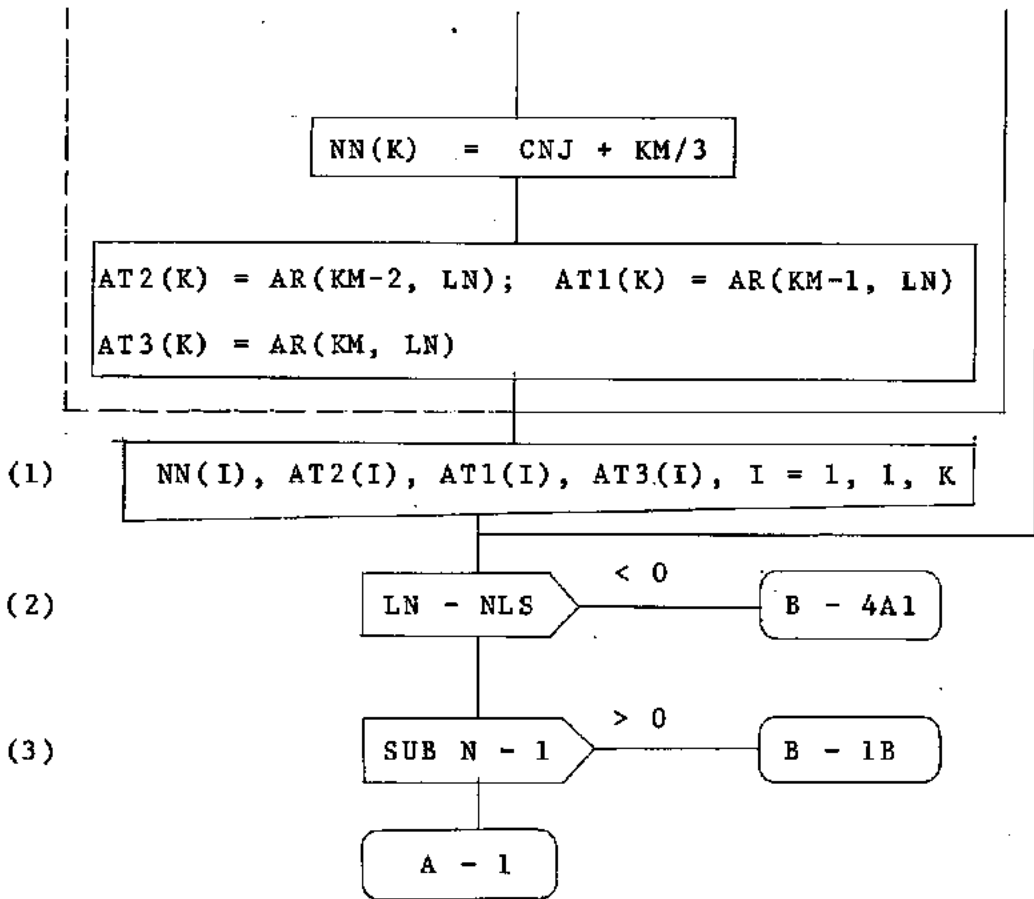
(1)  $(NN(I), DJ(3I-2, LN), DJ(3I-1, LN), DJ(3I, LN), I=1, 1, NJ)$

## b. Acciones en los extremos de los miembros



## c. Reacciones de soporte





4.3.4.1 - ACLARACIONES SOBRE EL DIAGRAMA DE BLOQUES-PROGRAMA PRINCIPAL

Item N°

Aclaración

- A-1.a.(1) Se imprime un título apropiado del programa.
- (2) Se leen los datos de la estructura, denominándose este nivel con A-1, pues se deberá retornar a él cuando se analice otra estructura.
- (3) Si SN tiene valor cero, el programa termina, de no ser así se procede a analizar una nueva estructura.

- (4) Se anulan los valores indicados para el nuevo análisis.
  - (5) Se escribe el número de la estructura analizada así como el número de subestructuras y el número de cargamentos.
  - (6) La subestructura SUBN es inicialmente anulada, para proceder a analizar la estructura.
  - (7) El valor SUBN es aumentado en 1 cada vez que el control es transferido al nivel A-1A.
  - (8) Se leen e imprimen los datos generales de la subestructura SUBN.
- b.(1) Se leen y escriben las coordenadas de los nudos; verificándose al mismo tiempo si los datos fueron bien leídos.
- c.(1) Se leen todas las informaciones de los miembros.
- (2) Se calculan los cosenos directores de los miembros, así como sus longitudes.
  - (3) Se escriben todas las informaciones de los miembros.
- d.(1) Se anulan todos los valores de las restricciones.

- (2) Se usan variables auxiliares para la lectura de las restricciones.
  - (3) Las restricciones leídas anteriormente se trasladan adecuadamente a sus valores verdaderos.
  - (4) Se escriben los valores de las restricciones.
  - (5) Si SUBN es mayor de 1 el total de las restricciones, de los nudos de intersección con la subestructura anterior se colocan en LDNR1.
  - (6) Se construye la lista acumulativa de las restricciones de los tres diferentes tipos de nudos.
  - (7) Se calculan las restricciones totales de cada uno de los tipos de los nudos.
- e.(1) Si MCL es distinto de cero, se procede a leer las rótulas de los miembros.
- (2) Se efectúan las comprobaciones correspondientes, para evitar que algún miembro presente exceso de rótulas.
  - (3) Se escriben las rótulas de los miembros.
- f.(1) Si en la presente subestructura no hay nudos de soporte, el control es transferido a A-2A; en el caso de existir, debe procederse como se

indica a continuación.

- (2) Con un control que disminuya el índice  $I$ , se investiga si la restricción del nudo de soporte, corresponde a la restricción de un nudo de intersección con la subestructura anterior, en cuyo caso se anula la correspondiente columna de la matriz residual de rigidez.
- (3) La columna  $I$  de la matriz  $[S]$  es anulada por trasladar hacia la izquierda cada una de las siguientes columnas, anulando al mismo tiempo las columnas que han sido trasladadas.
- (4) En un segundo grupo de interacciones la fila  $I$  de la matriz  $[S]$  es almacenada temporariamente en la matriz  $\{TEM1\}$ .
- (5) De la misma forma la fila  $I$  de la matriz  $[AC]$  es almacenada en la matriz  $\{TEM2\}$ .
- (6) El resto de las filas de las matrices  $[S]$  y  $[AC]$  son trasladadas hacia arriba, anulándose los valores de las filas trasladadas.
- (7) El índice  $J$  asume el valor de la restricción de nudo de soporte.
- (8) Las fila  $I$  de las matrices  $[S]$  y  $[AC]$  son trasladadas a la fila  $J$  de las mismas matrices.
- (9) El valor de  $LDNR1$  es disminuido por 1 cada vez

que se presente una restricción de los nudos de soporte.

- 2.a.(1) La variable  $I$  es inicialmente anulada, aumentando su valor por 1 cada vez que se analice un nuevo miembro; denominándose este último nivel con A-2A1
- (2) La subrutina NUMER, numera los desplazamientos de los nudos del miembro  $I$  estos valores son almacenados en dos vectores  $\{KE\}$  y  $\{KN\}$
- (3) El vector  $\{KN\}$  es alterado, dependiendo de cual tipo de las tres restricciones posibles se trate.
- c.(1) Si el miembro  $I$  es irregular, se leen y escriben los diferentes valores de la sección transversal, usándose la subrutina MIEMR para el cálculo de la matriz  $[SM]$ ; de no ser irregular se deberá usar la subrutina MATEL.
- (2) La subrutina ROTAC construye la matriz de rotación del miembro  $I$ .
- (3) Con los productos matriciales indicados se construye la matriz  $[SMD]$ .
- d.(1) El índice  $J$  va asumiendo el valor de cada restricción del nudo.



- (2) Si la restricción no corresponde a un soporte, con los valores de los vectores  $\{KE\}$  y  $\{KN\}$  y la matriz  $[SMD]$  se calcula la porción correspondiente de la matriz  $[S]$ . El control es enviado a A-2A1 para analizar un nuevo miembro.
- e.(1) Se invierte la parte superior izquierda de la matriz  $[S]$
- 3.a.(1) El cargamento LN es anulado inicialmente para proceder al análisis del primer cargamento.
- (2) El cargamento LN es aumentado por 1 cada vez que el control es enviado al nivel A-3A
- (3) Se leen y escriben el número de nudos y miembros cargados.
- b.(1) Si NLJ es distinto de cero, se leen y escriben el número de nudo y las cargas aplicadas en él. Para esto se usan las variables auxiliares indicadas.
- c.(1) Si NLM no es cero se procede a la obtención de los datos del cargamento sobre los miembros
- (2) Se leen las constantes indicadas.
- (3) Si LOE es diferente de cero, se leen las acciones.

- (4) Si LOE es cero se usa la subrutina CARVI para el cálculo de las acciones. Debe calcularse la matriz  $[SM]$ , previamente si el miembro con tiene rótulas.
- (5) Si el miembro MEM tiene cargamento, el correspondiente coeficiente de la matriz  $[LML]$  adquiere un valor unitario.
- (6) Se escriben las acciones, usando la matriz auxiliar  $[DML]$
- 4.a.(1) Si el correspondiente coeficiente de la matriz  $[LML]$  tiene valor unitario se calculan las acciones equivalentes del miembro I.
- b.(1) Se reenumeran los desplazamientos de los nudos como en A-2.b.(3).
- (2) Se calculan las acciones combinadas en los nu dos.
- (3) Si SUBN es igual a NSU se procede a los cálculos finales, de no ser así se procede al análisis de otra subestructura.
- 5.a.(1) El producto matricial  $[S_{PP}^{-1}] \cdot [AML_p]$  es efectuado y almacenado temporariamente en la parte superior de la matriz auxiliar  $[A]$

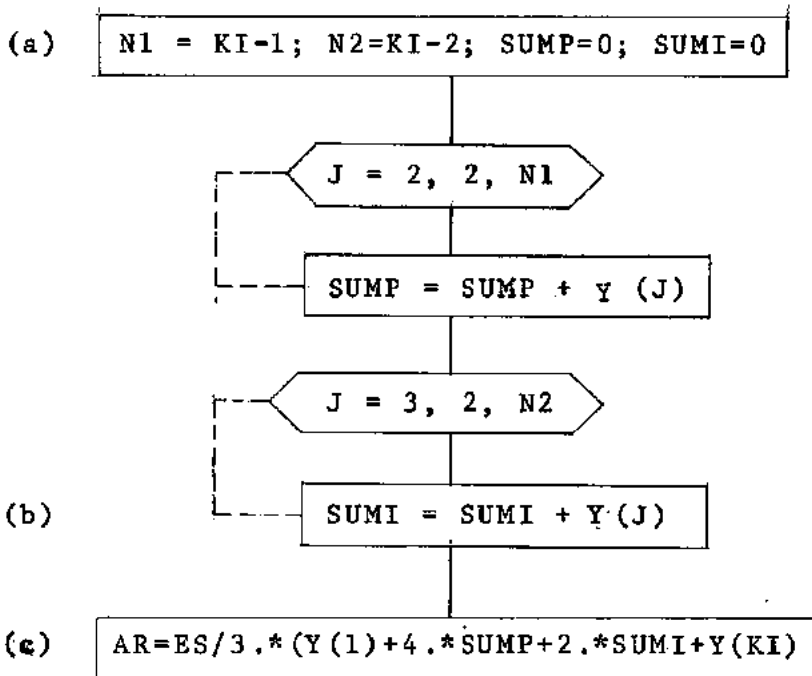
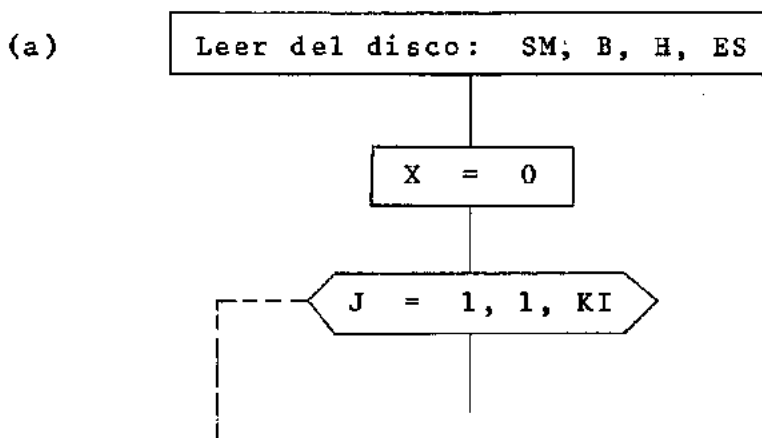
- (2) El producto matricial  $[S_{PP}^{-1}] \cdot [S_{PI}]$  es efectuado y almacenado temporariamente en la porción de la matriz de rigidez correspondiente a  $[S_{PI}]$
- (3) Son almacenadas las informaciones necesarias en el disco.

