



BIBLIOTECA CENTRAL
TESIS
USO ÚNICAMENTE EN SALA

UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



ANÁLISIS DINÁMICO POR COMPUTADORA
DE ARMADURAS PLANAS
POR EL MÉTODO BETA DE NEWMARK

TRABAJO DE INVESTIGACION

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERIA
(ESTRUCTURAS)

PRESENTA:
Francisco Eric Alvarado Cinco

OCTUBRE, 1996





UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



BIBLIOTECA CENTRAL
TESIS
USO ÚNICAMENTE EN SALA

Puebla, Pue., a 13 de Septiembre de 1996.

ING. GERARDO DE J. LOPEZ ARCIGA.
COORDINADOR DE LA MAESTRIA EN ESTRUCTURAS.
DIVISION DE POSTGRADO U.P.A.E.P.
P R E S E N T E

Reciba un cordial y afectuoso saludo, aprovechando la ocasión me permito comunicar a Usted por este medio que la tesis "ANÁLISIS DINAMICO POR COMPUTADORA DE ARMADURAS PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK", elaborada por el alumno Francisco Eric Alvarado Cinco, ha sido terminada cubriendo con todos los objetivos programados dando la aprobación al contenido de la misma para así darle seguimiento a los trámites que proceden .

Sin otro particular y agradeciendo de antemano la atención que a la presente le preste, me despido de usted .

ATENTAMENTE

ING. FERNANDO VERA BADILLO.
ASESOR DE TESIS

48663

A DIOS, POR SU INFINITA BONDAD

A MIS PADRES:

**SR. BALBINO ALVARADO MEDINA
SRA. ELSA CINCO DIAZ DE ALVARADO**

**CON PROFUNDO AMOR Y AGRADECIMIENTO POR EL
APOYO INCONDICIONAL, LA MOTIVACION Y EL BUEN
EJEMPLO QUE SIEMPRE ME HAN BRINDADO.**

A MI ESPOSA:

SRA. LUZ OLIVIA QUEVEDO TRINIDAD

**CON TODO MI AMOR POR SU INVALUABLE APOYO,
COMPRESION Y CONFIANZA QUE ME ANIMA A SEGUIR
ADELANTE.**

A MIS HIJOS :

**ERICK GIUSSEPE ALVARADO QUEVEDO
BRYAN ALEXIS ALVARADO QUEVEDO**

CON TODO MI AMOR Y CARIÑO.

A MI HERMANA:

RUTH ALVARADO CINCO

COMO MUESTRA DE CARIÑO.

A MI ABUELITA:

SRA. MARGARITA DIAZ DURAN VDA. DE CINCO

POR TODO LO QUE HA SIGNIFICADO PARA MI.

A TODA MI FAMILIA:

TIOS Y PRIMOS

A MI ASESOR:

ING. FERNANDO VERA BADILLO M.I.

**CON ESPECIAL AGRADECIMIENTO,
POR SU VALIOSA COLABORACION
PARA QUE LA ELABORACION DE ESTE
TRABAJO FUERA POSIBLE.**

A TODOS MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

**A TODAS AQUELLAS PERSONAS EN LAS QUE ENCONTRE
UN APOYO CUANDO LOS NECESITE**

SINCERAMENTE,

GRACIAS

INDICE

1. INTRODUCCION.

1.1 GENERALIDADES.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2

2. ECUACION DE EQUILIBRIO DE LA BARRA.

2.1 MODELO DISCRETO ESTANDAR.....	3
2.2 MATRIZ DE RIGIDECES DE LA BARRA.....	4
2.2.1 Referencia local	
2.2.2 Matriz de transformación	
2.2.3 Referencia global	
2.3 MATRIZ DE MASAS DE LA BARRA.....	6
2.3.1 Referencia local	
2.3.2 Referencia global	
2.4 VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS.....	7
2.4.1 Referencia local	
2.4.2 Referencia global	
2.5 VECTOR DE FUERZAS EQUILIBRANTES.....	8
2.5.1 Referencia local	
2.5.2 Referencia global	
2.6 VECTOR DE FUERZAS DE FIJACION.....	9
2.6.1 Referencia local	
2.6.2 Referencia global	

3. MATRICES DE RIGIDECES Y MASAS DE LA ESTRUCTURA.

3.1 PROCESO PARA CALCULAR LAS MATRICES DE RIGIDECES Y MASAS DE LA ESTRUCTURA.....	11
3.2 OBTENCION DE LA MATRIZ DE RIGIDECES DE LA ESTRUCTURA.....	13
3.3 OBTENCION DE LA MATRIZ DE MASAS DE LA ESTRUCTURA.....	14

