

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 TÉCNICAS DIDÁCTICAS QUE ACTUALMENTE SE APLICAN EN LA ENSEÑANZA EN LA EDUCACION SUPERIOR.

La teoria del aprendizaje por asociacion se basa en comparar la mente humana con la computadora. La percepcion es un copia de la realidad. El alumno organiza los contenidos en cadenas o redes de significacion. Luego el contenido semantico se transforma en procedimiento. La práctica lleva a la automatización.

La teoria de los esquemas sostiene que el conocimiento se adquiere gracias a que se presenta a traves de esquemas. Un "esquema" sería una "estructura de datos" útil para representar conceptos genéricos almacenados en la memoria.

También compara el funcionamiento mental con el de la computadora. Los esquemas no son definiciones, sino relación jerarquica entre conceptos, segun la mayor o menor generalidad de éstos.

Supone un tipo de razonamiento inductivo en el que se establecen analogias para memorizar, el asociacionista, copia

la calidad con un mínimo de construcción mental, usando esquemas.

El aprendizaje por reestructuración se logra mediante la construcción del conocimiento. El conocimiento descansa en estructuras de equilibración.

Se distinguen tres fases en este proceso:

Asimilación.- Da un sentido a los datos percibidos, según los conocimientos que posea el alumno.

Acomodación.- Se reestructuran los esquemas mentales, por la nueva información recibida.

Equilibrio.- Se hace un nuevo balance, dado que los datos y las estructuras mentales corresponden.

El aprendizaje por descubrimiento se funda en el razonamiento inductivo. El estudiante o participa activamente o no aprende. El maestro debe organizar estructuras instruccionales, que los alumnos deben ir "descubriendo", después de formular ciertas hipótesis y establecer posibles relaciones.

Según Vigotsky el aprendizaje sigue un camino deductivo-inductivo de reestructuración. El estudiante recibe los "consumos", los organiza, los transforma imprimiéndoles un significado y una interpretación. El aprendizaje no se da si no intervienen elementos mediadores que puedan ser "signos",

como las palabras basicamente.El aprendizaje seria un proceso de internalizacion: primero se recibe un cumulo de estímulos no organizados; luego hay una identificación de los datos y una identificación superficial. Posteriormente se forman en la mente los conceptos de lo percibido.

La teoría del aprendizaje significativo utiliza un razonamiento deductivo. El aprendizaje es significativo en la medida que se genera un ambiente, aunque sea parcialmente conocido y en condiciones que permitan su contextualización. El maestro debe elaborar un conjunto de conceptos y proposiciones que permitan relacionar la información que ya posee el alumno con la información que tiene que aprender, lo cual expone inicialmente a los estudiantes, luego se les presenta el conocimiento semántico y procedimental, con gran número de ejemplos. Los estudiantes necesitan luego aplicar el conocimiento en la solución de problemas.

El aprendizaje, por otra parte, está relacionado con las conductas que sirven como indicadores de la manera en que aprendemos y nos adaptamos al medio ambiente.Todas las personas somos diferentes, percibimos la realidad de distintas maneras, aprendemos de distintas formas y pensamos de diferentes maneras, según las formas como se procesa la

información. Hay observadores pasivos que mayormente reflexionan y otros activos que principalmente actúan. En este tiempo se insiste mucho en que se induzca el "aprender haciendo", recomendando lo objetivo, lo práctico, lo concreto, la realidad; para luego generalizar y pasar a lo abstracto, a las explicaciones racionales.

Los maestros necesitan intentar conocer, mediante observaciones, qué estilos de aprendizaje predominan entre sus alumnos y tratar de exponer los conocimientos de las maneras más variadas, aunque repitan en diferentes formas, o propongan distintos ejercicios, para beneficio de los alumnos, que aprenden de distintas maneras.

En la historia de la educación en el nivel profesional se sabe que la estrategia más comúnmente empleada es la oral-expositiva, que en el mejor de los casos puede llamarse "conferencia".

Una estrategia recomienda que se eviten las estrategias que fomentan la pasividad de los alumnos, a favor de aquellos que promueven el aprendizaje activo y la interactividad.

Otra estrategia recomienda que se procure la información de las fuentes y que ésta sea expuesta o expresada de diferentes formas: como resumen, en las propias palabras del alumno; en forma sinoptica en tablas en "mapas conceptuales", en "mapas mentales", en secuencias, etc. Otra estrategia consiste en aplicar al conocimiento las principales habilidades del pensamiento, en especial, las de clasificación, análisis, síntesis, y evaluación.

Una estrategia que suele ser utilizada dentro de todas las demás es la de las preguntas intercaladas. Las preguntas deben de hacerse con mucho cuidado para que promuevan una respuesta razonada y de calidad, intercalar preguntas en las demás técnicas, para interrumpir algo rutinario; sobre todo para constatar si nos estamos explicando satisfactoriamente.

Independientemente de la técnica utilizada se recomienda utilizar distintos tamaños de letras, recuadros, subrayados y otros artificios para llamar la atención del estudiante. Cuando el mensaje sea oral es recomendable elevar o bajar la voz, hacer ademanes, adoptar posturas, etc. para darle importancia especial a lo que se comunica.

Se recomienda hacer comparaciones, explícitas o implícitas de algunos conceptos con aquellas cosas que se les parezcan. Es muy conveniente utilizar fotografías, dibujos, esquemas y otros medios gráficos.

En el aprendizaje basado en problemas, el alumno parte de una experiencia y abstrae los conocimientos para aplicarlos en una situación problemática, similar a aquella en la que aprendió. Al proponerse a los alumnos un caso problemático por resolver, estos tienen oportunidad de organizar sus ideas, consultar textos, discutir estrategias y alternativas con los compañeros y con el maestro y al final proponer soluciones.

Los maestros que tenemos muchos años enseñando en aulas universitarias, ahora podemos explicarnos alguna causa del éxito relativo que hemos tenido al lograr el aprendizaje de muchos alumnos, pues hemos aplicado intuitivamente un método que ahora elogian los expertos en didáctica, por muchos años hemos resuelto problemas ante el grupo; quizá utilizando viciosamente algunos procedimientos; pero siempre exigiendo que después resuelvan personalmente problemas similares.

1.2 JUSTIFICACION DE ESTE ESTUDIO

Desde que el que esto escribe cursó la materia que hoy lleva por título "Análisis de Estructuras", hace 30 (treinta) años y habiendo permanecido desde entonces en esta facultad como maestro, siempre he observado que existen problemas serios en el proceso de enseñanza-aprendizaje de esta materia y pienso que esto se debe a que en la mayoría de los casos el maestro no cuenta con el tiempo suficiente para realizar un análisis completo de todo un problema en el salón de clases, ya que se ocupa mucho tiempo en realizar los cálculos necesarios para analizar cada parte de la estructura y, la mayoría de las veces, nunca se tiene el resultado final del problema, quedando el ejemplo inconcluso y ,en muchas ocasiones, se da el tema por visto. Cuando, posteriormente, el estudiante trata de resolver el problema ,se encuentra con muchas dudas y es ahí donde se da cuenta de que no obtuvo un buen aprendizaje, debido a que el maestro no contó con todo el tiempo necesario para terminar la solución del problema-ejemplo completamente en el pizarrón.

Tomando en cuenta que el análisis de una estructura, por muy sencilla que sea ,requiere de una serie de cálculos repetitivos; ya que sin ellos no se puede proceder a dar

solución a la estructura, creo que es recomendable y necesario implantar programas computacionales para la enseñanza de esta materia y, de esta manera, la gran cantidad de tiempo que actualmente se utiliza en realizar los cálculos repetitivos señalados , podría utilizarse en realizar el análisis de un mayor número de estructuras de tamaño considerable y con un grado de dificultad tan elevado como el curso lo requiera; ya que el tiempo dedicado al análisis de sistemas estructurales complejos, por métodos computacionales, se ha reducido notablemente y, además, han sido desarrollados procedimientos especializados de análisis estructural , para su uso en las computadoras.

Un gran número de programas de computación, tales como STRESSS, STRUDL, STRAN, PAEM Y NASTRAN, facilitan grandemente el análisis de las estructuras de tamaño considerable, las cuales requieren de una gran cantidad de tiempo para encontrar una solución en forma manual. No obstante todo lo antes comentado, el estudiante deberá tener en cuenta que, aunque estos programas computacionales facilitan el análisis de las estructuras, se deben tener los conocimientos básicos de matemáticas y de estática , con la finalidad de tener criterio y saber elegir el programa más adecuado en cada estructura en particular.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y COMPUTADORAS

En la actualidad el uso de computadoras ha tenido un tremendo potencial en el campo del análisis y diseño de estructuras, este potencial solo puede ser aprovechado si el software tiene disponibilidad en la ingeniería estructural, la cual podría producir los requerimientos de las operaciones.

2.1 PROGRAMAS DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El propósito de este trabajo es demostrar el uso de las computadoras en el área específica del análisis en ingeniería estructural. La selección de los programas corresponde al análisis de armaduras, de miembros estáticamente indeterminados, de armaduras en un plano, etc.

En la ingeniería se han usado las computadoras, más que nada, para ahorrarse tiempo en el análisis de complejos sistemas estructurales.

Aquí se presentará un grupo de programas computacionales, los cuales podrán ser usados para analizar varios tipos de sistemas estructurales, mediante el uso de una computadora. Cada programa describe un número de problemas, y de qué manera se utilizan para el análisis de varios tipos de estructuras y la forma en que estos resultados son obtenidos.

El análisis que se presentará, no es meramente una demostración de programas en los cuales sólo se resuelven problemas triviales; estos programas cuentan con la capacidad adecuada para resolver análisis de estructuras de tamaño considerable.

Para entender mejor estos programas, se deberá tener conocimiento en el área de análisis de estructuras, ya que de acuerdo con el problema que se presente, es el usuario quien decide cuál programa se debe usar, ya que éste deberá entender el problema que se plantea y transformarlo en un modelo matemático que pudiese ser analizado por un programa de computadora.

2.2 MODELOS MATEMÁTICOS PARA ARMADURAS

El primer paso para utilizar alguno de estos programas es desarrollar el modelo matemático de la armadura que va a ser analizada. El modelo matemático consistirá de una muestra de uniones, localizadas en puntos específicos del espacio, las cuales serán conectadas por miembros elásticos rectos. La longitud de los miembros será mayor, comparada con las dimensiones de su sección transversal. Una junta es requerida por cada punto de intersección de dos o más miembros. En cada

junta ,el centroide de los miembros es propuesto de tal manera que se intercepte en un punto común con los demás miembros.

Todas las cargas actuantes en la armadura serán supuestas actuando en las juntas. Una junta es un modelo matemático que puede ser diseñado para soportar las restricciones de translación y/o rotación que en ella sucedan. El tipo de restricciones que pueden existir dependerá de las propiedades particulares de la estructura analizada.

2.2.1 Juntas y Números de Referencia en los Miembros

Todos los miembros y juntas en un modelo matemático de una armadura son identificados en el programa por un número de referencia. Las juntas deberán ser numeradas de 1 a NJ ,donde NJ es el número total de juntas. Los miembros deberán ser numerados de 1 a NM ,donde NM es el número total de miembros. Las juntas y los miembros pueden ser numerados en un orden arbitrario ,decidido por el usuario.

2.2.2 Sistema Coordinado de Juntas Globales

El sistema coordinado de juntas globales consiste en hacer uso de la mano derecha fija en posición ortogonal a los ejes, designados como X,Y,Z; como se muestra en la figura 1-1. Estos ejes son definidos como un sistema de la mano derecha para la orientación de un eje individual ,con respecto a la

mano derecha. Todas las cargas en la junta y los desplazamientos computados en la misma, deberán ser expresados como componentes en el sistema coordenado de juntas globales.

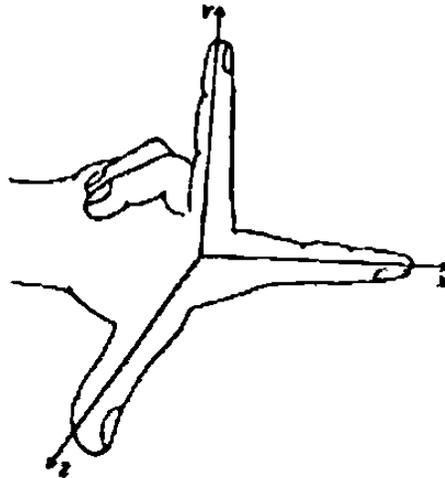


figura 2-1. Sistema coordenado de la mano derecha

2.2.3 Miembros de Incidencia

La localización de algún miembro en un modelo matemático es definida por la especificación de juntas, numeradas en sus dos extremos, esto es llamado miembro de incidencia.

2.2.4 Programa de Entrada

Las propiedades del modelo matemático deben ser suplidas por el programa en forma de entrada de datos. La forma específica del dato variará de programa a programa, sin embargo, en general, contendrá entre otra información: el número de

juntas y miembros en el modelo matemático, la localización de las juntas individuales y la localización de los miembros individuales. El programa no hace conversiones de unidades durante el cómputo, todas las entradas de datos deberán tener unidades consistentes.

2.3 PROGRAMANDO EL LENGUAJE

Existe un gran número de programación de lenguajes, el cual debe ser usado en el desarrollo de programas computacionales de análisis estructural. En este tiempo, el lenguaje más utilizado es el BASIC; todos los programas que a continuación se presentarán serán usados en este lenguaje, con la ayuda de otros similares ,como el FORTRAN.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE ARMADURAS PLANAS ESTÁTICAMENTE DETERMINADAS

3.1 PROGRAMA SDTRUSS

En este programa se computarán las fuerzas de los miembros y las reacciones que soportará una armadura estáticamente determinada, de geometría arbitraria, sujeta a cargas concentradas en las juntas. Para utilizar este programa sólo será necesario tener conocimientos elementales de estática para lograr un completo análisis para las fuerzas en los miembros y las reacciones.

3.2 ARCHIVOS MARCADOS EN EL DISCO

Una de las mayores dificultades que tenemos en el desarrollo de programas de análisis estructural en BASIC es la falta de espacio de memoria. En nuestro caso, todos los datos para un programa son previamente preparados secuencialmente en un archivo de información del disco. Este archivo deberá ser creado usando el sistema operativo editor, o algún editor de línea, el cual esté disponible en el sistema de uso.

3.3 MÉTODO DE ANÁLISIS PARA ARMADURAS ESTÁTICAMENTE DETERMINADAS

3.3.1 Estabilidad y Determinación Estática

Una armadura con NJ juntas, NM miembros, y NR restricciones de soporte tiene una fuerza desconocida por cada miembro y

una reacción desconocida por cada restricción de soporte. Hay un total de $NM+NR$ cantidades desconocidas las cuales deben ser determinadas durante el análisis estructural. Desde que los miembros en una armadura son considerados articulados en las juntas, el momento en una junta será automáticamente cero. De tal manera, en cada junta de una armadura hay dos ecuaciones independientes de equilibrio, las cuales pueden ser obtenidas por la sumatoria de dos fuerzas en dos direcciones en la junta. El número total de ecuaciones de equilibrio independientes para una armadura en un plano deberá ser igual a $2NJ$.

Hay tres posibles situaciones las cuales pueden existir si el número de ecuaciones y el número de incógnitas son comparadas:

1. Si $(NM+NR) < 2NJ$, la armadura es inestable. Cuando un elemento no satisface las condiciones de equilibrio requeridas, el elemento es definido como inestable.
2. Si $(NM+NR) = 2NJ$, la armadura es estáticamente determinada. Una sola solución puede ser obtenida por las ecuaciones, asumiendo que la colocación de los miembros y soportes en la armadura son geoméricamente estables.

3. Si $(NM+NR) > 2NJ$, la armadura no satisface todas las condiciones de equilibrio por lo tanto, es estáticamente indeterminada.

3.3.2 Ecuaciones de Equilibrio

Aunque las cantidades desconocidas en una armadura estáticamente determinada consisten en las fuerzas de miembros y las reacciones, la programación puede ser simplificada si las ecuaciones de equilibrio son escritas solo en términos de fuerzas de miembro.

Las reacciones pueden ser determinadas separadamente después de que las fuerzas de miembros hayan sido computadas. La técnica usada en este programa es la sumatoria de fuerzas, en cada junta en las direcciones globales X y Y no restringidas. Si una restricción existe en una dirección particular, la sumatoria no se produce. Si esto resulta en un total de $2NJ - NR$ ecuaciones, la incógnita será de NM fuerzas de miembro. Las fuerzas no reactivas se presentarán como cantidades desconocidas en las ecuaciones. Desde $NM = 2NJ - NR$ ecuaciones para una armadura estáticamente determinada, el número de incógnitas es exactamente igual al número de ecuaciones.

Antes de que las fuerzas en los miembros sean determinadas, las reacciones pueden ser obtenidas por una sumatoria de fuerzas, en las direcciones de restricción en cada junta de soporte.

Las reacciones deberán ser exactamente el balance de fuerzas, el cual es aplicado a cada junta de soporte, por los miembros unidos a la junta y las cargas externas.

Para demostrar las ecuaciones de equilibrio en una junta no restringida, consideremos la armadura plana típica con cinco juntas y siete miembros que se muestra en la siguiente figura:

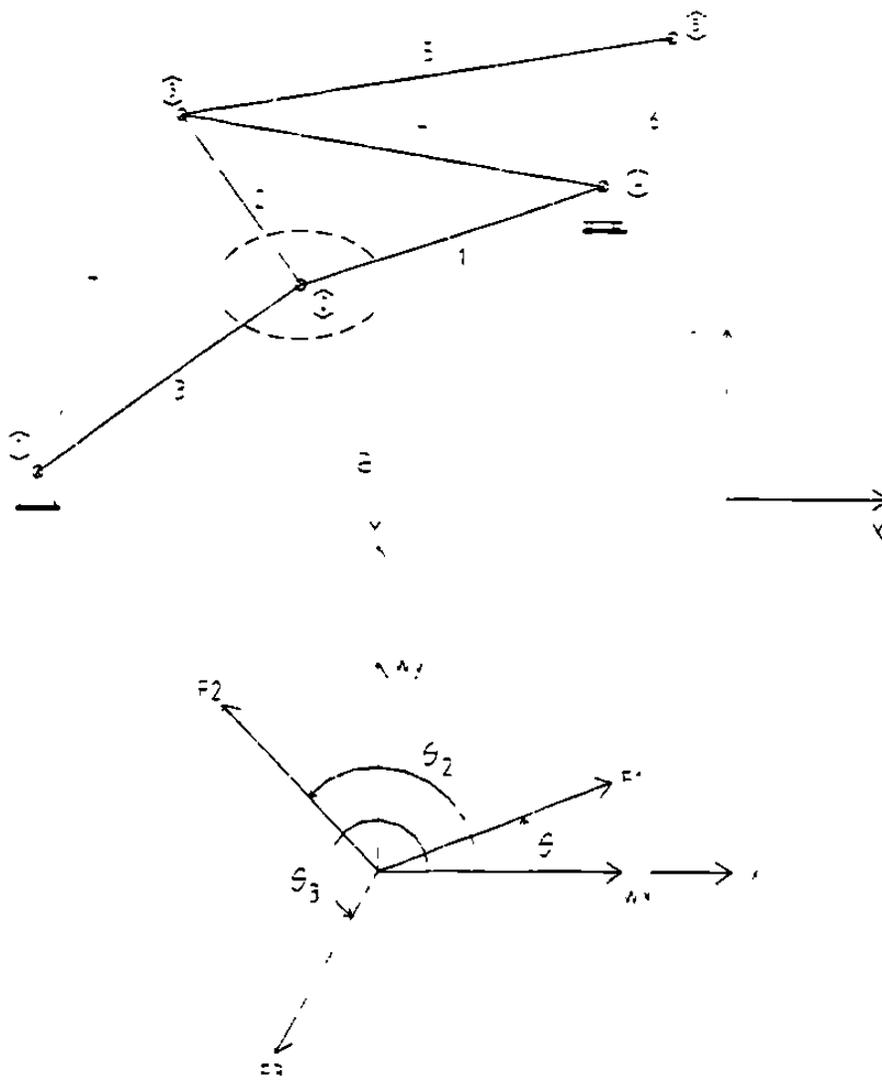


Figura 3 - 1 (a) Armadura plana típica (b) junta típica no restringida de armadura

Sumando las fuerzas actuando en la dirección X tenemos:

$$F1*\cos F1 + F2*\cos F2 + F3*\cos F3 + Wx = 0 \quad \text{ec. (3-1)}$$

Y sumando las fuerzas actuando en la dirección Y nos da:

$$F1*\sen F1 + F2*\sen F2 + F3*\sen F3 + Wy = 0 \quad \text{ec. (3-2)}$$

El ángulo de orientación del miembro se basa en el sentido de las manecillas del reloj, a partir de la parte positiva del eje X.

3.4 SOLUCIÓN DE ECUACIONES SIMULTÁNEAS

El procedimiento que se usa en este programa, para resolver las fuerzas de los miembros, es conocido como: "eliminación de Gauss-Jordan"

Para demostrar el procedimiento, consideraremos un sistema de tres ecuaciones simultáneas de la forma:

$$\begin{aligned} 2.10X_1 - 4.50X_2 - 2.00X_3 &= 10.06 \\ 3.00X_1 + 2.50X_2 + 4.30X_3 &= 4.82 \\ -6.00X_1 + 3.50X_2 + 2.50X_3 &= -27.81 \end{aligned} \quad \text{ec. (3-3)}$$

en donde X_1 , X_2 y X_3 son las incógnitas. El proceso de eliminación será el siguiente:

Paso 1.-Se divide la primera ecuación entre el coeficiente de X_1 y se substraen los múltiplos de la primera ecuación modificada de la segunda y la tercera ecuación para eliminar la incógnita X_1 de estas ecuaciones. Durante este cálculo, el coeficiente de X_1 en la primera ecuación es conocido como coeficiente pivote. La ecuación modificada en el final de este paso nos queda:

$$1.000X_1 - 2.1429X_2 - 0.9524X_3 = 4.7905$$

$$8.9287X_2 + 7.1572X_3 = -9.5515$$

$$-9.3574X_2 - 3.2144X_3 = 0.9330$$

Paso 2 y 3.-Tomando el coeficiente de X_2 en la segunda ecuación modificada del paso 1 como pivote, se repite el mismo procedimiento que en el paso 1 y hacemos lo mismo en el paso 3 solo que tomando como pivote el coeficiente x_3 .

Paso 4.-Con las ecuaciones modificadas obtenidas ahora podemos resolver directamente las incógnitas X_1 , X_2 , y X_3 :

$$X_1 = 4.1188$$

$$X_2 = 0.6278$$

$$X_3 = -2.1178$$

Para verificar que el valor de las incógnitas sea el correcto se sustituirán sus valores en las ecuaciones originales.

3.5 ARCHIVO DE INFORMACIÓN DEL DISCO DE ENTRADA

El primer paso para la elaboración de un programa de computación, es el conocer los datos que describen el modelo matemático del archivo de información del disco de entrada. Este archivo debe tener un formato específico en donde la información tenga un orden correcto y pueda ser fácilmente interpretada. La ejecución del programa no puede proceder si un error es detectado en el archivo de información del disco de entrada, el requerimiento del formato para los archivos de información debe ser descrito antes de proceder con una detallada descripción del programa.

3.5.1 Formateo de Archivos en el Disco

El formateo de información del disco debe hacerse como sigue:

Problemas en la línea de título.- Consiste de arriba de 80 caracteres en una línea, las comas no son permitidas en la línea de título.

Tamaño de la estructura de la línea de información.- Esta línea de datos contiene cuatro números: NJ, NM, NSUP y NLJ donde:

NJ= número de juntas

NM= número de miembros

NSUP= número de juntas de soporte

NLJ= número de juntas cargadas

Grupo 1.- Juntas coordinadas.- La primera línea de este grupo debe contener el título: "JUNTAS COORDENADAS" seguido por una línea por cada junta. Cada línea contiene tres números, N, X, Y:

N= número de junta (entero)

X= coordenada de junta X (decimal)

Y= coordenada de junta Y (decimal)

Grupo 2. Información de miembro.- La primer línea de este grupo debe contener el título: "INFORMACIÓN DE MIEMBROS" seguido por una línea por cada miembro. Cada línea contiene tres números, N, JI, J2:

N= número de miembro (entero)

JI= número de junta donde inicia el miembro (entero)

J2= número de junta donde finaliza el miembro (entero)

Los miembros deberán ser numerados de 1 a NM.

Grupo 3.-Restricción de soporte en junta.- La primera línea de este grupo debe contener el título: "RESTRICCIONES DE SOPORTE", seguido por una línea por cada soporte en junta. Cada línea contiene tres números, N, JRX, JRY:

N= número de junta (entero)

JRX= restricciones de translación en la junta global X
(entero)

JRY= restricciones de translación en la junta global Y
(entero)

Grupo 4.-Cargas en las juntas.- La primera línea de este grupo debe contener el título: "CARGAS EN LAS JUNTAS", seguido por una línea por cada junta cargada. Cada línea contiene tres números N, WX, WY:

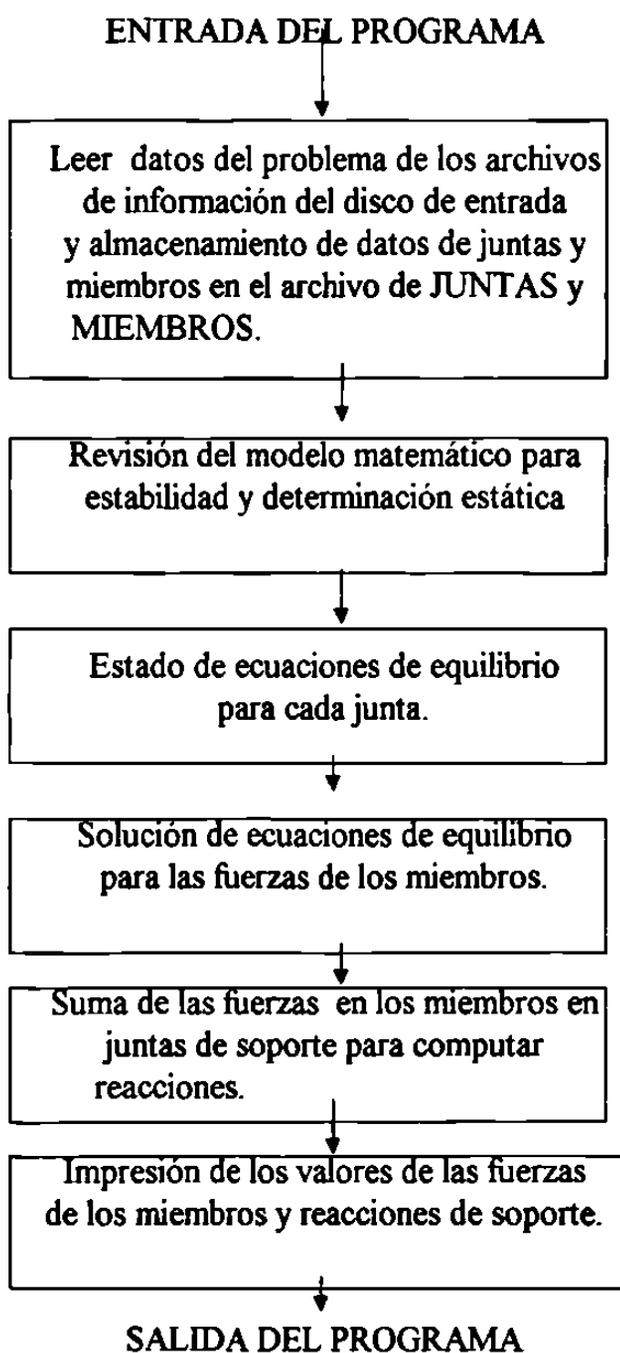
N= número de junta (entero)

WX= fuerza horizontal en la junta (decimal)

WY= fuerza vertical en la junta (decimal)

3.6 ORIGEN BÁSICO DEL PROGRAMA

La operación del programa puede ser dividida dentro de los seis pasos principales mostrados en la siguiente figura. El programa ha sido creado para desarrollar cada uno de esos pasos de una manera secuencial, a fin de progresar paso a paso en forma automatizada.



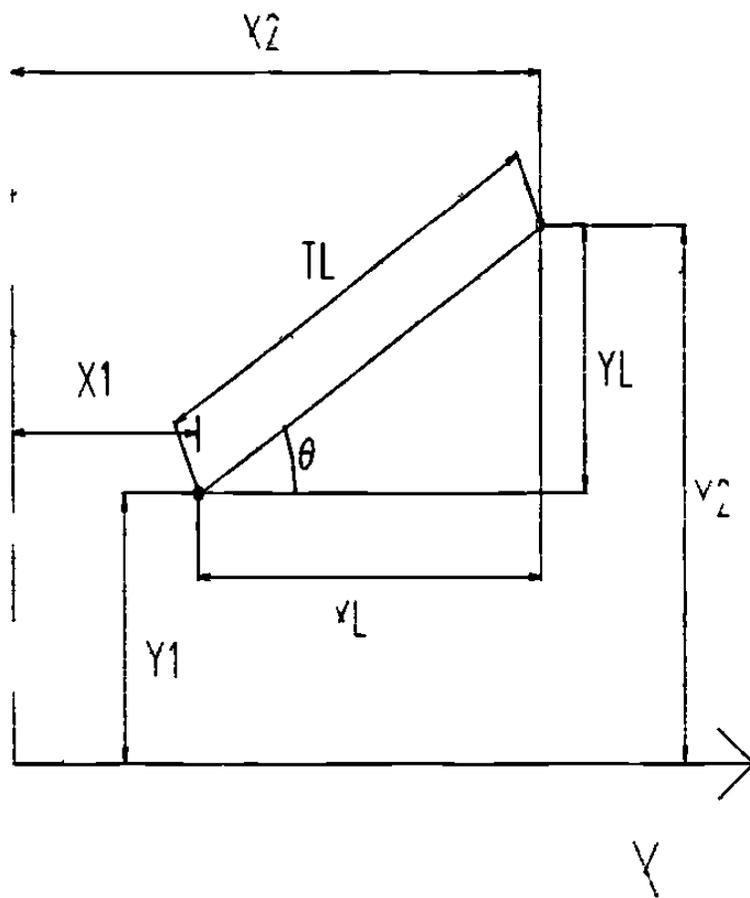


Figura 3-2 Orientación de los miembros.

TL es la longitud total del miembro definido en la figura. Los signos del seno y del coseno se corregirán automáticamente. Después de que el seno y el coseno son computados, son almacenados en el archivo de: "MIEMBROS".

3.7 EJEMPLO DEL PROBLEMA DE ENTRADA Y SALIDA

Para demostrar el uso del programa SDTRUSS, analizaremos la armadura plana mostrada en la figura 3-3a. Esta armadura en particular tiene 8 juntas y 13 miembros, los cuales están sujetos a una sola carga concentrada vertical de 100 kips. La armadura tiene una articulación en el extremo izquierdo y un rodillo en el extremo derecho.

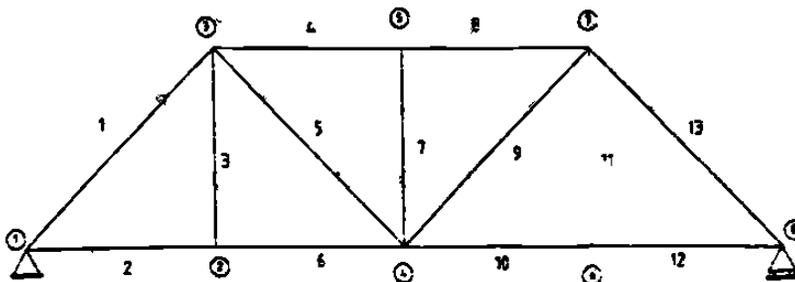
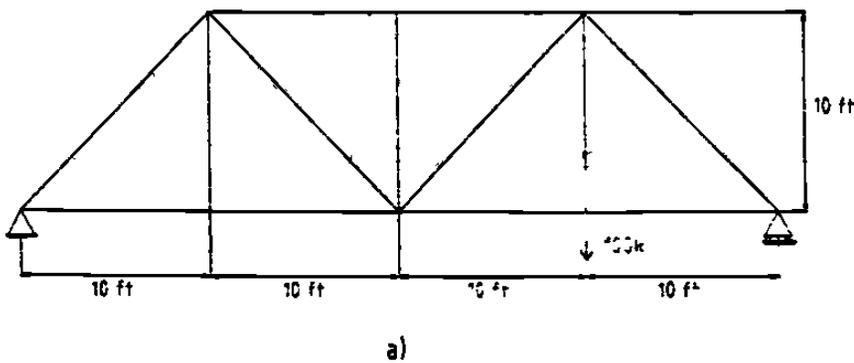


Figura 3-3 Ejemplo de armadura para el programa SDTRUSS.