- b.(1) Es calculada la matriz  $[AML_I^*]$  de acuerdo a la ecuación (3.1.8) y se almacena en la parte superior de la matriz  $[AC]$ , ver figura (3.3.9).
- (2) La matriz  $[S_{II}^*]$  es calculada en base a la ecuación (3.1.9).
- (3) La matriz  $[S_{II}^*]$  es transferida a la parte superior izquierda de la matriz  $[S]$ , ver figura (3.3.9).
- (4) Se calcula la lista acumulativa de nudos y miembros.

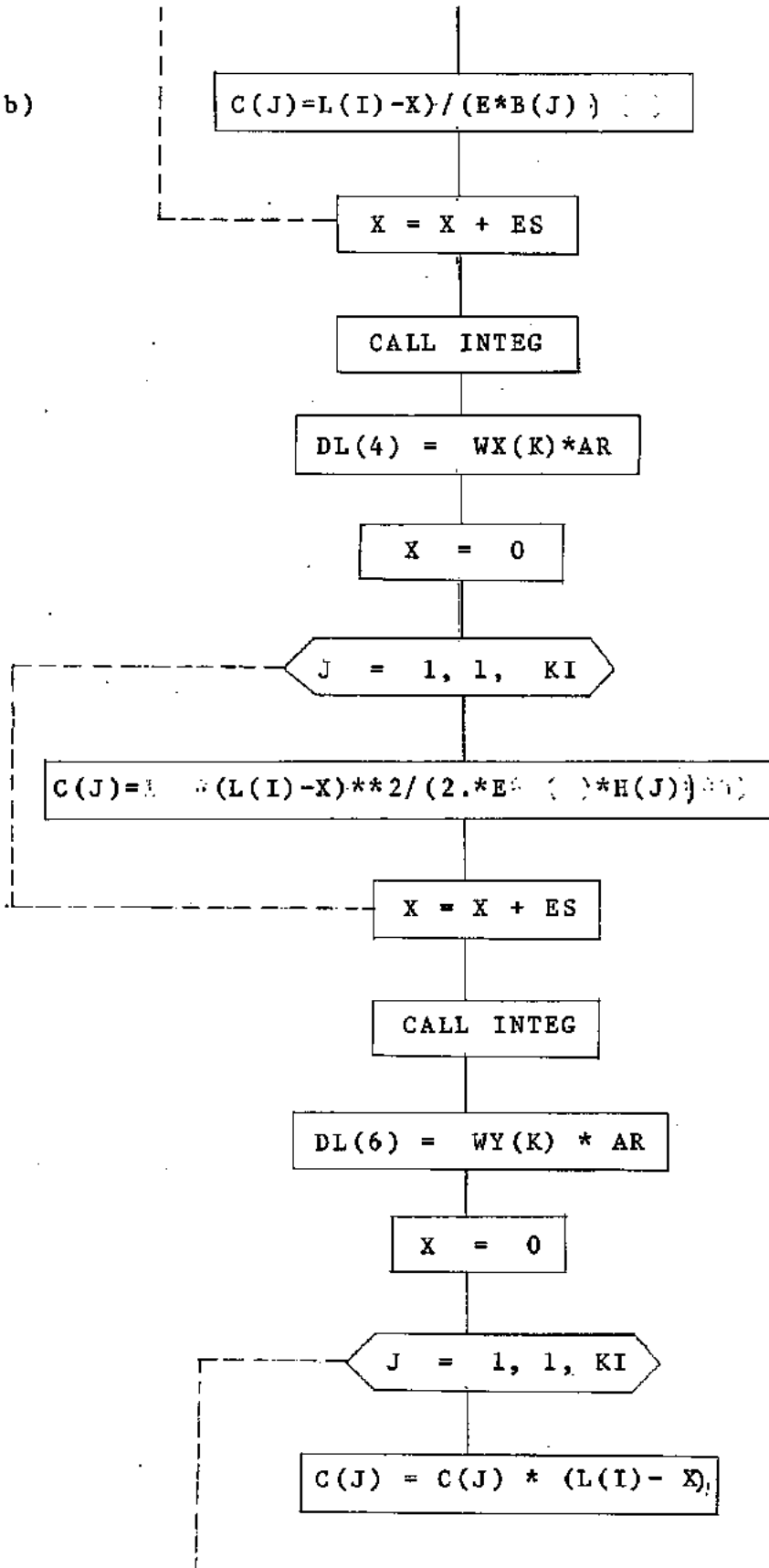
- c.(1) Las coordenadas de los nudos de intersección pasan a ser coordenadas de la próxima subestructura.

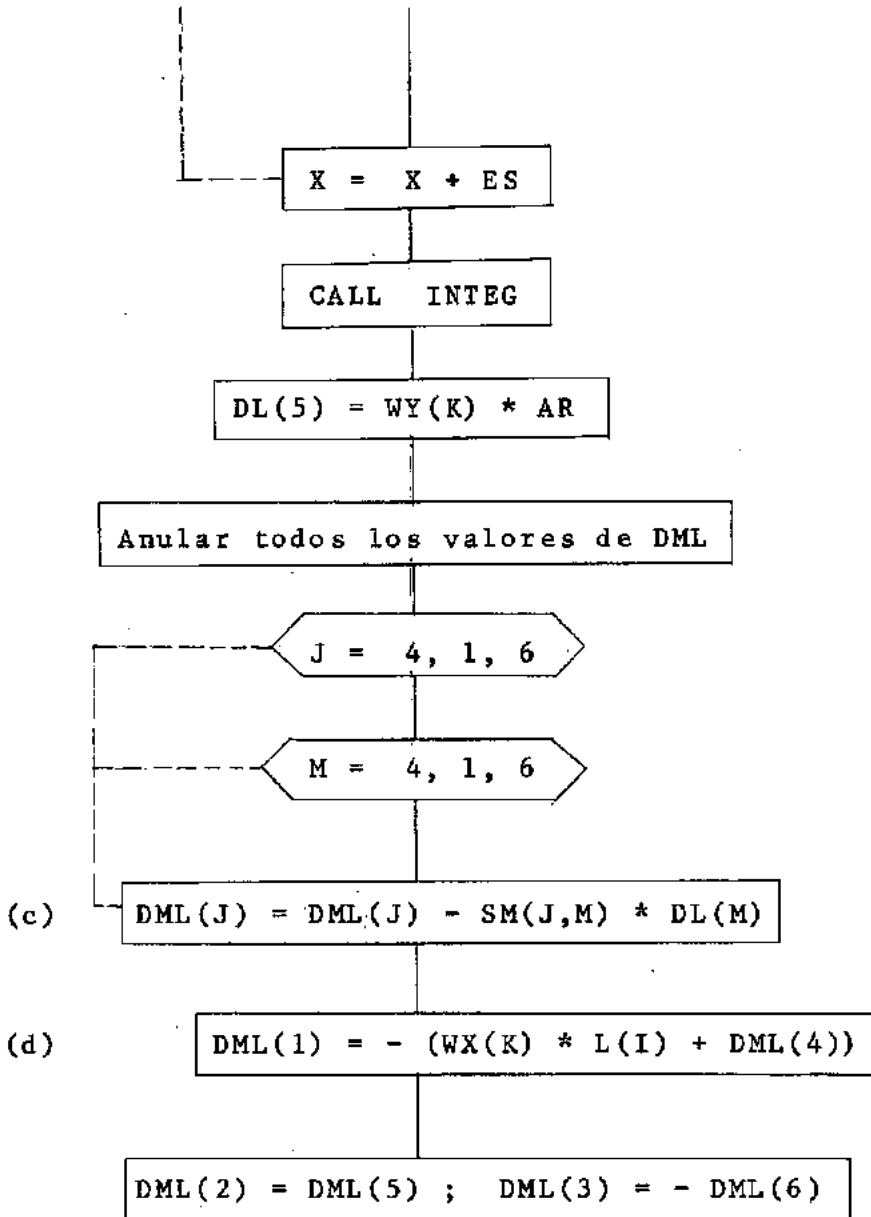
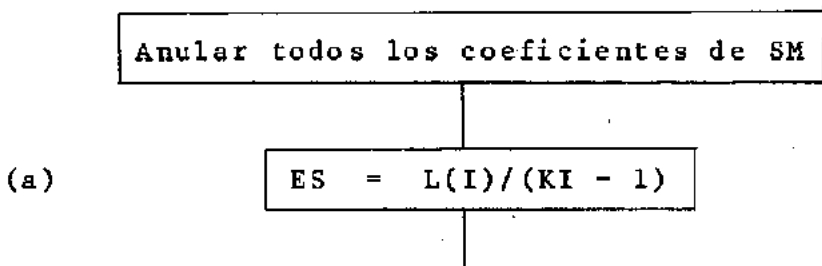
- B.1.a.(1) Los desplazamientos de los nudos de la última subestructura son calculados usando ecuación (3.2.8), el control es enviado a B-1C para efectuar la expansión de los mismos.

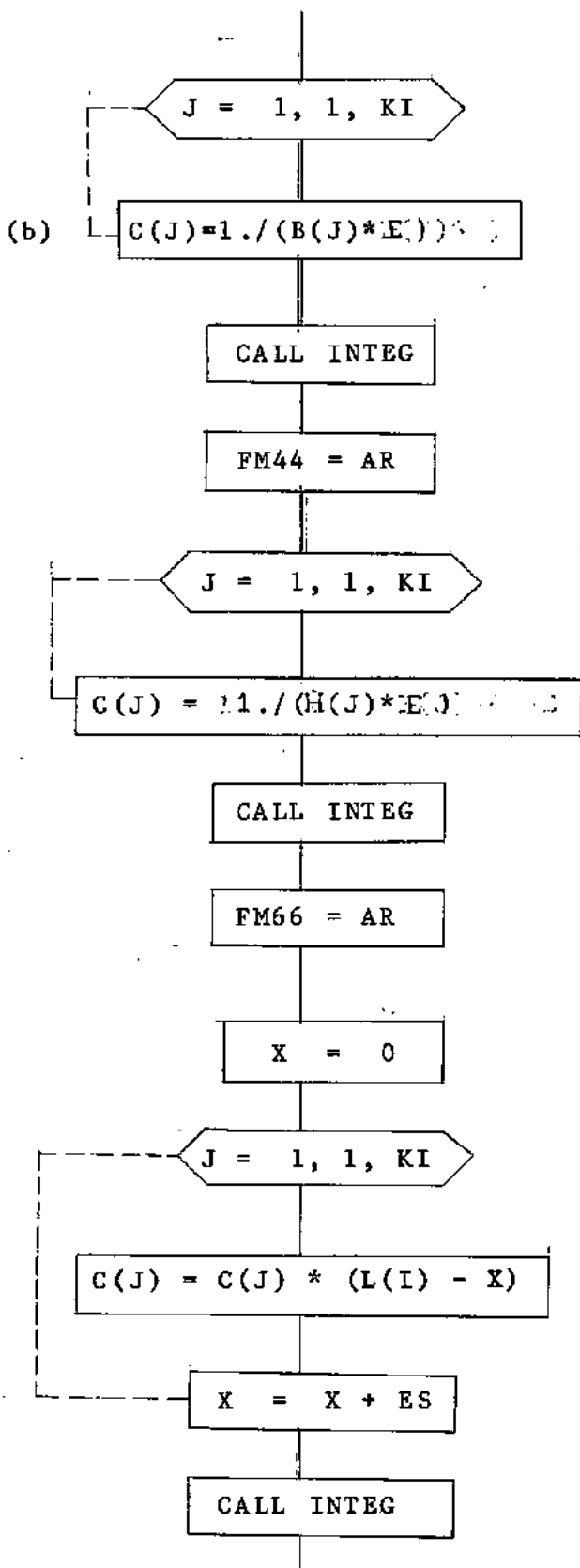
- b.(1) Los valores previos de la matriz  $[DJ_p]$  son llevados de la parte superior de la matriz  $[DJ]$ , a la parte inferior de la matriz  $[D]$ , para que puedan ser tratados como valores de la matriz  $[DJ_B]$  de la nueva subestructura.
- (2) La matriz  $[DJ_p]$  de la subestructura en consideración es calculada en base a la ecuación - (3.3.5)
- 2.a(1) Son calculadas las acciones en los extremos de los miembros, habiéndose calculado previamente la matriz  $[SMR]$
- 3.a(1) Son calculadas las reacciones de soporte cuando las hubiere.
- 4.a(1) Se imprimen los desplazamientos de los nudos.
- b(1) Se imprimen las acciones en los extremos de los miembros.
- c(1) Se imprimen las reacciones de soporte.
- (2) Se verifica si no hay otro tipo de cargamento para ser analizado
- (3) Si SUBN es igual a 1 se procede al análisis de otra estructura; pues de otra forma se analiza la siguiente subestructura.