4. ANALISIS DE ACELEROGRAMAS.

4.1 CONCEPTOS GENERALES.....	16
4.2 RED SISMOLOGICA.....	17
4.2.1 Red sismológica RIIS	
4.2.2 Instrumentación sísmica	
4.2.3 Características de las estaciones	
4.3 DESCRIPCION DE ACELEROGRAMAS.....	19
4.3.1 Acelerograma empleado en el presente trabajo	

5. METODO PASO A PASO PARA ANALISIS DINAMICO.	
5.1 ECUACION DE EQUILIBRIO DINAMICO.....	29
5.2 METODO BETA DE NEWMARK.....	31
5.2.1 Desarrollo del método	
5.2.2 Método de aceleración lineal	
5.2.3 Método generalizado de Newmark	
5.3 ALGORITMO NUMERICO.....	36
5.4 PROCESO DE SOLUCION.....	37
6. PROGRAMA DE COMPUTADORA.	
6.1 CONCEPTOS GENERALES.....	39
6.2 PREPROCESADOR.....	40
6.2.1 Organización del programa	
6.2.2 Manual del usuario	
6.3 PROCESADOR 1.....	44
6.3.1 Organización del programa	
6.3.2 Manual del usuario	
6.4 PROCESADOR 2.....	45
6.4.1 Organización del programa	
6.4.2 Manual del usuario	
6.5 PROCESADOR 3.....	46
6.5.1 Organización del programa	
6.5.2 Manual del usuario	
7. EJEMPLOS.	
7.1 EJEMPLO 1.....	48
7.1.1 Codificación de los datos	
7.1.2 Resultados del ejemplo	
7.2 EJEMPLO 2.....	49
7.2.1 Codificación de los datos	
7.2.2 Resultados del ejemplo	
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
9. REFERENCIA.....	66
APENDICE A LISTADO DEL PREPROCESADOR.....	68
APENDICE B LISTADO DEL PROCESADOR 1.....	75
APENDICE C LISTADO DEL PREPROCESADOR 3.....	80

1. INTRODUCCION

1.1 GENERALIDADES

Una armadura es una estructura consistente en una serie de miembros estructurales rectos unidos entre sí, de tal manera que ningún miembro continúa más allá del nudo o junta correspondiente, generalmente unidos de forma que generan una serie de triángulos. Los miembros estructurales pueden ser barras, ángulos o vigas de acero o de madera y los elementos que se usan para unir los diferentes miembros pueden ser tornillos, remaches, cordones de soldadura, etc.

La unión de los miembros se considera de una forma idealizada como una articulación, a eso se debe que a las armaduras se les conozca como "Estructuras Articuladas". En las estructuras articuladas, debido a que se supone que todos sus miembros están unidos mediante un perno, la fuerza resultante que actúa en los extremos del miembro, constará solamente de una fuerza en dirección al eje longitudinal de la barra, ya que cada fuerza está aplicada en el extremo de cada miembro y al ser una articulación la unión, no hay rigidez para poder resistir un momento, es decir, la barra girará sin deformarse angularmente.

Por lo tanto el único elemento actuante en la barra es una fuerza axial y la barra sólo trabaja a tensión o a compresión.

Las armaduras son las estructuras armadas más simples y se adaptan idealmente a la formulación matricial y a los procedimientos requeridos para el desarrollo de computadoras.

En nuestros días el uso de la computadora como una herramienta para la realización de trabajos en todas las áreas del quehacer humano es de vital importancia y la ingeniería no queda fuera de este contexto. El gran desarrollo tecnológico que han tenido las computadoras, cada vez con mayor capacidad de almacenamiento y mayor rapidez hacen que con ellas exista un gran ahorro de tiempo y esfuerzo humano lo que permite al ingeniero civil obtener resultados más precisos y rápidos, reducir el número de hipótesis simplificadoras que se hacían antes y dedicarse a pensar en otras alternativas.

Dentro de los fenómenos que hacen que la tierra tiemble, los de origen tectónico son los que tienen mayor interés, ya que en el cálculo de las estructuras se observa que uno de los agentes externos capaces de llevarlas a condiciones críticas es este tipo de sismo.