El primer paso es numerar las juntas y los miembros para referenciarlos en las entradas y en las salidas. Como se describió previamente, el orden de la numeración es arbitraria pero se numerarán de 1 a NJ y los miembros serán numerados de 1 a NM. El sistema de numeración usado en este ejemplo es mostrado en la figura 3-3b, con los números de la junta encerrados en círculos para distinguirlos de los números de los miembros.

El siguiente paso antes de preparar el archivo de información del disco de entrada es establecer el sistema global coordinado de juntas. Para este problema el origen del sistema coordinado ha sido localizado en la junta 1 con el eje X actuando horizontalmente hacia la derecha y el eje Y actuando positivamente hacia arriba. La ubicación actual del origen es insignificante dado que sólo la ubicación relativa de las juntas es usada en el proceso de análisis.

Al introducir los datos de entrada, las longitudes son expresadas en pulgadas y las cargas en kips. Por lo tanto las fuerzas en los miembros y las reacciones estarán dadas en kips. Esta solución concuerda con la solución que se obtendría usando alguno de los procedimientos manuales para la determinación de armaduras estáticamente determinadas, tales como el método de nudos.

El usuario debe seguir el progreso del programa hasta que los mensajes sean mostrados en la pantalla del monitor, indicando

la operación actual y el tiempo transcurrido. El seguimiento de los mensajes que aparecen durante el análisis de este problema se muestra en la figura 3-4

3.8 ANÁLISIS DE ARMADURAS ESTÁTICAMENTE DETERMINADAS

¿CUÁL ES EL NOMBRE DE EL ARCHIVO DE EL DISCO DE ENTRADA? SDTRUSS.IN
ESPERE UN MOMENTO A QUE TODOS LOS ARCHIVOS DEL DISCO ESTÉN ABIERTOS.
LECTURA DE EL ARCHIVO DE INFORMACIÓN DE EL DISCO DE ENTRADA-

TIEMPO=10:33:07

NÚMERO DE JUNTAS=8

NÚMERO DE MIEMBROS=13

COLOCACIÓN DE JUNTAS EN LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO-TIEMPO=10:33:10

NÚMERO DE ECUACIONES=13

MEMORIA LIBRE=54352

SOLUCIÓN DE ECUACIONES EN FUERZAS DE MIEMBROS-TIEMPO=10:33:19

ECUACIÓN 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

COMPUTO DE REACCIONES-TIEMPO=10:33:39

SOLUCIÓN COMPLETA-TIEMPO=10:33:40

ENCIENDA LA IMPRESORA Y COLOQUE EL PAPEL PARA IMPRIMIR LOS RESULTADOS.

EJEMPLO DE ARMADURA PARA EL PROGRAMA SDTRUSS

8, 13, 2, 1

JUNTAS COORDENADAS

1, 0., 0.

2, 120., 0.

3, 120., 120.

4, 240., 0.

4, 240., 120.

6, 360., 0

7, 360., 120.

8, 480., 0.

INFORMACIÓN DE MIEMBROS

1, 1, 3

2, 1, 2

3, 2, 3

4, 2, 4

5, 3, 4

6, 3, 5

7, 4, 5

8, 5, 7

9, 4, 7

10, 4, 6

11, 6, 7

12, 7, 8

13, 6, 8

RESTRICCIONES DE SOPORTE

1, 1, 1

8, 0, 1

CARGAS EN LAS JUNTAS

6, 0., -100

Figura 3-4

Durante la Fase de Análisis.

1. Si en cualquiera de los mensajes de error en BASIC "división entre cero" o "saturación" son mostrados durante la ejecución del programa, esto es probablemente el resultado de un error en la entrada de los datos.
2. Si BASIC muestra el mensaje "fuera de memoria", la cantidad de datos almacenada en la memoria es muy grande para el tamaño disponible de la memoria. La armadura es muy grande para ser analizada en este programa.
3. Si aparece el mensaje "Disco lleno", el archivo de disco generado por el programa requiere más espacio que el disponible en el disco.
4. Si $(NM+NR) < 2NJ$, el mensaje del programa será "ARMADURA INESTABLE" (NM+NR) < 2NJ aparecera. La ejecución terminará.
5. Si $(NM+NR) > 2NJ$, el mensaje del programa será "ARMADURA ESTÁTICAMENTE INDETERMINADA" (NM+NR) > 2NJ, y se leera ESTO NO PUEDE SER ANALIZADO POR ESTE PROGRAMA, La ejecución terminará.
6. Si $(NM+NR) = 2NJ$, pero el orden de los miembros y la restricción de soportes resultan en una armadura inestable, el mensaje del programa será: "LA ESTRUCTURA ES GEOMÉTRICAMENTE INESTABLE, NO HAY SOLUCIÓN POSIBLE", La ejecución terminará.

3.9 EJEMPLO EN ARMADURA PARA EL PROGRAMA SDTRUSS

FUERZAS DE MIEMBRO (MIEMBRO, FUERZA)

1	-35.335
2	25.000
3	0.000
4	25.000
5	35.355
6	-50.000
7	0.000
8	-50.000
9	-35.355
10	75.000
11	100.000
12	-106.066
13	75.000

REACCIONES (JUNTA, RX, RY)

1	0.000	25.000
8	0.000	75.000

Figura 3-5

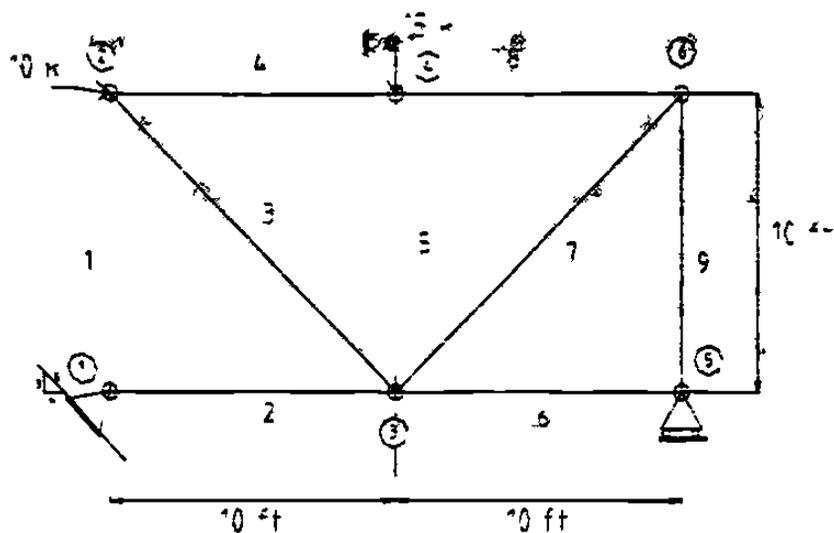
3.10 ERROR EN LOS MENSAJES

Hay un número de errores en el mensaje, los cuales deben ser mostrados en la pantalla del monitor, en varios tableros, durante la ejecución del programa. Algunos de esos mensajes son generados por el programa, otros son generados por el intérprete BASIC. El seguimiento es una explicación de la probable causa de los mensajes predecibles, los cuales deberá ver el usuario.

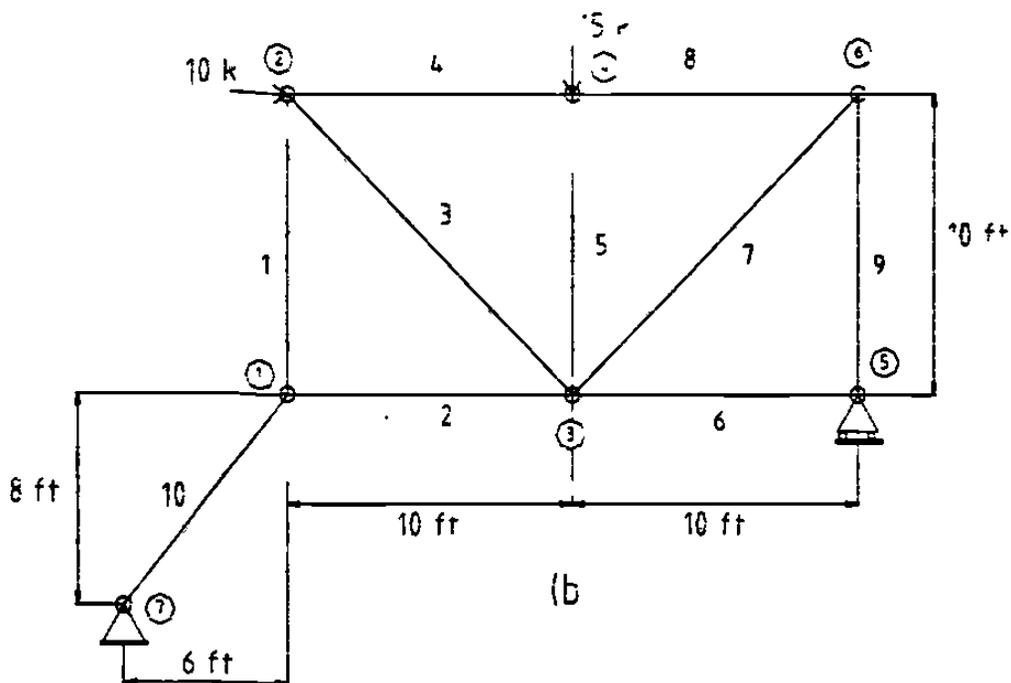
Esto cubre las condiciones de errores predecibles que pueden ocurrir.

3.11 RODILLOS INCLINADOS COMO SOPORTE

Como condición previa, este programa es restringido al análisis de armaduras con cualquier tipo de soporte o soportes restringidos por rodillos horizontales o verticales. No se permiten los soportes de rodillos inclinados; sin embargo, es posible ejecutar un análisis de una armadura con uno o más rodillos inclinados, modificando el modelo matemático, el cual representa una estructura que incluye el efecto de rodillo inclinado.



(a)



(b)

Figura 3-6 Rodillos de soporte inclinados.

Como un ejemplo, consideremos la armadura mostrada en la figura 3-6a, la cual tiene un perno de soporte en la junta 5 y un rodillo de soporte en la junta 1, el cual tiene una pendiente de inclinación de 3 a 4. El efecto del rodillo de soporte inclinado puede ser considerado añadiendo un miembro falso inclinado y un perno de soporte en la junta para el modelo matemático, como se muestra en la figura 3-6b. Si el miembro falso es inclinado perpendicular a la pendiente del rodillo, la fuerza en el miembro será exactamente igual a la fuerza reactiva en el rodillo de soporte y actuará en la misma dirección. Por consiguiente, la fuerza aplicada en la junta 1, por el miembro falso, deberá de ser la misma que debe ser aplicada a la junta por el rodillo de soporte. Como el equilibrio de la armadura original depende de las fuerzas aplicadas a las juntas, las fuerzas en los miembros de las dos armaduras deben ser idénticas.

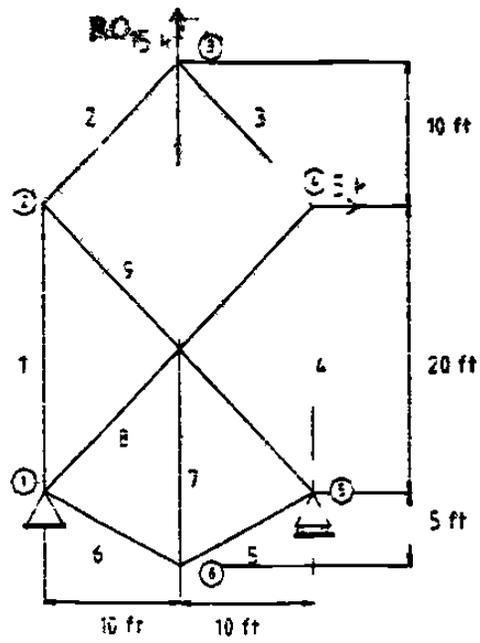
Si la armadura tiene más de un rodillo de soporte inclinado, se puede usar el mismo procedimiento, sólo añadiendo un miembro falso inclinado y una junta de soporte para el modelo matemático, por cada rodillo inclinado. La longitud del miembro falso es arbitraria, mientras su orientación sea la correcta.

3.12 ARMADURAS INESTABLES

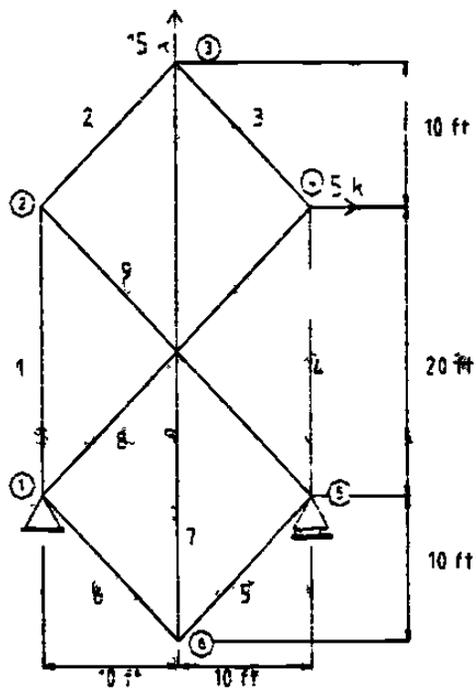
El programa SDTRUSS revisa el número de juntas, el número de miembros y el número de soportes de restricción para asegurar que $(NM+NR)=2NJ$. si esta condición no se satisface, la ejecución se da por terminada; de otro modo, el programa asume que la armadura es estáticamente determinada y estable e intenta la ejecución del análisis.

Si la condición $(NM+NR)=2NJ$ se satisface, es aún posible que se trate de una armadura inestable si los miembros, juntas y soportes de restricción son puestos de tal manera que se forme un mecanismo. Desafortunadamente, esta condición no siempre es obvia. En muchos casos, sólo un pequeño cambio en la geometría de la armadura la convertiría de una condición estable a una inestable. Por ejemplo, consideremos las dos armaduras mostradas en la figura 3-7.

La única diferencia en esas dos armaduras es la posición vertical de la junta 6. Si el análisis de la primera armadura es probada con el programa SDTRUSS, la solución se procesará y quedará impresa como en la figura 3-8.



(a)



(b)

Figura 3-7 Armaduras estables e inestables.

FUERZAS DE MIEMBROS (MIEMBRO, FUERZA)

1	-30.000
2	-21.213
3	-21.213
4	-35.000
5	-16.771
6	-16.771
7	15.000
8	28.284
9	21.213

REACCIONES (JUNTA, RX, RY)

1	-5.000	2.500
5	0.000	12.500

Figura 3-8

Una simple revisión mostrará que las fuerzas en los miembros y las reacciones correspondientes satisfacen los requerimientos de equilibrio para toda la estructura y para cada junta. La armadura es un sistema estructural estable.

Si se realizara un análisis de la segunda armadura, donde la única diferencia en los datos de entrada es la coordenada Y de la junta 6, el mensaje: "la armadura es un sistema estructuralmente inestable", aparecería durante la solución de las ecuaciones de las juntas de equilibrio

Este programa debe ser capaz de reconocer esencialmente todas las situaciones de inestabilidad que pudiesen encontrarse.

3.13 PROGRAMA SDTRUSS

```
10 REM--PROGRAMA SDTRUSS-ANALISIS DE ARMADURAS ESTATICAMENTE
DETERMINADAS

20 REM -- ING. REYES MARTINEZ MATA

30 REM -- TESIS DE MAESTRIA

40 DEFINT I-N: OPCION BASE 1: KEY OFF

50 CLS: LOCATE 5,33: PRINT "PROGRAMA SDTRUSS"

60 LOCATE 7,16:PRINT"ANALISIS DE ARMADURAS PLANAS
ESTATICAMENTE
DETERMINADAS"

70 LOCATE 8,26: PRINT "VERSION PARA COMPUTADORA PERSONAL PC"

80 LOCATE 11,31: PRINT "TESIS DE MAESTRIA"

90 LOCATE 13,32: PRINT "REYES MARTINEZ MATA"

100 LOCATE 15,30: PRINT "ESTRUCTURAS"

110 J=0: FOR I=1 TO 2000: J=J+1: NEXT I

120 CLS: PRINT "ANALISIS DE ARAMADURAS PLANAS ESTATICAMENTE
DETERMINADAS"

130 '

140 REM -- LEE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA

150 '

160 PRINT: INPUT "CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS EN
EL DISCO FILE";FILE$

170 L=LEN(FILE$): IF L=0 GOTO 160 ELSE 210

180 '

190 REM -- ABRE EL ARCHIVO DE DATOS
```

```

200 '
210 PRINT: PRINT "ESPERE UN MOMENTO MIENTRAS SE ABRE EL
ARCHIVO DE DATOS"
220 OPEN "JUNTAS" AS #1 LEN=20
230 FIELD #1,4 AS SX$,4 AS SY$,2 AS SJRX$,2 AS SJRY$,4 AS
SWX$,4 AS SWY$
240 JRX=0: JRY=0: WX=0!: WY=0!
250 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY)
260 LSET SWX$=MKS$(WX): LSET SWY$=MKS$(WY)
270 OPEN "MIEMBROS" AS #2 LEN=12
280 FIELD #2,2 AS SJ1$,2 AS SJ2$,4 AS SCX$,4 AS SSX$
290 CX=0!: SX=0!: LSET SCX$=MKS$(CX): LSET SSX$=MKS$(SX)
300 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #3
310 '
320 REM -- LEE LOS DATOS DESDE EL ARCHIVO DE DATOS
330 '
340 T$=TIME$: PRINT: PRINT "LEYENDO LOS DATOS DE ENTRADA DEL
ARCHIVO-- TIME=";T$
350 INPUT #3,TITLE$
360 INPUT #3,NJ,NM,NSUP,NLJ
370 INPUT #3,DUMMY$
380 FOR I=1 TO NJ: INPUT #3,N,X,Y
390 LSET SX$=MKS$(X): LSET SY$=MKS$(Y)
400 PUT #1,N: NEXT I
410 INPUT #3,DUMMY$
420 FOR I=1 TO NM: INPUT #3,N,J1,J2

```

```

430 LSET SJ1$=MKI$(J1): LSET SJ2$=MKI$(J2)
440 PUT #2,N: NEXT I
450 INPUT #3,DUMMY$: NR=0
460 FOR I=1 TO NSUP: INPUT #3,N,JRX,JRY: NR=NR+JRX+JRY: GET
#1,N
470 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY)
480 PUT #1,N: NEXT I
490 INPUT #3,DUMMY$
500 FOR I=1 TO NLJ: INPUT #3,N,WX,WY: GET #1,N:
510 LSET SWX$=MKS$(WX): LSET SWY$=MKS$(WY)
520 PUT #1,N: NEXT I: CLOSE #3
530 PRINT "NUMERO DE JUNTA =";NJ
540 PRINT "NUMERO OF MIEMBROS =";NM
550 '
560 REM -- ES INESTABLE O ESTATICAMENTE INDETERMINADA LA
ARMADURA?
570 '
580 IF (NM+NR)>(2*NJ) GOTO 590 ELSE 620
590 PRINT: PRINT "LA ARMADURA ES ESTATICAMENTE INDETERMINADA
(NM+NR)>(2*NJ) "
600 PRINT "NO PUEDE SER ANALIZADA POR ESTE PROGRAMA"
610 GOTO 640
620 IF (NM+NR)<(2*NJ) GOTO 630 ELSE 710
630 PRINT: PRINT "LA ARMADURA ES INESTABLE (NM+NR)<(2*NJ) "
640 PRINT "SALIDA DEL PROGRAMA"
650 CLOSE #1: KILL "JUNTAS"

```

```

660 CLOSE #2: KILL "MIEMBROS": END
670 '
680 REM -- LA ARMADURA TIENE EL NUMERO DE MIEMBROS Y
RESTRICCIONES DE SOPORTE
690 REM -- INICIA EL ANALISIS
700 '
710 T$=TIME$
720 PRINT: PRINT "COLOCACION DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO
EN JUNTA -- TIME=";T$
730 PRINT "NUMERO DE ECUACIONES =" ;NM
740 '
750 REM -- COMPUTO DE PENDIENTE DE SENO Y COSENO EN ANGULOS
760 '
770 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
780 GET #1,J1: X1=CVS(SX$): Y1=CVS(SY$)
790 GET #1,J2: X2=CVS(SX$): Y2=CVS(SY$)
800 XL=X2-X1: YL=Y2-Y1: TL=SQR(XL*XL+YL*YL): CX=XL/TL:
SX=YL/TL
810 LSET SCX$=MKS$(CX): LSET SSX$=MKS$(SX)
820 PUT #2,I: NEXT I
830 '
840 REM -- ASIGNACION DE NUMERO DE ECUACIONES Y COLOCACION DE
LA CARGA DEL VECTOR
850 '
860 DIM W(NM)
870 N=0

```

```

880 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I
890 JRX=CVI(SJRX$): JRY=CVI(SJRY$): WX=CVS(SWX$):
WY=CVS(SWY$)
900 IF JRX=0 GOTO 920
910 JRX=0: GOTO 930
920 N=N+1: JRX=N: W(N)=-WX
930 IF JRY=0 GOTO 950
940 JRY=0: GOTO 960
950 N=N+1: JRY=N: W(N)=-WY
960 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY)
970 PUT #1,I: NEXT I.
980 '
990 REM -- COMPUTO DE LOS COEFICIENTES DE LA JUNTA EN LAS
ECUACIONES DE EQUILIBRIO
1000 '
1010 DIM A(NM,NM)
1020 FREEM=FRE(0): PRINT "MEMORIA LIBRE =";FREEM
1030 FOR I=1 TO NM: FOR J=1 TO NM: A(I,J)=0!: NEXT J: NEXT I
1040 FOR I=1 TO NM: GET #2,I
1050 J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$): CX=CVS(SCX$): SX=CVS(SSX$)
1060 GET #1,J1: JRX=CVI(SJRX$): JRY=CVI(SJRY$)
1070 IF JRX<>0 THEN A(JRX,I)=CX
1080 IF JRY<>0 THEN A(JRY,I)=SX
1090 GET #1,J2: JRX=CVI(SJRX$): JRY=CVI(SJRY$)
1100 IF JRX<>0 THEN A(JRX,I)=-CX
1110 IF JRY<>0 THEN A(JRY,I)=-SX

```

```

1120 NEXT I
1130 '
1140 REM -- RESOLVER LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO EN JUNTA
PARA FUERZAS DE MIEMBRO
1150 REM -- UTILIZAR PROCEDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE GAUSS-
JORDAN
1160 '
1170 T$=TIME$
1180 PRINT: PRINT "RESOLVER LAS ECUACIONES PARA MIEMBROS DE
FUERZAS -- TIME=";T$
1190 PRINT "ECUACION";
1200 NEQ=NM
1210 FOR J=1 TO NEQ
1220 PRINT J;
1230 IBIG=J: ABIG=A(J,J): AABIG=ABS(ABIG)
1240 FOR I=J+1 TO NEQ
1250 IF ABS(A(I,J))<AABIG GOTO 1270
1260 IBIG=I: ABIG=A(I,J): AABIG=ABS(ABIG)
1270 NEXT I
1280 IF AABIG>9.999999E-04 GOTO 1320
1290 PRINT: PRINT: PRINT "LA ESTRUCTURA ES GEOMETRICAMENTE
INESTABLE"
1300 PRINT "NO HAY SOLUCIÓN POSIBLE"
1310 CLOSE #1: CLOSE #2: KILL "JUNTAS": KILL "MIEMBROS": END
1320 IF IBIG=J GOTO 1350
1330 FOR K=J TO NEQ: SWAP A(J,K),A(IBIG,K): NEXT K

```

```

1340 SWAP W(J),W(IBIG)
1350 FOR K=J+1 TO NEQ: A(J,K)=A(J,K)/ABIG: NEXT K
1360 W(J)=W(J)/ABIG
1370 FOR L=1 TO NEQ: IF L=J GOTO 1410
1380 ALJ=A(L,J)
1390 FOR K=J+1 TO NEQ: A(L,K)=A(L,K)-A(J,K)*ALJ: NEXT K
1400 W(L)=W(L)-W(J)*ALJ
1410 NEXT L
1420 NEXT J
1430 ERASE A
1440 '
1450 REM -- COMPUTO DE REACCIONES
1460 '
1470 T$=TIME$: PRINT: PRINT: PRINT "COMPUTO DE REACCIONES
TIME=";T$
1480 DIM RX(NJ),RY(NJ),JRX(NJ),JRY(NJ)
1490 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I
1500 JRX(I)=CVI(SJRX$): JRY(I)=CVI(SJRY$)
1510 WX=CVS(SWX$): WY=CVS(SWY$)
1520 IF JRX(I)=0 THEN RX(I)=-WX
1530 IF JRY(I)=0 THEN RY(I)=-WY
1540 NEXT I
1550 FOR I=1 TO NM: GET #2,I
1560 J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$): CX=CVS(SCX$): SX=CVS(SSX$)
1570 IF JRX(J1)=0 THEN RX(J1)=RX(J1)-CX*W(I)
1580 IF JRY(J1)=0 THEN RY(J1)=RY(J1)-SX*W(I)

```

```

1590 IF JRX(J2)=0 THEN RX(J2)=RX(J2)+CX*W(I)
1600 IF JRY(J2)=0 THEN RY(J2)=RY(J2)+SX*W(I)
1610 NEXT I
1620 T$=TIME$: PRINT: PRINT "SOLUTCION COMPLETA -- TIME=";T$
1630 PRINT: PRINT "COLOCAR EL PAPEL EN LA IMPRESORA"
1640 INPUT "PRESIONAR EL BOTON PARA IMPRIMIR",DUMMY$
1650 '
1660 REM -- IMPRIMIR LAS FUERZAS DE MIEMBRO Y REACCIONES
1670 '
1680 FOR I=1 TO 4: LPRINT: NEXT I: LPRINT TITLE$: LPRINT
1690 LPRINT "FUERZAS DE MIEMBRO (MEMBER, FORCE)": LPRINT
1700 FOR I=1 TO NM
1710 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING " #####.###";W(I)
1720 NEXT I
1730 LPRINT: LPRINT "REACTIONS (JOINT,RX,RY)": LPRINT
1740 FOR I=1 TO NJ
1750 IF JRX(I)=0 OR JRY(I)=0 GOTO 1760 ELSE 1770
1760 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING "
#####.###";RX(I),RY(I)
1770 NEXT I
1780 PRINT: PRINT: PRINT "SALIDA DEL PROGRAMA"
1790 CLOSE #1: KILL "JUNTAS"
1800 CLOSE #2: KILL "MIEMBROS"
1810 END

```

REGISTRO DE ORIGEN SDTPLOT

```
10 REM -- PROGRAM SDTPLOT -- TRAZAR LA GEOMETRIA PARA EL
PROGRAMA SDTRUSS
20 REM -- (C) COPYRIGHT 1998 POR ING. REYES MARTINEZ. MATA
30 REM -- TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS 40 DEFINT I-N: OPTION
BASE 1: KEY OFF
50 CLS: SCREEN 2: ASPECT=12!/5!
60 PRINT "TRAZO DE GEOMETRIA PARA EL PROGRAMA ARCHIVO DE
INFORMACION DE ENTRADA SDTRUSS ": PRINT
70 '
80 REM -- LEER EL NOMBRE DE ARCHIVO DE INFORMACION DE DISCO
DE ENTRADA
90 '
100 INPUT "CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO DEL DISCO";FILE$
110 L=LEN(FILE$): IF L=0 GOTO 100 ELSE 120
120 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #3
130 '
140 REM --TODOS LOS NUMEROS DE JUNTA SE MOSTRARAN?
150 '
160 PRINT: INPUT "DESEA QUE LOS NUMEROS DE JUNTAS SEAN
MOSTRADOS? Y OR N";JNUM$
170 IF JNUM$="Y" OR JNUM$="y" OR JNUM$="N" OR JNUM$="n" GOTO
210 ELSE 160
180
```

```

190 REM -- LEER LA INFORMACION DESDE EL ARCHIVO DE DATOS DEL
DISCO DE ENTRADA
200 '
210 INPUT #3,TITLE$
220 INPUT #3,NJ,NM,NSUP,NLJ
230 DIM X(NJ),Y(NJ),JS(NM),JE(NM)
240 INPUT #3,DUMMY$
250 FOR I=1 TO NJ: INPUT #3,N,X(N),Y(N): NEXT I
260 INPUT #3,DUMMY$
270 FOR I=1 TO NM: INPUT #3,N,JS(N),JE(N): NEXT I
280 CLOSE #3
290 '
300 REM - SET SCREEN PLOT LIMITS
310 '
320 XLFT=30!: XRHT=610!: YHIGH=170!: YLOW=30!
330 '
340 REM - SEARCH FOR MAX AND MIN COORDINATES
350 '
360 XMAX=X(1): XMIN=X(1): YMAX=Y(1): YMIN=Y(1)
370 FOR I=2 TO NJ
380 IF X(I)<XMIN THEN XMIN=X(I)
390 IF X(I)>XMAX THEN XMAX=X(I)
400 IF Y(I)<YMIN THEN YMIN=Y(I)
410 IF Y(I)>YMAX THEN YMAX=Y(I)
420 NEXT I
430 '

```

```

440 REM - COLOCAR LA ESCALA DE TRAZO
450 '
460 XL=ABS(XMAX-XMIN) : YL=ABS(YMAX-YMIN)
470 SCALEX=(XRHT-XLFT)/XL: SCALEY=SCALEX/ASPECT
480 IF(YL*SCALEY)<(YHIGH-YLOW) GOTO 530
490 SCALEY=(YHIGH-YLOW)/YL: SCALEX=SCALEY*ASPECT
500 '
510 REM - SET PLOT ORIGIN
520 '
530 X0=XLFT+(XRHT-XLFT)/2!-SCALEX*(XMAX+XMIN)/2!
540 Y0=YLOW+(YHIGH-YLOW)/2!-SCALEY*(YMAX+YMIN)/2!
550 '
560 REM -- LIMPIAR EL MONITOR E IMPRIMIR TITULO570 '
580 CLS: PRINT TITLE$
590 '
600 REM -- TRAZAR EL NUMERO DE JUNTAS 610 '
620 IF JNUM$="N" OR JNUM$="n" GOTO 680
630 FOR I=1 TO NJ: IX=SCALEX*X(I)+X0: IY=SCALEY*Y(I)+Y0
640 IROW=(200-IY)/8: ICOL=IX/8: LOCATE IROW,ICOL: PRINT I:
NEXT I
650 '
660 REM - TRAZAR ESTRUCTURA 670 '
680 FOR I=1 TO NM: J1=JS(I): J2=JE(I)
690 X1=SCALEX*X(J1): Y1=SCALEY*Y(J1): IX1=X0+X1: IY1=200!-
(Y0+Y1)

```

```

700 X2=SCALEX*X(J2): Y2=SCALEY*Y(J2): IX2=X0+X2: IY2=200!-
(Y0+Y2)
710 LINE (IX1,IY1)-(IX2,IY2): NEXT I
720 '
730 REM --DESEA OTRO TRAZO?
740 '
750 LOCATE 24,1
760 IF JNUM$="N" OR JNUM$="n" GOTO 790
770 INPUT"DESEA OTRO TRAZO SIN NUMERACION DE JUNTAS? Y OR
N";YN$
780 GOTO 800
790 INPUT "DESEA OTRO TRAZO CON NUMERACION DE JUNTAS? Y OR
N";YN$
800 IF YN$="Y" OR YN$="y" GOTO 830
810 IF YN$="N" OR YN$="n" GOTO 880 ELSE 820
820 PRINT: IF JNUM$="Y" OR JNUM$="y" GOTO 770 ELSE 790
830 IF JNUM$="Y" OR JNUM$="y" THEN JNUM$="N": GOTO 580
840 JNUM$="Y": GOTO 580
850 '
860 REM -- SALIDA DEL PROGRAMA 870 '
880 CLS: MONITOR: FIN

```

CAPITULO 4

MÉTODO DE LA RIGIDEZ PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL

4.1 ESTRUCTURAS ESTÁTICAMENTE INDETERMINADAS

En este capítulo se describirán los conceptos básicos frente a una propuesta general en el procedimiento de análisis el cual es apropiado para su aplicación en una computadora digital. Esto asume que quien utilice este programa deberá estar familiarizado con los conceptos fundamentales de análisis estructural y álgebra matricial.