4.4.1 - DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS SUBROTINAS4.4.1.1 - Subrotina Integ4.4.1.2 - Subrotina Carir

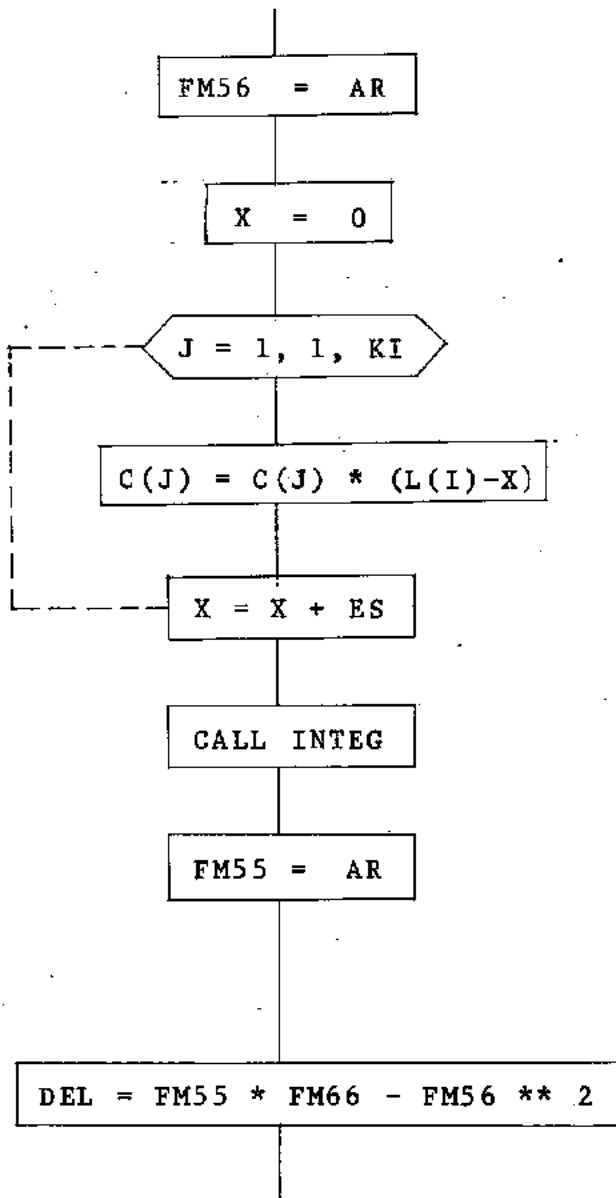
(b)



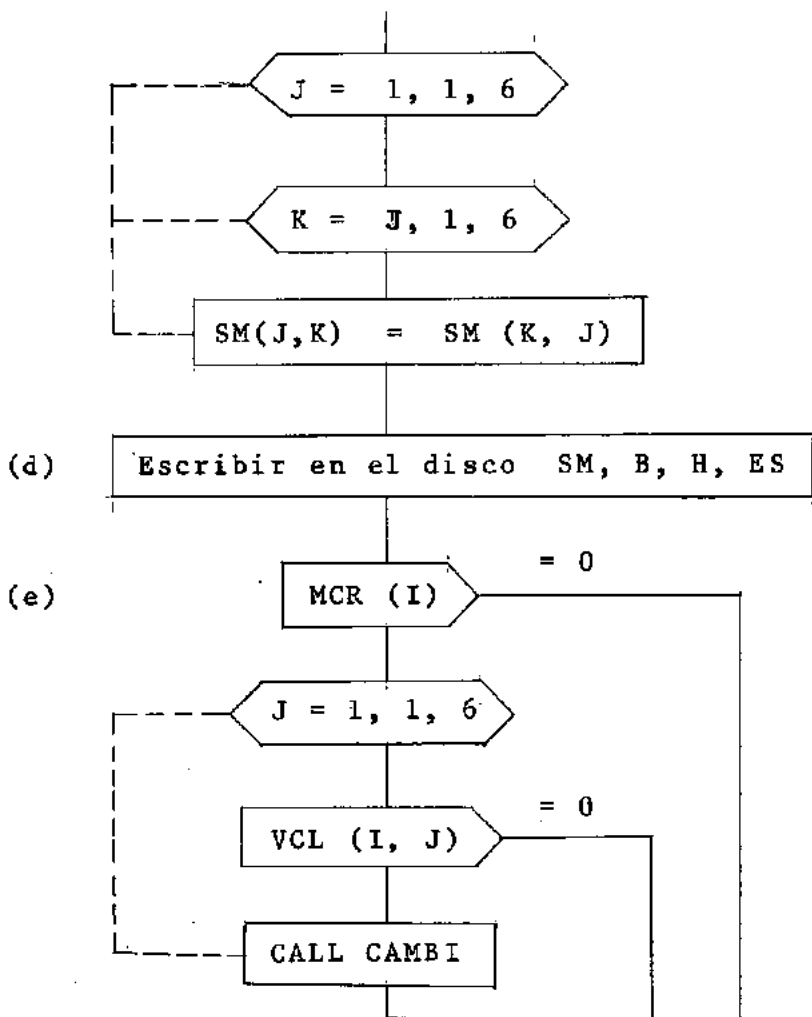
4.4.1.3 - Subrotina Miemr







(c)  $SM(4,4) = 1./FM44$ ;  $SM(5,5) = FM66/DEL$ ;  $SM(6,5) =$   
 $= -FM56/DEL$ ;  $SM(6,6) = FM55/DEL$ ;  $SM(4,1) = -SM(4,4)$ ;  
 $SM(5,2) = -SM(5,5)$ ;  $SM(5,3) = -(SM(5,5) * L(I) +$   
 $+ SM(6,5))$ ;  $SM(6,2) = -SM(6,5)$ ;  $SM(6,3) =$   
 $-(SM(6,5) * L(I) + SM(6,6))$ ;  $SM(1,1) = SM(4,4)$   
 $SM(2,2) = SM(5,5)$ ;  $SM(3,2) = SM(5,5) * L(I) + SM(6,5)$   
 $SM(3,3) = SM(5,5) * L(I)**2 + 2.*SM(6,5)*L(I) + SM(6,6)$



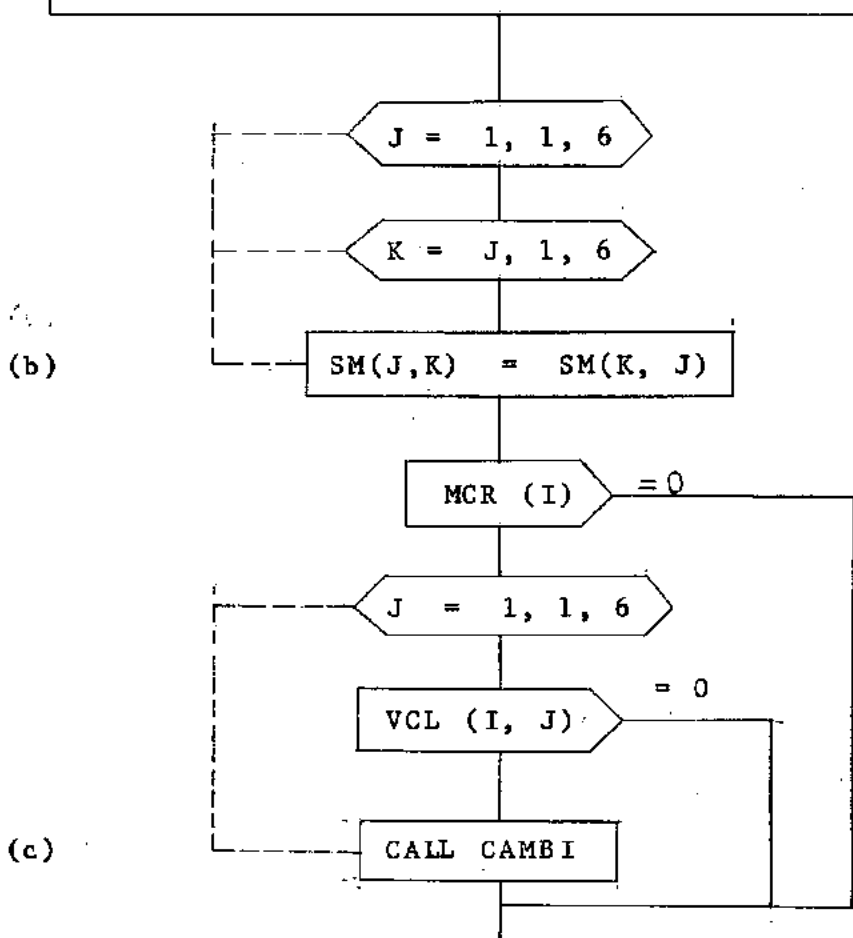
#### 4.4.1.4 - Subrotina Matel

Anular todos los coeficientes de SM

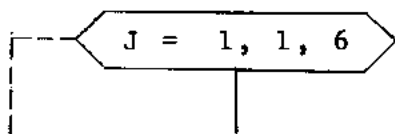
SCM1 = E\*AX(I)/L(I); SCM2 = 4\*E\*IZ(I)/L(I)

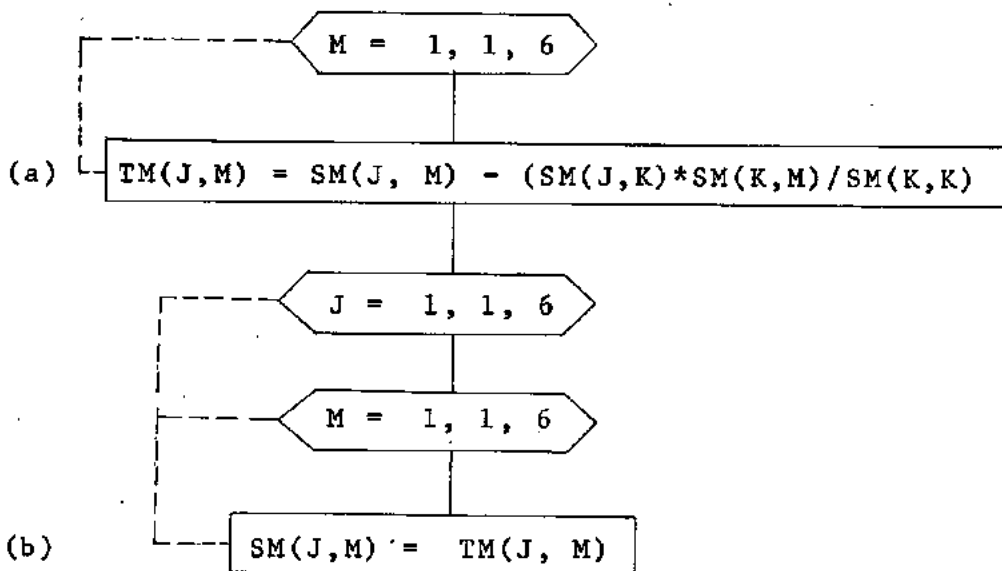
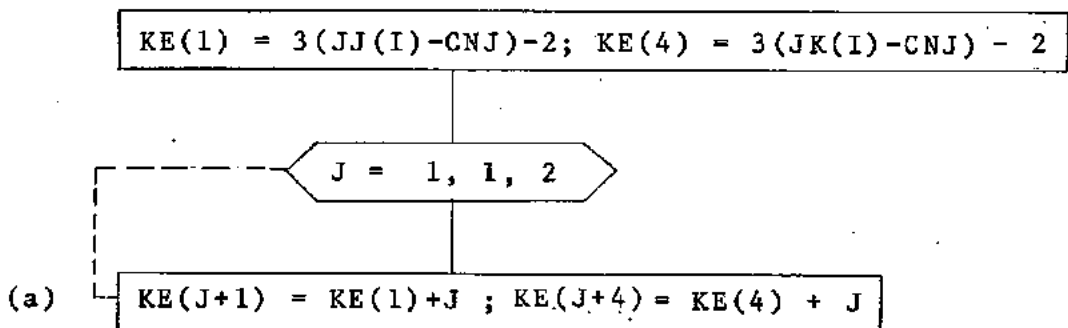
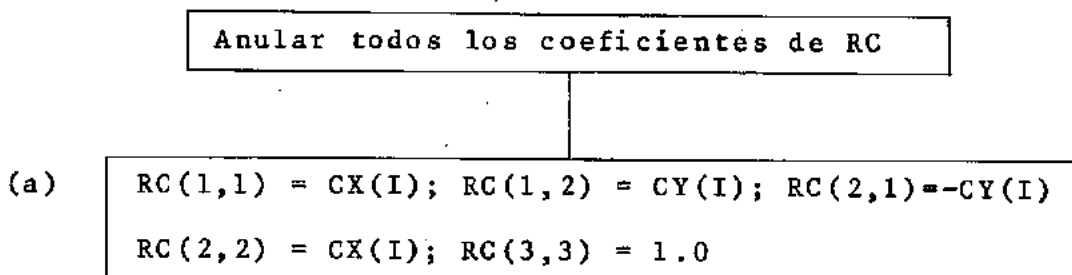
SCM3 = 1.5\*SCM2/L(I); SCM4 = 2\*SCM3/L(I)