El reglamento de construcciones para el Distrito Federal contempla que según sean las características de la estructura de que se trate, ésta podrá analizarse ante sismo mediante un Método Estático o un Método Dinámico. El primero se basa en suponer aceleraciones como lineales donde se aplica a la estructura un sistema de cargas laterales cuyo efecto estático se supone equivalente al de la acción sísmica y en los dinámicos se realiza un análisis de la respuesta dinámica de un modelo generalmente muy simplificado, como es el estudio de espectros hipotéticos de aceleraciones. Dentro del análisis dinámico el reglamento menciona un análisis Paso a Paso de respuesta de sismos específicos en los cuales se puede considerar acelerogramas de sismos reales o de movimientos simulados.

Actualmente, hay ciudades que cuentan con instrumentación sísmica, con lo cuál se ha logrado ampliar el conocimiento de su sismicidad y contar con información real de movimientos

telúricos que se han presentado en el lugar. Evidentemente que durante la vida útil de una estructura, más de una vez estará sujeta a la acción de un sismo, por lo que conviene considerar no sólo la información de un solo sismo, sino los de todos aquellos que han actuado en el lugar.

1.2. OBJETIVOS.

Atendiendo los puntos arriba mencionados, se hace necesario contar con programas de computadora para realizar el análisis sísmico que permita evaluar una buena aproximación de la actual respuesta dinámica de la estructura en estudio.

De allí que el objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de un sistema para el Análisis Dinámico Paso a Paso de una Armadura Bidimensional por el Método β de Newmark, con el cuál aprovechando los registros de sismos obtenidos de las estaciones acelerográficas que hay en la U.P.A.E.P. se encuentren los desplazamientos de los nudos en cada grado de libertad de la estructura.

El sistema se divide en cuatro programas principales: el Preprocesador, el Procesador 1, el Procesador 2 y el β de Newmark (Procesador 3), y está realizado siguiendo la técnica de la programación modular, es decir, considerar el programa como un todo constituido por partes.

2. ECUACION DE EQUILIBRIO DE LA BARRA.

La barra, como componente elemental de una estructura, tiene un modelo discreto estándar. Un modelo discreto estándar es toda expresión que representa las características del elemento; es el resultado de idealizar un modelo continuo con base en hipótesis que determinan un comportamiento aproximado al observado en dicho modelo.

2.1 MODELO DISCRETO ESTANDAR.

Considérese una barra en un plano, con sección constante, en un sistema de referencia local (fig. 2.1), en donde se define el punto nodal i como el inicio de la barra y donde se encuentra el origen del sistema de referencia y el punto nodal j , donde termina la barra.

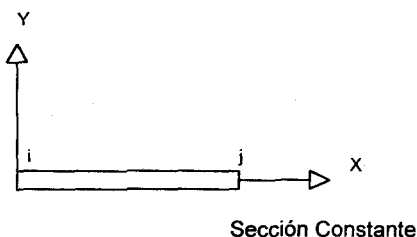


Fig. 2.1 Barra en un plano

El modelo discreto estándar de una barra es:

$$\underline{f}^o + \underline{k} \underline{u} = \underline{f}^e \quad (2.1)$$

Donde:

- \underline{f}^o es el vector de fuerzas de fijación de la barra.
- \underline{k} es la matriz de rigideces de la barra.
- \underline{u} es el vector de desplazamientos de la barra.
- \underline{f}^e es el vector de fuerzas equilibrantes de la barra.

2.2 MATRIZ DE RIGIDECES DE LA BARRA.

La matriz de rigideces \underline{k} , de la ec. 2.1, para el caso de la barra de una armadura plana se reduce a una matriz de 4 x 4 en la que no aparecen elementos correspondientes a momentos en los extremos de la barra (Ref. 1).

2.2.1 REFERENCIA LOCAL.

Dicha matriz, referida a sus ejes locales, es:

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2.1)$$

Donde:

- A es el área de la sección.
- E es el módulo de elasticidad.
- L es la longitud del elemento.

2.2.2 MATRIZ DE TRANSFORMACION.

La matriz de transformación está formada por los cosenos directores (Ref. 2,3 y 4), y es una matriz que relaciona la referencia local con la referencia global, siendo ésta un sistema derecho de ejes coordenados que se elige adecuadamente como referencia de la estructura en conjunto y que sirve para conocer la orientación de un miembro en la estructura.