4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL ELEMENTAL

Aunque los varios métodos de análisis estructural que se nos han presentado en los diferentes libros de texto deben parecerse diferentes, estos se pueden agrupar en dos categorías básicas: los que usan una flexibilidad aproximada y los que usan una rigidez aproximada. La primera diferencia entre esas dos aproximaciones es la forma de la ecuación final, la cual representa el comportamiento del sistema estructural, y el orden en el cual se ejecuta el computo. Una de esas aproximaciones resultará en la misma solución final para el desplazamiento y esfuerzos en la estructura.

Esencialmente, todas las propuestas generales para programas de análisis ahora son aceptables en una minicomputadora,

tales propuestas son: STRESS, STRUDL, y NASTRAN, usando una rigidez aproximada.

4.3 EL MÉTODO DE RIGIDEZ

El procedimiento básico en el método de la rigidez de un análisis estructural es la colocación de juntas de equilibrio, las cuales expresan la relación entre las cargas en los extremos del miembro interno y la aplicación de cargas externas para el modelo matemático, el cual analizará esta condición. Para que algunas juntas puedan estar en equilibrio, las cargas en los extremos del miembro interno deben balancear exactamente las cargas externas en la junta. Se han de escribir las ecuaciones son escritas en términos del desplazamiento de la junta, haciendo uso de la rigidez estructural originada sobre las juntas por la unión de los miembros, más que en términos de fuerzas del miembro individual. Esas ecuaciones son comúnmente llamadas ecuaciones de rigidez de la junta.

4.3.1 Ecuaciones de Rigidez de la Junta

La colocación de las ecuaciones de rigidez de la junta para un modelo típico matemático de una estructura elástica lineal puede ser expresado en la forma:

$$k(1,1)d(1)+k(1,2)d(2)+ \dots +k(1,n)d(n)=w(1)$$

$$k(2,1)d(1)+k(2,2)d(2)+ \dots +k(2,n)d(n)=w(2)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$k(i,1)d(1)+ \dots +k(i,j)d(j)+ \dots =w(i)$$

ec.(4-1)

$$\dots\dots\dots$$

$$k(n,1)d(1)+k(n,2)d(2)+ \dots +k(n,n)d(n)=w(n)$$

donde $k(i,j)$ es conocido como el coeficiente de rigidez, $w(i)$ es una carga aplicada a la junta, y $d(j)$ es una junta de desplazamiento. Las variables i y j definen la posición de varios términos en la ecuación. La variable n es el número total de desplazamientos y cargas que son consideradas en el análisis.

El coeficiente de rigidez $k(i,j)$ es definido como la magnitud de la carga $w(i)$ la cual es requerida para producir una unidad de desplazamiento $d(j)$ todos los otros desplazamientos en la estructura serán cero. Por consiguiente, el producto $k(i,j)d(j)$ es numéricamente igual a la magnitud de la carga $w(i)$ requerida para producir el actual desplazamiento $d(j)$. La carga total en cualquier junta puede ser computada por la sumatoria de las contribuciones a esa carga de cada uno de los desplazamientos en las juntas de la estructura.

Ejecutando esta operación para cada carga actuante en la estructura resultarán las ecuaciones de equilibrio mostradas anteriormente.

4.3.2 Representación de la Ecuación de la Matriz de Rigidez

Las ecuaciones de juntas de rigidez mostradas en la ec. (4-1) pueden ser escritas como el producto de dos matrices en la forma:

$$\begin{bmatrix} k(1,1) & k(1,2) & k(1,3) & \dots & k(1,n) \\ k(2,1) & k(2,2) & k(2,3) & \dots & k(2,n) \\ \hline k(n,1) & k(n,2) & k(n,3) & \dots & k(n,n) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d(1) \\ d(2) \\ \dots \\ d(3) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} w(1) \\ w(2) \\ \dots \\ w(3) \end{Bmatrix} \quad \text{ec. (4-2)}$$

ó, en una notación más concisa

$$[K] \{D\} = \{W\} \quad \text{ec. (4-3)}$$

donde $[K]$ es conocida como la matriz de las juntas de rigidez y $\{D\}$ es la matriz de desplazamiento de la junta. Los elementos individuales en la matriz $[K]$ consisten en los coeficientes de rigidez para el modelo matemático el cual se analizará.

Uno de los pasos en el análisis de una estructura, por el método de rigidez es la solución en las ecuaciones de las juntas de rigidez representadas por la ecuación (4-1) para los desplazamientos de junta. Un método que podrá ser usado para obtener esta solución es invertir la matriz de rigidez $[K]$. Después de que $[K]^{-1}$ ha sido determinada, los desplazamientos de la junta pueden ser computados por una simple multiplicación de matriz, de la forma :

$$\{D\} = [K]^{-1} \{w\} \quad \text{ec. (4-4)}$$

El inverso de la matriz de rigidez es usualmente denotado por el símbolo "F" y se llama matriz de "flexibilidad"

$$[F] = [K]^{-1} \quad \text{ec. (4-5)}$$

en el cual, cualquier coeficiente de flexibilidad $f(i,j)$ es definido como la magnitud de $d(i)$ debido a una unidad de

magnitud de $w(j)$. Por consiguiente, la ecuación final para computar los desplazamientos de la junta pueden ser expresados como:

$$\{D\} = [F] \{W\} \quad \text{ec. (4-6)}$$

Después de que los desplazamientos de la junta han sido computados, las cargas en los extremos del miembro interno pueden ser fácilmente computados por la multiplicación de los miembros de deformación, por la rigidez de los miembros, completándose de esta manera el análisis de la estructura.

Una de las mayores ventajas de este procedimiento de análisis es que es aplicable tanto a estructuras estáticamente determinadas como a las estáticamente indeterminadas.

4.3.3 Almacenamiento de Matriz de Rigidez en la Memoria

Como se mostró anteriormente, la ecuación de juntas de rigidez se puede resolver invirtiendo la matriz de rigideces $[K]$ para obtener la matriz de flexibilidad $[F]$.

Desafortunadamente, las aplicaciones de inversión de matrices para resolver los desplazamientos en juntas no son prácticos para su uso en una computadora personal, excepto para pequeñas estructuras

Esto no significa que estamos limitados a solo el análisis de problemas triviales. Una computadora personal se pueden analizar estructuras de tamaño mayor, si se usan técnicas especiales son usadas para conservar la memoria de la computadora durante la formulación y solución de las ecuaciones de rigidez en las juntas.

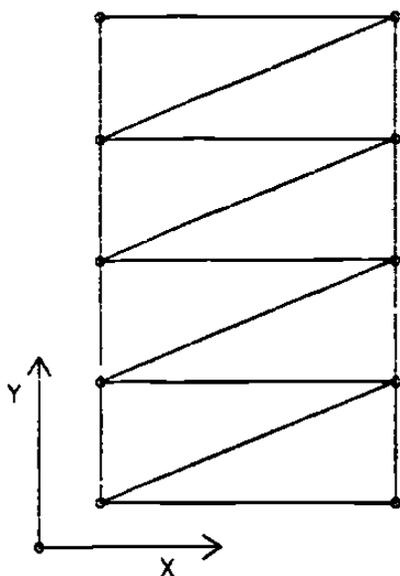
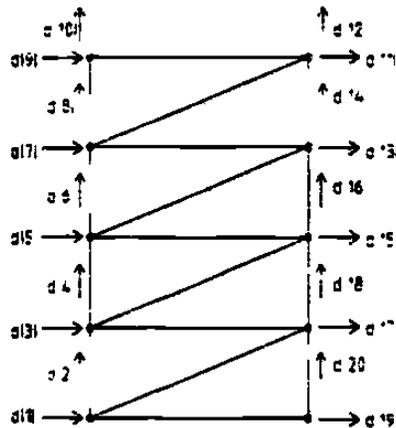


Figura 4-1 armadura plana

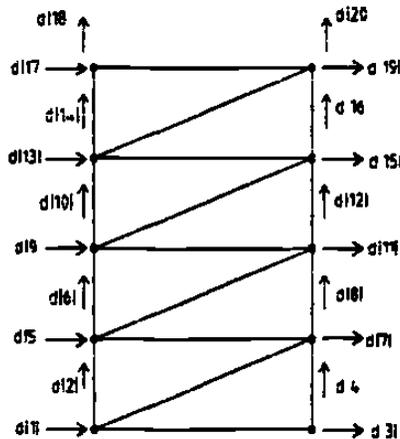
Considerando por ejemplo la armadura plana de 10-juntas con la geometría mostrada en la figura 4-1 Los ejes X y Y son definidos en las direcciones horizontal y vertical respectivamente, siendo el eje X positivo hacia la derecha y el eje Y positivo hacia arriba.

El eje Z se extiende hacia afuera perpendicular al plano de la estructura. Para esta estructura hay dos grados de libertad en cada junta, correspondientes a las dos

componentes de translación en las direcciones X y Y , cada desplazamiento individual deberá ser identificado, durante el análisis, mediante un número de referencia correspondiente a la posición en la matriz de los desplazamientos de la junta {D}. Hay muchas maneras en que los desplazamientos pueden ser numerados. Dos posibles formas son mostradas en las figuras 4-2(a) y (b).



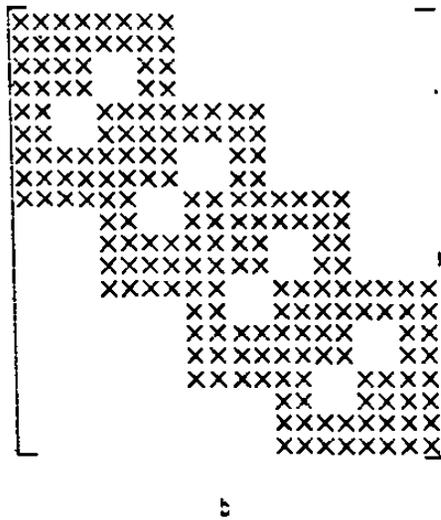
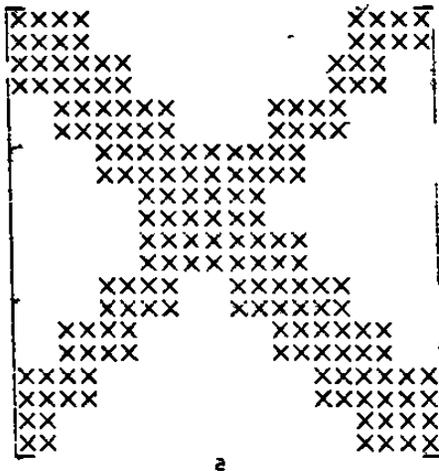
(a)



(b)

Figura 4-2 Grados de libertad.

La mayoría de los elementos individuales en $\{ K \}$ será cero para esta estructura.



Figuras 4-3. Los elementos en K

La figura 4-3 muestra los posibles elementos que no son cero en $[K]$ por las dos diferentes formas de numeración mostradas en figura, 4-3 respectivamente.

En cada caso, solo 176 de los 460 elementos en $[K]$ pueden no ser cero. El mismo resultado se obtendrá siguiendo cualquier otro método numérico.

4.3.4 Solución de Ecuaciones Simultáneas

Desde que la matriz $[K]$ se almacena en la memoria, en una reducción de la raíz rectangular, nosotros no es posible resolver las ecuaciones de rigidez por el procedimiento estándar de inversión de matrices en la ec.(4-4).

En los programas presentados en los capítulos 5,6,7 y 8, se usa un procedimiento modificado de eliminación de Gauss para resolver los desplazamientos en juntas, en las ecuaciones de rigidez, los cuales son muy similares a los procedimientos para resolver las ecuaciones de equilibrio en los miembros de fuerza, presentados en el cap. 3.

Desafortunadamente, el procedimiento no se puede utilizar exactamente como en el programa SDTRUSS, debido a la manera en que se almacena $[K]$ en la memoria.

Los elementos en [K] son actualmente los coeficientes de las ecuaciones simultáneas lineales, las cuales deben ser resueltas; sin embargo, ellas no se encuentran en un orden como en el programa previo.

CAPITULO. 5

ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ DE ARMADURAS EN UN PLANO

5.1 PROGRAMA TRUSS2D

El propósito de este capítulo es presentar un programa llamado TRUSS2D, el cual ejecuta un análisis de armaduras en un plano, de geometría arbitraria, por el método de rigidez. La ventaja de este programa sobre el programa previamente visto SDTRUSS es que éste puede usarse para el análisis de armaduras estáticamente determinadas y estáticamente indeterminadas. Este programa también se encarga de computar los desplazamientos de las juntas, de las cuales, los programas previos solo computaban las fuerzas de los miembros y las reacciones. La entrada de datos para este programa es muy similar a la entrada en el programa SDTRUSS, excepto deben sustituirse las propiedades del material y el área de la sección transversal para los miembros. Este dato adicional es necesario, puesto que los primeros pasos en el análisis requieren del cómputo de las rigideces de cada miembro individual en la estructura. Estos cálculos no se requieren en el programa SDTRUSS, para determinar las fuerzas de los miembros y las reacciones para una armadura estáticamente determinada.

Los datos específicos de entrada requeridos para este programa son: las coordenadas de la junta, los miembros de incidencia, las propiedades del material, el área de sección transversal de los miembros, las restricciones de soporte y las cargas aplicadas a la junta. La salida del programa consistirá de los desplazamientos de las juntas, las fuerzas axiales en los miembros y las reacciones en los soportes.

5.2 GENERACIÓN DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ EN LAS JUNTAS GLOBALES

Un procedimiento conveniente para expresar la rigidez de algún miembro "n" es usar una matriz de miembros rígidos, [Km] la cual relaciona el movimiento del extremo del miembro con las cargas en los extremos del mismo.

La forma de esta matriz de rigidez depende del tipo de estructura a analizar y de las propiedades del miembro individual.

5.2.1 Sistema Coordinado del Miembro Local

Este sistema local de coordenadas consiste en colocar la mano derecha en forma ortogonal a los ejes X, Y y Z, como se muestra en la figura 5-1. El eje local X pasa através del centroide de la sección transversal del miembro y se extiende a lo largo del mismo. La dirección positiva del eje local X es definida desde la junta del miembro de inicio hacia la junta del último miembro. Habrá un solo sistema local coordinado para cada miembro en la estructura.

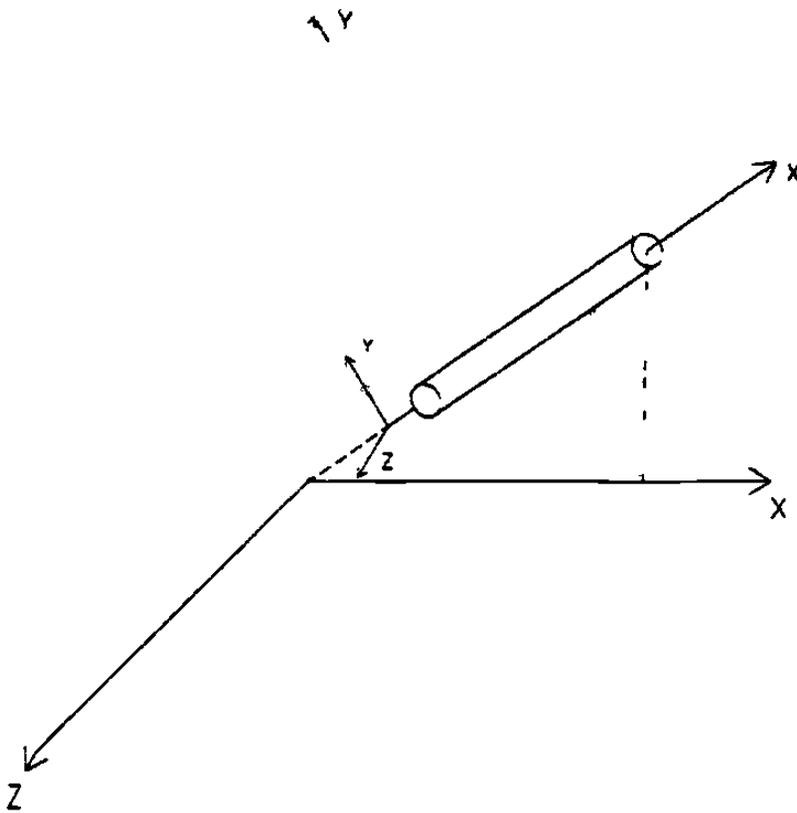


Figura 5-1 Sistema coordenado del miembro local, en una armadura en un plano.

5.2.2 Cargas en Extremos y Deformación del Miembro Local

Si un miembro de la armadura es considerado como un nudo articulado, al extremo de cada junta, éste sólo puede resistir una fuerza axial. La fuerza cortante y el momento flexionante en el miembro deberán ser cero, para que el equilibrio se satisfaga. Por consiguiente, las cargas en los extremos del miembro de cualquier armadura consistirán de sólo dos fuerzas, $s(1)$ y $s(2)$, actuando en cada extremo del miembro, a lo largo de su eje longitudinal, como se muestra en la figura 5-2. Esas fuerzas se considerarán positivas si actúan en la dirección positiva del eje X del miembro local.

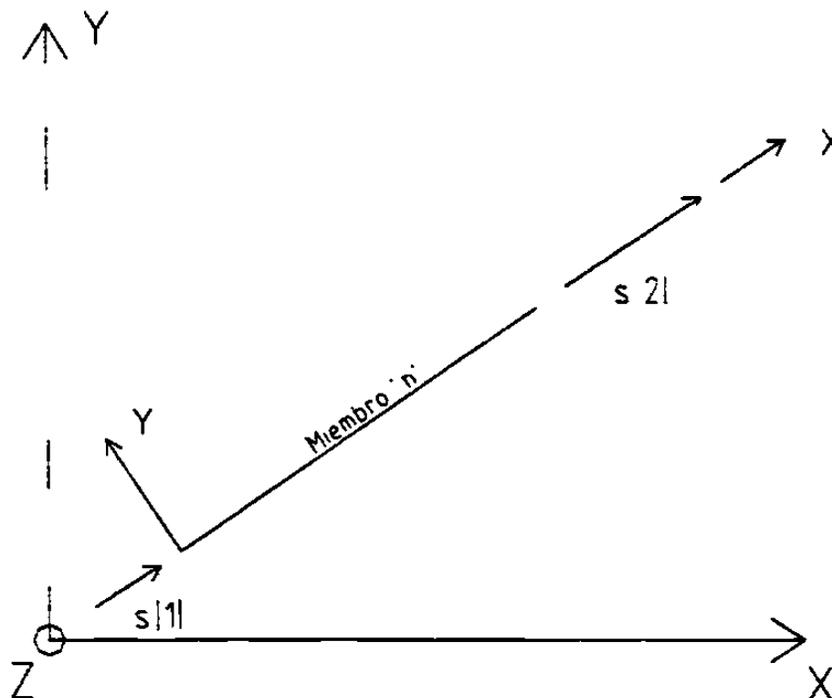


Figura 5-2 Cargas en extremos del miembro local

Las deformaciones en cualquier miembro de armadura son definidas como las translaciones de los dos extremos del miembro, $u(1)^f$ y $u(2)$, a lo largo del eje x del miembro local, como se muestra en la figura 5-3.

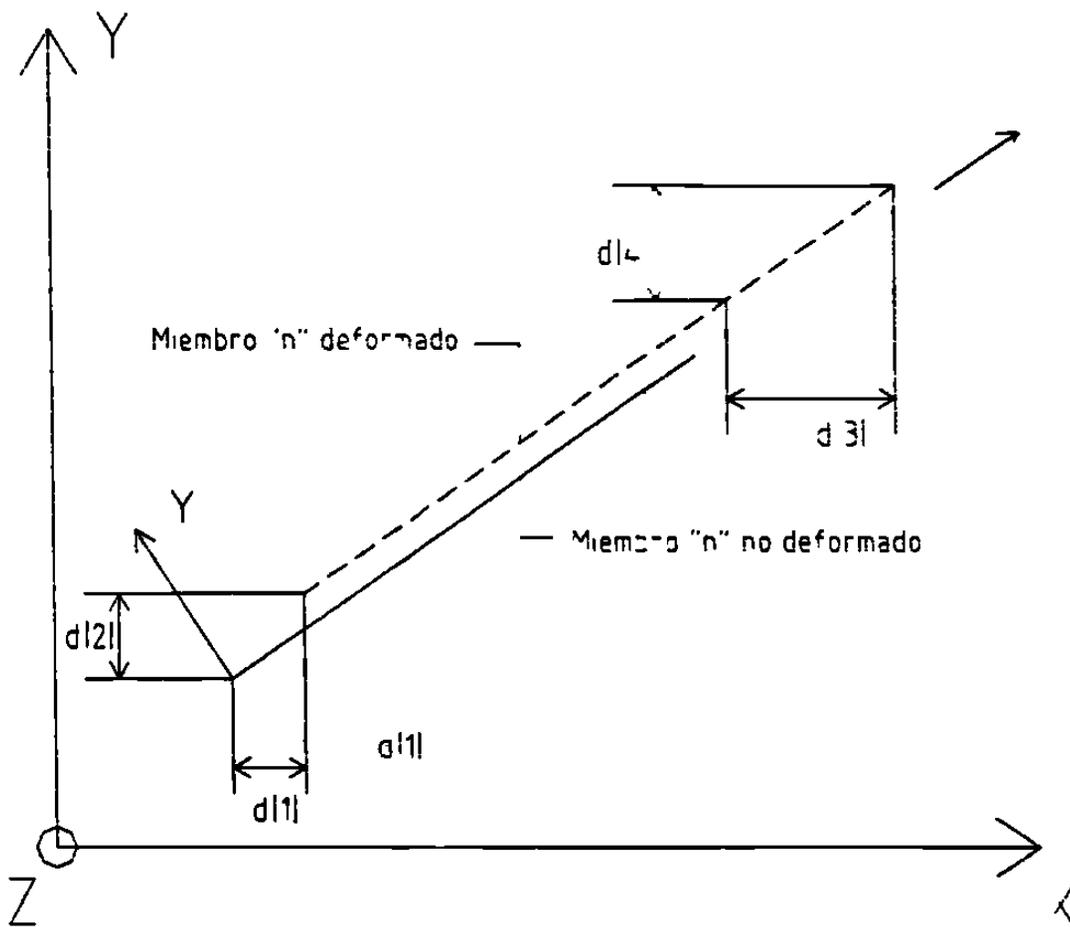


Figura 5-3 Deformación en miembros locales en armaduras.

5.2.3 Matriz de Rigidez del Miembro Local

La matriz de rigidez del miembro local $[K_m]$ para cualquier miembro "n" relaciona la matriz de la carga en los extremos del miembro local $\{S_n\}$ con la matriz de deformación del miembro local $\{U_n\}$ por la relación:

$$\{S\}_n = [K_m]_n \{U\}_n \quad \text{ec. (5-1)}$$

Para el caso particular de un miembro de armadura, ambos $\{S\}_n$ y $\{U\}_n$ tienen dos elementos y son de la forma :

$$\{s\}_n = \begin{Bmatrix} s(1) \\ s(2) \end{Bmatrix}_n \quad \text{ec. (5-2)}$$
$$\{u\}_n = \begin{Bmatrix} u(1) \\ u(2) \end{Bmatrix}_n$$

Por consiguiente, para este miembro, la matriz $[K_m]_n$ tiene dos hileras y dos columnas, y es de la forma :

$$[K_m]_n = \begin{bmatrix} K_m(1,1) & K_m(1,2) \\ K_m(2,1) & K_m(2,2) \end{bmatrix}_n \quad \text{ec. (5-3)}$$

Para un miembro de armadura prismático, la magnitud del elemento individual en $[K]_n$ puede ser computado con la ecuación

$$K_{m(1,1)} = K_{m(2,2)} = -K_{m(1,2)} = -K_{m(2,1)} = A_x E / L \quad \text{ec. (5-4)}$$

En donde A_x es el área de la sección transversal del miembro en un plano perpendicular al eje x del miembro local; E es el módulo de elasticidad del material, y L es la longitud del miembro.

5.2.4 La Matriz de Rigidez en los Miembros Globales

Esta matriz relaciona las cargas en los extremos del miembro con los desplazamientos en el sistema global de coordenadas por la ecuación :

$$\{W\}_n = [K]_n \{D\}_n \quad \text{ec. (5-5)}$$

Los elementos en la matriz de cargas en el extremo del miembro global $\{W\}_n$ y la matriz de deformación de miembros $\{D\}_n$ son definidos en las figuras 5-4 y 5-5 respectivamente para un miembro típico de armadura.

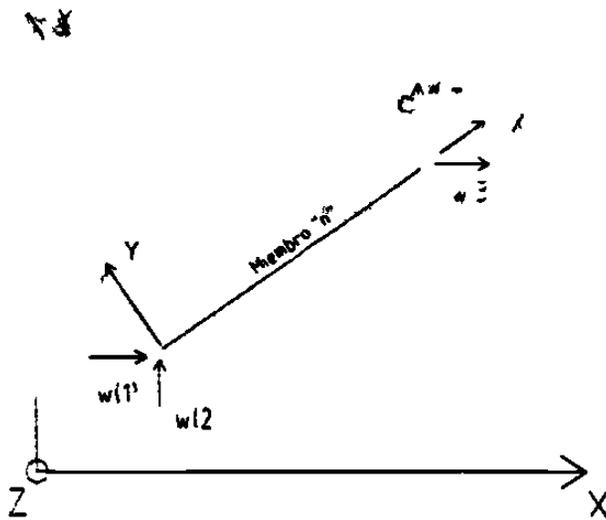


Figura 5-4. Cargas en los extremos del miembro global, en la armadura.

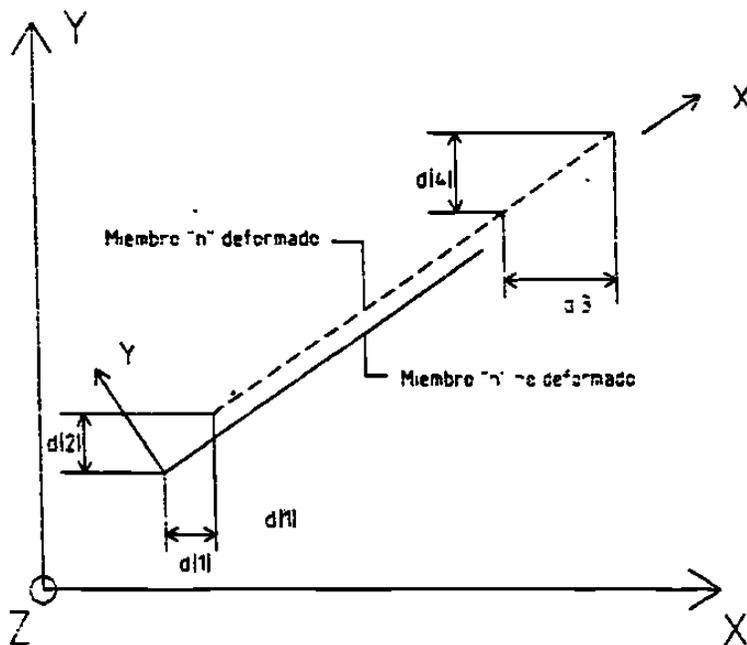


Figura 5-5. Deformaciones en el miembro global de una armadura.

Podemos ver que hay cuatro elementos en ambos, por consiguiente, la matriz de rigidez del miembro global $[K]_n$ debe tener cuatro hileras y cuatro columnas.

La matriz $[K]_n^T$ puede ser obtenida de la matriz de rigidez del miembro local por una transformación coordenada, la cual puede ser expresada como una matriz de la forma:

$$[K]_n = [A]_n [K_m]_n [A]_n \quad \text{ec. (5-6)}$$

La matriz $[A]_n$ es conocida como la matriz de transformación coordenada para el miembro n , y es definida por la relación :

$$\{U\}_n = [A]_n \{D\}_n \quad \text{ec. (5-7)}$$

Usando la definición para $[A]_n$ y la previamente definida $[K_m]_n$ resulta una matriz de rigidez global de cuatro por cuatro de la forma:

$$K_n = \begin{bmatrix} k(1,1) & k(1,2) & k(1,3) & k(1,4) \\ k(2,1) & k(2,2) & k(2,3) & k(2,4) \\ k(3,1) & k(3,2) & k(3,3) & k(3,4) \\ k(4,1) & k(4,2) & k(4,3) & k(4,4) \end{bmatrix}_n \quad \text{ec. (5-8)}$$

Si los elementos de $\{K\}_n$ representan la rigidez del miembro de la armadura, en la junta del sistema coordinado, esos elementos pueden ser añadidos directamente en cada junta, para obtener los elementos de la matriz de rigidez de las juntas globales $[K]$. Se llama a esta adición "proceso de junta". Una representación simbólica del proceso de junta es:

$$K = \sum_{n=1}^{NM} K_n \quad \text{ec. (5-9)}$$

$$\{S\}_n = [k]_n [A]_n \{D\}_n \quad \text{ec. (5-10)}$$

Donde NM es el número total de miembros en la estructura.

Después de que los elementos en $[K]$ han sido computados, los desplazamientos de las juntas $\{D\}$ causados por la aplicación de las cargas en las juntas $\{W\}$ pueden ser computados resolviendo las ecuaciones lineales simultáneas representadas por la ec. (4-3), descrita en el cap. 4.

5.3 ORIGEN BÁSICO DEL PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE ARMADURAS EN UN PLANO.

La operación de este programa, y de los otros tres mostrados en los capítulos siguientes, se puede considerar que consisten en seis pasos principales, los cuales aparecen en la figura 5-6. Estos cuatro programas son muy similares en el

procedimiento de análisis. La mayor diferencia se debe a las diferencias en los números y tipos de grados de libertad en las juntas y en la forma de la matriz de las rigideces de los miembros individuales.