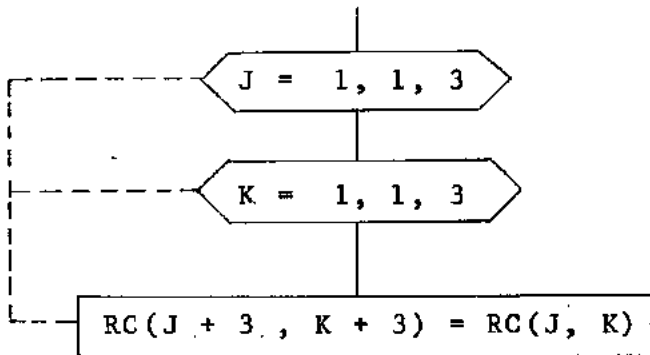
$SM(4,1) = -SCM1$ ;  $SM(4,4) = SCM1$ ;  $SM(1,1) = SM(4,4)$   
 $SM(5,2) = -SCM4$ ;  $SM(5,5) = SCM4$ ;  $SM(2,2) = SM(5,5)$   
 $SM(6,2) = SCM3$ ;  $SM(3,2) = SM(6,2)$ ;  $SM(6,5) = -SCM3$   
 $SM(5,3) = -SCM3$ ;  $SM(6,3) = SCM2/2$ ;  $SM(6,6) = SCM2$   
 $SM(3,3) = SM(6,6)$



#### 4.4.1.5 - Subrotina Cambi



4.4.1.6 - Subrotina Numer4.4.1.7 - Subrotina Rotac



#### 4.4.2 - ACLARACIONES SOBRE LOS DIAGRAMAS DE BLOQUES DE LAS SUBROTINAS

Item	Aclaración
4.4.1.1.(a)	Son calculadas y anuladas los valores mostrados.
(b)	Son acumuladas las sumas de las ordenadas pares e impares.
(c)	Se calcula la integral de determinada función por la regla de Simpson.
2.(a)	Son leídos del disco los valores mostrados
(b)	Son calculados los diferentes valores expresados por la ecuación (2.3.1.4), las integraciones las efectúa la subrutina INTEG
(c)	Son calculados los valores expresados por ecuación (2.3.1.3)

- (d) Son calculados los valores expresados por la ecuación (2.3.1.5).
- 3.(a) Se calcula el espaciamiento de las secciones en que se ha dividido el miembro I.
- (b) Se calculan uno de cada vez los coeficientes de la submatriz  $[FM]$  expresados por la ecuación (2.2.2.4)
- (c) Es calculada la matriz  $[SM]$  del miembro irregular I.
- (d) Se almacena en el disco  $[SM]$ , B, H, ES.
- (e) Es alterada la matriz  $[SM]$  si el miembro I contiene rótulas.
- 4.(a) Son calculadas las constantes necesarias para el cálculo de la matriz  $[SM]$  del miembro regular I
- (b) Es calculada la matriz  $[SM]$  del miembro regular I.
- (c) Se introducen las rótulas si hubieren.
- 5.(a) Se altera la matriz  $[SM]$  y se almacena temporariamente en la matriz  $[TM]$
- (b) La matriz  $[SM]$  adquiere los nuevos valores

- 6.(a) Se numeran los desplazamientos de los nudos. Debe observarse que los nudos JJ y JK pasan a tener un valor de JJ-CNJ y JK-CNJ, para SUBN > 1.
- 7.(a) Con el auxilio de los cosenos directores calculados en el programa principal se construye la matriz expresada por (2.5.1.16)

C A P Í T U L O VPROGRAMA PRINCIPAL Y SUS FORMATOS DEE N T R A D A

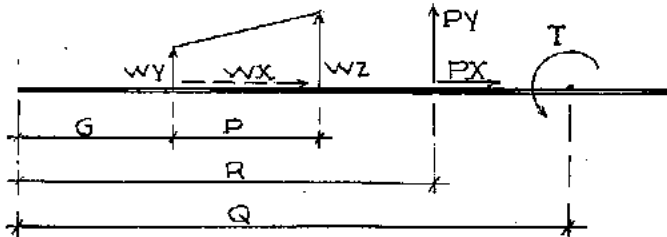
El análisis de cualquier estructura usando el programa aquí presentado, deberá regirse por los formatos indicados a continuación. Únicamente se presentarán los símbolos usados para las variables, pues su significado quedó clarificado en capítulo IV. Además será indicado el número aproximado de cartones por grupos de variables, así como también ciertos comentarios considerados como necesarios para el uso correcto del programa.

Así mismo mientras no se diga lo contrario serán aplicables a cada subestructura.



Nº DE CARTONES	VARIABLES	FORMATO	COMENTARIOS
1	SN, NSU, NLS	3I10	Constantes generales de la estructura solo al inicio del programa
1	M, NJ, NR, NRJS, MIS, MCL, E	6I10, F15.2	Datos de cada subestructura; al inicio de cada una de ellas
$\frac{NJ - NCA}{4} \sigma$ $\frac{NJ - NCA}{4} + 1$	NN( ), X( ), Y( )	4(I4, 2F8.2)	Número del nudo y sus coordenadas. Solamente dar los nuevos nudos pues los de intersección con la subestructura anterior ya fueron dados. Numerar de último los de <u>in</u> tersección con subestructura siguiente.
$\frac{M}{2} \sigma \frac{M}{2} + 1$	IM( ), JJ( ), JK( ), MI( ), MCR( ), AX( ), IZ( )	2(5I5., F 7.2, F 8.2)	<p>Datos generales sobre los miembros.</p> <p>Valores de MI ( )</p> <p>1 Si el miembro es irregular 0 Si el miembro es regular</p> <p>Valores de MCR ( )</p> <p>1 Si el miembro tiene rótulas 0 Si el miembro no tiene rótulas</p>
$\frac{NRJ}{4} \sigma \frac{NRJ}{4} + 1$	NN( ), LR1( ), LR2( ), LR3( )	16I5	<p>Restricciones en los nudos, las cuales serán del tipo:</p> <p>2 para nudos de soporte 1 para nudos de intersección 0 para nudos sin restricción</p>

Nº DE CARTONES	VARIABLES	FORMATO	COMENTARIOS
$\frac{MCL}{2} \text{ o } \frac{MCL}{2} + 1$	IM ( ), LR4 ( , )	2(I10,6I5)	Número del miembro y sus rótulas. Estas será del tipo:  1 Si hay rótula en determinada dirección 0 Si no hay rótula en determinada dirección
$\frac{KI+1}{4} \text{ o } \frac{KI+1}{4} + 1$	IM( ), KI, B( ), H( )	2I10,6F10.2, 8F10.2	Número del miembro, número de secciones transversales y los valores de estas últimas. Estas declaraciones serán para cada miembro irregular; de tal forma que el nuevo valor, IM( ), empezará nuevo cartón. KI < 31 e impar
Datos para cada tipo de cargamento:			
1.	NLJ, NLM.	2I10	Número de miembros y nudos cargados
$\frac{NLJ}{2} \text{ o } \frac{NLJ}{2} + 1$	NN( ), AT2( ) AT1( ), AT3( )	2(I10, 3F10.2)	Número del nudo, y sus tres cargas aplicadas en las diferentes direcciones.

Nº DE CARTONES	VARIABLES	FORMATO	COMENTARIOS
1 *	IM( ), NCC, LOE	3I10	<p>Número del miembro, número del conjuntos de cargas solicitantes e índice LOE; el cual será:</p> <p>1 Si se hará lectura directa de los AML ( , )</p> <p>0 Si se usarán las sub-rotinas destinadas a su cálculo</p>
1 *	AML ( , )	6F10.2	Lectura de los AML ( , ), únicamente si LOE = 1.
NCC	WY( ), WX( ), WZ( ), G( ), P( ); PY( ), PX( ), R( ), T( ), Q( )	10F8.2	<p>Cada conjunto NCC será constituido por:</p> 

Nº DE CARTONES	VARIABLES	FORMATOS	COMENTARIOS
			<p>Los sentidos positivos del los cargam<u>e</u>ntos y sus distancias es el mostrado en esta figura.</p>
<p>Después de haberse leído todos los tipos de cargamento vendrá un carton en blanco, para indicar que el análisis ha terminado.</p>			

\* De este tipo de cartones aparecerán tantos como miembros con cargamento existan; pero siempre intercalados como se indica.

## C A P I T U L O VI

### CONCLUSIONES

Ha creído conveniente quien presenta este trabajo, dejar esta sección para resaltar ciertas partes del programa las cuales quedaron ocultas dentro de la programación del mismo y que permitieron un ahorro considerable en cuanto al número de declaraciones necesarias, y memoria del computador.

Puede decirse que gran parte se debió a la creación de dos vectores que en su oportunidad fueron llamados como {KE} y {KN}, y a la construcción de la matriz de rotación como quedó establecido en la ecuación (2.5.1.16).

Como las secciones de más ahorro pueden citarse las siguientes:

- 19) Re-numeración de los desplazamientos
- 29) Construcción de la matriz [SMD]
- 39) Construcción de la matriz de rigidez global [S], de cada

subestructura.

- 49) Matriz de las acciones equivalentes  $[AE]$  de cada subestructura
- 59) Cálculo de la matriz  $[AM]$ , conteniendo las acciones finales en cada miembro.

Es importante resaltar que la matriz  $[S]$  se construyó con ocho (8) declaraciones y no con cuarenta y cinco (45), que es lo corriente; de tal forma que si el mismo procedimiento es usado para una estructura espacial, la misma matriz  $[S]$  podrá construirse con ocho (8) declaraciones y no con ciento cincuenta y ocho (158) que es lo común.

Finalmente puede decirse que este programa comparado con el STRESS, tiene las siguientes ventajas:

- 19) Analiza mayor número de miembros y nudos
- 29) En el caso de tenerse miembros de sección transversal variable no es necesario dar por separado las matrices  $[SM]$  y  $\{AML\}$ , pues el programa presentado cuenta con subrutinas ade

cuadas para su formación.

39) El tiempo de procesamiento es menor.

49) El número de cartones conteniendo los datos de la estructura es menor.

### DESENVOLVIMIENTO FUTURO

Como quedó expresado en el capítulo III el presente programa puede analizar únicamente subestructuras que contengan nudos de intersección con otra subestructura; por lo tanto como meta próxima se ha propuesto quien expone este trabajo, presentar un programa en el cual las subestructuras sean capaces de tener la influencia de más de una subestructura a la vez, usándose para esto matrices topológicas y algunos otros artificios de programación como los ya usados hasta aquí.

Debe aclararse también que del diagrama de bloques presentado aquí podrá usarse aproximadamente un quince por ciento (15%) de él, pues deberá emplearse otra filosofía de programación.

Este nuevo programa, se cree, permitirá que el programa básico de análisis consuma menos memoria y como consecuencia pueda usarse en computadores más pequeños.