La matriz de cosenos directores, ya transformada con respecto a un sólo ángulo - aquél formado por el eje de la barra en referencia local y el eje horizontal de referencia global- es:

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} \text{Cos}\theta & \text{Sen}\theta \\ -\text{Sen}\theta & \text{Cos}\theta \end{bmatrix} \quad (2.2.2.1)$$

En donde:

θ es el ángulo formado entre la referencia local y la referencia global.

Y la matriz de transformación de la barra queda:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} \underline{a} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{a} \end{bmatrix} \quad (2.2.2.2)$$

Donde:

\underline{a} es la matriz de cosenos directores antes expuesta (ec. 2.2.2.1)

$\underline{0}$ es una matriz nula de 2 x 2 con todos sus elementos igual a cero.

Por lo tanto, se tienen ahora las siguientes ecuaciones:

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} C & S & 0 & 0 \\ -S & C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & S \\ 0 & 0 & -S & C \end{bmatrix} \quad (2.2.2.3)$$

$$\underline{A}^T = \begin{bmatrix} C & -S & 0 & 0 \\ S & C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C & -S \\ 0 & 0 & S & C \end{bmatrix} \quad (2.2.2.4)$$

Donde:

\underline{A} es la matriz de transformación de la barra

C es Cos θ

S es Sen θ

\underline{A}^T es la matriz transpuesta de la matriz de transformación.

2.2.3 REFERENCIA GLOBAL.

Al tener la matriz de rigideces de una barra en referencia local (ec. 2.2.1), se debe transformar a referencia global (Ref. 4 y 5), para lo cuál se utiliza la matriz de transformación, esto es:

$$\underline{K}^g = \underline{A}^T \underline{K} \underline{A} \quad (2.2.3)$$

Donde:

\underline{K}^g es la matriz de rigideces de la barra en referencia global.

\underline{K} es la matriz de rigideces de la barra en referencia local (2.2.1)

\underline{A} es la matriz de transformación formada por los cosenos directores (2.2.2.3)

\underline{A}^T es la transpuesta de la matriz de transformación (2.2.2.4).

2.3 MATRIZ DE MASAS DE LA BARRA

En el capítulo 5, se da la expresión que satisface el equilibrio dinámico, en la cuál aparece la matriz de masas por lo que es necesario calcularla. La matriz de masas de la barra es de 4×4 en la que tampoco aparecen elementos con valores de momentos de los extremos de la barra de la armadura.

2.3.1 REFERENCIA LOCAL.

La matriz de masas de una barra componente de una armadura bidimensional referida a sus propios ejes es:

$$\underline{M} = \frac{mL}{6} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.3.1)$$

Donde:

m es la masa por unidad de longitud. Esto es igual a la relación entre el peso volumétrico del material de la barra por el área de la sección transversal entre la aceleración de la gravedad ($\gamma \cdot A/g$) (Ref. 1).

L es la longitud de la barra.

2.3.2 REFERENCIA GLOBAL.

Para satisfacer el equilibrio dinámico de la estructura es necesario tener la matriz de masas de la estructura, por lo que la matriz de masas en referencia local de la barra (ec. 2.3.1) debe transformarse al de referencia global del sistema, para después ensamblarla y generar la matriz de masas de la estructura en conjunto.

Por lo tanto, de la misma forma que se obtuvo la matriz de rigideces, se obtiene la matriz de masas en referencia global, así pues:

$$\underline{M}^g = \underline{A}^T \underline{M} \underline{A} \quad (2.3.2)$$

Donde:

\underline{M}^g es la matriz de masas de la barra en referencia global

\underline{M} es la matriz de masas de la barra en referencia local (2.3.1)

$\underline{\Delta}$ es la matriz de transformación formada por los cosenos directores (2.2.2.3)

$\underline{\Delta}^T$ es la transpuesta de la matriz de transformación (2.2.2.4).

2.4 VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS

Este vector está formado por los desplazamientos en cada punto nodal y son las incógnitas que se encontrarán. Así:

$$\underline{U} = \begin{bmatrix} U^i \\ U^j \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

En la Fig. 2.4 se muestran los desplazamientos nodales de la barra desplazada:

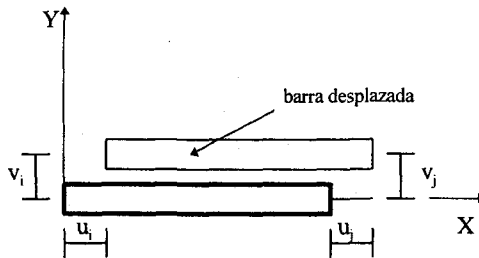


Fig. 2.4 Barra desplazada

2.4.1 REFERENCIA LOCAL.

El vector desplazamiento en referencia local, es por lo tanto:

$$\underline{u} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{bmatrix} \quad (2.4.1)$$

Donde:

u_i y v_i son los desplazamientos provocados por las fuerzas en el nudo i en las direcciones x y y respectivamente (fig. 2.4).

u_j y v_j son los desplazamientos provocados por las fuerzas en el nudo j en las direcciones x y y respectivamente (fig. 2.4).