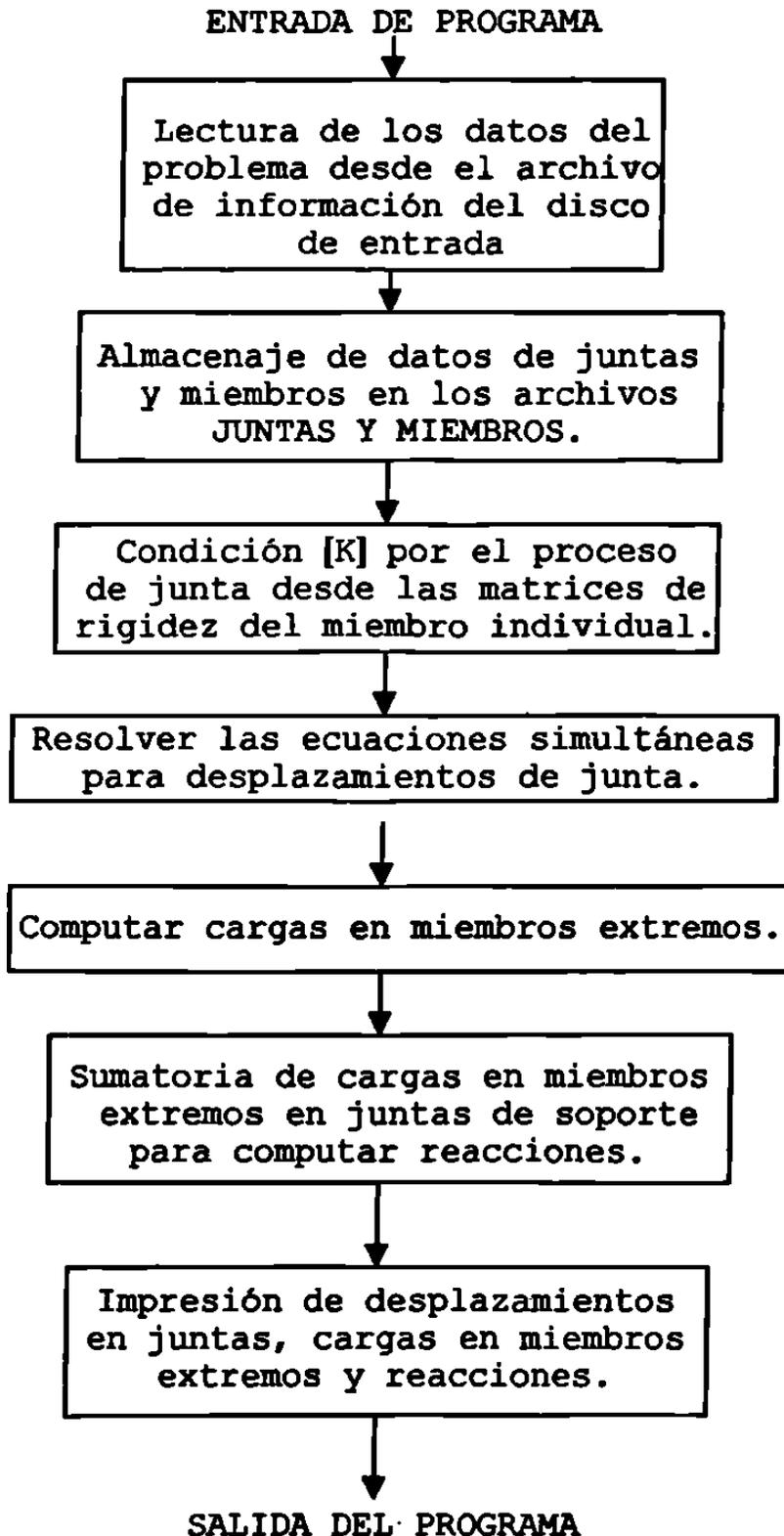


Figura 5-6. Operaciones del programa de análisis de rigidez

5.4 EJEMPLO EN UN PROBLEMA DE ENTRADA

La figura 5-7 muestra un listado de un ejemplo de archivo de información del disco de entrada para este programa, para una armadura con la misma geometría del ejemplo mostrado anteriormente en la figura 3-3.

La correspondiente salida es mostrada en la figura 5-8. Esta armadura ha sido escogida para que los resultados del análisis puedan ser comparados con los resultados obtenidos mediante el programa de análisis SDTRUSS.

La única diferencia en la entrada de información para los dos programas es que el módulo de elasticidad del material y el área de la sección transversal del miembro deben ser dados para este programa.

Una comparación de las fuerzas de los miembros y las reacciones computadas por este programa con los obtenidos mediante el programa SDTRUSS muestran que las soluciones son las mismas.

5.5 EJEMPLO DE UNA ARMADURA PARA EL PROGRAMA TRUSS2D

8,13,1,2,1

JUNTAS COORDENADAS

1,0.,0.

2,120.,0.

3,120.,120.

4,240.,0.

5,240.,120.

6,360.,0.

7,360.,120.

8,480.,0.

PROPIEDADES DE EL MATERIAL

1,29000.

INFORMACIÓN DE MIEMBRO

1,1,3,10.

2,1,2,10

3,2,3,10

4,2,4,10

5,3,4,10

6,3,5,10

7,4,5,10

8,5,7,10

9,4,7,10

10,4,6,10

11,6,7,10

12,7,8,10

13,6,8,10

RESTRICCIONES DE SOPORTE

1,1,1

8,0,1

CARGAS EN JUNTAS

6,0.,-100.

Figura 5-7

EJEMPLO EN ARMADURA PARA PROGRAMA TRUSS2D

1	0.00000	0.00000
2	0.01034	-0.08098
3	0.051722	-0.08098
4	0.02069	-0.14128
5	0.03103	-0.14128
6	0.05172	-0.20157
7	0.01034	-0.16019
8	0.08276	0.00000

FURZAS DE MIEMBRO (MIEMBRO, FUERZA)

1	-35.355
2	25.000
3	0.000
4	25.000
5	35.355
6	-50.000
7	0.000
8	-50.000
9	-35.355
10	75.000
11	100.00
12	-106.066
13	75.00

REACCIONES (JUNTA RX,RY)

1	0.000	25.000
8	0.000	75.000

Figura 5-8

5.6 ERROR EN LOS MENSAJES

Si el método de análisis de la rigidez es aplicable para ambas estructuras, estáticamente determinadas y estáticamente indeterminadas, la única revisión que se hace es concerniente al número de juntas, al número de miembros, y al número de restricciones de soporte; esto para asegurar que $NM+NR$ es más grande o igual a $2NJ$. Si esta condición se satisface, se realizara el análisis; de otra forma, la ejecución del programa terminará y aparecera el mensaje "LA ARMADURA ES INESTABLE $(NM+NR)<2NJ$ ", será mostrado en la pantalla del monitor.

5.7 CAPACIDAD Y TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

Se hizo una serie de analisis con la finalidad de demostrar la capacidad y el tiempo requerido para la ejecución del programa TRUSS2D, para una armadura en voladizo, con la geometría mostrada en la figura 5-9.

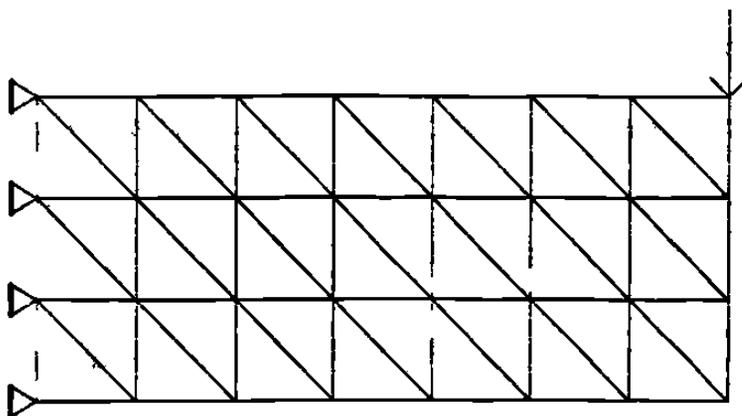


Figura 5-9. Armadura en voladizo.

La armadura está apoyada a lo largo del lado izquierdo por un nudo articulado y sujeta a una carga concentrada en el extremo derecho. El número de paneles horizontales y verticales varía, para dar estructuras de varios tamaños para el análisis. La tabla 5-1 muestra una sumatoria de los parámetros de varios de los casos, los cuales fueron considerados.

Horizontal	5	5	5	5
Vertical	5	10	15	20
Juntas	36	66	96	126
Miembros	85	165	245	325
Ecuaciones	72	132	192	252
Tiempo	5:13	10:33	15:49	21:33
Memoria	48577	44735	40895	37055

Tabla 5-1. Análisis de armadura en voladizo.

Cada columna en la tabla representa un tamaño diferente de estructura. Las primeras dos hileras muestran el número de paneles horizontales y verticales para la armadura; en la tercera y cuarta hilera se muestra el correspondiente número de juntas y de miembros.

Si hay dos grados de libertad por junta, el número de ecuaciones de juntas de rigidez que se resolverá para

determinar los desplazamientos en las juntas es igual a dos veces el número de juntas, las cuales aparecen en la quinta hilera.

Las variaciones en los tiempos de ejecución del programa y los requerimientos en el almacenaje de memoria se registran en las últimas dos hileras. Los tiempos registrados, es el tiempo total transcurrido desde el inicio de la lectura de la entrada de datos hasta que el programa comienza a imprimir los resultados del análisis. La velocidad de impresión puede variar desde 10 caracteres por segundo, hasta varios cientos de caracteres por segundo para los diferentes modelos de impresoras.

5.8 RODILLOS DE SOPORTE INCLINADOS.

En el capítulo 3 se mostró cómo el programa SDTRUSS puede usarse para analizar una armadura con un rodillo de soporte inclinado, usando una modificación del modelo matemático con un miembro falso inclinado para simular el rodillo inclinado. El mismo procedimiento puede usarse para el programa TRUSS2D; sin embargo, se debe tener cuidado para obtener una solución precisa ya que se utilizan distintos procedimientos para computar las fuerzas de los miembros.

Durante cualquier análisis hecho por el programa TRUSS2D, los desplazamientos en las direcciones de las restricciones de soporte son considerados igual a cero. Cuando se adhieren miembros falsos al modelo matemático para representar los efectos de rodillos de soporte inclinados, éstos tienen una rigidez axial, la cual depende de su longitud y del área de su sección transversal. Por consiguiente, encontraremos que después de que se ha obtenido la solución para el modelo matemático, los desplazamientos de cualquier junta de rodillo de soporte modificada, medidos en un sentido perpendicular al plano del rodillo no serán iguales a cero. La junta se desplazará, debido a la deformación axial en el miembro falso.

Si la armadura es estáticamente determinada externamente, los desplazamientos no afectarán las reacciones ni las fuerzas en los miembros, ya que una armadura determinada es libre de moverse como un cuerpo rígido. Si cualquier junta simple se desplaza, el movimiento de la junta del rodillo de soporte modificada no causará ninguna distorsión en la armadura, la cual afectará las fuerzas axiales en los miembros. Este no es el caso para una armadura, la cual está estáticamente determinada exteriormente; cualquier movimiento en la junta de soporte causaría una distorsión en la armadura afectando también a las fuerzas de los miembros. Si se obtiene una solución acertada para las reacciones y fuerzas de los

miembros para este caso, las deformaciones axiales en el miembro falso deberán ser muy pequeñas. Esto puede lograrse asignando un área de sección transversal muy grande, relativa a los otros miembros en la armadura.

Como un ejemplo de este procedimiento, consideraremos la armadura mostrada en la figura 5-10a, la cual es estáticamente indeterminada exteriormente.

La figura 5-10 muestra la modificación del modelo matemático con un miembro falso representando la acción del rodillo en la junta 5. Para este ejemplo en particular, una solución para ambas armaduras, la original y el modelo matemático puede ser obtenida del programa TRUSS2D. Aún cuando el rodillo de soporte es horizontal, este ejemplo demostrará la técnica que puede usarse para obtener una solución acertada, para una armadura con un rodillo de soporte inclinado.

La figura 5-11 muestra la salida del análisis de la armadura original por el programa TRUSS2D.

Este procedimiento puede ser utilizado esencialmente para cualquier tipo de armadura; sin embargo, hay una dificultad que se puede presentar. Si la rigidez de un miembro falso es muy grande, esto causará que los elementos en la matriz de la junta global de rigidez en la junta de rodillos de soporte sean más grandes que cualquier otro elemento en la matriz. Esto puede causar dificultad al resolver las ecuaciones simultáneas para el desplazamiento de la junta,

debido al excesivo rango de error. En algunos casos , tal vez sea necesario para el analista intentar diferentes áreas y observar cómo converge la solución.

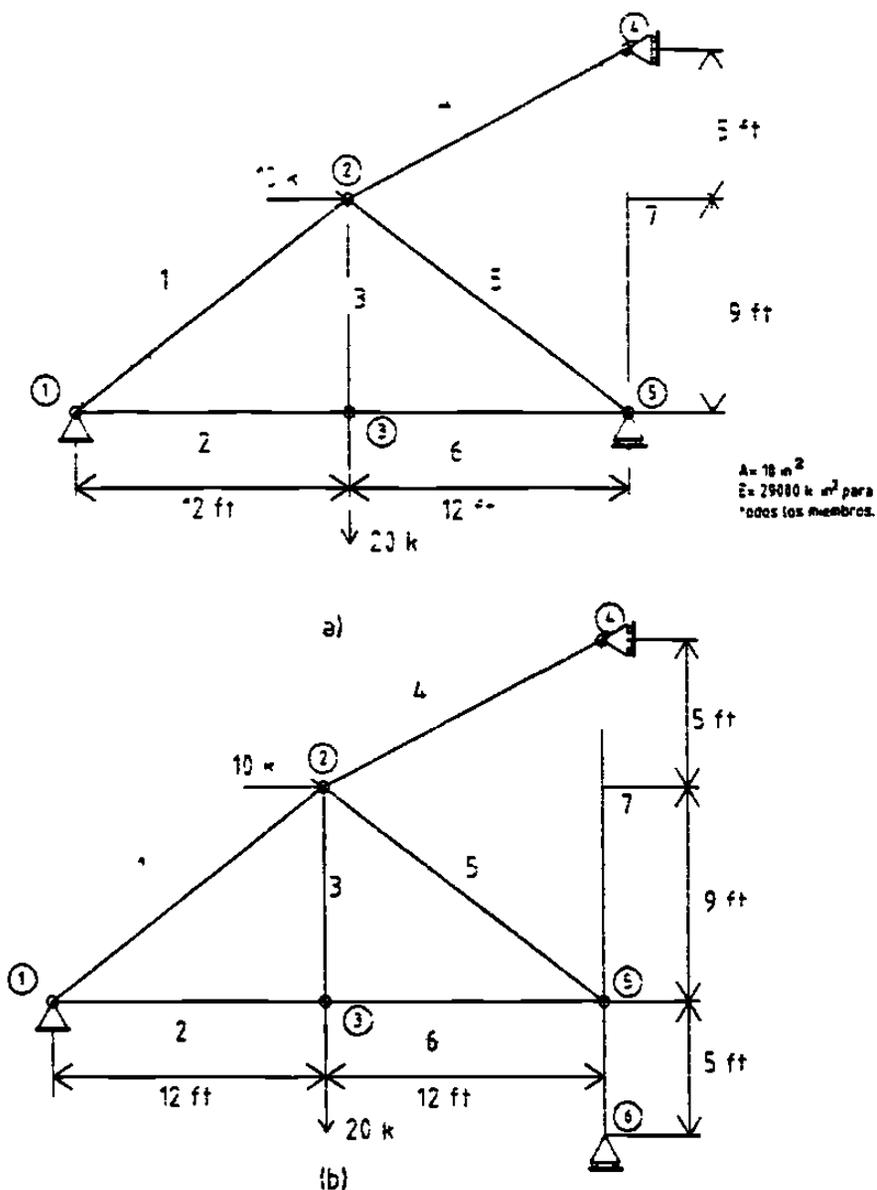


Figura 5-10. Miembro falso reemplazado por rodillo de soporte.

5.9 PROBLEMA DE EJEMPLO PARA EL MIEMBRO FALSO-GEOMETRÍA ORIGINAL

JUNTA DESPLAZAMIENTO (JUNTA, DX, DY)

1	0.00000	0.00000
2	0.01323	-0.2964
3	0.00897	-0.03708
4	0.00000	0.00029
5	0.01794	0.00000

FUERZAS DE MIEMBRO (MIEMBRO, FUERZA)

1	-11.59198
2	18.06469
3	20.00000
4	-1.30963
5	-22.58087
6	18.06469
7	0.503704

REACCIONES (JUNTA, RX, RY)

1	-8.79110	6.95519
4	-1.20889	0.00000
5	0.00000	13.04482

Figura 5-11

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RIGIDEZ DE ARMADURAS EN EL ESPACIO

6.1 PROGRAMA TRUSS3D

Aunque hay muchas situaciones por las cuales un modelo matemático bidimensional puede usarse en el análisis de una estructura, hay muchos casos en donde debe considerarse la acción tri-dimensional. Este capítulo describe el programa TRUSS3D, el cual ejecuta un análisis de armaduras en el espacio de geometría arbitraria, por el método de la rigidez. Las juntas y los miembros se localizarán en cualquier posición en el espacio y la armadura se sujetará a cualquier combinación de cargas concentradas en las juntas, actuando en cualquier dirección. La entrada de datos es muy similar a la entrada para el programa TRUSS2D, excepto por la información adicional, la cual debe ser incluida para describir la tercera dimensión en la armadura. La salida consistirá en desplazamientos de juntas, fuerzas axiales en miembros y reacciones en los apoyos.

Si se hace una comparación entre este programa para armaduras en el espacio y el programa TRUSS2D, veremos que son muy similares. Los pasos para el análisis son los mismos, con menores modificaciones debidas a las diferencias en la geometría de las armaduras. Se usan los mismos procedimientos

en cada programa, para conservar la memoria de la computadora.

6.2 GENERACIÓN DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ, EN LAS JUNTAS GLOBALES.

La matriz de rigidez en las juntas globales, para armaduras en el espacio, puede ser generada de la misma forma que se genera para armaduras en un plano. En el programa TRUSS2D, por sumatoria de rigideces del miembro individual en la junta. La primera diferencia consistirá en cómo se expresen las rigideces de los miembros, ya que ahora cada miembro se puede extender en las tres dimensiones.

6.2.1 Matriz de Rigidez del Miembro Local

El sistema coordenado del miembro local, para cualquier armadura en el espacio, consistirá en la posición ortogonal de la mano derecha, de la misma forma en que se vio previamente en la figura 5-1, para un miembro de armadura en un plano. El miembro local, en el eje X, siempre se extenderá a lo largo del eje longitudinal del miembro y los ejes Y y Z lo harán en el plano de la sección transversal. La orientación del eje X puede ser definida por tres ángulos θ_x , θ_y , y θ_z , los cuales corresponden a los ángulos entre los ejes X, Y y Z y el eje del miembro longitudinal, tal como se muestra en la figura 6-1.

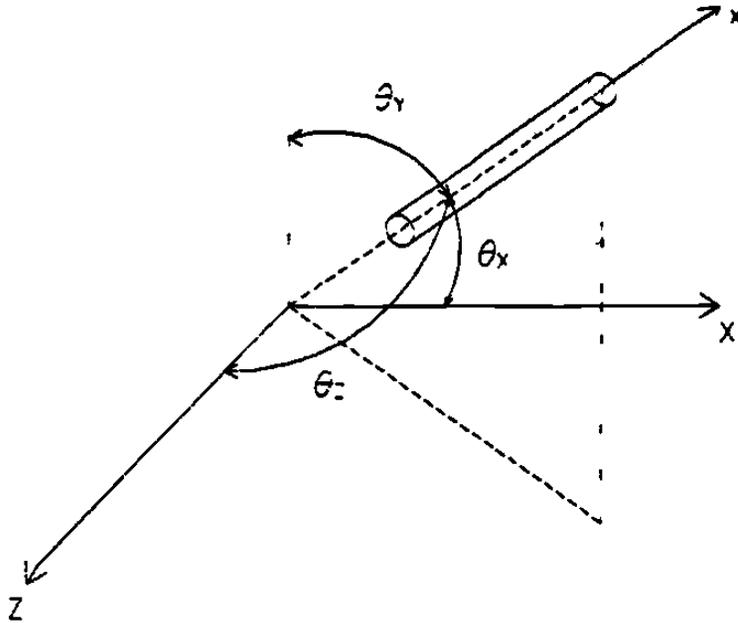


Figura 6-1. Orientación del miembro local en el eje x.

Debido a la manera en que los miembros de una armadura en el espacio son conectados a sus juntas, las cargas aplicadas en los nudos transmiten a los miembros fuerzas que actúan a lo largo del eje longitudinal; por consiguiente, los miembros sólo serán sujetos a fuerzas axiales. Las cargas extremas del miembro local pueden ser definidas por dos fuerzas $s(1)$ y $s(2)$, como se muestra en la figura 6-2 y las deformaciones en el extremo del miembro local pueden ser definidas por dos

translaciones : $u(1)$ y $u(2)$, las cuales están a lo largo del eje del miembro longitudinal.

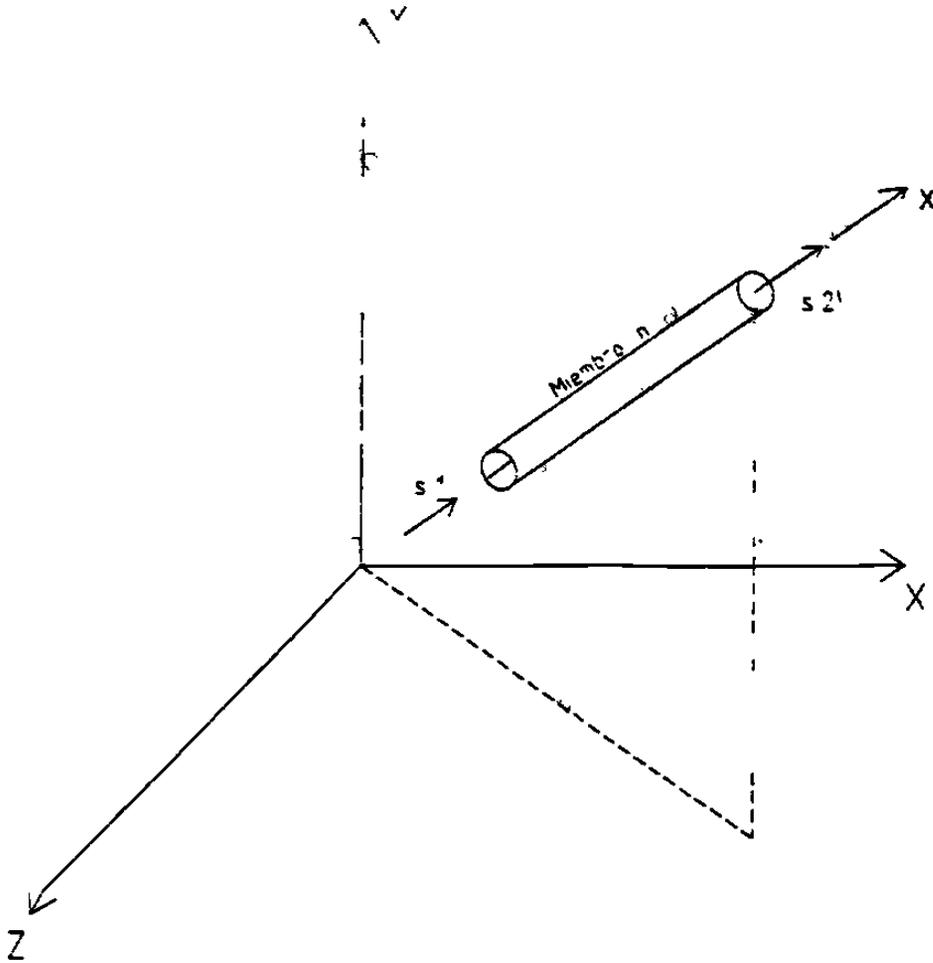


Figura 6-2. Cargas en los extremos del miembro local de armadura en el espacio.

La acción del miembro será esencialmente la misma que para un miembro de armadura en un plano, excepto que ésta deberá tener una orientación en el espacio. Puesto que hay sólo dos fuerzas en los miembros extremos y dos deformaciones en los miembros extremos, la matriz de rigidez del miembro local $[K_m]_n$, que relaciona la matriz de cargas en el extremo del miembro local $\{S\}_n$ con la matriz de deformación $\{U\}_n$, será una matriz de 2×2 de exactamente la misma forma que se mostró en la ecuación (5-4), para armaduras en un plano.

6.6.2 Matriz de Rigidez en un Miembro Global.

Antes de que la matriz de rigidez de junta global pueda ser computada, por sumatoria de los miembros individuales de rigidez, es necesario transformar las matrices de rigidez en miembros locales al sistema coordenado global. Esto se puede llevar a cabo por la misma ecuación de transformación, mostrada previamente en la ecuación (5-7), excepto que la forma de la matriz de transformación coordenada $[A]_n$ será diferente, por los miembros en el espacio de la armadura, debido a la diferencia en el número de grados de libertad en cada junta. Usando la definición para los elementos en $\{D\}_n$ y la definición para el elemento $\{S\}_n$ mostrado en la figura 6-2, la matriz de transformación coordenada será:

$$[A]_{n \times n} = \begin{bmatrix} \cos \theta_x & \cos \theta_y & \cos \theta_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta_x & \cos \theta_y & \cos \theta_z \end{bmatrix} \quad \text{ec(6-1)}$$

Donde θ_x , θ_y y θ_z son los ángulos de orientación definidos en la figura 6-1.

Por ahora se ejecutarán las operaciones definidas previamente en la ecuación (5-6), la matriz de rigidez de miembros globales será obtenida de la siguiente forma: ec(6-2)

$$[K]_{n \times n} = \begin{bmatrix} k(1,1) & k(1,2) & k(1,3) & k(1,4) & k(1,5) & k(1,6) \\ k(2,1) & k(2,2) & k(2,3) & k(2,4) & k(2,5) & k(2,6) \\ k(3,1) & k(3,2) & k(3,3) & k(3,4) & k(3,5) & k(3,6) \\ k(4,1) & k(4,2) & k(4,3) & k(4,4) & k(4,5) & k(4,6) \\ k(5,1) & k(5,2) & k(5,3) & k(5,4) & k(5,5) & k(5,6) \\ k(6,1) & k(6,2) & k(6,3) & k(6,4) & k(6,5) & k(6,6) \end{bmatrix} \quad n$$

Los elementos de esta matriz pueden ser ahora combinados por el proceso de ensamble, para cada miembro individual en la armadura, para obtener la matriz de rigidez de las juntas globales [K].

6.2.3 Juntas de Desplazamientos y Cargas en los Extremos del Miembro

La única diferencia, en este punto, entre el análisis de armaduras en un plano, descritas en el capítulo previo y el

análisis de armaduras en el espacio, es el número de ecuaciones que se deberán resolver. Se podrá utilizar el mismo procedimiento de solución de ecuaciones para este programa.

Las cargas en los extremos del miembro local $\{S\}_n$ pueden ser computadas en la misma forma de la operación de matriz, que se definió previamente en la ecuación (5-11) para armaduras en un plano.

Ejecutando estas operaciones, llegamos a la siguiente expresión para $s(2)$:

$$s(2) = A \times E / L \{ [d(1) - d(4)] \cos \alpha_x + [d(2) - d(5)] \cos \alpha_y + [d(3) - d(6)] \cos \alpha_z \} \quad \text{ec.(6-3)}$$

6.3 FORMATEO DE ARCHIVO EN EL DISCO DE ENTRADA

El archivo de información del disco de entrada para este programa tiene esencialmente el mismo formato descrito previamente para el programa TRUSS2D, excepto por el dato adicional requerido para describir la tercera dimensión de la armadura.

El archivo de entrada contiene el título del problema, una línea de datos del tamaño de la estructura, y cinco grupos de datos separados correspondientes a las propiedades del modelo matemático y a las cargas aplicadas a la junta.

Problema en la línea de título.- El título del problema debe contener arriba de 80 caracteres en una línea.

Tamaño de la estructura de línea de datos.- La línea de datos contiene cinco números: NJ, NM, NMAT, NSUP, NLJ:

NJ= número de juntas (entero)

NM= número de miembros (entero)

NMAT= número de materiales (entero)

NSUP= número de juntas de soporte (entero)

NLJ= número de juntas cargadas (entero)

Grupo 1. - Juntas coordenadas.- La primera línea de este grupo debe contener el título JUNTAS COORDENADAS seguidas por una línea por cada junta. Cada línea contiene cuatro números N, X, Y y Z:

N= número de junta (entero)

X= coordenada global de juntas X (decimal)

Y= coordenada global de juntas Y (decimal)

Z= coordenada global de juntas Z (decimal)

las juntas deben ser numeradas de 1 a NJ

Grupo 2. -Información del Material.- La primera línea de este grupo contiene el título INFORMACIÓN DEL MATERIAL seguida por una línea por cada diferente material en la estructura.

Cada línea contiene dos números, N, E:

N= número de material (entero)

E= módulo de elasticidad del material (decimal)

Grupo 3. -Información de Miembro. La primera línea de este grupo contiene el título: "INFORMACIÓN DE MIEMBRO", seguido por una línea por cada miembro. Hay dos diferentes formas para las líneas de datos, dependiendo del valor de NMAT definido en el tamaño de la estructura de datos de línea. Si NMAT=1 cada línea contiene cuatro números, N, J1, J2, AX, y si NMAT>1 cada línea contiene cinco números, N, J1, J2, AX,

M:

N= número de miembro (entero)

J1= número de junta para el miembro inicial (entero)

J2= número de junta para el último miembro(entero)

AX= área de la sección transversal del miembro (decimal)

M= número de material (entero)

Los miembros deben ser numerados de 1 a NM.

Grupo 4. - Restricción de juntas de soporte. La primera línea del grupo debe contener el título: "RESTRICCIONES DE SOPORTE" seguida por una línea por cada junta de soporte. Cada línea contiene cuatro números, N, JRX, JRY, JRZ:

N= número de junta (entero)

JRX= junta global de restricción de translación X

JRY= junta global de restricción de translación Y

JRZ= junta global de restricción de translación Z

las condiciones de restricción son:

0= no restricción

1= restricción completa

La estructura debe tener demasiada restricción de soporte, para dar estabilidad y prevenir el movimiento del cuerpo rígido.

Grupo 5. - Cargas en las juntas. La primera línea de este grupo debe contener el título: "CARGAS EN LAS JUNTAS", seguido por una línea por cada junta cargada. Cada línea contiene cuatro números, N, WX, WY, WZ:

N= número de junta

WX= fuerza componente en la junta global X

WY= fuerza componente en la junta global Y

WZ= fuerza componente en la junta global Z

6.4 ORIGEN BÁSICO DEL PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE ARMADURAS EN EL ESPACIO.

Se aporta un registro del estado de origen básico para el programa de análisis de armaduras en el espacio TRUSS3D, es dado al final de este capítulo, en la sección titulada: "TRUSS3D. origen de registro". El programa ejecuta las mismas operaciones durante el análisis de armaduras en el espacio, que las que el programa TRUSS2D ejecuta para el

análisis para armaduras en un plano. Algunas diferencias se deben a las diferentes geometrías de la armadura.

Una comparación de los dos programas muestra que hay muchos estados de origen básicos que son idénticos. Las operaciones específicas ,donde las diferencias ocurren en ambos programas son: la lectura de entrada de información, el cómputo de las fuerzas axiales del miembro individual y las reacciones en los soportes.

6.5 EJEMPLO DE PROBLEMA DE ENTRADA.

Para demostrar el uso del programa TRUSS3D, analizaremos la armadura triangular de 2(dos) pisos con 9(nueve) juntas y 18 (diez y ocho) miembros mostrada en la figura 6-3.

La figura 6-4 muestra el registro del archivo de información del disco de entrada para este ejemplo.

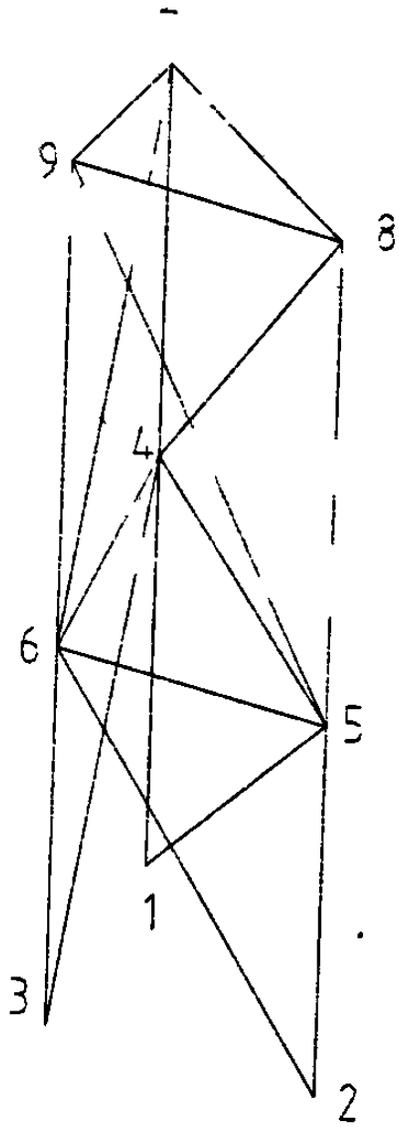


Figura 6-3. Ejemplo de armadura para el programa TRUSS3D.

EJEMPLO DE ARMADURA PARA PROGRAMA TRUSS3D
9,18,1,3,1
JUNTAS COORDENADAS
1,0.,0.,0.
2,100.,0.,0.
3,50.,0.,50..
4,0.,100.,0.
5,100.,100.,0.
6,50.,100.,50
7,0.,200.,0.
8,100.,200.,0.
9,50.,200.,0.
9,50.,200.,0.
DATOS DE EL MATERIAL
1,29000.
INFORMACIÓN DE MIEMBROS
1,1,4,10
2,4,7,10
3,2,5,10
4,5,8,10
5,6,3,10
6,6,9,10
7,4,5,10
8,5,6,10
9,6,4,10
10,7,8,10
11,8,9,10
12,9,7,10
13,1,5,10
14,2,6,10
15,3,4,10
16,4,8,10
17,5,9,10
18,6,7,10
RESTRICCIONES DE SOPORTE
1,1,1,1
2,1,1,1
3,1,1,1
CARGAS EN JUNTAS
9,0.,0,20.