B I B L I O G R A F I A

- 1) Weaver, Jr. W.: Computer Programs for Structural Analysis - D. Van Nostrand Company, Inc., N. J., 1967.
- 2) Robinson, J. S.: Structural Matrix Analysis for the Engineer - John Wiley & Sons, Inc, N. Y., 1966.
- 3) Willems and Lucas.: Matrix Analysis for Structural Engineers - Prentice-Hall, Inc./Englewood Cliffs, N.J., 1968.
- 4) Gere and Weaver.: Analysis of Framed Structures - D.Van Nostrand Company, Inc., Princeton, N. J., 1965.
- 5) Gere J. M, Weaver, Jr. W.: Matrix Algebra for Engineers D. Van Nostrand Company, Inc., N. J., 1965.
- 6) Pacitti, T.: Fortran Monitor, Princípios - Ao Livro Técnico S. A., Rio de Janeiro, 1969.
- 7) Przemienieki, J. S.: Theory of Matrix Structural Analysis - Mc Graw Hill Book Company, New York, N.Y., 1968

- 8) Rubinstein, M. F.: Matrix Computer Analysis of Structures - Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1966.
- 9) Laredo, M.: Résistance des matériaux - offset - Aubin à Poitiers. D. L. France, 1970.
- 10) Shah J. M.: Conditioned Stiffness Matrices -ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 92 St.6, pg. 443-457, 1966.
- 11) Mauch, S. P., Fenves S. J.: Releases and Constraints in Structural Networks - ASCE, Journal of Structural Division, Vol. 93 ST5, pag 401-419, 1967.
- 12) Khan F. R., Sbarounis J. A.: Interaction of shear Walls and Frames - ASCE Journal of Structural Division vol. 90 ST3, pg 285-335, 1964.
- 13) Carneiro L. F. L.: Análisis Plástico de las Estructuras - Curso Mecánica de las Estructuras III - COPPE - UFRJ, 1970.

// JOB T 00FF 10FF 2004

A 63

1322317

LOG DRIVE	CART SPEC	CART AVAIL	PHY DRIVE
0000	00FF	00FF	0000
0001	10FF	10FF	0001
0002	2004	2004	0002

V2 MOS ACTUAL 32K CONFIG 32K

// DUP

```
*STOREDATA WS UA GAR11 20
CART ID 00FF DB ADDR 4590 DB CNT 0140
```

```
*STOREDATA WS UA GAR12 60
CART ID 00FF DB ADDR 4600 DB CNT 0300
```

```
*STOREDATA WS UA GAR13 240 10FF
CART ID 10FF DB ADDR 5360 DB CNT 0F00
```

```
*STOREDATA WS UA GAR14 300 2004
CART ID 2004 DB ADDR 3200 DB CNT 1200
```

// FOR

\* ONE WORD INTEGERS

\* LIST SOURCE PROGRAM

SUBROUTINE INTEG(AR,Y,KI,ES)

C  
C  
C  
C  
C

ESTA SUBROUTINA ES COMPLEMENTO DE LAS SUBROUTINAS CARIR Y MIEMR PARA EL CALCULO DE LAS MATRICES DE RIGIDEZ Y LAS ACCIONES EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS CUANDO SE TRATA DE UN MIEMBRO IRREGULAR

DIMENSION Y(31)

N1=KI-1

N2=KI-2

SUMP=0.

SUMI=0.

DO 1 J=2,N1,2

1 SUMP=SUMP+Y(J)

DO 2 J=3,N2,2

2 SUMI=SUMI+Y(J)

AR=ES/3.\*(Y(1)+4.0\*SUMP+2.0\*SUMI+Y(KI))

RETURN

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR INTEG

COMMON 0 VARIABLES 14 PROGRAM 132

END OF COMPILATION

// DUP

```
*STORE WS UA INTEG
CART ID 00FF DB ADDR 4A90 DB CNT 000A
```

// FOR

\*ONE WORD INTEGERS

\*LIST SOURCE PROGRAM

SUBROUTINE CARIR(L,I,WY,WX,SUBN,K,DML,SM,E)

INTEGER SUBN

REAL L(30)

DIMENSION WY(15),WX(15),B(31),H(31),SM(6,6),DML(6),DL(6),C(31)

C  
C  
C  
CESTA SUBROTINA CALCULA EN COORDENADAS LOCALES LAS ACCIONES EN LOS  
EXTREMOS DE LOS MIEMBROS CUANDO SE TRATA DE UN MIEMBRO IRREGULAR

ID4=30\*(SUBN-1)+I

READ(4,ID4) SM,B,H,KI,ES

X=0.

DO 1 J=1,KI

C(J)=(L(I)-X)/(E\*B(J)\*H(J))

X=X+ES

1 CONTINUE

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

DL(4)=WX(KI)\*AR

X=0.

DO 2 J=1,KI

C(J)=12.0\*(L(I)-X)\*\*2/(2.0\*E\*B(J)\*H(J)\*\*3)

X=X+ES

2 CONTINUE

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

DL(6)=WY(KI)\*AR

X=0.

DO 3 J=1,KI

C(J)=C(J)\*(L(I)-X)

X=X+ES

3 CONTINUE

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

DL(5)=WY(KI)\*AR

DO 5 J=1,6

5 DML(J)=0.

DO 4 J=4,6

DO 4 M=4,6

4 DML(J)=DML(J)-SM(J,M)\*DL(M)

DML(1)=-{WX(KI)\*L(I)+DML(4)}

DML(2)=DML(5)

DML(3)=-DML(6)

RETURN

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR CARIR

COMMON U VARIABLES 220 PROGRAM 422

END OF COMPILATION

// DUP

\*STORE WS UA CARIR

CART ID 00FF DB ADDR 4A9A DB CNT 001E

// FOR

\*ONE WORD INTEGERS

\*LIST SOURCE PROGRAM

SUBROUTINE MIEMR(SM,E,L,I,SUBN,B,H,KI,VCL,MCR)

INTEGER VCL(30,6),SUBN

REAL L(30)

DIMENSION SM(6,6),B(31),H(31),C(31),MCR(30)

C  
C  
C  
C  
C

ESTA SUBROTINA CONSTRUYE EN COORDENADAS LOCALES LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA MIEMBRO IRREGULAR EN BASE A LA MATRIZ DE FLEXIBILIDAD, INCLUYENDO LAS ROTULAS POSTERIORMENTE SI LAS HUBIERE

DO 1 J=1,6

DO 1 K=1,J

1 SM(J,K)=0.

D=KI-1

ES=L(I)/D

C  
C  
C

CALCULO DEL FACTOR DE FLEXIBILIDAD FM44

DO 2 J=1,KI

2 C(J)=1.0/(B(J)\*H(J)\*E)

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

FM44=AR

C  
C  
C

CALCULO DEL FACTOR DE FLEXIBILIDAD FM66

DO 3 J=1,KI

3 C(J)=12.0/(B(J)\*H(J)\*\*3\*E)

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

FM66=AR

C  
C  
C

CALCULO DEL FACTOR DE FLEXIBILIDAD FM56

X=0.

DO 4 J=1,KI

C(J)=C(J)\*(L(I)-X)

X=X+ES

4 CONTINUE

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

FM56=AR

C  
C  
C

CALCULO DEL FACTOR DE FLEXIBILIDAD FM55

X=0.

DO 5 J=1,KI

C(J)=C(J)\*(L(I)-X)

X=X+ES

5 CONTINUE

CALL INTEG(AR,C,KI,ES)

FM55=AR

DEL=FM55\*FM66-FM56\*\*2

C  
C  
C

CALCULO DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA MIEMBRO

SM(4,4)=1.0/FM44

SM(5,5)=FM66/DEL

SM(6,5)=-FM56/DEL

SM(6,6)=FM55/DEL

SM(4,1)=-SM(4,4)



```

11 DML(J)=0.
    IF(MI(I)) 21,22,21
22 DO 1 J=1,NCC
    B=W-(G(J)+H(J))
    D=G(J)+H(J)/2.
    U=B+H(J)/2.
    A=G(J)
    C=H(J)
    F=C+A
    IF(WY(J)) 2,3,2
2 IF(ABS(WY(J))-ABS(WZ(J))) 3,3,6
6 R3=-WZ(J)/W**2*(W**2*(F**2-A**2)/2.0-2.0*W*(F**3-A**3)/3.0+(F**4-A
1**4)/4.0)
    R6=WZ(J)/W**2*(W*(F**3-A**3)/3.0-(F**4-A**4)/4.0)
    R3=R3-(WY(J)-WZ(J))*C/(60.0*W**2)*(10.0*B**2*(3.0*A+C)+C**2*(15.0*
1A+10.0*B+3.0*C)+40.0*A*B*C)
    R6=R6+(WY(J)-WZ(J))/(60.0*W**2)*(10.0*A**2*(3.0*B+2.0*C)+C**2*(10.
10*A+5.0*B+2.0*C)+20.0*A*B*C)
    R2=-WZ(J)*C*F/W-(WY(J)-WZ(J))*C/2.0*(B+2.0*C/3.0)
    R5=-WZ(J)*C*D/W-(WY(J)-WZ(J))*C/2.0*(A+C/3.0)
    R2=R2+(R6+R3)/W
    R5=R5-(R6+R3)/W
    GO TO 12
3 R3=-WY(J)/W**2*(W**2*(F**2-A**2)/2.0-2.0*W*(F**3-A**3)/3.0+(F**4-A
1**4)/4.0)
    R6=WY(J)/W**2*(W*(F**3-A**3)/3.0-(F**4-A**4)/4.0)
    R3=R3-(WZ(J)-WY(J))*C/(60.0*W**2)*(10.0*B**2*(3.0*A+2.0*C)+C**2*(5
1.0*A+10.0*B+2.0*C)+20.0*A*B*C)
    R6=R6+(WZ(J)-WY(J))*C/(60.0*W**2)*(10.0*A**2*(3.0*B+C)+C**2*(10.0*
2A+15.0*B+3.0*C)+40.0*A*B*C)
    R2=-WY(J)*C*U/W-(WZ(J)-WY(J))*C/2.0*(B+2.0*C/3.0)+(R6+R3)/W
    R5=-WY(J)*C*D/W-(WZ(J)-WY(J))*C/2.0*(A+C/3.0)-(R6+R3)/W
12 R1=-WX(J)*C*U/W
    R4=-WX(J)*C*D/W
    Y=W-R(J)
    V1=-PX(J)*R(J)/W
    V4=-PX(J)*Y/W
    V3=-PY(J)*R(J)*Y**2/W**2
    V6=PY(J)*R(J)**2*Y/W**2
    V2=-PY(J)*Y/W+(V6-V3)/W
    V5=-PY(J)*R(J)/W-(V6-V3)/W
    S=W-Q(J)
    Z3=T(J)*S/W*(2.0-3.0*S/W)
    Z6=T(J)*Q(J)/W*(2.0-3.0*Q(J)/W)
    Z2=T(J)+(Z6+Z3)/W
    Z5=-T(J)/W-(Z6+Z3)/W
    DML(1)=DML(1)+R1+V1
    DML(2)=DML(2)+R2+V2+Z2
    DML(3)=DML(3)+R3+V3+Z3
    DML(4)=DML(4)+R4+V4
    DML(5)=DML(5)+R5+V5+Z5
    DML(6)=DML(6)+R6+V6+Z6
1 CONTINUE
    GO TO 23
21 DO 24 J=1,NCC
    CALL CARIR(L,I,WY,WX,SUBN,J,DML,SM,E)
24 CONTINUE
23 IF(MCR(I)) 14,15,14
14 DO 16 J=1,6

```

```

      IF(VCL(I,J)) 17,16,17
17 DO 19 JJ=1,6
19 TML(JJ)=DML(JJ)-DML(J)*SM(J,JJ)/SM(J,J)
      CALL CAMBI (SM,J)
      DO 18 J=1,6
18 DML(J)=TML(J)
16 CONTINUE
15 DO 13 J=1,6
      KE=KJ+J
13 AML(I,KE)=DML(J)
      RETURN
      END

```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR CARVI  
COMMON 0 VARIABLES 404 PROGRAM 1618

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE      WS  UA  CARVI
CART ID 00FF  DB ADDR 4AE4  DB CNT  C07F

```

// FOR

\*LIST SOURCE PROGRAM  
\*ONE WORD INTEGERS

```

      SUBROUTINE CAMBI(SM,K)
      DIMENSION SM(6,6),TM(6,6)

```

C  
C ESTA SUBROTINA ALTERA EL VALOR DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA MIE  
C MBRO A MEDIDA QUE SE INTRODUCEN LAS ROTULAS  
C