2.4.2 REFERENCIA GLOBAL.

Al tener el vector de desplazamientos en la referencia local (ec. 2.4.1), se requiere cambiar a la referencia global, para lo cuál se usa la matriz de transformación mediante la siguiente operación:

$$\underline{U}^g = \underline{A}^T \underline{U} \quad (2.4.2)$$

Donde:

\underline{U}^g es el Vector de Desplazamientos en referencia global.

\underline{A}^T es la transpuesta de la matriz de transformaciones (2.2.2.4).

\underline{U} es el vector de desplazamientos en referencia local (2.4.1).

2.5 VECTOR DE FUERZAS EQUILIBRANTES.

En la figura 2.1 se representa el sistema de referencia en el cuál se va a orientar la dirección de las fuerzas internas asociadas a cada elemento.

El vector \underline{f} (ec. 2.5.1), se le denomina vector de fuerzas equilibrantes (Ref. 4 y 5), y son las fuerzas incógnitas en cada grado de libertad que mantienen en equilibrio a la barra.

2.5.1 REFERENCIA LOCAL

El vector de fuerzas equilibrantes en referencia local, queda por lo tanto de la siguiente manera:

$$\underline{f} = \begin{bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \end{bmatrix} \quad (2.5.1)$$

Donde:

f_{ix} y f_{iy} son las fuerzas aplicadas en el nudo i en dirección de x y y respectivamente, (fig. 2.1).

f_{jx} y f_{jy} son las fuerzas aplicadas en el nudo j en dirección de x y y respectivamente.

2.5.2 REFERENCIA GLOBAL.

Una vez que se tiene el vector en referencia local, debe transformarse a la referencia global del sistema. Este vector se obtiene al realizar la siguiente operación:

$$\underline{f}^g = \underline{A}^T \underline{f} \quad (2.5.2)$$

Donde:

\underline{f}^g es el vector de fuerzas equilibrantes en referencia global.

\underline{A}^T es la transpuesta de la matriz de transformación (2.2.2.4).

\underline{f} es el vector de fuerzas equilibrantes en referencia local (2.5.1).

2.6 VECTOR DE FUERZAS DE FIJACION.

Se hace la aclaración que aunque en esta parte se mencionan las fuerzas de fijación, en general, en las armaduras no se consideran puesto que solo se toman en cuenta fuerzas concentradas en los nudos.

El vector de fuerzas de fijación está formado por las fuerzas que se producen en la barra debido a la acción de cargas intermedias (Ref. 4 y 5); se puede expresar como:

$$\underline{f}^o = \begin{bmatrix} \underline{f}^{oi} \\ \underline{f}^{oj} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Donde:

\underline{f}^{oi} son las fuerzas de fijación en el nudo i .

\underline{f}^{oj} son las fuerzas de fijación en el nudo j .

2.6.1 REFERENCIA LOCAL.

El vector se puede expresar de la siguiente manera:

$$\underline{f}^o = \begin{bmatrix} f^o_{ix} \\ f^o_{iy} \\ f^o_{jx} \\ f^o_{jy} \end{bmatrix} \quad (2.6.1.1)$$

Donde:

f^o_{ix} y f^o_{iy} son las fuerzas aplicadas en el nudo i debido a cargas intermedias en la dirección de x y y respectivamente.

f^o_{jx} y f^o_{jy} son las fuerzas aplicadas en el nudo j debido a cargas intermedias en la dirección de x y y respectivamente.

Para calcular los valores de los componentes del vector \underline{f}^o de una barra solicitada por un sistema de cargas contenido en el plano XY local, es necesario considerar el efecto de las cargas en la barra por separado, y de acuerdo al principio de superposición, debido a la linealidad que se supone en el modelo matemático, sumar dichos efectos y así determinar el vector \underline{f}^o para este sistema de cargas en cuestión, esto es:

$$\underline{f}^o = \sum_{k=1}^{NCI} \underline{f}^o_k \quad (2.6.1.2)$$

Donde:

NCI especifica el número de cargas intermedias actuantes en la barra.