Figura 6-4

La figura 6-5 muestra la salida para este problema exactamente como sale de la impresora

**EJEMPLO DE ARMADURA PARA EL PROGRAMA TRUSS3D
JUNTAS DE DESPLAZAMIENTO (JUNTA Dx,Dy,Dz)**

1	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000	0.00000
4	-0.00690	0.01379	0.05982
5	-0.00690	0.00690	0.06470
6	-0.00446	-0.02069	0.06226
7	-0.00000	0.16590	0.00000
8	-0.00000	0.00690	0.16590
9	0.00244	-0.02759	0.16834

FUERZAS DE MIEMBRO (MIEMBRO, FUERZA)

1	40.000
2	20.000
3	20.000
4	0.000
5	-60.000
6	-20.000
7	-0.000
8	-14.142
9	14.142
10	-0.00
11	0.00
12	14.142
13	0.00
14	24.495
15	-24.495
16	0.000
17	24.495
18	-24.495

REACCIONES (JUNTA, RX,RY,RZ)

1	-0.000	-40.000	0.000
2	10.000	-40.000	-10.000
3	-10.000	80.000	-10.000

Figura 6-5

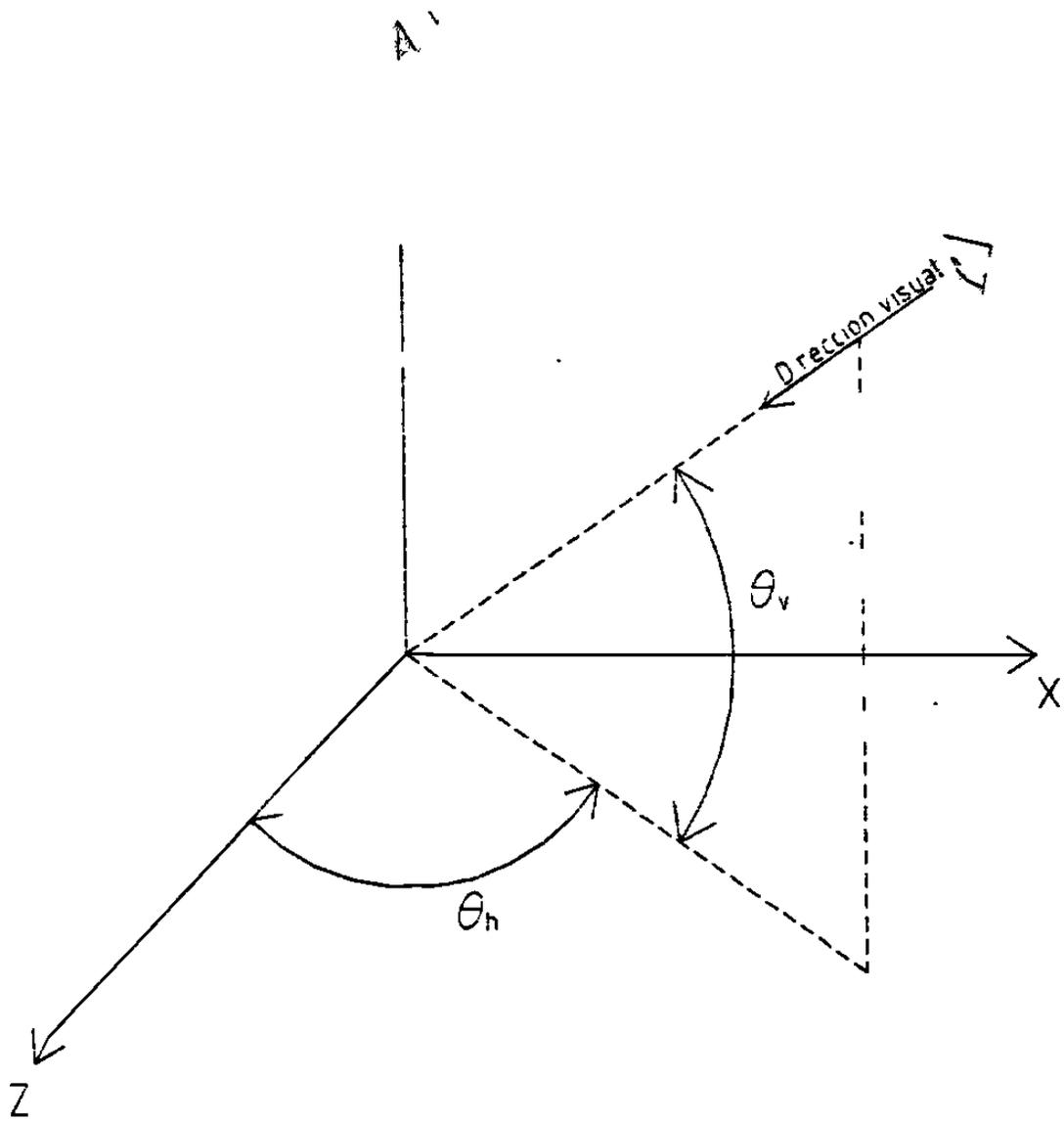


Figura 6-6. Angulos de perspectiva, para el trazo de la geometría de una armadura en el espacio.

Este programa de trazo es muy sencillo de usar y permite la fácil revisión de la precisión de la entrada de los datos, para resolver armaduras en el espacio.

La figura 6-7 muestra una típica armadura comúnmente utilizada como soporte de líneas de transmisión. Esta estructura en particular tiene 54 juntas y 189 miembros.

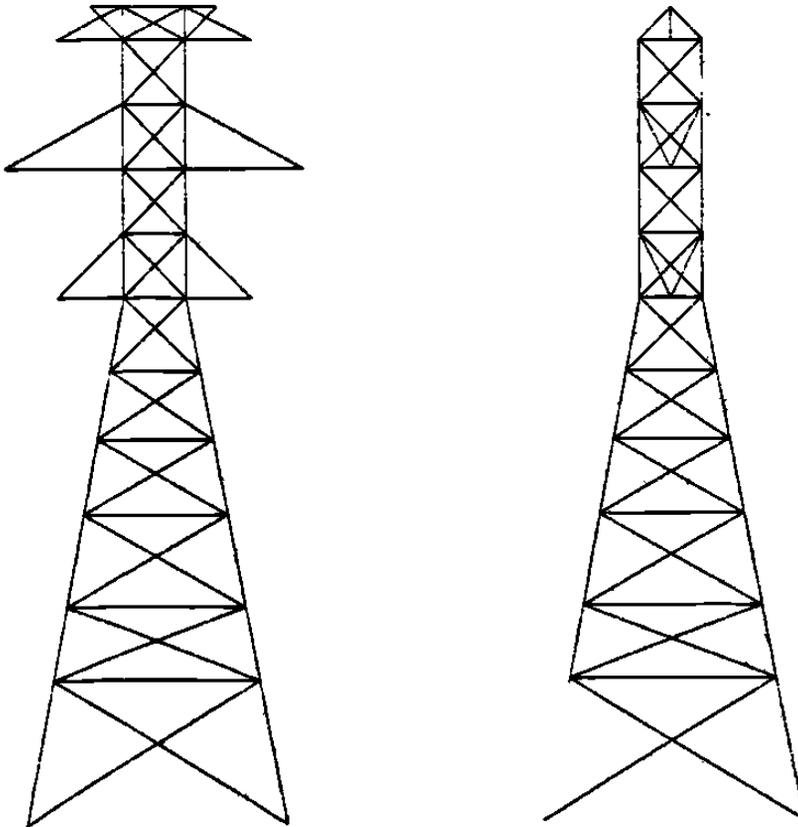


Figura 6-7

```

TRUSS3D REGISTRO DE ORIGEN10 REM -- PROGRAM TRUSS3D -
ANALISIS DE ARMADURAS EN EL ESPACIO
20 REM -- (C) DERECHOS RESERVADOS 1998 POR REYES MARTINEZ.
MATA 30 REM --
40 DEFINT I-N: OPTION BASE 1: KEY OFF
50 CLS: LOCATE 5,33: PRINT "PROGRAM TRUSS3D"
60 LOCATE 7,28: PRINT "ANALISIS DE ARMADURAS EN EL ESPACIO"
70 LOCATE 8,26: PRINT "IBM PERSONAL COMPUTER VERSION"
80 LOCATE 11,31: PRINT "(C) DERECHOS RESERVADOS 1998"
90 LOCATE 13,32: PRINT "REYES MARTINEZ. MATA"
100 LOCATE 15,30: PRINT "TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS"
110 J=0: FOR I=1 TO 2000: J=J+1: NEXT I
120 CLS: PRINT "ANALISIS DE ARMADURAS EN EL ESPACIO"
130 '
140 REM -- LECTURA DE EL NOMBRE DE EL ARCHIVO DE INFORMACION
DE EL DISCO DE ENTRADA 150 '
160 PRINT: INPUT "CUAL ES EL NOMBRE DE EL ARCHIVO DE DATOS
DEL DISCO DE ENTRADA";FILE$
170 L=LEN(FILE$): IF L=0 GOTO 160 ELSE 210
180 '
190 REM -- ABRIR ARCHIVO DEL DISCO 200 '
210 PRINT: PRINT "ESPERE UN MOMENTO A QUE TODOS LOS ARCHIVOS
DEL DISCO ESTEN ABIERTOS"
220 OPEN "JUNTAS" AS #1 LEN=30
230 FIELD #1,4 AS SX$,4 AS SY$,4 AS SZ$,2 AS SJRX$,2 AS
SJRY$,2 AS SJRZ$,
4 AS SWX$,4 AS SWY$,4 AS SWZ$
240 JRX=0: JRY=0: JRZ=0: WX=0!: WY=0!: WZ=0!
250 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY): LSET
SJRZ$=MKI$(JRZ)
260 LSET SWX$=MKS$(WX): LSET SWY$=MKS$(WY): LSET
SWZ$=MKS$(WZ)
270 OPEN "MEMBRAS" AS #2 LEN=28
280 FIELD #2,2 AS SJ1$,2 AS SJ2$,4 AS SAX$,4 AS SE$,4 AS
SCX$,4 AS SCY$,
4 AS SCZ$,4 AS STL$
290 CX=0!: LSET SCX$=MKS$(CX)
300 CY=0!: LSET SCY$=MKS$(CY)
310 CZ=0!: LSET SCZ$=MKS$(CZ)
320 TL=0!: LSET STL$=MKS$(TL)
330 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #3
340 '
350 REM -- 360 ' LECTURA DE LA INFORMACION DESDE EL ARCHIVO
DE DATOS DEL DISCO DE ENTRADA

370 T$=TIME$: PRINT: PRINT " LECTURA DE LA INFORMACION DESDE
EL ARCHIVO DE DATOS DEL DISCO DE ENTRADA
-- TIME=";T$
380 INPUT #3,TITLE$
390 INPUT #3,NJ,NM,NMAT,NSUP,NLJ

```

```

400 INPUT #3,DUMMY$
410 FOR I=1 TO NJ: INPUT #3,N,X,Y,Z
420 LSET SX$=MK$$(X): LSET SY$=MK$$(Y): LSET SZ$=MK$$(Z)
430 PUT #1,N: NEXT I
440 INPUT #3,DUMMY$
450 DIM E(NMAT)
460 FOR I=1 TO NMAT: INPUT #3,N,E(N): NEXT I
470 INPUT #3,DUMMY$
480 FOR I=1 TO NM
490 IF NMAT=1 THEN INPUT #3,N,J1,J2,AX: LSET SE$=MK$$(E(1))
500 IF NMAT>1 THEN INPUT #3,N,J1,J2,AX,M: LSET SE$=MK$$(E(M))
510 LSET SJ1$=MKI$(J1): LSET SJ2$=MKI$(J2): LSET
SAX$=MK$$(AX)
520 PUT #2,N: NEXT I
530 ERASE E
540 INPUT #3,DUMMY$: NR=0
550 FOR I=1 TO NSUP: INPUT #3,N,JRX,JRY,JRZ: GET #1,N
560 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY): LSET
SJRZ$=MKI$(JRZ)
570 PUT #1,N: NR=NR+JRX+JRY+JRZ: NEXT I
580 INPUT #3,DUMMY$
590 FOR I=1 TO NLJ: INPUT #3,N,WX,WY,WZ: GET #1,N:
600 LSET SWX$=MK$$(WX): LSET SWY$=MK$$(WY): LSET
SWZ$=MK$$(WZ)
610 PUT #1,N: NEXT I: CLOSE #3
620 PRINT "NUMBER OF JOINTS =";NJ
630 PRINT "NUMBER OF MEMBERS =";NM
640 '
650 REM -- IS TRUSS UNSTABLE?
660 '
670 IF (NM+NR)<(3*NJ) GOTO 680 ELSE 780
680 PRINT: PRINT "ARMADURA INESTABLE (NM+NR)<(3*NJ)"
690 PRINT "SALIDA DEL PROGRAMA"
700 CLOSE #1: KILL "JUNTAS"
710 CLOSE #2: KILL "MIEMBROS": END
720 '
730 REM -- LA ARMADURA TIENE SUFICIENTE NUMERO DE MIEMBROS Y
RESTRICCIONES DE SOPORTE
740 REM -- COMIENZA EL ANALISIS 750 '
760 REM -- COMPUTO DE [K] Y DIRECCION DE LOS COSENOS
770 '
780 T$=TIME$
790 PRINT: PRINT "COMPUTO DE LA MATRIZ [K] -- TIME=";T$
800 NEQ=3*NJ: MAXB=0
810 FOR I=1 TO NM: GET #2,I
820 J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
830 MBAND=3*(ABS(J2-J1)+1): IF MBAND>MAXB THEN MAXB=MBAND
840 GET #1,J1: X1=CVS(SX$): Y1=CVS(SY$): Z1=CVS(SZ$)
850 GET #1,J2: X2=CVS(SX$): Y2=CVS(SY$): Z2=CVS(SZ$)
860 XL=X2-X1: YL=Y2-Y1: ZL=Z2-Z1: TL=SQR(XL*XL+YL*YL+ZL*ZL)
870 CX=XL/TL: CY=YL/TL: CZ=ZL/TL

```

```

880 LSET SCX$=MKS$(CX): LSET SCY$=MKS$(CY): LSET
SCZ$=MKS$(CZ)
890 LSET STL$=MKS$(TL)
900 PUT #2,I: NEXT I
910 DIM XK(NEQ,MAXB),XKMG(6,6)
920 PRINT "NUMERO DE ECUACIONES =";NEQ
930 PRINT "HALF BAND WIDTH =";MAXB
940 FREEM=FRE(0): PRINT "MEMORIA LIBRE =";FREEM
950 '
960 REM -- MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA SIN RESTRICION
970 '
980 T$=TIME$: PRINT: PRINT "ASSEMBLE [K] MATRIX -- TIME=";T$
990 FOR I=1 TO NEQ: FOR J=1 TO MAXB: XK(I,J)=0!: NEXT J: NEXT
I
1000 PRINT "MIEMBRO";
1010 FOR M=1 TO NM: GET #2,M: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
1020 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): CZ=CVS(SCZ$)
1030 AX=CVS(SAX$): E=CVS(SE$): TL=CVS(STL$): AEOL=AX*E/TL
1040 PRINT M;
1050 REM - COMPUTO DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE EL MIEMBRO
GLOBAL

1060 CXCX=CX*CX*AEOL: CYCY=CY*CY*AEOL: CZCZ=CZ*CZ*AEOL
1070 CXCY=CX*CY*AEOL: CXCZ=CX*CZ*AEOL: CYCZ=CY*CZ*AEOL
1080 XKMG(1,1)=CXCX: XKMG(1,2)=CXCY: XKMG(1,3)=CXCZ:
XKMG(1,4)=-CXCX
1090 XKMG(1,5)=-CXCY: XKMG(1,6)=-CXCZ: XKMG(2,2)=CYCY:
XKMG(2,3)=CYCZ
1100 XKMG(2,4)=-CXCY: XKMG(2,5)=-CYCY: XKMG(2,6)=-CYCZ:
XKMG(3,3)=CZCZ
1110 XKMG(3,4)=-CXCZ: XKMG(3,5)=-CYCZ: XKMG(3,6)=-CZCZ:
XKMG(4,4)=CXCX
1120 XKMG(4,5)=CXCY: XKMG(4,6)=CXCZ: XKMG(5,5)=CYCY:
XKMG(5,6)=CYCZ
1130 XKMG(6,6)=CZCZ
1140 FOR I=1 TO 6: FOR J=I TO 6: XKMG(J,I)=-XKMG(I,J): NEXT J:
NEXT I
1150 REM - ADICION DE MIEMBROS DE RIGIDEZ EN LA FORMA [K]
1160 FOR II=1 TO 3: FOR JJ=1 TO 3
1170 KROW=3*J1-(3-II): KCOL=3*J1-(3-JJ)-KROW+1
1180 IF KCOL<=0 GOTO 1200
1190 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1200 NEXT JJ: NEXT II
1210 FOR II=1 TO 3: FOR JJ=4 TO 6
1220 KROW=3*J1-(3-II): KCOL=3*J2-(6-JJ)-KROW+1
1230 IF KCOL<=0 GOTO 1250
1240 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1250 NEXT JJ: NEXT II
1260 FOR II=4 TO 6: FOR JJ=1 TO 3
1270 KROW=3*J2-(6-II): KCOL=3*J1-(3-JJ)-KROW+1
1280 IF KCOL<=0 GOTO 1300

```

```

1290 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1300 NEXT JJ: NEXT II
1310 FOR II=4 TO 6: FOR JJ=4 TO 6
1320 KROW=3*J2-(6-II): KCOL=3*J2-(6-JJ)-KROW+1
1330 IF KCOL<=0 GOTO 1350
1340 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1350 NEXT JJ: NEXT II
1360 NEXT M
1370 ERASE XKMG
1380 '
1390 REM -- INTRODUCCION DE RESTRICCIONES DE SOPORTE Y
VECTORES DE CARGA
1400 '
1410 T$=TIME$: PRINT: PRINT: PRINT "VECTORES DE CARGA --
TIME=";T$
1420 DIM W(NEQ),JR(3)
1430 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I
1440 JR(1)=CVI(SJRX$): JR(2)=CVI(SJRY$): JR(3)=CVI(SJRZ$)
1450 W(3*I-2)=CVS(SWX$): W(3*I-1)=CVS(SWY$): W(3*I)=CVS(SWZ$)
1460 FOR J=1 TO 3
1470 IF JR(J)=0 GOTO 1530
1480 KROW=3*I-(3-J): NR=KROW
1490 FOR KCOL=2 TO MAXB: XK(KROW,KCOL)=0!: NR=NR-1
1500 IF NR<=0 GOTO 1510 ELSE XK(NR,KCOL)=0!
1510 NEXT KCOL
1520 XK(KROW,1)=1!: W(KROW)=0!
1530 NEXT J
1540 NEXT I
1550 ERASE JR
1560 '
1570 REM -- SOLUCION DE ECUACIONES PARA JUNTAS DE
DESPLAZAMIENTO 1580 '
1590 T$=TIME$
1600 PRINT: PRINT "SOLUCION DE ECUACIONES PARA DESPLAZAMIENTO
EN JUNTA -- TIME=";T$
1610 REM-- FORWARD ELIMINATION
1620 PRINT "FORWARD ELIMINATION"
1630 PRINT "EQUATION";
1640 FOR N=1 TO NEQ: I=N
1650 PRINT N;
1660 IF ABS(XK(N,1))>9.999999E-04 GOTO 1700
1670 PRINT: PRINT: PRINT "STRUCTURE IS GEOMETRICALLY
UNSTABLE"
1680 PRINT "NO SOLUTION POSSIBLE"
1690 CLOSE #1: CLOSE #2: KILL "JOINTS": KILL "MEMBRs": END
1700 FOR L=2 TO MAXB: I=I+1: IF XK(N,L)=0! GOTO 1760
1710 C=XK(N,L)/XK(N,1): J=0
1720 FOR K=L TO MAXB: J=J+1: IF XK(N,K)=0! GOTO 1740
1730 XK(I,J)=XK(I,J)-C*XK(N,K)
1740 NEXT K
1750 XK(N,L)=C: W(I)=W(I)-C*W(N)

```

```

1760 NEXT L
1770 W(N)=W(N)/XK(N,1)
1780 NEXT N
1790 REM -- BACK SUBSTITUTION
1800 PRINT: PRINT "BACK SUBSTITUTION"
1810 PRINT "DESPLAZAMIENTO" NEQ;
1820 N=NEQ
1830 N=N-1: IF N<=0 GOTO 1900 ELSE L=N
1840 PRINT N;
1850 FOR K=2 TO MAXB
1860 L=L+1: IF XK(N,K)=0 GOTO 1880
1870 W(N)=W(N)-XK(N,K)*W(L)
1880 NEXT K
1890 GOTO 1830
1900 ERASE XK
1910 '
1920 REM -- COMPUTO DE FUERZAS DE MIEMBRO1930 '
1940 T$=TIME$: PRINT
1950 PRINT: PRINT "COMPUTO DE FUERZAS DE MIEMBRO -- TIME=";T$
1960 DIM P(NM)
1970 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
1980 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): CZ=CVS(SCZ$)
1990 AX=CVS(SAX$): E=CVS(SE$): TL=CVS(STL$): AEOL=AX*E/TL
2000 P(I)=AEOL*(CX*(W(3*J2-2)-W(3*J1-2))+CY*(W(3*J2-1)-
W(3*J1-1))
+ CZ*(W(3*J2)-W(3*J1)))
2010 NEXT I
2020 '
2030 REM -- COMPUTO DE REACCIONES 2040 '
2050 T$=TIME$: PRINT: PRINT "COMPUTO DE REACCIONES --
TIME=";T$
2060 DIM JRX(NJ),JRY(NJ),JRZ(NJ),RX(NJ),RY(NJ),RZ(NJ)
2070 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I: WX=CVS(SWX$): WY=CVS(SWY$):
WZ=CVS(SWZ$)
2080 JRX(I)=CVI(SJRX$): JRY(I)=CVI(SJRY$): JRZ(I)=CVI(SJRZ$)
2090 IF JRX(I)<>0 THEN RX(I)=-WX
2100 IF JRY(I)<>0 THEN RY(I)=-WY
2110 IF JRZ(I)<>0 THEN RZ(I)=-WZ
2120 NEXT I
2130 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
2140 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): CZ=CVS(SCZ$)
2150 IF JRX(J1)<>0 THEN RX(J1)=RX(J1)-CX*P(I)
2160 IF JRY(J1)<>0 THEN RY(J1)=RY(J1)-CY*P(I)
2170 IF JRZ(J1)<>0 THEN RZ(J1)=RZ(J1)-CZ*P(I)
2180 IF JRX(J2)<>0 THEN RX(J2)=RX(J2)+CX*P(I)
2190 IF JRY(J2)<>0 THEN RY(J2)=RY(J2)+CY*P(I)
2200 IF JRZ(J2)<>0 THEN RZ(J2)=RZ(J2)+CZ*P(I)
2210 NEXT I
2220 T$=TIME$: PRINT: PRINT "SOLUCION COMPLETA -- TIME=";T$
2230 PRINT: PRINT "COLOQUE EL PAPEL EN LA POSICION CORRECTA
EN LA IMPRESORA
2240 INPUT "IMPRIMIR RESULTADOS",DUMMY$

```

```

2250 '
2260 REM --IMPRESION DE JUNTAS DE DESPLAZAMIENTO, FUERZAS DE
MIEMBRO Y REACCIONES
2270 '
2280 FOR I=1 TO 4: LPRINT: NEXT I: LPRINT TITLE$: LPRINT
2290 LPRINT "JOINT DISPLACEMENTS (JOINT,DX,DY,DZ)": LPRINT
2300 FOR I=1 TO NJ
2310 LPRINT USING "###";I;:
LPRINT USING " ###.####";W(3*I-2),W(3*I-1),W(3*I): NEXT I
2320 LPRINT: LPRINT "FUERZAS DE MIEMBRO (MIEMBRO,FUERZA)":
LPRINT
2330 FOR I=1 TO NM
2340 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING " ####.###";P(I)
2350 NEXT I
2360 LPRINT: LPRINT "REACTIONS (JOINT,RX,RY,RZ)": LPRINT
2370 FOR I=1 TO NJ
2380 IF JRX(I)<>0 OR JRY(I)<>0 OR JRZ(I)<>0 GOTO 2390 ELSE
2400
2390 LPRINT USING "###";I;:
LPRINT USING " ####.###";RX(I),RY(I),RZ(I)
2400 NEXT I
2410 PRINT: PRINT: PRINT "SALIDA DEL PROGRAMA"
2420 CLOSE #1: KILL "JUNTAS"
2430 CLOSE #2: KILL "MIEMBROS"
2440 FIN

```

-

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ DE LOS MARCOS EN UN PLANO

7.1 PROGRAMA FRAME2D

Los programas presentados en los capítulos 5 y 6 ejecutan un análisis de una armadura, en donde sólo existen fuerzas axiales en los miembros. Hay muchas situaciones en que es adecuado un análisis de este tipo; sin embargo, en muchos casos la estructura debe ser tratada como un marco, si se obtendrá una exacta predicción del comportamiento bajo cargas de servicio. La primera diferencia entre una armadura y un marco está en las restricciones aplicadas a la junta, por los miembros. En una armadura, las juntas son sólo restringidas contra la translación, mientras que en un marco existen ambas restricciones (rotacional y de translación). Si se analiza una estructura de la misma geometría como una armadura y como un marco, los desplazamientos de las juntas y las cargas en los extremos de los miembros pueden ser significativamente diferentes.

El analista debe decidir cuál tipo de análisis se usará basándose en su juicio y experiencia.

El método de la rigidez puede usarse para el análisis de marcos tan grandes como el número y tipos de grados de libertad sean considerados. Para un marco en un plano, habrá tres grados de

libertad en cada junta, consistiendo en dos componentes de traslación, a lo largo del eje global en el plano de la estructura y una rotación en el eje global perpendicular al plano. El número total de grados de libertad que deberá ser considerado en el análisis deberá ser igual a tres veces el número de las juntas. Este capítulo presenta una descripción de un programa llamado FRAME2D, el cual ejecuta el análisis de un marco en un plano de geometría arbitraria. El marco puede ser solicitado por ambas fuerzas y momentos aplicados directamente a las juntas. Las juntas de soporte pueden fijarse contra la traslación y la rotación, o pueden ser restringidas por pernos o rodillos horizontales y verticales.

7.2 MATRIZ DE RIGIDEZ EN LAS JUNTAS GLOBALES.

El orden para generar la matriz de rigidez, en las juntas globales $[K]$ para un marco en un plano, es que la rigidez de cada miembro individual en la estructura debe ser primero computado. Estas matrices de rigidez en miembros deberán ser completamente diferentes a las usadas para miembros de armaduras en un plano estudiadas en el capítulo 4. Ambas deben considerarse deformaciones, axial y de flexión, en los miembros, puesto que sólo la deformación axial fue considerada previamente.

7.2.1 Matriz de Rigidez en un Miembro Local.

El sistema coordenado del miembro local, en un marco de un plano, consistirá en la colocación ortogonal de la mano derecha, como se vio en los capítulos anteriores.

La dirección positiva del eje local X va desde el inicio del miembro en la junta hasta el extremo del mismo. Los ejes locales Y y Z deben corresponder al eje principal de la sección transversal; puesto que los desplazamientos fuera del plano de la estructura no han sido considerados.

El marco debe ser considerado por la posición en el plano global XY. El eje local X deberá ser paralelo al plano global XZ y se extenderá en la misma dirección que el eje global Z, como se muestra en la figura 7-1 y 7-2.

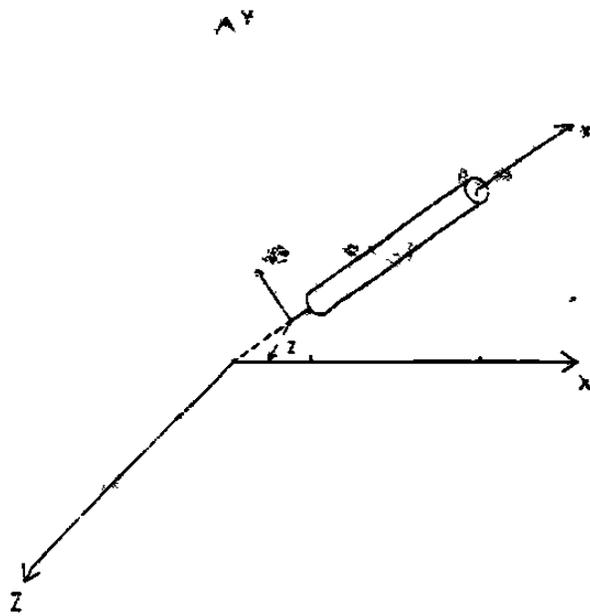


Figura 7-1. Sistema coordenado del miembro local en un marco,

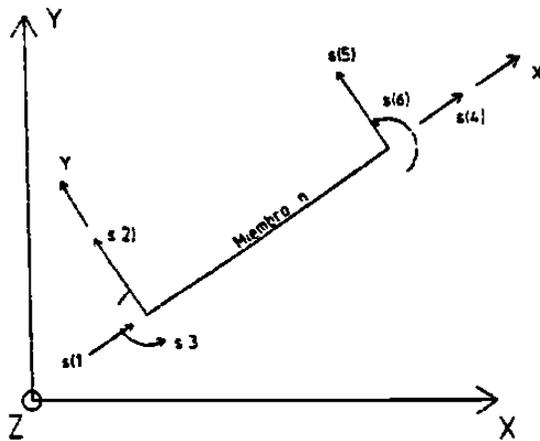


Figura 7-2. Cargas en los extremos de miembros locales en marcos.

Para cualquier miembro n , las cargas en los extremos del miembro $\{S\}_n$ y las deformaciones del miembro local $\{U\}_n$ serán definidas como componentes del sistema coordenado local para ese miembro.

Los seis elementos en la matriz de cargas en el extremo del miembro local $\{S\}_n$ se definen en la figura 7-2, para un miembro típico.

Los elementos $s(1)$ y $s(4)$ representan las dos fuerzas axiales, los elementos $s(2)$ y $s(5)$ representan las dos fuerzas cortantes y los elementos $s(3)$ y $s(6)$ representan los dos momentos. Los seis elementos en la matriz de deformación $\{U\}_n$ representan la correspondiente posición de los movimientos del miembro extremo, como se muestra en la figura 7-3.

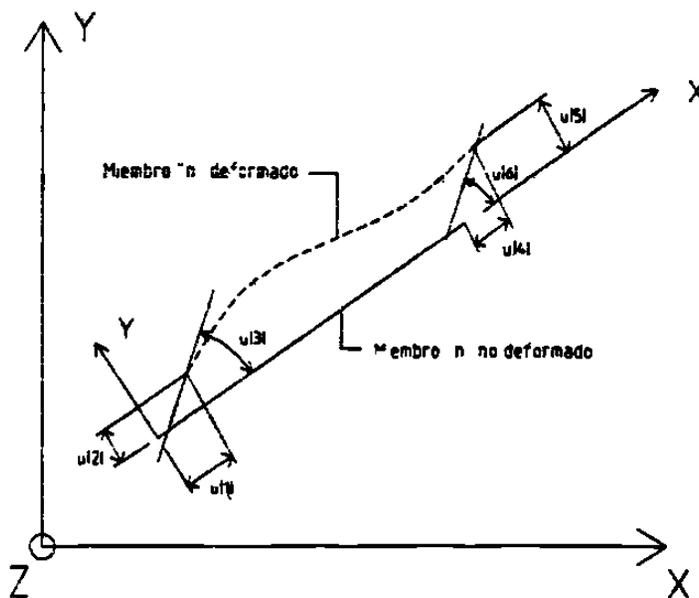


Figura 7-3. Deformaciones del miembro local, en un marco.