```

      DO 1 J=1,6
      DO 1 M=1,6
      TM(J,M)=SM(J,M)-(SM(J,K)*SM(K,M))/SM(K,K)
1 CONTINUE
      DO 2 J=1,6
      DO 2 M=1,6
2 SM(J,M)=TM(J,M)
      RETURN
      END

```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR CAMBI  
COMMON 0 VARIABLES 78 PROGRAM 126

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE      WS  UA  CAMBI
CART ID 00FF  DB ADDR 4B63  DB CNT  0000

```

// FOR



\*LIST SOURCE PROGRAM

\*ONE WORD INTEGERS

```

SUBROUTINE MATEL(E,IZ,L,AX,MCR,VCL,SM,I)
INTEGER VCL(30,6)
REAL L(30),IZ(30)
DIMENSION AX(30),SM(6,6),MCR(30)

```

C

```

C   ESTA SUBROTINA CONSTRUYE EN COORDENADAS LOCALES LA MATRIZ DE RIGID
C   EZ DE CADA MIEMBRO DE SECCION CONSTANTE, SEGUIDAMENTE INCLUYE LAS
C   ROTULAS SI LAS HUBIERE ALTERANDO LOS VALORES DE LA MATRIZ DE RIGID
C   EZ

```

C

```

DO 1 J=1,6
DO 1 K=1,J
1 SM(J,K)=0.
SCM1=E*AX(I)/L(I)
SCM2=4.*E*IZ(I)/L(I)
SCM3=1.5*SCM2/L(I)
SCM4=2.*SCM3/L(I)
SM(4,1)=-SCM1
SM(4,4)=SCM1
SM(1,1)=SM(4,4)
SM(5,2)=-SCM4
SM(5,5)=SCM4
SM(2,2)=SM(5,5)
SM(6,2)=SCM3
SM(3,2)=SM(6,2)
SM(6,5)=-SCM3
SM(5,3)=-SCM3
SM(6,3)=SCM2/2.0
SM(6,6)=SCM2
SM(3,3)=SM(6,6)
DO 2 J=1,6
DO 2 K=J,6
2 SM(J,K)=SM(K,J)
IF(MCR(I)) 3,5,3
3 DO 5 J=1,6
IF(VCL(I,J)) 6,5,6
6 CALL CAMBI(SM,J)
5 CONTINUE
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR MATEL

COMMON 0 VARIABLES 24 PROGRAM 314

END OF COMPILATION

// DUP

\*STORE WS UA MATEL

CART ID 00FF DB ADDR 486C DB CNT 0016

// FOR

\*ONE WORD INTEGERS

\*LIST SOURCE PROGRAM

```

SUBROUTINE NUMER(KE,JJ,JK,CNJ,I)
INTEGER CNJ
DIMENSION KE(6),JJ(20),JK(20)

```

C  
C  
C

ESTA SUBROTINA NUMERA LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS

```

JS=JJ(I)-CNJ
KS=JK(I)-CNJ
KE(1)=3*JS-2
KE(2)=3*JS-1
KE(3)=3*JS
KE(4)=3*KS-2
KE(5)=3*KS-1
KE(6)=3*KS
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR NUMER  
COMMON 0 VARIABLES 10 PROGRAM 106

END OF COMPILATION

// DUP

```

*STORE WS UA NUMER
C RT ID 00FF DB ADDR 4882 DB CNT 0007

```

// FOR

```

*ONE WORD INTEGERS
*LIST SOURCE PROGRAM
SUBROUTINE ROTAC(CX,CY,RC,I)
DIMENSION CX(30),CY(30),RC(6,6)

```

C  
C  
C

ESTA SUBROTINA CONSTRUYE LA MATRIZ DE ROTACION DE CADA MIEMBRO

```

DO 1 J=1,6
DO 1 K=1,6
1 RC(J,K)=0.
RC(1,1)=CX(I)
RC(1,2)=CY(I)
RC(2,1)=-CY(I)
RC(2,2)=CX(I)
RC(3,3)=1.0
DO 2 J=1,3
DO 2 K=1,3
2 RC(J+3,K+3)=RC(J,K)
RETURN
END

```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR ROTAC  
COMMON 0 VARIABLES 8 PROGRAM 154

END OF COMPILATION

// DUP

```
*STORE      WS  UA  ROTAC
CART ID 00FF  DB ADDR 4889  DB CNT  0008
```

// FOR

\*LIST SOURCE PROGRAM

\*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE DIVID(S,N)

```
C
C  ESTA SUBROTINA DESCOMPONE LA MATRIZ DE RIGIDES GLOBAL EN DOS BANDA
C  S TRIANGULARES PARA SU INVERSION POSTERIOR
C
```

DIMENSION S(60,57)

DO 10 I=1,N

DO 10 J=I,N

SUM=S(I,J)

II=I-1

IF(I-1) 21,22,21

21 DO 20 K=1,II

20 SUM=SUM-S(K,I)\*S(K,J)

22 IF(J-I) 11,12,11

12 IF(SUM) 13,13,14

13 WRITE(5,30) I,J,SUM

STOP

14 IF(SUM-0.1) 23,24,24

23 WRITE(5,40) SUM

24 TEMP=1.0/SQRT(SUM)

S(I,J)=TEMP

GO TO 10

11 S(I,J)=SUM\*TEMP

10 CONTINUE

30 FORMAT(/// 5X,'ELEMENTO EN LA DIAGONAL NULO O NEGATIVO PARE I=',I5

1, ' J=',I5, ' SUM=',F15.4)

40 FORMAT(1X,'SUM=',F15.5)

RETURN

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR DIVID

COMMON 0 VARIABLES 10 PROGRAM 226

END OF COMPILATION

// DUP

```
*STORE      WS  UA  DIVID
CART ID 00FF  DB ADDR 4894  DB CNT  0010
```

// FOR

\*LIST SOURCE PROGRAM

\*ONE WORD INTEGERS

SUBROUTINE ESPAR(U,N)

DIMENSION U(60,57)

C

C ESTA SUBROTINA CON AUXILIO DE LA SUBROTINA DIVID USA EL METODO DE  
 C LA RAZ CUADRADA DE CHOLESKY PARA INVERTIR LA MATRIZ DE RIGIDEZ GL  
 C BAL DE CADA SUBESTRUCTURA  
 C

```

  NI=N-1
  DO 10 I=1,NI
  I1=I+1
  DO 10 J=I1,N
  SUM=0.
  J1=J-1
  DO 20 K=I,J1
20 SUM=SUM-U(K,I)*U(K,J)
10 U(J,I)=SUM*U(J,J)
  DO 30 I=1,N
  DO 30 J=I,N
  SUM=0.
  DO 40 K=J,N
40 SUM=SUM+U(K,I)*U(K,J)
  U(J,I)=SUM
  U(I,J)=U(J,I)
30 CONTINUE
  RETURN
  END

```

FEATURES SUPPORTED  
 ONE WORD INTEGERS

CORE REQUIREMENTS FOR ESPAR  
 COMMON 0 VARIABLES 10 PROGRAM 228

END OF COMPILATION

// DUP

\*STORE WS UA ESPAR  
 CART ID 00FF DB ADDR 4BA4 DB CNT 0010

// FOR  
 \*ONE WORD INTEGERS  
 \*LIST SOURCE PROGRAM  
 \*IOCS(2501READER,1403PRINTER,DISK)

C  
 C ANALISIS DE MARCOS RIGIDOS POR EL METODO DE DIVISION EN SUBSTRUCT  
 C URAS  
 C

```

  INTEGER SUBN,CNM,CNJ,SN,VCL(30,6)
  REAL IZ(30),L(30)

```

C  
 C DIMENSION X(20),TEM1(45),TEM2(3),LML(30,3),SMD(6,6),JJ(20),JK(20),  
 C 1S(60,57),LCR(60),LR(60),A(60,3),AE(60,3),AC(60,3),AML(30,18),D(60,  
 C 23),DJ(60,3),AR(60,3),LR1(45),Y(20),AX(30),SMR(6,6),RC(6,6),LCR1(60  
 C 3),LCR2(60),NN(20),IM(30),MI(30),MCR(30),LR2(45),LR3(45),KE(6),KN(6  
 C 4),DML(30,6),AT1(45),AT2(45),AT3(45),LR4(30,6),SM(6,6),B(31),H(31),  
 C SCX(30),CY(30)  
 C

C  
 C DEFINE FILE 1(20,280,U,ID1),2(60,310,U,ID2),3(240,285,U,ID3),4(300  
 C 1,199,U,ID4)  
 C

C LECTURA DE LOS DATOS GENERALES DEL MARCO RIGIDO

C  
L  
WRITE(5,350)  
WRITE(5,510)  
684 READ(8,500) SN,NSU,NLS  
IF(SN-1) 423,692,692  
692 CNJ=0  
CNM=0  
NCA=0  
WRITE(5,520) SN,NSU,NLS  
SUBN=0  
694 SUBN=SUBN+1  
NCA=NCA+1

C LECTURA DE LOS DATOS DE CADA SUBESTRUCTURA

C  
L  
WRITE(5,530)SUBN  
READ(8,110) M,NJ,NR,NRJ,MIS,MCL,E  
N=3\*NJ-NR  
WRITE(5,360) M,N,NJ,NR,NRJ,MIS,MCL,E

C INFORMACION SOBRE LAS COORDENADAS DE LOS NUDOS

C  
L  
WRITE(5,150)  
READ(8,160) (NN(J),X(J),Y(J),J=NCA,NJ)  
WRITE(5,140)(NN(J),X(J),Y(J),J=1,NJ)

C INFORMACION RELATIVA A CADA UNO DE LOS MIEMBROS

C  
L  
WRITE(5,180)  
READ(8,190) (IM(I),JJ(I),JK(I),MI(I),MCR(I),AX(I),IZ(I),I=1,M)  
DO 9 I=1,M  
J=JJ(I)-CNJ  
K=JK(I)-CNJ  
XCL=X(K)-X(J)  
YCL=Y(K)-Y(J)  
L(I)=SQRT(XCL\*\*2+YCL\*\*2)  
CX(I)=XCL/L(I)  
CY(I)=YCL/L(I)  
9 CONTINUE  
WRITE(5,200)(IM(I),JJ(I),JK(I),MI(I),MCR(I),AX(I),IZ(I),L(I),I=1,M  
1)

C INFORMACION SOBRE LAS RESTRICCIONES EN LOS NUDOS

C  
L  
NJ3=3\*NJ  
DO 20 K=1,NJ3  
LR(K)=0  
20 CONTINUE  
WRITE(5,220)  
READ(8,230) (NN(J),LR1(J),LR2(J),LR3(J),J=1,NRJ)  
DO 21 J=1,NRJ  
KEM=NN(J)-CNJ  
LR(3\*KEM-2)=LR1(J)  
LR(3\*KEM-1)=LR2(J)  
LR(3\*KEM)=LR3(J)  
21 CONTINUE  
WRITE(5,210) (NN(J),LR1(J),LR2(J),LR3(J),J=1,NRJ)  
IF(SUBN-1) 503,503,502

```

502 LDNR1=NR1
503 IF(LR(1)-1) 504,505,506
505 LCR1(1)=1
   LCR2(1)=0
   GO TO 508
506 LCR1(1)=0
   LCR2(1)=1
   GO TO 508
504 LCR1(1)=0
   LCR2(1)=0
508 DO 512 K=2,NJ3
   IF(LR(K)-1) 509,511,513
511 LCR1(K)=LCR1(K-1)+1
   LCR2(K)=LCR2(K-1)
   GO TO 512
513 LCR1(K)=LCR1(K-1)
   LCR2(K)=LCR2(K-1)+1
   GO TO 512
509 LCR1(K)=LCR1(K-1)
   LCR2(K)=LCR2(K-1)
512 CONTINUE
   DO 515 K=1,NJ3
515 LCR(K)=LCR1(K)+LCR2(K)
   NR1=LCR1(NJ3)
   NR2=NR-NR1
   NNR1=N+NR1

```

C  
C  
C

INFORMACION SOBRE LAS ROTULAS EN LOS MIEMBROS

```

IF(MCL) 545,546,545
545 WRITE(5,170)
   DO 551 I=1,M
   DO 551 J=1,6
551 VCL(I,J)=0
   READ(8,120) (IM(I),(LR4(I,J),J=1,6),I=1,MCL)
   DO 552 I=1,MCL
   K=IM(I)-CNM
   IF(LR4(I,1)) 951,912,951
951 IF(LR4(I,1)-LR4(I,4)) 912,913,912
912 IF(LR4(I,2)) 953,914,953
953 IF(LR4(I,2)-LR4(I,5)) 914,913,914
913 WRITE(5,280) IM(I)
   STOP
914 DO 552 J=1,6
552 VCL(K,J)=LR4(I,J)
   WRITE(5,130) (IM(I),(LR4(I,J),J=1,6),I=1,MCL)
546 IF(SUBN-1) 697,698,697
698 DO 802 K=1,NNR1
   DO 802 J=1,NJ3
802 S(J,K)=0.
   DO 803 K=1,NLS
   DO 803 J=1,NJ3
803 AC(J,K)=0.
   GO TO 517
697 NR11=LDNR1+1
   DO 804 K=NR11,NNR1
   DO 804 J=1,LDNR1
804 S(J,K)=0.
   DO 805 K=1,NNR1

```

```

      DO 805 J=NR11,NJ3
805  S(J,K)=0.
      DO 806 K=1,NLS
      DO 806 J=NR11,NJ3
806  AC(J,K)=0.