2.6.2 REFERENCIA GLOBAL

Al tener lo anterior, es necesario transformar el vector de fuerzas de fijación de la barra a referencia global, para lo cuál se realiza la siguiente ecuación:

$$\underline{f}^{og} = \underline{\Delta}^T \underline{f}^o \quad (2.6.2)$$

Donde:

\underline{f}^{og} es el vector de fuerzas de fijación en referencia global.

$\underline{\Delta}^T$ es la transpuesta de la matriz de transformación (2.2.2.4).

\underline{f}^o es el vector de fuerzas de fijación en referencia local (2.6.1.1).

3. MATRICES DE RIGIDECES Y MASAS DE LA ESTRUCTURA.

3.1 PROCESO PARA CALCULAR LA MATRIZ DE RIGIDECES Y MASAS.

Las matrices de rigidez y de masa de la armadura se formarán con las matrices de rigideces y de masas, respectivamente, de cada barra en referencia global, que se ensamblan mediante la numeración de los nodos de la estructura y de acuerdo a la matriz de indicadores de ecuación, que se forma a partir de la matriz de códigos de frontera de la estructura.

Las columnas en la matriz de códigos de frontera representan el número de nodos, y los renglones serán : el primero el desplazamiento en la dirección x, y el segundo el desplazamiento en la dirección y.

La tabla 3.1 que se presenta a continuación, es un esquema general de una matriz de códigos de frontera para el caso de una armadura plana:

Tabla 3.1 Matriz de códigos de frontera.

No. de nodo	1	2	3	4	...	n
C.F.= Desp. x						
Desp. y						

n es el número de nodos de la estructura.

Cuando el desplazamiento sea libre, el elemento tendrá un valor de dos, y cuando esté restringido, el elemento será uno.

Es decir:

- 2 indica desplazamiento libre.
- 1 indica desplazamiento restringido.

La armadura de la Fig. 3.1 se muestra como ejemplo para indicar su matriz de códigos de frontera :

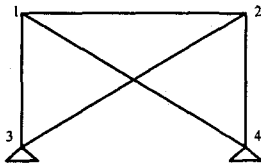


Fig. 3.1 Armadura plana de cuatro nodos.

Para esta estructura, entonces, la matriz de coeficientes de frontera se indica en la tabla 3.2:

Tabla 3.2 Matriz de códigos de frontera de la armadura de la Fig. 3.1

	No de nodo	1	2	3	4
C.F.=	Desp. X	2	2	1	1
	Desp. Y	2	2	1	1

Ahora, para formar la matriz de indicadores de ecuación, empezando por las columnas de izquierda a derecha, se cambia el primer dos por uno, y por cada dos que se encuentre se cambiarán por el número consecutivo al anterior cambio hecho. Los unos (1), se cambiarán por ceros.

La matriz de indicadores de ecuación del ejemplo anterior quedaría como se muestra en la tabla 3.3:

Tabla 3.3 Matriz de indicadores de ecuación de la armadura de la Fig. 3.1

	No de nodo	1	2	3	4
I.E.=	Desp. X	1	3	0	0
	Desp. Y	2	4	0	0

Entonces, el proceso de ensamble es como sigue:

Las dos primeras columnas de datos de las matrices de rigideces y de masas de la barra en referencia global, son del nodo i y se colocan en la matriz de rigideces o de masas de la estructura, según se trate, en las casillas de los números que corresponden a este nodo en la matriz de indicadores de ecuación, las otras dos columnas corresponden al nodo j y se colocan en la matriz de rigideces o de masas de la armadura en las casillas de los números que corresponden a este nodo en la matriz de indicadores de ecuación.

Además de utilizar la matriz de indicadores de ecuación para ensamblar las matrices de rigideces y de masas de cada barra a las respectivas matrices de la estructura, indica el número de ecuaciones que formarán el sistema de ecuaciones a resolver, el cuál será el número mayor que aparece en dicha matriz.

3.2 OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE RIGIDECES DE LA ESTRUCTURA.

Cuando una estructura se encuentra en equilibrio, cualquiera de sus partes también lo está, por lo tanto, el equilibrio de una estructura se puede establecer al garantizar el equilibrio de cada uno de los elementos en que se subdivide la estructura.