Los elementos en $\{U\}_n$ son considerados positivos, si están en la dirección positiva de los elementos correspondientes en $\{S\}_n$.

Usando esta definición, para $\{S\}_n$ Y $\{U\}_n$, la matriz de rigidez del miembro local $[K_m]_n$ para cualquier miembro de marco en un plano, deberá tener seis hileras y seis columnas:

$$[K_m]_n = \begin{bmatrix} km(1,1) & km(1,2) & km(1,3) & km(1,4) & km(1,5) & km(1,6) \\ km(2,1) & km(2,2) & km(2,3) & km(2,4) & km(2,5) & km(2,6) \\ km(3,1) & km(3,2) & km(3,3) & km(3,4) & km(3,5) & km(3,6) \\ km(4,1) & km(4,2) & km(4,3) & km(4,4) & km(4,5) & km(4,6) \\ km(5,1) & km(5,2) & km(5,3) & km(5,4) & km(5,5) & km(5,6) \\ km(6,1) & km(6,2) & km(6,3) & km(6,4) & km(6,5) & km(6,6) \end{bmatrix} \quad ec(7-1)$$

Esta formulación para $[K_m]_n$ sólo incluye los efectos de las deformaciones axiales y flexionantes en los miembros. Se desprecian las deformaciones por cortante.

7.2.2 Matriz de Rigidez del Miembro Global

Las figuras 7-4 y 7-5 muestran las definiciones de los elementos individuales en las matrices $\{W\}_n$ y $\{D\}_n$, las cuales fueron usadas en el desarrollo del programa de análisis en marcos, en un plano, presentados en este capítulo.

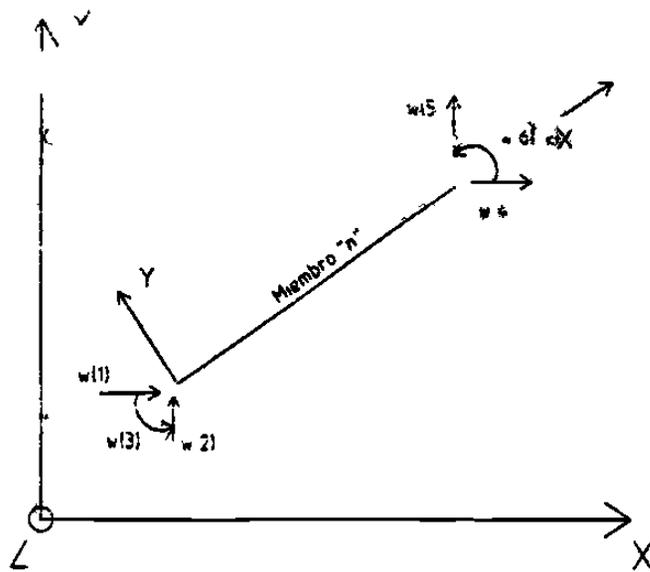


Figura 7-4. Cargas en los miembros globales extremos cargados en un marco.

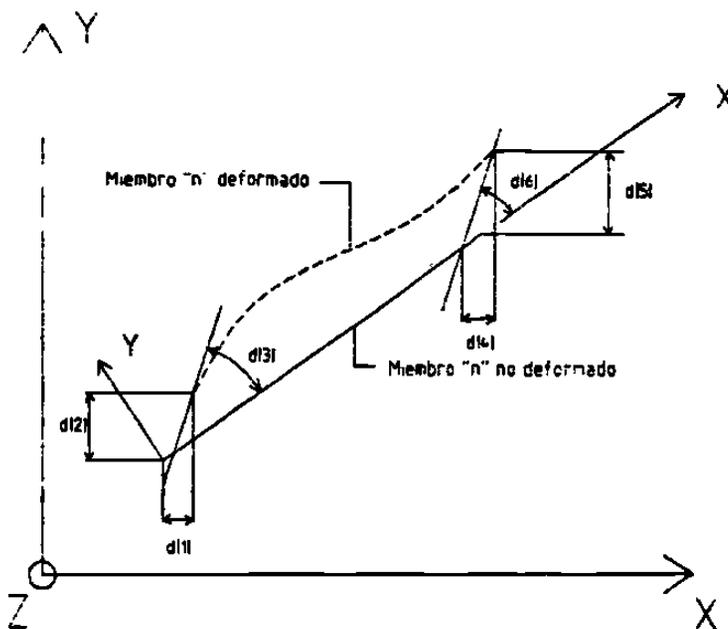


Figura 7-5. Deformaciones en el miembro global en un marco.

Basándonos en esta definición, para $\{D\}_n$ y la definición de los elementos de $\{U\}_n$, mostrados en la Figura 7-3, la matriz $[A]_n$ debe tener seis hileras y seis columnas como sigue:

$$[A]_n = \begin{bmatrix} \cos\alpha_x & \cos\alpha_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \cos\alpha_y & \cos\alpha_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha_x & \cos\alpha_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\cos\alpha_y & \cos\alpha_x & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_n \quad \text{ec(7-2)}$$

Ejecutando esta transformación coordenada en la previa definición de matriz de rigidez en miembros locales, resulta una matriz de rigidez de miembros global de 6×6 $[K]_n$

Esta matriz puede ahora usarse para generar la matriz de rigidez global de las juntas $[K]$ por el proceso de junta. Después de conocer $[K]$, los desplazamientos de junta $\{D\}$ pueden ser computados por la solución de las ecuaciones de las juntas de rigidez, las cuales fueron definidas previamente en la ecuación (3-3).

7.2.2 Los Miembros Extremos Cargados

Después de que los desplazamientos en las juntas han sido computados, las cargas en los extremos del miembro puede determinarse por las operaciones de la matriz mostrada en la ecuación (5-11).

Ejecutando estas operaciones, se obtendrán las expresiones para los elementos individuales en $\{S\}_n$. Si se comparan estas expresiones veremos que las dos fuerzas axiales $s(1)$ y $s(4)$, y las dos fuerzas cortantes $s(2)$ y $s(5)$, son iguales; pero de signo opuesto, por lo cual, los dos momentos $s(3)$ y $s(6)$ tienen diferentes magnitudes. Por consiguiente, sólo es necesario computar cuatro de esas cantidades.

7.3 FORMATEO DE ARCHIVO EN EL DISCO DE ENTRADA

El formateo de archivo en el disco de entrada para el programa de análisis de marcos de un plano es casi el mismo que el descrito previamente para el análisis de armaduras en un plano presentado en el capítulo 5. La menor diferencia se debe a la adición de las cantidades requeridas para incluir los efectos de flexión en los miembros.

El archivo de entrada contiene el título del problema, una línea de datos del tamaño de la estructura y cinco grupos separados de los datos correspondientes a las propiedades del modelo matemático y a la aplicación de cargas en las juntas. Las reglas para introducir los valores numéricos individuales son las mismas descritas en el capítulo 3.

7.4 ORIGEN BÁSICO DEL PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE LOS MARCOS PLANOS.

Se presenta al final de este capítulo un registro del estado del origen básico para los programas de análisis de los marcos en un plano FRAME2D, en la sección titulada: "FRAME2D Registro de Origen". No es necesario dar una detallada descripción de la operación de este programa, puesto que se ha visto una descripción detallada en el programa TRUSS2D en el capítulo 5. La secuencia de descripción en este programa es la misma. Las diferencias que pueden presentarse son meramente debidas a la adición del grado de libertad rotacional en cada junta.

7.5 EJEMPLO DEL PROBLEMA DE ENTRADA

La figura 7-6 muestra un registro de un ejemplo de archivo de información del disco de entrada para un marco de dos pisos, con la geometría mostrada en la figura 7-7.

7.6 EJEMPLO DE UN MARCO PARA EL PROGRAMA FRAME2D

8,8,1,3,2
JUNTAS COORDENADAS
1,0.,0.
2,0.,144.
3,0.,288.
4,120.,0.
5,120.,144.
6,120.,288.
7,240.,0.
8,240.,144.
PROPIEDADES DEL MATERIAL
1,29000.
DATOS DEL MIEMBRO
1,1,2,20.,1000.
2,2,3,15.,750.
3,4,5,20.,1000.
4,5,6,15.,750.
5,7,8,15.,750.
6,2,5,18.,1500.
7,5,8,18.,1500.
8,3,6,18.,1500.
RESTRICCIONES DE SOPORTE
1,1,1,0
4,1,1,1
7,0,1,0
CARGAS EN JUNTAS
2,20.,0.,0.
3,10.,0.,0.

Figura 7-6

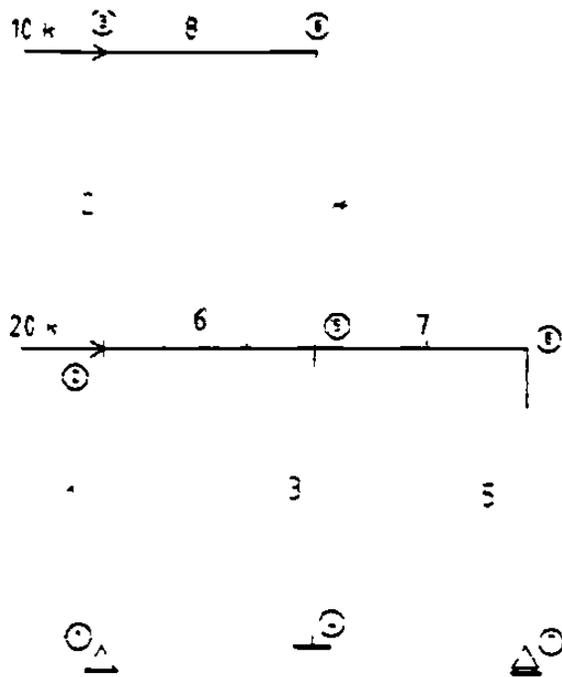


Figura 7-7. Ejemplo de un marco para el programa FRAME 2D.

El marco está sujeto a cargas horizontales en dos juntas . la salida para este programa se muestra en la figura 7-8. Una comparacion de las reacciones computadas y las cargas aplicadas mostró que se satisface el equilibrio de la estructura. Esta es una buena verificacion de que la solución es correcta.

EJEMPLO DE MARCO PARA FRAME2D

DESPLAZAMIENTOS EN JUNTA (JUNTA, DX, DY, DMZ)

1	0.00000	0.00000	-0.00247
2	0.26454	0.00640	-0.00057
3	0.38739	0.00864	-0.00032
4	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.25998	-0.00484	-0.00031
6	0.38628	-0.00708	-0.00067
7	0.31329	0.00000	0.00037
8	0.25998	-0.00208	0.00037

CARGAS EN EXTREMOS DEL MIEMBRO (MIEMBRO, EXTREMO, FX, FY, MZ)

1	1	-25.781	5.336	0.000
1	2	25.781	-5.336	768.322
2	2	-6.758	5.159	334.577
2	3	6.758	-5.159	408.309
3	4	19.487	24.664	1911.073
3	5	-19.487	-24.664	1640.606
4	5	6.758	4.841	294.481
4	6	-6.758	-4.841	402.641
5	7	6.294	0.000	0.000
5	8	-6.294	-0.000	0.000
6	2	19.823	-19.023	-1102.899
6	5	-19.823	119.023	-1179.858
7	5	0.000	-6.294	-755.228
7	8	0.000	6.294	0.000
8	3	4.841	-6.758	-408.309
8	6	-4.841	6.758	-402.641

REACCIONES (JUNTA, RX,RY,RMZ)

1	-5.336	-25.781	0.000
4	-24.664	19.487	1911.073
7	0.000	6.294	0.000

Figura 7-8

7.7 ANÁLISIS DE VIGAS CONTINUAS

Un tipo de estructura muy común, que se calcula casi a diario por los ingenieros estructuristas es una viga continua sobre varias luces. Se muestra un típico ejemplo en la figura 7-9. Esta viga puede tratarse como un marco en un plano, para el propósito de análisis. El modelo matemático consistirá meramente de una serie de miembros de viga colineal, con una junta en cada soporte y en cada carga concentrada, como se muestra en la figura.

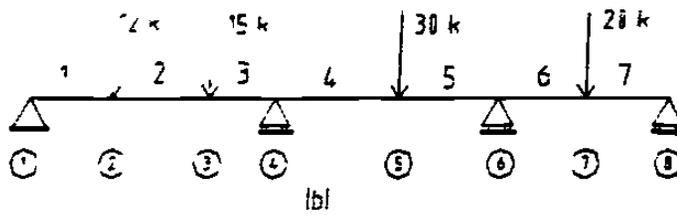
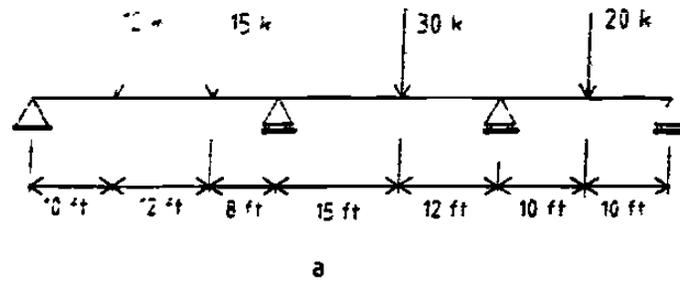


Figura 7-9. Viga continua.

La figura 7-10 muestra un registro del archivo de información del disco de entrada para el análisis de este problema, por el programa FRAME2D. Se muestra la salida correspondiente de este análisis en la figura 7-11.

VIGA CONTINUA

8,7,1,4,4

JUNTAS COORDENADAS

1,0.,.,0.

2,120.,0.

3,264.,0.

5,540.,0.

6,684.,0.

7,804.,0.

8,924.,0.

PROPIEDADES DE MATERIAL

1,29000.

DATOS DE MIEMBRO

1,1,2,20.,1000.

2,2,3,20.,1000.

3,3,4,20.,1000.

5,5,6,20.,1000.

6,6,7,20.,1000.

7,7,8,20.,1000.

RESTRICCIONES DE SOPORTE

1,1,1,0

4,0,1,0

6,0,1,0

8,0,1,0

CARGAS EN JUNTAS

2,0.,-12.,0.

3,0.,-15.,0.

5,0.,-30.,0.

7,0.,-20.,0.

Figura 7-10

VIGA CONTINUA

DESPLAZAMIENTOS EN JUNTA (JUNTA, DX,DY,DZ)

1	0.00000	0.00000	-0.00320
2	0.00000	-0.30353	-0.00118
3	0.00000	-0.19073	0.00229
4	0.00000	0.00000	0.00069
5	0.00000	-1.17132	0.00008
6	0.00000	0.00000	0.00043
7	0.00000	-0.06750	-0.00036
8	0.00000	0.000000	0.00103

CARGAS EN MIEMBROS EXTREMOS (MIEMBRO, EXTREMO, FX, FY,MZ)

1	1	0.00000	8.141	-0.000
1	2	0.00000	-8.141	976.860
2	2	0.00000	-3.860	-976.860
2	3	0.00000	3.860	421.093
3	3	0.00000	-18.859	-421.093
3	4	0.00000	18.859	-1389.419
4	4	0.00000	14.362	1389.419
4	5	0.00000	-14.362	1195.686
5	5	0.00000	-15.638	-1195.686
5	6	0.00000	15.638	-1056.231
6	6	0.00000	14.4011	1056.231
6	7	0.00000	-14.401	6711.885
7	7	0.00000	-5.599	-671.885
7	8	0.00000	5.599	0.000

Figura 7-11

Desde esta salida, pueden determinarse: la forma de la pendiente de la viga, la fuerza cortante y el momento flexionante en cualquier punto de la viga así como las reacciones. La figura 7-12 muestra los diagramas de corte y momento los cuales fueron trazados desde esta salida.

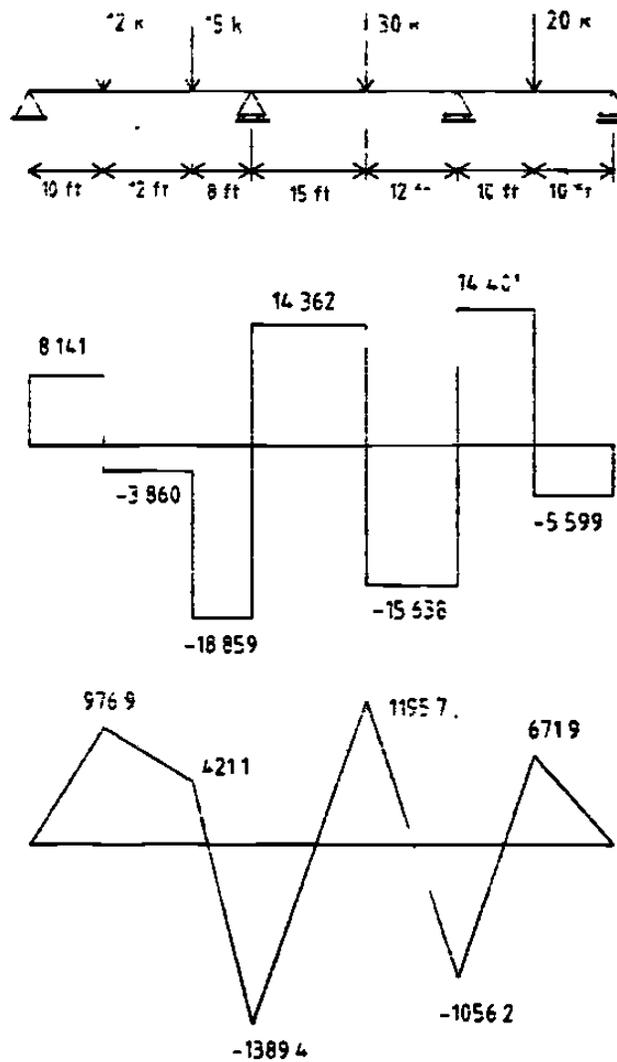


Figura 7-12. Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes.

7.8 TRAZO DE ENTRADA DE DATOS

Se registra al final de este capítulo un programa llamado F2DPLOT, en la sección titulada: "F2DPLOT registro de origen", el cual traza la geometría de un marco en un plano, desde el archivo de información de disco de entrada para el programa FRAME2D. La relación de origen de este programa es casi idéntica al programa SDTPLOT y T2DPLOT, los cuales se presentaron en los capítulos 3 y 5.

La figura 7-13 muestra un trazo general de este programa, para el ejemplo del marco mostrado en la figura 7-7.

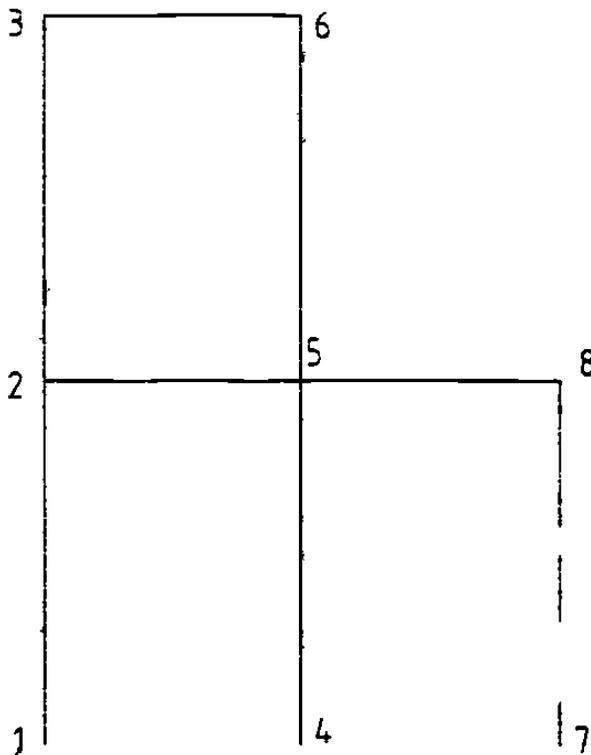


Figura 7-13. Salida de F2DPLOT, para un marco de ejemplo.

7.12 FRAME2D REGISTRO DE ORIGEN

```
10 REM -- PROGRAM FRAME2D - ANALISIS MARCOS EN UN PLANO
20 REM -- (C) DERECHOS RESERVADOS 1998 POR REYES MARTINEZ MATA
30 REM -- TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS 40 DEFINT I-N: OPTION
BASE 1: KEY OFF
50 CLS: LOCATE 5,33: PRINT "PROGRAMA FRAME2D"
60 LOCATE 7,28: PRINT "ANALISIS DE MARCOS EN UN PLANO"
70 LOCATE 8,26: PRINT "IBM PERSONAL COMPUTER VERSION"
80 LOCATE 11,31: PRINT "(C) DERECHOS RESERVADOS 1998"
90 LOCATE 13,32: PRINT "REYES MARTINEZ. MATA"
100 LOCATE 15,30: PRINT "TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS"
110 J=0: FOR I=1 TO 2000: J=J+1: NEXT I
120 CLS: PRINT "ANALISIS MARCOS EN UN PLANO"
130 '
140 REM -- LECTURA DE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DEL DISCO
DE ENTRADA
150 '
160 PRINT: INPUT "CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DEL
DISCO DE ENTRADA ";FILE$
170 L=LEN(FILE$): IF L=0 GOTO 160 ELSE 210
180 '
190 REM -- ABRIR ARCHIVOS DEL DISCO 200 '
210 PRINT: PRINT "ESPERE UN MOMENTO A QUE SE ABRAN TODOS LOS
ARCHIVOS" 220 OPEN "JUNTAS" AS #1 LEN=26
230 FIELD #1,4 AS SX$,4 AS SY$,2 AS SJRX$,2 AS SJRY$,2 AS
SJRZ$,
4 AS SWX$,4 AS SWY$,4 AS SWZ$
240 JRX=0: JRY=0: JRZ=0: WX=0!: WY=0!: WZ=0!
250 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY): LSET
SJRZ$=MKI$(JRZ)
260 LSET SWX$=MKS$(WX): LSET SWY$=MKS$(WY): LSET SWZ$=MKS$(WZ)
270 OPEN "MEMBRS" AS #2 LEN=28
280 FIELD #2,2 AS SJ1$,2 AS SJ2$,4 AS SAX$,4 AS SZI$,4 AS SE$,4
AS SCX$,
4 AS SCY$,4 AS STL$
290 CX=0!: LSET SCX$=MKS$(CX)
300 CY=0!: LSET SCY$=MKS$(CY)
310 TL=0!: LSET STL$=MKS$(TL)
320 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #3
330 '
340 REM -- LECTURA DE DATOS DESDE EL DISCO DE DATOS DE ENTRADA
350 '
360 T$=TIME$: PRINT: PRINT "LECTURA DEL ARCHIVO DE DATOS DEL
DISCO DE ENTRADA -- TIME=";T$
370 INPUT #3,TITLE$
380 INPUT #3,NJ,NM,NMAT,NSUP,NLJ
390 INPUT #3,DUMMY$
400 FOR I=1 TO NJ: INPUT #3,N,X,Y
410 LSET SX$=MKS$(X): LSET SY$=MKS$(Y)
420 PUT #1,N: NEXT I
430 INPUT #3,DUMMY$
440 DIM E(NMAT)
450 FOR I=1 TO NMAT: INPUT #3,N,E(N): NEXT I
```

```

460 INPUT #3,DUMMY$
470 FOR I=1 TO NM
480 IF NMAT=1 THEN INPUT #3,N,J1,J2,AX,ZI: LSET SE$=MK$$(E(1))
490 IF NMAT>1 THEN INPUT #3,N,J1,J2,AX,ZI,M: LSET
SE$=MK$$(E(M))
500 LSET SJ1$=MKI$(J1): LSET SJ2$=MKI$(J2)
510 LSET SAX$=MK$$(AX): LSET SZI$=MK$$(ZI)
520 PUT #2,N: NEXT I
530 ERASE E
540 INPUT #3,DUMMY$
550 FOR I=1 TO NSUP: INPUT #3,N,JRX,JRY,JRZ: GET #1,N
560 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY): LSET
SJRZ$=MKI$(JRZ)
570 PUT #1,N: NEXT I
580 INPUT #3,DUMMY$
590 FOR I=1 TO NLJ: INPUT #3,N,WX,WY,WZ: GET #1,N:
600 LSET SWX$=MK$$(WX): LSET SWY$=MK$$(WY): LSET SWZ$=MK$$(WZ)
610 PUT #1,N: NEXT I: CLOSE #3
620 PRINT "NUMERO DE JUNTAS=";NJ
630 PRINT "NUMERO DE MIEMBROS=";NM
640 '
650 REM -- COMPUTO DE [K] Y LA DIRECCION DE LOS COSENOS
660 '
670 T$=TIME$
680 PRINT: PRINT "COMPUTO DE LA MATRIZ [K] -- TIME=";T$
690 NEQ=3*NJ: MAXB=0
700 FOR I=1 TO NM: GET #2,I
710 J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
720 MBAND=3*(ABS(J2-J1)+1): IF MBAND>MAXB THEN MAXB=MBAND
730 GET #1,J1: X1=CVS(SX$): Y1=CVS(SY$)
740 GET #1,J2: X2=CVS(SX$): Y2=CVS(SY$)
750 XL=X2-X1: YL=Y2-Y1: TL=SQR(XL*XL+YL*YL)
760 CX=XL/TL: CY=YL/TL
770 LSET SCX$=MK$$(CX): LSET SCY$=MK$$(CY): LSET STL$=MK$$(TL)
780 PUT #2,I: NEXT I
790 DIM XK(NEQ,MAXB),XKMG(6,6)
800 PRINT "NUMERO DE ECUACIONES =";NEQ
810 PRINT "HALF BAND WIDTH =";MAXB
820 FREEM=FRE(0): PRINT "MEMORIA LIBRE =";FREEM
830 '
840 REM -- MATRIZ DE RIGIDEZ DE ESTRUCTURA SIN RESTRICCION
850 '
860 T$=TIME$: PRINT: PRINT "ASSEMBLE [K] MATRIX -- TIME=";T$
870 FOR I=1 TO NEQ: FOR J=1 TO MAXB: XK(I,J)=0!: NEXT J: NEXT I
880 PRINT "MEMBER";
890 FOR M=1 TO NM: GET #2,M: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
900 AX=CVS(SAX$): ZI=CVS(SZI$): E=CVS(SE$)
910 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): TL=CVS(STL$)
920 PRINT M;
930 REM - COMPUTO DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE EL MIEMBRO
GLOBAL940 CXCX=CX*CX: CYCY=CY*CY: CXCY=CX*CY

```

```

950 AEOL=AX*E/TL: EIOL=E*ZI/TL
960 E2=2!*EIOL: E4=2!*E2: E6=6!*EIOL/TL: E12=2!*E6/TL
970 XKMG(1,1)=CXCX*AEOL+CYCY*E12
980 XKMG(1,2)=CXCY*AEOL-CXCX*E12
990 XKMG(1,3)=-CY*E6
1000 XKMG(1,4)=-CXCX*AEOL-CYCY*E12
1010 XKMG(1,5)=-CXCX*AEOL+CXCX*E12
1020 XKMG(1,6)=-CY*E6
1030 XKMG(2,2)=CYCY*AEOL+CXCX*E12
1040 XKMG(2,3)=CX*E6
1050 XKMG(2,4)=-CXCX*AEOL+CXCX*E12
1060 XKMG(2,5)=-CYCY*AEOL-CXCX*E12
1070 XKMG(2,6)=CX*E6
1080 XKMG(3,3)=E4
1090 XKMG(3,4)=CY*E6
1100 XKMG(3,5)=-CX*E6
1110 XKMG(3,6)=E2
1120 XKMG(4,4)=CXCX*AEOL+CYCY*E12
1130 XKMG(4,5)=CXCX*AEOL-CXCX*E12
1140 XKMG(4,6)=CY*E6
1150 XKMG(5,5)=CYCY*AEOL+CXCX*E12
1160 XKMG(5,6)=-CX*E6
1170 XKMG(6,6)=E4
1180 FOR I=1 TO 6: FOR J=I TO 6: XKMG(J,I)=XKMG(I,J): NEXT J:
NEXT I
1190 REM - ADICION DE MIEMBROS DE RIGIDEZ EN LA FORMA [K]
1200 FOR II=1 TO 3: FOR JJ=1 TO 3
1210 KROW=3*J1-(3-II): KCOL=3*J1-(3-JJ)-KROW+1
1220 IF KCOL<=0 GOTO 1240
1230 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1240 NEXT JJ: NEXT II
1250 FOR II=1 TO 3: FOR JJ=4 TO 6
1260 KROW=3*J1-(3-II): KCOL=3*J2-(6-JJ)-KROW+1
1270 IF KCOL<=0 GOTO 1290
1280 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1290 NEXT JJ: NEXT II
1300 FOR II=4 TO 6: FOR JJ=1 TO 3
1310 KROW=3*J2-(6-II): KCOL=3*J1-(3-JJ)-KROW+1
1320 IF KCOL<=0 GOTO 1340
1330 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1340 NEXT JJ: NEXT II
1350 FOR II=4 TO 6: FOR JJ=4 TO 6
1360 KROW=3*J2-(6-II): KCOL=3*J2-(6-JJ)-KROW+1
1370 IF KCOL<=0 GOTO 1390
1380 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II,JJ)
1390 NEXT JJ: NEXT II
1400 NEXT M
1410 ERASE XKMG
1420 '
1430 REM -- INTRODUCCION DE LAS RESTRICCIONES DE SOPORTE A LOS
VECTORES DE CARGA 1440 '

```

```

1450 T$=TIME$: PRINT: PRINT: PRINT "FORMA DE LOS VECTORES DE
CARGA -- TIME=";T$
1460 DIM W(NEQ),JR(3)
1470 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I
1480 JR(1)=CVI(SJRX$): JR(2)=CVI(SJRY$): JR(3)=CVI(SJRZ$)
1490 W(3*I-2)=CVS(SWX$): W(3*I-1)=CVS(SWY$): W(3*I)=CVS(SWZ$)
1500 FOR J=1 TO 3
1510 IF JR(J)=0 GOTO 1570
1520 KROW=3*I-(3-J): NR=KROW
1530 FOR KCOL=2 TO MAXB: XK(KROW,KCOL)=0!: NR=NR-1
1540 IF NR<=0 GOTO 1550 ELSE XK(NR,KCOL)=0!
1550 NEXT KCOL
1560 XK(KROW,1)=1!: W(KROW)=0!
1570 NEXT J
1580 NEXT I
1590 ERASE JR
1600 '
1610 REM -- SOLUCION DE ECUACION PARA DESPLAZAMIENTOS EN JUNTA
1620 '
1630 T$=TIME$
1640 PRINT: PRINT "SOLUCION DE ECUACIONES PARA DESPLAZAMIENTOS
EN JUNTA -- TIME=";T$
1650 REM-- FORWARD ELIMINATION
1660 PRINT "FORWARD ELIMINATION"
1670 PRINT "EQUATION";
1680 FOR N=1 TO NEQ: I=N
1690 PRINT N;
1700 IF ABS(XK(N,1))>9.999999E-04 GOTO 1740
1710 PRINT: PRINT: PRINT "LA ESTRUCTURA ES GEOMETRICAMENTE
INESTABLE "
1720 PRINT "NO HAY SOLUCION POSIBLE"
1730 CLOSE #1: CLOSE #2: KILL "JOINTS": KILL "MIEMBROS": END
1740 FOR L=2 TO MAXB: I=I+1: IF XK(N,L)=0! GOTO 1800
1750 C=XK(N,L)/XK(N,1): J=0
1760 FOR K=L TO MAXB: J=J+1: IF XK(N,K)=0! GOTO 1780
1770 XK(I,J)=XK(I,J)-C*XK(N,K)
1780 NEXT K
1790 XK(N,L)=C: W(I)=W(I)-C*W(N)
1800 NEXT L
1810 W(N)=W(N)/XK(N,1)
1820 NEXT N
1830 REM -- BACK SUBSTITUTION
1840 PRINT: PRINT "BACK SUBSTITUTION"
1850 PRINT "DISPLACEMENT" NEQ;
1860 N=NEQ
1870 N=N-1: IF N<=0 GOTO 1940 ELSE L=N
1880 PRINT N;
1890 FOR K=2 TO MAXB
1900 L=L+1: IF XK(N,K)=0 GOTO 1920
1910 W(N)=W(N)-XK(N,K)*W(L)
1920 NEXT K