```

C  
C  
C

REACOMODO DE LAS MATRICES RESIDUALES DE CARGA Y RIGIDEZ

```

      IF(NR2) 516,517,516
516  DO 518 KM=1,LDNR1
      I=LDNR1-KM+1
      IF(LR(I)-2)521,519,521
519  DO 523 K=I,LDNR1
      DO 523 J=1,LDNR1
      S(J,K)=S(J,K+1)
523  S(J,K+1)=0
521  CONTINUE
518  CONTINUE
      KA=LDNR1
      DO 524 KM=1,KA
      I=KA-KM+1
      IF(LR(I)-2) 524,525,524
525  DO 526 K=1,LDNR1
526  TEM1(K)=S(I,K)
      DO 527 LN=1,NLS
527  TEM2(LN)=AC(I,LN)
      DO 528 J=I,LDNR1
      DO 529 K=1,LDNR1
      S(J,K)=S(J+1,K)
529  S(J+1,K)=0
      DO 811 LN=1,NLS
      AC(J,LN)=AC(J+1,LN)
811  AC(J+1,LN)=0.
528  CONTINUE
      J=N+NR1+LCR2(I)
      IF(J-LDNR1) 813,813,812
813  WRITE(5,680)
      STOP
812  DO 531 K=1,LDNR1
531  S(J,K)=TEM1(K)
      DO 532 LN=1,NLS
532  AC(J,LN)=TEM2(LN)
      LDNR1=LDNR1-1
524  CONTINUE

```

C  
C  
C

NUMERACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS

```

517  IF(MIS) 555,557,555
555  WRITE(5,260)
557  I=0
699  I=I+1
      IF(I-M) 533,533,534
533  CALL NUMER(KE,JJ,JK,CNJ,I)
      DO 541 K=1,6
541  KN(K)=KE(K)

```

C  
C  
C

RENUMERACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS

```

DO 537 J=1,6

```

```

K=KN(J)
IF(LR(K)-1) 535,536,538
535 KN(J)=KN(J)-LCR(K)
GO TO 537
536 KN(J)=N+LCR1(K)
GO TO 537
538 KN(J)=N+NR1+LCR2(K)
537 CONTINUE

```

C  
C  
C

CONSTRUCCION DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA MIEMBRO

```

IF(MI(I)) 507,507,514
514 READ(8,100) IM(I),KI,(B(J),H(J),J=1,KI)
IF(IM(I)-CNM-I) 547,544,547
547 LNMI=CNM+I
WRITE(5,250) LNMI
STOP
544 WRITE(5,270) IM(I),(B(J),H(J),J=1,KI)
CALL MIEMRISM,E,L,I,SUBN,B,H,KI,VCL,MCR)
GO TO 548
507 CALL MATEL(E,IZ,L,AX,MCR,VCL,SM,I)
548 CALL ROTAC(CX,CY,RC,I)
DO 569 J1=1,6
DO 569 K=1,6
SMR(K,J1)=0.
DO 569 J=1,6
569 SMR(K,J1)=SMR(K,J1)+SM(K,J)*RC(J,J1)
DO 571 J1=1,6
DO 571 K=1,6
SMD(K,J1)=0.
DO 571 J=1,6
571 SMD(K,J1)=SMD(K,J1)+RC(J,K)*SMR(J,J1)

```

C  
C  
C

CONSTRUCCION DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL

```

DO 542 K=1,6
J=KE(K)
MM=KN(K)
IF(LR(J)-2) 543,542,543
543 DO 542 J=1,6
MN=KN(J)
S(MN,MM)=S(MN,MM)+SMD(J,K)
542 CONTINUE
GO TO 699

```

C  
C  
C

INVERSION DE LA PARTE SUPERIOR DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ GLOBAL

```

534 CALL DIVID (S,N)
CALL ESPAR (S,N)
IF(SN-1) 705,708,705
708 IF(SUBN-1) 423,705,705
705 DO 702 J=1,M
DO 702 K=1,NLS
702 LML(J,K)=0
DO 706 J=1,NJ3
DO 706 K=1,NLS
AE(J,K)=0.
706 A(J,K)=0.
NDJS=6*NLS

```



```

DO 707 J=1,M
DO 707 K=1,NDJS
707 AML(J,K)=0.

```

```

C
C   INFORMACION RELATIVA AL CARGAMENTO DE LOS NUDOS Y MIEMBROS
C

```

```

LN=0
611 LN=LN+1
IF(LN-NLS) 604,604,607

```

```

C
C   DATOS PARA CADA TIPO DE CARGAMENTO
C

```

```

604 WRITE(5,540) LN
READ(8,240) NLJ,NLM
WRITE(5,310)NLJ,NLM
IF(NLJ) 612,613,612
612 WRITE(5,690)

```

```

C
C   LECTURA DE LAS CARGAS APLICADAS EN LOS NUDOS
C

```

```

READ(8,300) (NN(J),AT2(J),AT1(J),AT3(J),J=1,NLJ)
DO 606 J=1,NLJ
K=3*(NN(J)-CNJ)
A(K-2,LN)=AT2(J)
A(K-1,LN)=AT1(J)
606 A(K,LN)=AT3(J)
WRITE(5,700)
WRITE(5,710)(NN(J),AT2(J),AT1(J),AT3(J),J=1,NLJ)
613 IF(NLM) 608,623,608
608 WRITE(5,720)
K=6*(LN-1)+1
KL=K+5
DO 614 J=1,NLM
READ(8,670) I,NCC,LOE
MEM=I-CNM
IF(LOE) 617,501,617

```

```

C
C   LECTURA DE LAS ACCIONES EQUIVALENTES EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS
C   OS CASO DE QUE NO SE USE LA SUBROTINA CARVI
C

```

```

617 READ(8,760) (AML(MEM,JE),JE=K,KL)
GO TO 691
501 IF(MI(MEM)) 901,553,901
553 IF(MCR(MEM)) 801,901,801
801 CALL MATEL(E,IZ,L,AX,MCR,VCL,SM,MEM)
901 CALL CARVI(L,MEM,AML,NCC,K,SM,MCR,VCL,CNM,MI,SUBN,E)
691 LML(MEM,LN)=1
IM(J)=I
KK=0
DO 693 LM=K,KL
KK=KK+1
693 DML(J,KK)=AML(MEM,LM)
614 CONTINUE
WRITE(5,550)
WRITE(5,650)(IM(J),(DML(J,JE),JE=1,6),J=1,NLM)
623 GO TO 611
607 DO 616 I=1,M
DO 616 LN=1,NLS
IF(LML(I,LN)-1) 616,618,616

```

```

618 CALL NUMERIKE,JJ,JK,CNJ,I)
      K=6*(LN-1)
      CALL ROTAC(CX,CY,RC,I)

```

```

C
C   CALCULO EN COORDENADAS GLOBALES DE LAS ACCIONES EQUIVALENTES EN LO
C   S EXTREMOS DE LOS MIEMBROS
C

```

```

      DO 616 J1=1,6
      J=KE(J1)
      DO 616 J2=1,6
      J3=J2+K
      AE(J,LN)=AE(J,LN)-RC(J2,J1)*AML(I,J3)
616 CONTINUE

```

```

C
C   CALCULO DE LAS CARGAS COMBINADAS EN LOS NUDOS
C

```

```

      DO 621 J=1,NJ3
      IF(LR(J)-1) 622,626,627
622 K=J-LCR(J)
      GO TO 624
626 K=N+LCR1(J)
      GO TO 624
627 K=N+NR1+LCR2(J)
624 DO 621 LN=1,NLS
621 AC(K,LN)=AC(K,LN)+A(J,LN)+AE(J,LN)
      IF(SUBN-NSU) 628,629,628
629 GO TO 631

```

```

C
C   CALCULO DE LAS MATRICES CONDENSADAS DE RIGIDEZ Y DE CARGA
C

```

```

628 DO 632 J=1,N
      DO 632 LN=1,NLS
      A(J,LN)=0.
      DO 632 K=1,N
632 A(J,LN)=A(J,LN)+S(J,K)*AC(K,LN)
      NI=N+1
      DO 633 J=1,N
      DO 633 I=NI,NNR1
      S(J,I)=0
      DO 633 K=1,N
633 S(J,I)=S(J,I)+S(J,K)*S(I,K)

```

```

C
C   ALMACENAR EN EL DISCO LAS INFORMACIONES NECESARIAS DE CADA SUBESTR
C   UCTURA
C

```

```

      ID1=2*(SUBN-1)+1
      WRITE(1*ID1) L,IZ,AX,JJ,JK,E,M,N,CNM,CNJ,NR,NR1,NR2,NJ,VCL,MCR,CX,
1CY
      ID2=6*(SUBN-1)+1
      WRITE(2*ID2) AC,A,LR,AML
      ID3=24*(SUBN-1)+1
      WRITE(3*ID3)S
      DO 634 J=NI,NNR1
      DO 634 LN=1,NLS
      JEN=J-N
      AC(JEN,LN)=AC(J,LN)
      DO 634 K=1,N

```

```

C
C   CALCULO MATRIZ RESIDUAL DE CARGA

```

```

C
634 AC(JEN, LN)=AC(JEN, LN)-S(J, K)*A(K, LN)
DO 635 J=N1, NNR1
DO 635 K=N1, NNR1
DO 635 I=1, N

```

```

C
C   CALCULO MATRIZ RESIDUAL DE RIGIDEZ
C

```

```

635 S(J, K)=S(J, K)-S(J, I)*S(I, K)
DO 636 J=1, NR1
DO 636 K=1, NR1
JN=J+N
KM=K+N

```

```

636 S(J, K)=S(JN, KM)
CNM=CNM+M
CNJ=CNJ+NJ-NR1/3
NCA=NR1/3
JN=NJ-NCA
DO 911 K=1, NCA
J=JN+K
X(K)=X(J)
Y(K)=Y(J)
NN(K)=NN(J)

```

```

911 CONTINUE
GO TO 694

```

```

C
C   CALCULOS PARA LA ULTIMA SUBESTRUCTURA
C

```

```

631 DO 637 J=1, N
DO 637 LN=1, NLS
D(J, LN)=0.
DO 637 K=1, N

```

```

C
C   CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS
C

```

```

637 D(J, LN)=D(J, LN)+S(J, K)*AC(K, LN)

```

```

C
C   EXPANSION MATRIZ DE LOS DESPLAZAMIENTOS
C

```

```

638 J=N+NR1+1
NNR=N+NR
DO 643 I=1, NNR
JE=NNR-I+1
IF(LR(JE)-2) 639, 641, 639

```

```

639 J=J-1
DO 642 LN=1, NLS
642 DJ(JE, LN)=D(J, LN)
GO TO 643

```

```

641 DO 644 LN=1, NLS
644 DJ(JE, LN)=0.
643 CONTINUE

```

```

C
C   CALCULO DE LAS ACCIONES EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS PARA CADA
C   SUBESTRUCTURA
C

```

```

I=0
645 I=I+1
IF(I-M) 646, 646, 647
646 CALL NUMER(KE, JJ, JK, CNJ, I)