Como una armadura se encuentra compuesta de una serie de barras unidas por nudos o articulaciones, entonces, el equilibrio de la armadura se establece mediante el equilibrio de todas las barras que la componen en referencia global (ec. 2.2.3).

La matriz de rigidez de la armadura se formará con las matrices de rigideces en referencia global de cada barra, que se van ensamblando mediante la numeración de los nodos y de acuerdo a la matriz de indicadores de ecuación.

En forma general se puede escribir:

$$\underline{K} = \sum_{m=1}^{NBE} [\underline{K}^B] \quad (3.2.1)$$

Donde:

NBE número de barras de la estructura.
 \underline{K}^g matriz de rigideces de cada elemento en referencia global
 \underline{K} matriz de rigideces de la armadura

Como las ecuaciones de equilibrio de la estructura están dadas en referencia global y al considerar que las ecuaciones de equilibrio de cada barra están cuantificadas en los puntos nodales, se tiene que, al ordenar en forma matricial las ecuaciones de equilibrio en cada nudo, se sigue la convención:

$$\text{Ecuación 1: } \sum F_{x1} = 0$$

$$\text{Ecuación 2: } \sum F_{y1} = 0$$

$$\text{Ecuación 3: } \sum F_{x2} = 0$$

$$\text{Ecuación 4: } \sum F_{y2} = 0$$

Etc.

Cada ecuación representa un renglón de la matriz de rigidez de la estructura. De acuerdo con esta convención, el número de ecuación (renglón) para cualquier ecuación en particular puede determinarse con facilidad a partir de las expresiones:

Cada ecuación representa un renglón de la matriz de rigidez de la estructura. De acuerdo con esta convención, el número de ecuación (renglón) para cualquier ecuación en particular puede determinarse con facilidad a partir de las expresiones:

$$NEX = 2NN - 1 \quad \text{ecuación en la dirección } x \quad (3.2.2)$$

$$NEY = 2NN \quad \text{ecuación en la dirección } y \quad (3.2.3)$$

donde NN es el número de nodo donde se escribe la ecuación.

Por ejemplo, la ecuación $\sum F_x = 0$ en el nodo 2 se localiza en el renglón

$$NEX = 2NN - 1 = 2(2) - 1 = 3$$

de la matriz de rigidez.

La ecuación $\sum F_y = 0$ en el nodo 2 se localiza en el renglón

$$NEY = 2NN = 2(2) = 4$$

de la matriz de rigidez.

Los números de las ecuaciones NEX y NEY son simplemente los números de los renglones de la matriz de rigidez que representan una ecuación de equilibrio en un nodo dado.

Ahora bien, de acuerdo con la forma en que se define la matriz de indicadores de ecuación para cada barra, la contribución de la barra m-ésima a la matriz de rigidez de la estructura se expresa como sigue:

$$K(IE(I)^{(m)}, IE(J)^{(m)}) = K(IE(I)^{(m)}, IE(J)^{(m)}) + K^g(I, J)^{(m)} \quad (3.2.4)$$

Donde:

K es la matriz de rigideces de la estructura.

K^g es la matriz de rigideces global de la barra (ec. 2.2.3).

m es el m-ésimo elemento de la estructura.

IE vector indicador de ecuación de la barra.

I, J índices de renglón y columna respectivamente.

3.3 OBTENCION DE LA MATRIZ DE MASAS DE LA ESTRUCTURA.

De igual manera, el equilibrio de la matriz de masa de la estructura quedaría:

$$M = \sum_{m=1}^{NBE} [M^g] \quad (3.3.1)$$

NBE número de barras de la estructura.
M^g matriz de masas de cada elemento en referencia global
M matriz de masas de la armadura

Por lo que la matriz de masas de la estructura se construye usando el mismo arreglo vectorial, o indicador de ecuación IE utilizado para la construcción de la matriz de rigidez, que se construye con la numeración global que le corresponda a los puntos nodales de la barra.

De acuerdo con la forma en que se define la matriz de indicadores de ecuación para cada barra, la contribución de la barra m-ésima a la matriz de masas de la estructura se expresa como sigue:

$$\underline{M}(IE(I))^{(m)}, IE(J)^{(m)} = \underline{M}(IE(I))^{(m)}, IE(J)^{(m)} + \underline{M}^g(I,J)^{(m)} \quad (3.3.2)$$

Donde:

- M es la matriz de masas de la estructura.
- M^g es la matriz global de masas de la barra (ec. 2.3.1).
- m es el m-ésimo elemento de la estructura.
- IE vector indicador de ecuación.
- I,J índices de renglón y columna respectivamente.