```

```

1930 GOTO 1870
1940 ERASE XK
1950 '
1960 REM -- COMPUTO DE LAS CARGAS EN LOS EXTREMOS 1970 '
1980 T$=TIME$: PRINT
1990 PRINT: PRINT "COMPUTO DE LAS CARGAS EN LOS MIEMBROS
EXTREMOS -- TIME=";T$
2000 DIM P1(NM),P2(NM),P3(NM),P6(NM)
2010 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
2020 AX=CVS(SAX$): ZI=CVS(SZI$): E=CVS(SE$)
2030 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): TL=CVS(STL$)
2040 AEOL=AX*E/TL: EIOL=E*ZI/TL
2050 E2=2!*EIOL: E6=6!*EIOL/TL: E12=2!*E6/TL
2060 P1(I)=AEOL*(CX*(W(3*J1-2)-W(3*J2-2))+CY*(W(3*J1-1)-W(3*J2-
1)))
2070 P2(I)=E12*(CY*(-W(3*J1-2)+W(3*J2-2))+CX*(W(3*J1-1)-W(3*J2-
1))+E6*(W(3*J1)+W(3*J2)))
2080 XM=E6*(CY*(-W(3*J1-2)+W(3*J2-2))+CX*(W(3*J1-1)-W(3*J2-1)))
2090 P3(I)=XM+E2*(2!*W(3*J1)+W(3*J2))
2100 P6(I)=XM+E2*(W(3*J1)+2!*W(3*J2))
2110 NEXT I
2120 '
2130 REM -- COMPUTO DE REACCIONES
2140 '
2150 T$=TIME$: PRINT: PRINT "COMPUTO DE REACCIONES -- TIME=";T$
2160 DIM JRX(NJ),JRY(NJ),JRZ(NJ),RX(NJ),RY(NJ),RZ(NJ)
2170 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I: WX=CVS(SWX$): WY=CVS(SWY$):
WZ=CVS(SWZ$)
2180 JRX(I)=CVI(SJRX$): JRY(I)=CVI(SJRY$): JRZ(I)=CVI(SJRZ$)
2190 IF JRX(I)<>0 THEN RX(I)=-WX
2200 IF JRY(I)<>0 THEN RY(I)=-WY
2210 IF JRZ(I)<>0 THEN RZ(I)=-WZ
2220 NEXT I
2230 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
2240 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$)
2250 IF JRX(J1)<>0 THEN RX(J1)=RX(J1)+CX*P1(I)-CY*P2(I)
2260 IF JRY(J1)<>0 THEN RY(J1)=RY(J1)+CY*P1(I)+CX*P2(I)
2270 IF JRZ(J1)<>0 THEN RZ(J1)=RZ(J1)+P3(I)
2280 IF JRX(J2)<>0 THEN RX(J2)=RX(J2)-CX*P1(I)+CY*P2(I)
2290 IF JRY(J2)<>0 THEN RY(J2)=RY(J2)-CY*P1(I)-CX*P2(I)
2300 IF JRZ(J2)<>0 THEN RZ(J2)=RZ(J2)+P6(I)
2310 NEXT I
2320 T$=TIME$: PRINT: PRINT "SOLUCION COMPLETA -- TIME=";T$
2330 PRINT: PRINT "TURN ON PRINTER AND POSITION AT PAPER FOLD"
2340 INPUT "PRESIONAR BOTON PARA IMPRIMIR RESULTADOS",DUMMYS
2350 '
2360 REM --IMPRESION DE DESPLAZAMIENTOS EN JUNTAS, CARGAS EN
LOS EXTREMOS DE MIEMBROS Y REACCIONES
2370 '
2380 FOR I=1 TO 4: LPRINT: NEXT I: LPRINT TITLE$: LPRINT

```

```

2390 LPRINT "DESPLAZAMIENTOS EN JUNTAS (JOINT,DX,DY,DMZ)":
LPRINT
2400 FOR I=1 TO NJ
2410 LPRINT USING "###";I;:
LPRINT USING "  ##.#####";W(3*I-2),W(3*I-1),W(3*I): NEXT I
2420 LPRINT: LPRINT "CARGAS EN EXTREMOS DE MIEMBROS
(MIEMBRO,EXTREMO,FX,FY,MZ)": LPRINT
2430 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
2440 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING "  ###";J1;:
LPRINT USING "  #####.###";P1(I),P2(I),P3(I)
2450 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING "  ###";J2;:
LPRINT USING "  #####.###";-P1(I),-P2(I),P6(I): NEXT I
2460 LPRINT: LPRINT "REACTIONS (JOINT,RX,RY,RMZ)": LPRINT
2470 FOR I=1 TO NJ
2480 IF JRX(I)<>0 OR JRY(I)<>0 OR JRZ(I)<>0 GOTO 2490 ELSE 2500
2490 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING "
#####.###";RX(I),RY(I),RZ(I)
2500 NEXT I
2510 PRINT: PRINT: PRINT "SALIDA DEL PROGRAMA"
2520 CLOSE #1: KILL "JUNTAS"
2530 CLOSE #2: KILL "MIEMBOS"
2540 FIN

```

-

CAPITULO. 8

ANÁLISIS DE LA RIGIDEZ DE MARCOS EN EL ESPACIO.

El programa final que se presenta en este trabajo será el llamado FRAME3D. Este programa ejecuta el análisis de marcos de geometría arbitraria en el espacio, sujetos a cargas concentradas en las juntas, actuando en cualquier dirección, y de momentos actuando sobre los ejes. Los miembros están unidos rígidamente a las juntas, para que las fuerzas axiales, las fuerzas de corte, de flexión y los momentos torsionantes puedan ser transmitidos a los extremos de los miembros, por las juntas.

Para un marco en el espacio, en general, hay seis grados de libertad en cada junta. En el sistema coordenado global de juntas, esos grados de libertad pueden ser representados por tres componentes de translación, a lo largo de los tres ejes globales y tres componentes de rotación, a lo largo de esos ejes.

El número total de grados de libertad en la estructura será igual a seis veces el número de juntas. El análisis de marcos en el espacio puede ser ejecutado por el mismo procedimiento general, el cual fue presentado en los capítulos 5,6 y 7. Las diferencias entre este programa y los anteriores se deben a la entrada de datos requerida para describir las propiedades de la estructura, las expresiones usadas para

computar la rigidez de los miembros individuales y el número de ecuaciones simultáneas que deben resolverse.

8.1 GENERACIÓN DE UNA MATRIZ DE RIGIDEZ EN JUNTAS GLOBALES

El primer paso en la generación de la matriz de rigidez, en juntas globales, para un marco en el espacio es el cómputo de la rigidez de cada miembro en el marco. Si se considera la acción tri-dimensional de la estructura, las expresiones usadas para representar la rigidez del miembro serán más complicadas que las usadas en el programa de análisis de marcos, en un plano presentadas en el capítulo pasado.

Estas expresiones deben incluir el efecto de translación en alguna dirección y en la rotación de algún eje.

8.1.1 La Matriz de Rigidez en los Miembros Locales

Para un miembro típico de un marco en el espacio, el sistema coordenado local será de la misma forma que en los capítulos anteriores, para sistemas tri-dimensionales.

Antes de presentar las expresiones por los elementos en la matriz de rigidez del miembro local $[K_m]_n$ para cualquier miembro de un marco en el espacio, debemos primero definir los elementos en la matriz de la carga en el extremo del miembro local $\{S\}_n$ como componentes en el sistema coordenado del miembro local. Puesto que las juntas pueden transmitir

ambas fuerzas y los momentos, en tres dimensiones en los extremos del miembro, la matriz $\{S\}_n$ tendrá 12 elementos, que consisten en tres componentes de fuerza y tres momentos en cada extremo del miembro. Se muestra el sistema de numeración usado para elementos individuales en el programa presentado en este capítulo, en la figura 8-1.

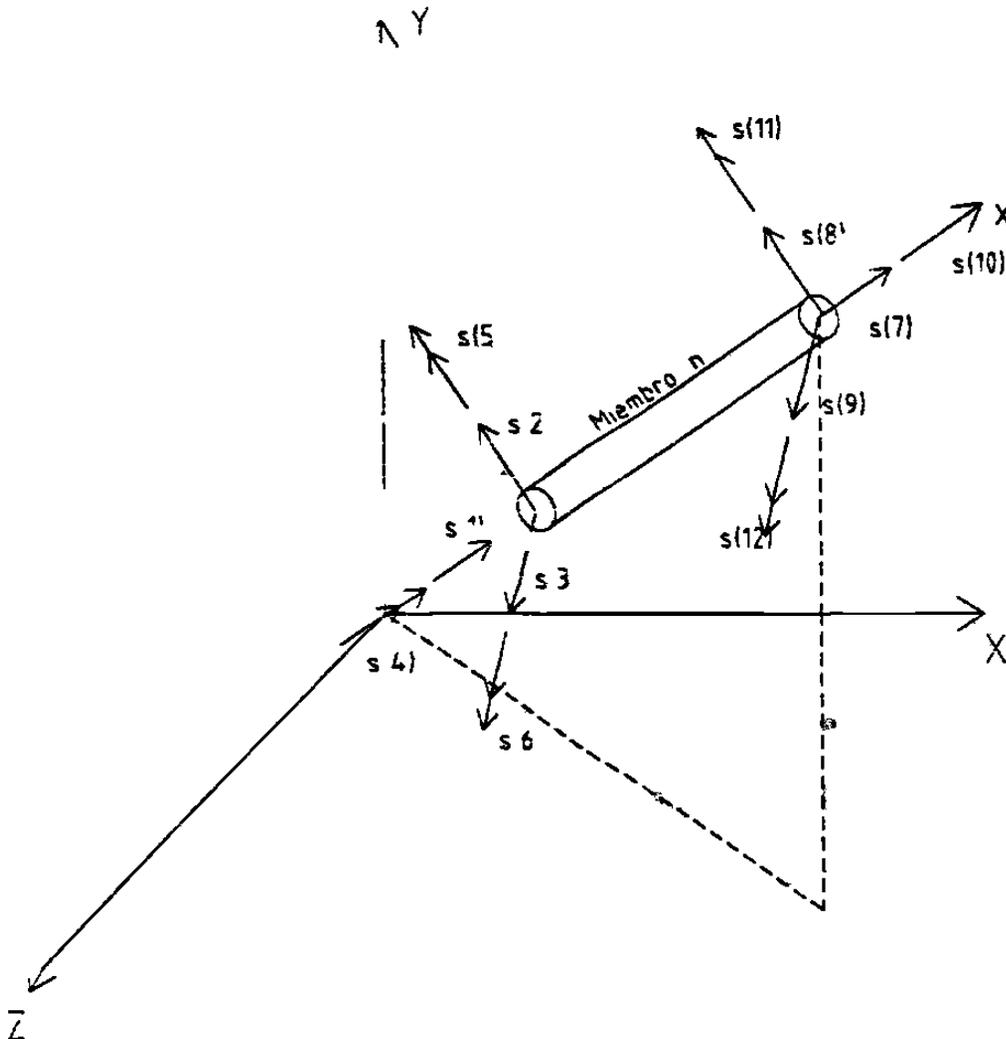


Figura 8-1. Cargas en los extremos del miembro local, en marco en el espacio.

Las acciones del elemento individual en $\{S\}_n$ son: $s(1)$ y $s(7)$ que son las fuerzas axiales, $s(2)$ y $s(8)$ que son las fuerzas cortantes en la dirección Y, $s(3)$ y $s(9)$ que son las fuerzas cortantes en la dirección Z, $s(4)$ y $s(10)$ que son los momentos torsionantes alrededor del eje del miembro longitudinal, $s(5)$ y $s(11)$ que son los momentos flexionantes en el eje Y y $s(6)$ y $s(12)$ son los momentos flexionantes en el eje Z. Los elementos individuales en la matriz $\{U\}_n$ representan las correspondientes componentes en el sistema coordenado de miembro local de los desplazamientos de los extremos del miembro. Usando la definición para $\{S\}_n$, la matriz $[K_m]_n$ tendrá 12 hileras y 12 columnas de la forma:

$$[K_m]_n = \begin{bmatrix} km(1,1) & km(1,2) & \dots & km(1,12) \\ km(2,1) & km(2,2) & \dots & km(2,12) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ km(12,1) & km(12,2) & \dots & km(12,12) \end{bmatrix} \quad \text{ec. (8-1)}$$

8.1.2 Matriz de Rigidez en el Miembro Global

Debe definirse un orden para generar la matriz de rigidez del miembro global $[K]_n$, la matriz de las cargas en los extremos del miembro global $\{W\}_n$ y la matriz de transformación coordenada $[A]_n$. Para el programa aquí presentado, los elementos individuales en $\{W\}_n$ serán definidos como se muestra en la figura 8-2.

dent

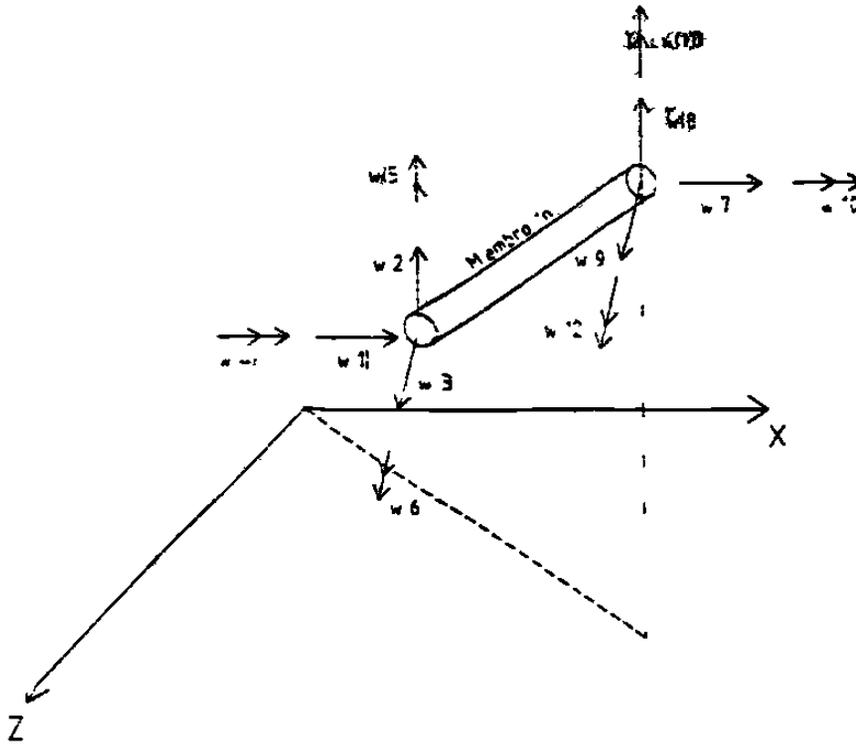


Figura 8-2. Cargas en los extremos del miembro global, en un marco en el espacio.

Los elementos $w(1)$, $w(2)$, $w(3)$, $w(7)$, $w(8)$ y $w(9)$ representan las fuerzas en el sistema coordenado global, de los extremos del miembro, y los elementos $w(4)$, $w(5)$, $w(6)$, $w(10)$, $w(11)$ y $w(12)$ representan los momentos. Los elementos en $\{D\}_n$ representan el correspondiente desplazamiento global en el extremo.

Usando esta definición para $\{W\}_n$, y la definición para $\{S\}_n$ mostrada en la figura 8-1, la matriz del sistema de transformación coordenada tendrá 12 hileras y 12 columnas. Como un resultado del sistema numérico usado, esta matriz puede ser convenientemente expresada en términos de matrices de tres por tres $[A']$ en la forma:

$$[A]_n = \begin{bmatrix} [A'] & & & \\ & [A'] & & \\ & & [A'] & \\ & & & [A'] \end{bmatrix} \quad \text{ec. (8-3)}$$

en donde:

$$[A'] = \begin{bmatrix} A1 & A2 & A3 \\ A4 & A5 & A6 \\ A7 & A8 & A9 \end{bmatrix} \quad \text{ec. (8-4)}$$

Ahora que $[K_m]$ y $[A]_n$ han sido definidas es posible generar la matriz de rigidez en el miembro global $[K]_n$, por la transformación coordenada definida previamente en la ecuación (5-7).

En la primera versión del programa para análisis de marcos en el espacio, los valores numéricos para los elementos individuales en $[K]_n$ y $[A]_n$ fueron computados y los materiales de operación definidos en la ecuación (5-7) donde fueron ejecutados numéricamente para generar $[K]_n$ para cada miembro. Cuando esta versión del programa fue ejecutada, se encontró que el proceso de junta para la generación de matriz de rigidez de junta global $[K]$ tomó una excesiva cantidad de tiempo. Se requirieron 45 segundos por cada miembro, sólo para generar $[K]_n$, puesto que las operaciones en matrices de 12 por 12 requieren un gran número de cálculos para su solución. Una forma para reducir el tiempo de cómputo fue eliminar las operaciones repetitivas de la matriz. Esto sólo podía ser posible si las expresiones algebraicas estuvieran disponibles para los elementos individuales en $[K]_n$. Estas expresiones podrían usarse directamente para computar los valores numéricos, los cuales serían necesarios para el procedimiento de la junta.

El tiempo de cómputo para el proceso de junta fue reducido a menos de 10 segundos por miembro, en una computadora IBM.

El proceso de junta es el mismo usado en los programas previos a éste, excepto por la diferencia en el tamaño de las matrices.

Después de que el proceso de junta [K] ha sido realizado, los desplazamientos de junta pueden ser computados por las ecuaciones de rigidez representadas por la ecuación (4-3).

8.1.3 Las Cargas en los Extremos del Miembro

Las cargas en los extremos del miembro local pueden ser computadas por la ecuación (5-11), después de que se conocen los desplazamientos de junta. Es sólo necesario computar ocho de esas cantidades, puesto que las fuerzas axiales $s(1)$ y $s(7)$, las fuerzas de corte $s(2)$ y $s(8)$, y los momentos torsionantes $s(4)$ y $s(10)$ son iguales y opuestos.

8.2 EL FORMATEO DE ARCHIVO EN EL DISCO DE ENTRADA.

El formateo de archivo del disco de entrada para el programa de análisis de marcos en el espacio es muy similar al descrito previamente para los otros programas de análisis. Las diferencias son debidas a la adición de las cantidades requeridas por la acción tri-dimensional de la estructura.

El archivo de entrada contiene el título del problema, la línea de datos del tamaño de la estructura y cinco grupos separados de datos correspondientes a las propiedades del modelo matemático y la aplicación de juntas cargadas. Las reglas para la introducción de valores numéricos son las mismas que en el capítulo 3.

8.3 EL ORIGEN BÁSICO DEL PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE LOS MARCOS EN EL ESPACIO.

Se presenta un registro del origen básico para el programa de análisis de los marcos en el espacio, FRAME3D, al final de este capítulo, en la sección titulada: "FRAME3D registro de origen". La secuencia de operaciones para este programa es la misma que en los previos tres análisis de rigidez presentados anteriormente. El usuario no deberá tener dificultad en seguir los pasos para el análisis, debido a su experiencia con los programas previos.

8.4 EJEMPLO DE UN PROBLEMA DE ENTRADA

La figura 8-3 muestra el registro de un ejemplo del archivo de información de disco, para el programa FRAME3D. La geometría de la pendiente del marco en el espacio se muestra en la figura 8-4.

8.5 EJEMPLO DE MARCO PARA FRAME3D

8,8,1,4,2

JUNTAS COORDENADAS

1,-50.,0.,-50.

2,150.,0.,-50

3,150.,0.,150.

4,-50.,0.,150.

5,0.,,100.,0.

6,100.,100.,0.

7,100.,100.,100.

8,0.,100.,100.

DATOS DE MATERIAL

1,1,5,10.,100.,100.,100.

2,2,6,10.,100.,100.,100.

3,3,7,10.,100.,100.,100.

4,4,8,10.,100.,100.,100.

5,5,6,10.,100.,100.,100.

6,6,7,10.,100.,100.,100.

7,7,8,10.,100.,100.,100.

8,5,8,10.,100.,100.,100.

RESTRICCIONES DE SOPORTE

1,1,1,1,0,0,0

2,1,1,1,0,0,0

3,1,1,1,1,1,1

4,1,1,1,1,1,1

CARGAS EN JUNTAS

5,100.,0.,0.,0.,0.,0.

6,0.,100.,100.,0.,0.,0.

Figura 8-3

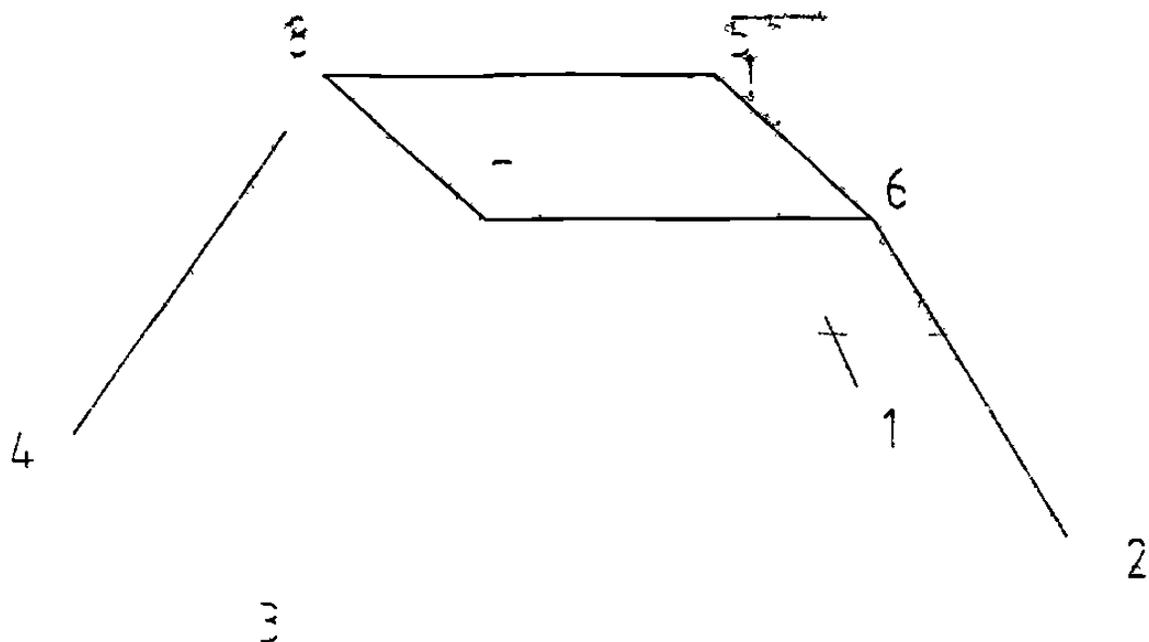


Figura 8-4. Ejemplo de marco para el programa FRAME3D

La figura 8-5 muestra la salida para este problema justo cuando sale de la impresora.

EJEMPLO DE MARCO PARA PROGRAMA FRAME3D

DESPLAZAMIENTOS EN JUNTA (JUNTA, DX, DY, DZ, DMX, DMY, DMZ)

1	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00855	0.00949	-0.05598
2	0.00000	0.00000	0.00000	0.02070	0.01848	-0.05598
3	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
4	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	3.48397	-1.351188	-0.70272	-0.00622	-0.02266	0.00598
6	3.47620	0.93834	1.67743	0.00068	-0.02125	0.00736
7	0.35325	0.97148	1.66011	0.01257	-0.02497	0.00993
8	0.35448	-0.50798	-0.69639	-0.01339	-0.02715	0.01176

CARGAS EN EXTREMOS DEL MIEMBRO (MIEMBRO, EXTREMO, FX, FY, FZ, MX, MY, MZ)

1	1	-744.918	16.299	21.531	-0.000	0.000	0.000
1	5	744.918	-16.299	-21.531	0.000	-636.950	1996.157
2	2	-75.314	-10.780	26.612	-0.000	0.000	0.000
2	6	75.314	10.780	-26.612	0.000	-259.321	-320.290
3	3	68.045	-30.476	19.159	289.780	-139.478	-910.526
3	7	-68.045	30.476	-19.159	-289.780	-207.010	-822.026
4	4	-33.7477	15.709	5.922	317.763	-335.240	989.308
4	8	33.7477	-15.709	-5.922	-317.763	-390.032	934.611
5	5	22.540	-56.491	-6.419	-82.636	280.218	-864.616
5	6	-22.540	56.491	6.419	82.636	361.704	-784.517
6	6	50.2239	-24.209	-28.245	-30.839	1520.065	-865.547
6	7	-50.2239	24.209	28.245	30.839	1304.468	-555.399
7	7	3.582	13.754	8.682	-311.533	-370.995	740.640
7	8	-3.582	-13.754	-8.682	311.533	-497.236	634.733
8	5	-18.351	4.731	-22.241	-69.323	1242.226	28.311
8	8	18.351	-4.371	22.241	69.323	981.874	444.796

REACCIONES (JUNTA, RX, RY, RZ, RMX, RMY, RMZ)

1	-55.219	-51.760	-24.771	0.000	0.000	0.000
2	5.705	-67.718	-43.341	0.000	0.000	0.000
3	-31.827	37.963	-58.922	-2127.12	-421.274	574.765
4	-18.659	-18.485	27.034	1022.824	65.901	376.269

Figura 8-5

8.6 ANÁLISIS DE MARCOS EN UN PLANO

Aunque el programa FRAME3D fue desarrollado para analizar marcos en el espacio, éste también puede ser usado para el análisis de marcos en un plano.

8.7 TRAZO DE ENTRADA DE DATOS

Se registra un programa, llamado F3DPLOT, al final de este capítulo, en la sección titulada: "F3DPLOT registro de origen". El procedimiento es muy parecido al visto en el capítulo 6, en el programa T3DPLOT, de trazo de armaduras en el espacio, excepto por pequeñas diferencias, en la forma de la entrada.

```

380 INPUT #3,DUMMYS
390 FOR I=1 TO NM
400 IF NMAT=1 THEN INPUT #3,N,JS(N),JE(N),AX,XI,YI,ZI
410 IF NMAT>1 THEN INPUT #3,N,JS(N),JE(N),AX,XI,YI,ZI,M
420 NEXT I
430 CLOSE #3
440 '
450 REM - SET SCREEN PLOT LIMITS.
460 '
470 XLFT=30!: XRHT=610!: YHIGH=170!: YLOW=30!
480 '
490 REM - BUSCAR COORDENADAS MAXIMAS Y MINIMAS500 '
510 XMAX=X(1): XMIN=X(1): YMAX=Y(1): YMIN=Y(1)
520 FOR I=2 TO NJ
530 IF X(I)<XMIN THEN XMIN=X(I)
540 IF X(I)>XMAX THEN XMAX=X(I)
550 IF Y(I)<YMIN THEN YMIN=Y(I)
560 IF Y(I)>YMAX THEN YMAX=Y(I)
570 NEXT I
580 '
590 REM - COLOCAR LA ESCALA DE TRAZO 600 '
610 XL=ABS(XMAX-XMIN): YL=ABS(YMAX-YMIN)
620 SCALEX=(XRHT-XLFT)/XL: SCALEY=SCALEX/ASPECT
630 IF(YL*SCALEY)<(YHIGH-YLOW) GOTO 680
640 SCALEY=(YHIGH-YLOW)/YL: SCALEX=SCALEY*ASPECT
650 '
660 REM - COLOCAR LA FUENTE DEL TRAZO
670 '
680 X0=XLFT+(XRHT-XLFT)/2!-SCALEX*(XMAX+XMIN)/2!
690 Y0=YLOW+(YHIGH-YLOW)/2!-SCALEY*(YMAX+YMIN)/2!
700 '
710 REM -- LIMPIAR EL MONITOR E IMPRIMIR TITULO 720 '
730 CLS: PRINT TITLE$
740 '
750 REM -- TRAZAR NUMERACION DE JUNTAS 760 '
770 IF JNUM$="N" OR JNUM$="n" GOTO 830
780 FOR I=1 TO NJ: IX=SCALEX*X(I)+X0: IY=SCALEY*Y(I)+Y0
790 IROW=(200-IY)/8: ICOL=IX/8: LOCATE IROW,ICOL: PRINT I:
NEXT I
800 '
810 REM - TRAZAR ESTRUCTURA 820 '
830 FOR I=1 TO NM: J1=JS(I): J2=JE(I)
840 X1=SCALEX*X(J1): Y1=SCALEY*Y(J1): IX1=X0+X1: IY1=200!-
(Y0+Y1)
850 X2=SCALEX*X(J2): Y2=SCALEY*Y(J2): IX2=X0+X2: IY2=200!-
(Y0+Y2)
860 LINE (IX1,IY1)-(IX2,IY2): NEXT I
870 '
880 REM --DESEA TRAZAR ALGO MAS?
890 '
900 LOCATE 24,1

```

```

910 INPUT "DESEA OTRO TRAZO? Y OR N";YN$
920 IF YN$="Y" OR YN$="y" GOTO 970
930 IF YN$="N" OR YN$="n" GOTO 1010 ELSE 910
940 '
950 REM -- SIGUIENTE GENERACION DE TRAZO 960 *
970 CLS: ERASE X,Y,JS,JE: GOTO 120
980 '
990 REM -- SALIDA DEL PROGRAMA
1000 '
1010 CLS: MONITOR 0: FIN

```

```

FRAME 3D REGISTRO DE ORIGEN10 REM -- PROGRAMA FRAME3D -
ANALISIS DE MARCOS EN EL ESPACIO
20 REM -- (C) DERECHOS RESERVADOS 1998 POR REYES MTZ. MATA
30 REM -- TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS 40 DEFINT I-N: OPTION
BASE 1: KEY OFF
50 CLS: LOCATE 5,33: PRINT "PROGRAMA FRAME3D"
60 LOCATE 7,28: PRINT "ANALISIS DE MARCOS EN EL ESPACIO"
70 LOCATE 8,26: PRINT "IBM PERSONAL COMPUTER VERSION"
80 LOCATE 11,31: PRINT "(C) DERECHOS RESERVADOS 1998"
90 LOCATE 13,32: PRINT "REYES MTZ. MATA"
100 LOCATE 15,30: PRINT "TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS"
110 J=0: FOR I=1 TO 2000: J=J+1: NEXT I
120 CLS: PRINT "ANALISIS DE MARCOS EN EL ESPACIO"
130 '
140 REM -- LECTURA DEL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS DEL DISCO
DE NETRADA 150 '
160 PRINT: INPUT "CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO DEL DISCO DE
DATOS DE ENTRADA ";FILE$
170 L=LEN(FILE$): IF L=0 GOTO 160 ELSE 210
180 '
190 REM -- OPEN DISK FILES
200 '
210 PRINT: PRINT "ESPERE UN MOMENTO A QUE TODOS LOS ARCHIVOS
DEL DISCO ESTEN ABIERTOS "
220 OPEN "JOINTS" AS #1 LEN=48
230 FIELD #1,4 AS SX$,4 AS SY$,4 AS SZ$,2 AS SJRX$,2 AS
SJRY$,2 AS SJRZ$, 2 AS SJMX$,2 AS SJMY$,2 AS
SJMZ$,4 AS SWX$,4 AS SWY$,4 AS SWZ$, 4 AS
SWMX$,4 AS SWMY$,4 AS SWMZ$
240 JRX=0: JRY=0: JRZ=0: JMX=0: JMY=0: JMZ=0
250 WX=0!: WY=0!: WZ=0!: WMX=0!: WMY=0!: WMZ=0!
260 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY): LSET
SJRZ$=MKI$(JRZ)
270 LSET SJMX$=MKI$(JMX): LSET SJMY$=MKI$(JMY): LSET
SJMZ$=MKI$(JMZ)
280 LSET SWX$=MKS$(WX): LSET SWY$=MKS$(WY): LSET
SWZ$=MKS$(WZ)
290 LSET SWMX$=MKS$(WMX): LSET SWMY$=MKS$(WMY): LSET
SWMZ$=MKS$(WMZ)