```

```

IF(MI(1)) 908,909,908
908 ID4=30*(SUBN-1)+I
READ(4, ID4) SM, B, H, KI, ES
IF(MCR(I)) 915,916,915
915 DO 917 J=1,6
IF(VCL(I, J)) 918,917,918
918 CALL CAMBI(SM, J)
917 CONTINUE
GO TO 916
909 CALL MATEL(E, IZ, L, AX, MCR, VCL, SM, I)
916 CALL ROTAC(CX, CY, RC, I)
DO 563 J1=1,6
DO 563 K=1,6
SMR(K, J1)=0.
DO 563 J=1,6
SMR(K, J1)=SMR(K, J1)+SM(K, J)*RC(J, J1)
563 CONTINUE
DO 649 LN=1, NLS
DO 649 J=1, 6
K=6*(LN-1)+J
DO 649 J1=1,6
J2=KE(J1)
649 AML(I, K)=AML(I, K)+SMR(J, J1)*DJ(J2, LN)
GO TO 645
647 IF(NR2) 651,654,651
651 NN11=N+NR1+1

```

C  
C  
C

CALCULO DE LAS REACCIONES DE SOPORTE SI LAS HUBIERE

```

DO 655 K=NN11, NNR
DO 655 LN=1, NLS
AR(K, LN)=-AC(K, LN)
DO 655 J=1, NNR1
655 AR(K, LN)=AR(K, LN)+S(K, J)*D(J, LN)
K=N+NR1
DO 656 KM=1, NNR
IF(LR(KM)-2) 657,658,657
658 K=K+1
DO 659 LN=1, NLS
659 AR(KM, LN)=AR(K, LN)
GO TO 656
657 DO 661 LN=1, NLS
661 AR(KM, LN)=0.
656 CONTINUE
654 IF(SUBN-NSU) 902,903,902
903 WRITE(5,730)

```

C  
C  
C

IMPRESION DE LOS RESULTADOS PARA CADA SUBESTRUCTURA

```

902 WRITE(5,610) SUBN
LN=0
662 LN=LN+1
WRITE(5,540) LN
WRITE(5,630)
DO 663 K=1, NJ
663 NN(K)=CNJ+K

```

C  
C  
C

IMPRESION DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LOS NUDOS

```
WRITE(5,640) (NN(I),DJ(3*I-2,LN),DJ(3*I-1,LN),DJ(3*I,LN),I=1,NJ)
```

C  
C  
C

```
IMPRESION ACCIONES EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS
```

```
WRITE(5,740)
```

```
NDJ2=6*(LN-1)+1
```

```
NDJL=6*LN
```

```
DO 709 I=1,M
```

```
709 IM(I)=I+CNM
```

```
WRITE(5,650)(IM(I),(AML(I,J),J=NOJ2,NDJL),I=1,M)
```

C  
C  
C

```
IMPRESION REACCIONES EN LOS NUDOS DE SOPORTE
```

```
IF(NR2) 665,667,665
```

```
665 WRITE(5,750)
```

```
K=0
```

```
DO 671 KM=3,NJ3,3
```

```
IF(LR(KM-2)-2) 669,673,669
```

```
669 IF(LR(KM-1)-2) 675,673,675
```

```
675 IF(LR(KM)-2) 671,673,671
```

```
673 KE3=CNJ+KM/3
```

```
K=K+1
```

```
NN(K)=CNJ+KM/3
```

```
AT2(K)=AR(KM-2,LN)
```

```
AT1(K)=AR(KM-1,LN)
```

```
AT3(K)=AR(KM,LN)
```

```
671 CONTINUE
```

```
WRITE(5,660) (NN(I),AT2(I),AT1(I),AT3(I),I=1,K)
```

```
667 IF(LN-NLS) 679,681,681
```

```
679 GO TO 662
```

```
681 IF(SUBN-1) 682,682,683
```

```
682 GO TO 684
```

C  
C  
C

```
ANALISIS DE OTRAS SUBESTRUCTURAS
```

```
683 SUBN=SUBN-1
```

C  
C  
C  
C

```
LECTURA DE LA INFORMACION ALMACENADA EN EL DISCO PARA EL ANALISIS  
DE CADA UNA DE LAS SUBESTRUCTURAS
```

```
ID1=2*(SUBN-1)+1
```

```
READ(1'ID1) L,IZ,AX,JJ,JK,F,M,N,CNM,CNJ,NR,NR1,NR2,NJ,VCL,MCR,CX,  
1CY
```

```
ID2=6*(SUBN-1)+1
```

```
READ(2'ID2) AC,A,LR,AML
```

```
ID3=24*(SUBN-1)+1
```

```
READ(3'ID3) S
```

```
NNR1=N+NR1
```

```
N1=N+1
```

```
DO 685 JEE=1,NNR1
```

```
JEM=NNR1-JEE+1
```

```
DO 685 J=JEM,N1
```

```
DO 685 LN=1,NLS
```

```
J8N=J-N
```

```
685 D(J,LN)=DJ(J8N,LN)
```

```
DO 686 J=1,N
```

```
DO 686 LN=1,NLS
```

```
D(J,LN)=A(J,LN)
```

```
DO 686 K=N1,NNR1
```

```

686 D(J, LN)=D(J, LN)-S(J, K)*D(K, LN)
GO TO 638
100 FORMAT(2I5, 14F5.2, / (16F5.2))
110 FORMAT(6I10, F15.2)
120 FORMAT(2(I10, 6I5))
130 FORMAT(/ I4, 6I8, I18, 6I8)
140 FORMAT(/ I4, F10.2, F9.2, I13, F10.2, F9.2, I13, F10.2, F9.2, I13, F10.2, F9.2
1)
150 FORMAT(/////15X, 'COORDENADAS DE LOS NUDOS'///1X, 'NUDO' COOR.X
1 COOR.Y', 10X, 'NUDO COOR.X COOR.Y', 10X, 'NUDO COOR.X COOR.Y
2', 10X, 'NUDO COOR.X COOR.Y')
160 FORMAT(4(I4, 2F8.2))
170 FORMAT(/////15X, 'ROTULAS EN LOS MIEMBROS'///1X, 'MIEM. DIR.1
1 DIR.2 DIR.3 DIR.4 DIR.5 DIR.6', 13X, 'MIEM. DIR.1 DIR.2
2 DIR.3 DIR.4 DIR.5 DIR.6')
180 FORMAT(/////15X, 'INFORMACION RELATIVA A LOS MIEMBROS'///1X, 'MI
1 JJ JK IM MCR', 5X, 'AX', 9X, 'IZ LONG.', 8X, 'MI JJ
2 JK IM MCR', 5X, 'AX', 9X, 'IZ LONG.')
```

```

190 FORMAT(2(5I5, F7.2, F8.2))
200 FORMAT(/ I3, 4I5, F9.2, F12.4, F12.2, I10, 4I5, F9.2, F12.4, F12.2)
210 FORMAT(/ I4, I7, 2I9, I19, I7, 2I9, I19, I7, 2I9)
220 FORMAT(/////15X, 'RESTRICCION DE LOS NUDOS'///1X, 'NUDO REST.X
1 REST.Y REST.Z', 13X, 'NUDO REST.X REST.Y REST.Z', 13X, 'NUDO
2 REST.X REST.Y REST.Z')
```

```

230 FORMAT(16I5)
240 FORMAT(2I10)
250 FORMAT(' LECTURA ERRADA EN LOS DATOS DEL MIEMBRO', I5)
260 FORMAT(///15X, 'INFORMACION RELATIVA A LOS MIEMBROS IRREGULARE
1S'///1 MIEM. B H', 7(6X, 'B H'))
270 FORMAT(/ I4, F9.2, 15F7.2 // (F13.2, 15F7.2//))
280 FORMAT(///1 EXCESO DE ROTULAS EN EL MIEMBRO', I5)
300 FORMAT(2(I10, 3F10.2))
310 FORMAT(///22X, 'NUDOS CON CARGAS APLICADAS =' , I4, 10X, 'MIEMBROS C
1ON CARGAMENTO =' , I4)
350 FORMAT('1', //54X, 'COPPE---UFRJ' /54X, '----- ----' /39X, 'TESIS DE
1 LUIS FRANCISCO ROJAS MONTERO' /39X, '----- -- ---- ----
2 ----- ----' /53X, 'MAYO DE 1971' /53X, '----- -- ----')
```

```

360 FORMAT(//////////14X, 'M=' , I3, 5X, 'N=' , I3, 5X, 'NJ=' , I3, 5X, 'NR=' , I3, 5X
1, 'NRJ=' , I3, 5X, 'MIS=' , I3, 5X, 'MCL=' , I3, 5X, 'E=' , F12.2)
500 FORMAT(3I10)
510 FORMAT(//////////2X, 'ANALISIS DE MARCOS CON
1NUDOS RIGIDOS POR EL METODO DE DIVISION EN
2SUBESTRUCTURAS')
```

```

520 FORMAT(//////////21X, 'MARCO NO.' , I3, ' DIVIDIDO EN' , I4, ' S
1UBESTRUCTURAS CON' , I3, ' TIPOS DE CARGAMENTO')
```

```

530 FORMAT(//////////41X, 'DATOS PARA LA SUBESTRUCTURA NO.' , I3
1)
540 FORMAT(///51X, 'CARGAMENTO NO.' , I3//)
550 FORMAT(///15X, 'ACCIONES EQUIVALENTES EN COORDENADAS LOCALES E
1N LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS'///1 MIEM. AML.1 AML.2
3AML.3 AML.4 AML.5 AML.6', 13X, 'MIEM. AML.1 AML.2 AML.3
4 AML.4 AML.5 AML.6')
```

```

610 FORMAT(//////////40X, 'RESULTADOS PARA LA SUBESTRUCTURA NO
1.' , I3)
630 FORMAT(///15X, 'DESPLAZAMIENTO DE LOS NUDOS'///1X, 'NUDO', 9X, 'DESP
1.X', 9X, 'DESP.Y', 9X, 'DESP.Z', 20X, 'NUDO', 9X, 'DESP.X', 9X, 'DESP.Y', 9X,
3'DESP.Z')
```

```

640 FORMAT(/ I4, F16.6, 2F15.6, I23, F16.6, 2F15.6)
650 FORMAT(/ I4, F10.2, 5F8.2, I16, F10.2, 5F8.2)

```

```

660 FORMAT(/I5,F16.2,2F15.2,I23,F16.2,2F15.2)
670 FORMAT(3I10)
680 FORMAT(/I10X,'ERROR EN EL ACOMODAMIENTO DE LAS MATRICES-PARE.')
690 FORMAT(/I15X,'INFORMACION RELATIVA AL CARGAMENTO DE LOS M
MIEMBROS Y NUDOS')
700 FORMAT(/I15X, 'CARGAMENTO DE LOS NUDOS'////' N
2NUDO CARGA.X CARGA.Y CARGA.Z',8X,'NUDO CARGA.X CARGA.Y
3CARGA.Z',8X,'NUDO CARGA.X CARGA.Y CARGA.Z')
710 FORMAT(/I4,F11.2,2F10.2,I11,F11.2,2F10.2,I11,F11.2,2F10.2)
720 FORMAT(/I15X, 'CARGAMENTO DE LOS MIEMBROS'////
1IX,'MIEMBRO',4X,'CARGAS DISTRIBUIDAS DISTANCIAS',4X,'CARGAS CON
2CENTRADAS DISTANCIAS',4X,'MOMENTOS CONCENTRADOS DISTANCIAS'////1
34X,'WY WX WZ G H', 9X,'PY',8X,'PX',10X,'R',20X,'T
4',17X,'Q')
730 FORMAT('1',//////////49X,'RESULTADOS FINALES')
740 FORMAT(/I15X,'ACCIONES EN LOS EXTREMOS DE LOS MIEMBROS'////
1' MIEM. AML.1 AML.2 AML.3 AML.4 AML.5 AML.6',13X,'MIEM.
2. AML.1 AML.2 AML.3 AML.4 AML.5 AML.6')
750 FORMAT(/I15X,'REACCIONES EN LOS NUDOS DE SOPORTE'////' NUDO'
1,9X,'REAC.X',9X,'REAC.Y',9X,'REAC.Z',20X,'NUDO',9X,'REAC.X',9X,'RE
2AC.Y',9X,'REAC.Z')
760 FORMAT(6F10.2)
423 CALL EXIT
END

```

FEATURES SUPPORTED  
ONE WORD INTEGERS  
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR  
COMMON C VARIABLES 12690 PROGRAM 6538

END OF COMPILATION

// XEQ 1

\*FILES(1,GAR11,00FF),(2,GAR12,00FF),(3,GAR13,10FF),(4,GAR14,2004)