```

```

300 OPEN "MEMBRAS" AS #2 LEN=48
310 FIELD #2,2 AS SJ1$,2 AS SJ2$,4 AS SAX$,4 AS SXI$,4 AS
SYI$,
          4 AS SZI$,4 AS SE$,4 AS SG$,4 AS
SCX$,4 AS SCY$,4 AS SCZ$,
          4 AS SCXZ$,4
AS STL$
320 CX=0.: CY=0!: CZ=0!: CXZ=0!: TL=0!
330 LSET SCX$=MK$$(CX): LSET SCY$=MK$$(CY): LSET
SCZ$=MK$$(CZ)
340 LSET SCXZ$=MK$$(CXZ): LSET STL$=MK$$(TL)
350 OPEN FILE$ FOR INPUT AS #3
360 '
370 REM -- LECTURA DE DATOS DESDE EL ARCHIVO DE DATOS DEL
DISCO DE ENTRADA 380 '
390 T$=TIME$: PRINT: PRINT "LECTURA DEL ARCHIVO DE
INFORMACION DEL DISCO DE ENTRADA -- TIME=";T$
400 INPUT #3,TITLE$
410 INPUT #3,NJ,NM,NMAT,NSUP,NLJ
420 INPUT #3,DUMMY$
430 FOR I=1 TO NJ: INPUT #3,N,X,Y,Z
440 LSET SX$=MK$$(X): LSET SY$=MK$$(Y): LSET SZ$=MK$$(Z)
450 PUT #1,N: NEXT I
460 INPUT #3,DUMMY$
470 DIM E(NMAT),G(NMAT)
480 FOR I=1 TO NMAT: INPUT #3,N,E(N),G(N): NEXT I
490 INPUT #3,DUMMY$
500 FOR I=1 TO NM
510 IF NMAT=1 THEN INPUT #3,N,J1,J2,AX,XI,YI,ZI:
LSET SE$=MK$$(E(1)): LSET SG$=MK$$(G(1))
520 IF NMAT>1 THEN INPUT #3,N,J1,J2,AX,XI,YI,ZI,M:
LSET SE$=MK$$(E(M)): LSET SG$=MK$$(G(M))
530 LSET SJ1$=MKI$(J1): LSET SJ2$=MKI$(J2): LSET
SAX$=MK$$(AX)
540 LSET SXI$=MK$$(XI): LSET SYI$=MK$$(YI): LSET
SZI$=MK$$(ZI)
550 PUT #2,N: NEXT I
560 ERASE E,G
570 INPUT #3,DUMMY$
580 FOR I=1 TO NSUP: INPUT #3,N,JRX,JRY,JRZ,JMX,JMY,JMZ: GET
#1,N
590 LSET SJRX$=MKI$(JRX): LSET SJRY$=MKI$(JRY): LSET
SJRZ$=MKI$(JRZ)
600 LSET SJMX$=MKI$(JMX): LSET SJMY$=MKI$(JMY): LSET
SJMZ$=MKI$(JMZ)
610 PUT #1,N: NEXT I
620 INPUT #3,DUMMY$
630 FOR I=1 TO NLJ: INPUT #3,N,WX,WY,WZ,WMX,WMY,WMZ: GET
#1,N:
640 LSET SWX$=MK$$(WX): LSET SWY$=MK$$(WY): LSET
SWZ$=MK$$(WZ)
650 LSET SWMX$=MK$$(WMX): LSET SWMY$=MK$$(WMY): LSET
SWMZ$=MK$$(WMZ)

```

```

660 PUT #1,N: NEXT I: CLOSE #3
670 PRINT "NUMERO DE JUNTAS=";NJ
680 PRINT "NUMERO DE MIEMBROS=";NM
690 '
700 REM -- COMPUTO DE [K] Y LA DIRECCION DE LOS COSENOS
710 '
720 T$=TIME$
730 PRINT: PRINT "COMPUTO DE LA MATRIZ [K] -- TIME=";T$
740 NEQ=6*NJ: MAXB=0
750 FOR I=1 TO NM: GET #2,I
760 J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
770 MBAND=6*(ABS(J2-J1)+1): IF MBAND>MAXB THEN MAXB=MBAND
780 GET #1,J1: X1=CVS(SX$): Y1=CVS(SY$): Z1=CVS(SZ$)
790 GET #1,J2: X2=CVS(SX$): Y2=CVS(SY$): Z2=CVS(SZ$)
800 XL=X2-X1: YL=Y2-Y1: ZL=Z2-Z1: TL=SQR(XL*XL+YL*YL+ZL*ZL)
810 CX=XL/TL: CY=YL/TL: CZ=ZL/TL
820 XZL=SQR(XL*XL+ZL*ZL): CXZ=XZL/TL
830 LSET SCX$=MKS$(CX): LSET SCY$=MKS$(CY): LSET
SCZ$=MKS$(CZ)
840 LSET SCXZ$=MKS$(CXZ): LSET STL$=MKS$(TL)
850 PUT #2,I: NEXT I
860 DIM XK(NEQ,MAXB),XKMG(12,12)
870 PRINT "NUMERO DE ECUACIONES=";NEQ
880 PRINT "HALF BAND WIDTH =" ;MAXB
890 FREEM=FRE(0): PRINT "MEMORIA LIBRE =" ;FREEM
900 '
910 REM -- MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA SIN RESTRICCION
920 '
930 T$=TIME$: PRINT: PRINT "ASSEMBLE [K] MATRIX -- TIME=";T$
940 FOR I=1 TO NEQ: FOR J=1 TO MAXB: XK(I,J)=0!: NEXT J: NEXT
I
950 PRINT "MIEMBRO";
960 FOR M=1 TO NM: GET #2,M: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
970 AX=CVS(SAX$): XI=CVS(SXI$): YI=CVS(SYI$): ZI=CVS(SZI$)
980 E=CVS(SE$): G=CVS(SG$): TL=CVS(STL$)
990 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): CZ=CVS(SCZ$): CXZ=CVS(SCXZ$)
1000 PRINT M;
1010 AEOL=AX*E/TL: GXIOL=G*XI/TL: EZIOL=E*ZI/TL:
EYIOL=E*YI/TL
1020 EZ2=2!*EZIOL: EZ4=2!*EZ2: EZ6=6!*EZIOL/TL:
EZ12=2!*EZ6/TL
1030 EY2=2!*EYIOL: EY4=2!*EY2: EY6=6!*EYIOL/TL:
EY12=2!*EY6/TL
1040 IF CXZ<.0001 GOTO 1100
1050 REM - MIEMBRO VERTICAL 1060 A1=CX: A2=CY: A3=CZ: A4=-
CX*CY/CXZ: A5=CXZ: A6=-CY*CZ/CXZ
1070 A7=-CZ/CXZ: A9=CX/CXZ
1080 GOTO 1120
1090 REM -MIEMBRO VERTICAL 1100 A1=0!: A2=CY: A3=0!: A4=-CY:
A5=0!: A6=0!: A7=0!: A9=1!

```

```

1110 REM ← COMPUTO DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DEL MIEMBRO GLOBAL
1120 XKMG(1,1)=A1*A1*AEOL+A4*A4*EZ12+A7*A7*EY12
1130 XKMG(1,2)=A1*A2*AEOL+A4*A5*EZ12
1140 XKMG(1,3)=A1*A3*AEOL+A4*A6*EZ12+A7*A9*EY12
1150 XKMG(1,4)=A4*A7*(EZ6-EY6)
1160 XKMG(1,5)=-A5*A7*EY6
1170 XKMG(1,6)=A4*A9*EZ6-A6*A7*EY6
1180 XKMG(1,7)=-XKMG(1,1)
1190 XKMG(1,8)=-XKMG(1,2)
1200 XKMG(1,9)=-XKMG(1,3)
1210 XKMG(1,10)=-XKMG(1,4)
1220 XKMG(1,11)=XKMG(1,5)
1230 XKMG(1,12)=XKMG(1,6)
1240 XKMG(2,2)=A2*A2*AEOL+A5*A5*EZ12
1250 XKMG(2,3)=A2*A3*AEOL+A5*A6*EZ12
1260 XKMG(2,4)=A5*A7*EZ6
1270 XKMG(2,5)=0!
1280 XKMG(2,6)=A5*A9*EZ6
1290 XKMG(2,7)=-XKMG(1,2)
1300 XKMG(2,8)=-XKMG(2,2)
1310 XKMG(2,9)=-XKMG(2,3)
1320 XKMG(2,10)=-XKMG(2,4)
1330 XKMG(2,11)=0!
1340 XKMG(2,12)=XKMG(2,6)
1350 XKMG(3,3)=A3*A3*AEOL+A6*A6*EZ12+A9*A9*EY12
1360 XKMG(3,4)=A6*A7*EZ6-A4*A9*EY6
1370 XKMG(3,5)=-A5*A9*EY6
1380 XKMG(3,6)=A6*A9*(EZ6-EY6)
1390 XKMG(3,7)=-XKMG(1,3)
1400 XKMG(3,8)=-XKMG(2,3)
1410 XKMG(3,9)=-XKMG(3,3)
1420 XKMG(3,10)=XKMG(3,4)
1430 XKMG(3,11)=XKMG(3,5)
1440 XKMG(3,12)=XKMG(3,6)
1450 XKMG(4,4)=A1*A1*GX IOL+A4*A4*EY4+A7*A7*EZ4
1460 XKMG(4,5)=A1*A2*GX IOL+A4*A5*EY4
1470 XKMG(4,6)=A1*A3*GX IOL+A4*A6*EY4+A7*A9*EZ4
1480 XKMG(4,7)=-XKMG(1,4)
1490 XKMG(4,8)=-XKMG(2,4)
1500 XKMG(4,9)=-XKMG(3,4)
1510 XKMG(4,10)=-A1*A1*GX IOL+A4*A4*EY2+A7*A7*EZ2
1520 XKMG(4,11)=-A1*A2*GX IOL+A4*A5*EY2
1530 XKMG(4,12)=-A1*A3*GX IOL+A4*A6*EY2+A7*A9*EZ2
1540 XKMG(5,5)=A2*A2*GX IOL+A5*A5*EY4
1550 XKMG(5,6)=A2*A3*GX IOL+A5*A6*EY4
1560 XKMG(5,7)=-XKMG(1,5)
1570 XKMG(5,8)=0!
1580 XKMG(5,9)=-XKMG(3,5)
1590 XKMG(5,10)=XKMG(4,11)
1600 XKMG(5,11)=-A2*A2*GX IOL+A5*A5*EY2
1610 XKMG(5,12)=-A2*A3*GX IOL+A5*A6*EY2

```

```

1620 XKMG(6,6)=A3*A3*GX IOL+A6*A6*EY4+A9*A9*EZ4
1630 XKMG(6,7)=-XKMG(1,6)
1640 XKMG(6,8)=-XKMG(2,6)
1650 XKMG(6,9)=-XKMG(3,6)
1660 XKMG(6,10)=XKMG(4,12)
1670 XKMG(6,11)=XKMG(5,12)
1680 XKMG(6,12)=-A3*A3*GX IOL+A6*A6*EY2+A9*A9*EZ2
1690 XKMG(7,7)=XKMG(1,1)
1700 XKMG(7,8)=-XKMG(2,7)
1710 XKMG(7,9)=-XKMG(3,7)
1720 XKMG(7,10)=XKMG(4,7)
1730 XKMG(7,11)=XKMG(5,7)
1740 XKMG(7,12)=XKMG(6,7)
1750 XKMG(8,8)=XKMG(2,2)
1760 XKMG(8,9)=-XKMG(3,8)
1770 XKMG(8,10)=XKMG(4,8)
1780 XKMG(8,11)=0!
1790 XKMG(8,12)=XKMG(6,8)
1800 XKMG(9,9)=XKMG(3,3)
1810 XKMG(9,10)=XKMG(4,9)
1820 XKMG(9,11)=XKMG(5,9)
1830 XKMG(9,12)=XKMG(6,9)
1840 XKMG(10,10)=XKMG(4,4)
1850 XKMG(10,11)=XKMG(4,5)
1860 XKMG(10,12)=XKMG(4,6)
1870 XKMG(11,11)=XKMG(5,5)
1880 XKMG(11,12)=XKMG(5,6)
1890 XKMG(12,12)=XKMG(6,6)
1900 FOR I=1 TO 12: FOR J=I TO 12: XKMG(J,I)=XKMG(I,J): NEXT
J: NEXT I
1910 REM - ADICION DE MIEMBROS DE RIGIDEZ [K]
1920 FOR II=1 TO 6: FOR JJ=1 TO 6
1930 KROW=6*J1-(6-II): KCOL=6*J1-(6-JJ)-KROW+1
1940 IF KCOL<=0 GOTO 1960
1950 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II, JJ)
1960 NEXT JJ: NEXT II
1970 FOR II=1 TO 6: FOR JJ=7 TO 12
1980 KROW=6*J1-(6-II): KCOL=6*J2-(12-JJ)-KROW+1
1990 IF KCOL<=0 GOTO 2010
2000 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II, JJ)
2010 NEXT JJ: NEXT II
2020 FOR II=7 TO 12: FOR JJ=1 TO 6
2030 KROW=6*J2-(12-II): KCOL=6*J1-(6-JJ)-KROW+1
2040 IF KCOL<=0 GOTO 2060
2050 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II, JJ)
2060 NEXT JJ: NEXT II
2070 FOR II=7 TO 12: FOR JJ=7 TO 12
2080 KROW=6*J2-(12-II): KCOL=6*J2-(12-JJ)-KROW+1
2090 IF KCOL<=0 GOTO 2110
2100 XK(KROW,KCOL)=XK(KROW,KCOL)+XKMG(II, JJ)
2110 NEXT JJ: NEXT II

```

```

2120 NEXT M
2130 ERASE XKMG
2140 *
2150 REM -- INTRODUCCION DE LAS REACCIONES DE SOPORTE Y
VECTORES DE CARGA 2160 '
2170 T$=TIME$: PRINT: PRINT: PRINT "VECTORES DE CARGA --
TIME=";T$
2180 DIM W(NEQ),JR(6)
2190 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I
2200 JR(1)=CVI(SJRX$): JR(2)=CVI(SJRY$): JR(3)=CVI(SJRZ$)
2210 JR(4)=CVI(SJMX$): JR(5)=CVI(SJMY$): JR(6)=CVI(SJMZ$)
2220 W(6*I-5)=CVS(SWX$): W(6*I-4)=CVS(SWY$): W(6*I-
3)=CVS(SWZ$)
2230 W(6*I-2)=CVS(SWMX$): W(6*I-1)=CVS(SWMY$):
W(6*I)=CVS(SWMZ$)
2240 FOR J=1 TO 6
2250 IF JR(J)=0 GOTO 2310
2260 KROW=6*I-(6-J): NR=KROW
2270 FOR KCOL=2 TO MAXB: XK(KROW,KCOL)=0!: NR=NR-1
2280 IF NR<=0 GOTO 2290 ELSE XK(NR,KCOL)=0!
2290 NEXT KCOL
2300 XK(KROW,1)=1!: W(KROW)=0!
2310 NEXT J
2320 NEXT I
2330 ERASE JR
2340 '
2350 REM -- SOLUCION DE ECUACIONES PARA DESPLAZAMIENTOS EN
JUNTAS2360 '
2370 T$=TIME$
2380 PRINT: PRINT "SOLUCION DE ECUACIONES PARA
DESPLAZAMIENTOS EN JUNTAS -- TIME=";T$
2390 REM - FORWARD ELIMINATION
2400 PRINT "FORWARD ELIMINATION"
2410 PRINT "ECUACION";
2420 FOR N=1 TO NEQ: I=N
2430 PRINT N;
2440 IF ABS(XK(N,1))>9.999999E-04 GOTO 2480
2450 PRINT: PRINT: PRINT "LA ESTRUCTURA ES GEOMETRICAMENTE
INESTABLE "
2460 PRINT "NO SOLUCION POSIBLE"
2470 CLOSE #1: CLOSE #2: KILL "JUNTAS": KILL "MIEMBROS":FIN
2480 FOR L=2 TO MAXB: I=I+1: IF XK(N,L)=0! GOTO 2540
2490 C=XK(N,L)/XK(N,1): J=0
2500 FOR K=L TO MAXB: J=J+1: IF XK(N,K)=0! GOTO 2520
2510 XK(I,J)=XK(I,J)-C*XK(N,K)
2520 NEXT K
2530 XK(N,L)=C: W(I)=W(I)-C*W(N)
2540 NEXT L
2550 W(N)=W(N)/XK(N,1)
2560 NEXT N
2570 REM - BACK SUBSTITUTION

```

```

2580 PRINT: PRINT "BACK SUBSTITUTION"
2590 PRINT "DESPLAZAMIENTO" NEQ;
2600 N=NEQ
2610 N=N-1: IF N<=0 GOTO 2680 ELSE L=N
2620 PRINT N;
2630 FOR K=2 TO MAXB
2640 L=L+1: IF XK(N,K)=0 GOTO 2660
2650 W(N)=W(N)-XK(N,K)*W(L)
2660 NEXT K
2670 GOTO 2610
2680 ERASE XK
2690 '
2700 REM -- COMPUTO DECARGAS EN MIEMBROS EXTREMOS Y
REACCIONES 2710 '
2720 T$=TIME$: PRINT
2730 PRINT: PRINT "COMPUTO DE CARGAS EN MIEMBROS EXTREMOS Y
REACCIONES -- TIME=";T$
2740 OPEN "MENDLOAD" AS #3 LEN=4
2750 FIELD #3,4 AS SP$
2760 DIM P(12),D(12)
2770 DIM JRX(NJ),JRY(NJ),JRZ(NJ),JMX(NJ),JMY(NJ),JMZ(NJ)
2780 DIM RX(NJ),RY(NJ),RZ(NJ),RMX(NJ),RMY(NJ),RMZ(NJ)
2790 REM - REACCIONES INICIALES 2800 FOR I=1 TO NJ: GET #1,I
2810 JRX(I)=CVI(SJRX$): JRY(I)=CVI(SJRY$): JRZ(I)=CVI(SJRZ$)
2820 JMX(I)=CVI(SJMX$): JMY(I)=CVI(SJMY$): JMZ(I)=CVI(SJMZ$)
2830 WX=CVS(SWX$): WY=CVS(SWY$): WZ=CVS(SWZ$)
2840 WMX=CVS(SWMX$): WMY=CVS(SWMY$): WMZ=CVS(SWMZ$)
2850 IF JRX(I)<>0 THEN RX(I)=-WX
2860 IF JRY(I)<>0 THEN RY(I)=-WY
2870 IF JYZ(I)<>0 THEN RZ(I)=-WZ
2880 IF JMX(I)<>0 THEN RMX(I)=-WMX
2890 IF JMY(I)<>0 THEN RMY(I)=-WMY
2900 IF JMZ(I)<>0 THEN RMZ(I)=-WMZ
2910 NEXT I
2920 FOR M=1 TO NM: GET #2,M
2930 REM - COMPUTO DE CARGAS EN LOS EXTREMOS DEL MIEMBRO 2940
J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$): E=CVS(SE$): G=CVS(SG$):
TL=CVS(STL$)
2950 AX=CVS(SAX$): XI=CVS(SXI$): YI=CVS(SYI$): ZI=CVS(SZI$)
2960 CX=CVS(SCX$): CY=CVS(SCY$): CZ=CVS(SCZ$): CXZ=CVS(SCXZ$)
2970 AEOL=AX*E/TL: GXIOL=G*XI/TL: EZIOL=E*ZI/TL:
EYIOL=E*YI/TL
2980 EZ2=2!*EZIOL: EZ6=6!*EZIOL/TL: EZ12=2!*EZ6/TL
2990 EY2=2!*EYIOL: EY6=6!*EYIOL/TL: EY12=2!*EY6/TL
3000 FOR I=1 TO 6: K=6-I: D(I)=W(6*J1-K): D(I+6)=W(6*J2-K):
NEXT I
3010 IF CXZ<.0001 GOTO 3070
3020 REM - MIEMBRO VERTICAL 3030 A1=CX: A2=CY: A3=CZ: A4=-
CX*CY/CXZ: A5=CXZ: A6=-CY*CZ/CXZ
3040 A7=-CZ/CXZ: A9=CX/CXZ
3050 GOTO 3080

```

```

3060 REM -MIEMBRO VERTICAL 3070 A1=0!; A2=CX; A3=0!; A4=-CX;
A5=0!; A6=0!; A7=0!; A9=1!
3080 P(1)=AEOL*((D(1)-D(7))*A1+(D(2)-D(8))*A2+(D(3)-D(9))*A3)
3090 P(2)=EZ6*((D(4)+D(10))*A7+(D(6)+D(12))*A9)
+EZ12*((D(1)-D(7))*A4+(D(2)-D(8))*A5+(D(3)-D(9))*A6)
3100 P(3)=-
EY6*((D(4)+D(10))*A4+(D(5)+D(11))*A5+(D(6)+D(12))*A6)
+EY12*((D(1)-D(7))*A7+(D(3)-D(9))*A9)
3110 P(4)=GX10L*((D(4)-D(10))*A1+(D(5)-D(11))*A2+(D(6)-
D(12))*A3)
3120 P(5)=-EY6*((D(1)-D(7))*A7+(D(3)-D(9))*A9)
+EY2*((2!*D(4)+D(10))*A4+(2!*D(5)+D(11))*A5+(2!*D(6)+D(12))*A
6)
3130 P(6)=EZ6*((D(1)-D(7))*A4+(D(2)-D(8))*A5+(D(3)-D(9))*A6)
+EZ2*((2!*D(4)+D(10))*A7+(2!*D(6)+D(12))*A9)
3140 P(7)=-P(1); P(8)=-P(2); P(9)=-P(3); P(10)=-P(4)
3150 P(11)=-EY6*((D(1)-D(7))*A7+(D(3)-D(9))*A9)
+EY2*((D(4)+2!*D(10))*A4+(D(5)+2!*D(11))*A5+(D(6)+2!*D(12))*A
6)
3160 P(12)=EZ6*((D(1)-D(7))*A4+(D(2)-D(8))*A5+(D(3)-D(9))*A6)
+EZ2*((D(4)+2!*D(10))*A7+(D(6)+2!*D(12))*A9)
3170 REM - SUMA DE LAS CARGAS EN LOS EXTREMOS DEL MIEMBRO
PARA REACCIONES 3180 IF CXZ<.0001 GOTO 3230
3190 REM - MIEMBRO VERTICAL 3200 CXXZ=CX/CXZ; CZXZ=CZ/CXZ
3210 GOTO 3240
3220 REM - MIEMBRO VERTICAL 3230 CXXZ=1!; CZXZ=0!
3240 IF JRX(J1)<>0 THEN RX(J1)=RX(J1)+CX*P(1)-CY*CXXZ*P(2)-
CZXZ*P(3)
3250 IF JRY(J1)<>0 THEN RY(J1)=RY(J1)+CY*P(1)+CXZ*P(2)
3260 IF JRZ(J1)<>0 THEN RZ(J1)=RZ(J1)+CZ*P(1)-
CY*CZXZ*P(2)+CXXZ*P(3)
3270 IF JMX(J1)<>0 THEN RMX(J1)=RMX(J1)+CX*P(4)-CY*CXXZ*P(5)-
CZXZ*P(6)
3280 IF JMY(J1)<>0 THEN RMY(J1)=RMY(J1)+CY*P(4)+CXZ*P(5)
3290 IF JMZ(J1)<>0 THEN RMZ(J1)=RMZ(J1)+CZ*P(4)-
CY*CZXZ*P(5)+CXXZ*P(6)
3300 IF JRX(J2)<>0 THEN RX(J2)=RX(J2)+CX*P(7)-CY*CXXZ*P(8)-
CZXZ*P(9)
3310 IF JRY(J2)<>0 THEN RY(J2)=RY(J2)+CY*P(7)+CXZ*P(8)
3320 IF JRZ(J2)<>0 THEN RZ(J2)=RZ(J2)+CZ*P(7)-
CY*CZXZ*P(8)+CXXZ*P(9)
3330 IF JMX(J2)<>0 THEN RMX(J2)=RMX(J2)+CX*P(10)-
CY*CXXZ*P(11)-CZXZ*P(12)
3340 IF JMY(J2)<>0 THEN RMY(J2)=RMY(J2)+CY*P(10)+CXZ*P(11)
3350 IF JMZ(J2)<>0 THEN RMZ(J2)=RMZ(J2)+CZ*P(10)-
CY*CZXZ*P(11)+CXXZ*P(12)
3360 FOR I=1 TO 12: LSET SP$=MKS$(P(I)); J=12*(M-1)+I: PUT
#3,J: NEXT I
3370 NEXT M
3380 ERASE D
3390 T$=TIME$: PRINT: PRINT "SOLUCION COMPLETA -- TIME=";T$

```

```

3400 PRINT: PRINT "COLOQUE EL PAPEL EN LA IMPRESORA 3410
INPUT "PRESIONE EL BOTON PARA IMPRIMIR RESULTADOS ",DUMMY$
3420 '
3430 REM --IMPRESION DE DESPLAZAMIENTOS EN JUNTAS, CARGAS EN
EXTREMOS DEL MIEMBRO Y REACCIONES
3440 '
3450 FOR I=1 TO 4: LPRINT : NEXT I: LPRINT TITLE$: LPRINT
3460 LPRINT "DESPLAZAMIENTOS EN JUNTAS
(JOINT,DX,DY,DZ,DMX,DMY,DMZ)": LPRINT
3470 FOR I=1 TO NJ
3480 LPRINT USING "###";I;:
LPRINT USING " ###.####";W(6*I-5),W(6*I-4),W(6*I-3),W(6*I-
2),
W(6*I-1),W(6*I): NEXT I
3490 LPRINT : LPRINT "CARGAS EN EXTREMOS DEL MIEMBRO ";:
LPRINT "(MEMBER,END,FX,FY,FZ,MX,MY,MZ)": LPRINT
3500 FOR I=1 TO NM: GET #2,I: J1=CVI(SJ1$): J2=CVI(SJ2$)
3510 FOR J=1 TO 12: K=12*(I-1)+J: GET #3,K: P(J)=CVS(SP$):
NEXT J
3520 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING " ###";J1;:
LPRINT USING " ####.###";P(1),P(2),P(3),P(4),P(5),P(6)
3530 LPRINT USING "###";I;: LPRINT USING " ###";J2;:
LPRINT USING " ####.###";P(7),P(8),P(9),P(10),P(11),P(12)
3540 NEXT I
3550 LPRINT : LPRINT "REACCIONES
(JOINT,RX,RY,RZ,RMX,RMY,RMZ)": LPRINT
3560 FOR I=1 TO NJ
3570 IF JRX(I)<>0 OR JRY(I)<>0 OR JRZ(I)<>0 GOTO 3590 ELSE
3580
3580 IF JMX(I)<>0 OR JMY(I)<>0 OR JMZ(I)<>0 GOTO 3590 ELSE
3600
3590 LPRINT USING "###";I;:
LPRINT USING "
####.###";RX(I),RY(I),RZ(I),RMX(I),RMY(I),RMZ(I)
3600 NEXT I
3610 PRINT: PRINT: PRINT "SALIDA DEL PROGRAMA"
3620 CLOSE #1: KILL "JUNTAS"630 CLOSE #2: KILL "MIEMBORS"3640
_ CLOSE #3: KILL "CARGAS": FIN

```

CONCLUSIONES

Creo firmemente que para poder lograr un aprovechamiento real por parte del estudiante, de la materia de Análisis Estructural, mediante el uso de estos programas de computadoras, es necesario que el catedrático encargado de impartir la materia esté lo suficientemente capacitado en cuanto al uso de los programas para así poder transmitir el mayor conocimiento posible al estudiante. El catedrático que imparta la materia deberá enseñar al estudiante el manejo de los programas de una manera rápida y precisa, para así aprovechar todo el tiempo que actualmente se dedica a efectuar cálculos repetitivos en la solución de un mayor número de estructuras en el salón de clase; con esto no se trata de decir que las computadoras nos resolverán cualquier estructura, por más difícil que ésta se nos presente, ya que hay que tener bien claro que estos programas de computación sólo facilitan el análisis; pero serán los propios conocimientos y la aplicación de un criterio acertado lo que conducirá a la solución de cualquier estructura.

Espero que este trabajo sea de valor para el estudiante y que él ahora tenga un mejor entendimiento de los procedimientos que pueden usarse para analizar sistemas estructurales, en una computadora personal.

Los programas presentados en los capítulos anteriores fueron desarrollados con propósitos educativos. Con una pizca de ingenio, en el desarrollo de los modelos matemáticos Pueden analizarse las estructuras con una amplia variedad de propiedades y sujetas a muchos diferentes tipos de cargas . Creo firmemente también que no es adecuado leer sólo un trabajo de este tipo. La única forma de lograr una real apreciación de ambas, las capacidades y los defectos de estos programas es poniendo las manos en la práctica. El estudiante debe concentrar sus esfuerzos para el aprendizaje de los programas y emplear mucho tiempo practicando con ellos, por ser una variedad de diferentes configuraciones estructurales y de cargas. Una vez que han sido usados los programas, el estudiante encontrará más y más usos para ellos. Estos programas deben ser particularmente usados por estudiantes en los cursos de análisis estructural, en donde lo que se pretende primero es investigar el comportamiento de los diferentes tipos de sistemas estructurales bajo muy diferentes condiciones de carga.

ANEXO A

DISCO FUENTE

Se recomienda, para eliminar los errores de los programas dentro de la computadora desde los registros de origen, el uso del disco incluido con este trabajo, el cual contiene el código de origen BASIC, para cada uno de los programas. Este disco ha sido escrito en una computadora personal IBM, usando el sistema operativo PC-DOS.

Los programas estan hechos en BASIC por ser este un lenguaje sumamente sencillo, tiene tambien la ventaja de aceptar modificaciones facilmente y ademas es enseñado en la materia de programacion a los estudiantes de esta Facultad, es importante aclarar que los programas no son desarrollados en este trabajo.

El programa contiene un total de 15 archivos, de los cuales, cinco archivos corresponden al origen de los programas de análisis, cinco archivos al origen de los programas de trazo y cinco son archivos de datos de ejemplos de entrada. Los nombres especificos de los archivos son:

programas de análisis	programas de trazo	ejemplo de entrada
SDTRUSS.BAS	SDTPLOT.BAS	SDTRUSS.IN
TRUSS2D.BAS	T2DPLOT.BAS	TRUSS2D.IN
TRUSS3D.BAS	T3DPLOT.BAS	TRUSS3D.IN
FRAME2D.BAS	F2DPLOT.BAS	FRAME2D.IN
FRAME3D.BAS	F3DPLOT.BAS	FRAME3D.IN

ANEXO B

INSTRUCCIONES DE USO

Las instrucciones para el uso de los programas están distribuidas a través de los capítulos de este trabajo. Las instrucciones explican el sistema coordinado, la convención de los signos, la forma numérica de entrada y el formato requerido para el archivo de datos de disco de entrada para cada programa.

Creo firmemente que es sumamente conveniente que posteriormente alguien realice un estudio mas profundo sobre este tema desde el punto de vista didactico.

ANEXO C

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Vazquez Vazquez Anastacio,1998,La Contextualización a traves de Modelos Estructurales como una forma especial de enseñanza.

James M. I.,Smith G. M., and Woldford J.C.,1997, Applied Numerical Methods for Digital Computation with FORTRAN and CSMP, IEP-A Dun-Donnelley Publisher.

Carnahan B.,Luther H.A., and Wilkes J. O.,1969, Applied Numerical Methods, John Wiley and Sons, Inc.

ASCE, Proceedings of the Conference on Electronic Computation, Structural Division, American Society of Civil Enginners, Kansas City, Missouri, November 1958.

Harrison H.B.,1973, Computer Methods in Structural Analysis, Prentice-Hall, Inc.

Weaver W. and Gere J.M.,1980, Matrix Analysis of Framed Structures, D. Van Nostrand Co., Inc.

Harrison H.B., 1973, Computer Methods in Structural Analysis, Prentice-Hall, Inc.

Weaver W., Jr., 1967, Computer Programs for Structural Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc.

AISC, Steel Construction Manual, 8th ed., American Institute for Steel Construction, 1978.

Gere M. and Weaver W., 1965, Matrix Algebra for Engineers, D. Van Nostrand Co., Inc.

Rice R., 1981, Matrix Computations and Mathematical Software, McGraw-Hill Book Co.

TM
TA638
M3
ANEXO
c.1



1080087742 15149

ENCUADERNACIONES
" MODERNAS "
DIEGO DE MONTEMAYOR # 637 NTE.
ENTRE TREVINO E ISAAC GARZA
TEL. 374 - 57 - 85 MTY., N.L.