4. ANALISIS DE ACELEROGRAMAS.

4.1 CONCEPTOS GENERALES

Al liberarse repentinamente una gran cantidad de energía en la corteza terrestre, se produce un sismo que genera ondas sísmicas. Se distinguen en general dos tipos de ondas: ondas de cuerpo, denominadas P o S y ondas superficiales definidas como ondas L o de Rayleigh y Love.

El registro de las ondas P, S y L son precisamente en este orden ya que se ha demostrado técnica y experimentalmente que: $V_L < V_S < V_p$ donde V_L , V_S , V_p son las velocidades de las ondas superficiales, secundarias y primarias respectivamente (Ref. 7).

Para analizar como se mueve en realidad el suelo durante un temblor, han sido diseñados diversos mecanismos y se han ido refinando hasta la actualidad. Desde el sismoscopio, hasta los sismógrafos: el de movimientos fuertes y el sensible. El sismoscopio chino mostraba solamente la dirección principal del sismo y no registraba su variación con el tiempo. El sismógrafo en cambio, registra el movimiento respecto al tiempo de un péndulo que cuelga libremente dentro de un marco sujeto al suelo.

Los sismógrafos modernos convierten el movimiento del péndulo en señales electrónicas sobre una cinta magnética. Los sismógrafos de movimiento fuerte, denominados acelerómetros o acelerógrafos, se diseñan para registrar directamente movimientos de tierra cercanos y no lejanos. En su origen, los sismógrafos eran aparatos de gran sensibilidad por lo que en sismos de gran magnitud solían salirse del área de registro y perder información. Tal causa originó la creación de los "sismógrafos de movimientos fuertes", de estos sismógrafos el más común es el que registra directamente la aceleración del suelo y son llamados acelerómetros. Las fuertes aceleraciones del suelo aparecen en el registro como ondas; y a dicho registro se le llama acelerograma.

Para los objetivos de ingeniería sísmica se deben registrar los sismos intensos, para este propósito se han hecho los acelerógrafos de movimiento intenso. Normalmente, el registrador de un acelerógrafo de éstos está en reposo hasta que la aceleración del terreno exceda un valor preestablecido, con lo cual se dispara el medidor de cualquier sismo intenso. El registro del sismo se puede realizar en tres componentes de la vibración, dos horizontales: Norte-Sur y Este-Oeste y uno vertical. Con un acelerograma tenemos datos de la aceleración en estas componentes, la velocidad y el desplazamiento del terreno se pueden obtener al integrar el registro de la aceleración. En general, los dos componentes horizontales son de magnitudes semejantes, mientras que la componente vertical es a veces algo más pequeña e incluye más componentes de frecuencias superiores.

La aceleración cuando se multiplica por la masa, da la fuerza de inercia que tiene la estructura.

A fin de proporcionar una base confiable para el diseño sísmico de estructuras, la onda sísmica se debe predecir en forma tan precisa como sea posible, por lo que se han hecho esfuerzos para reunir los registros de muchos sismos intensos en diversos lugares.

Por lo común, la aceleración se mide en términos de g, que es la aceleración de un cuerpo que cae libremente debido a la acción de la fuerza gravitacional de la tierra (aproximadamente 981 cm/seg.^2 ó 1.0 g ó 32 pies/seg.^2). Es muy frecuente usar como unidad de medición a los gales, donde $1 \text{ gal} = (1/1000)\text{g} = 0.981 \text{ cm/seg.}^2$

La velocidad se mide en pulgadas o centímetros por segundo, y se refiere al cambio de movimiento del suelo.

El desplazamiento, medido en pulgadas o centímetros, se refiere a la distancia de una partícula que se mueve de su posición de reposo.

El nivel de aceleración que por lo regular se toma como suficiente para producir algún daño a construcciones débiles, es de 0.1 g. El límite más bajo de aceleración perceptible para la gente se puede establecer mediante observación, y se experimenta aproximadamente a 0.001 g ó 1 cm/seg² (Ref. 8).

4.2 RED SISMOLOGICA.

En México existen varias asociaciones encargadas del registro sísmico, como la Fundación de Ingenieros Civiles Asociados, FICA; el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A. C., CIRES A.C., de la Fundación Javier Barrios Sierra, A.C. y la Red Interuniversitaria de Instrumentación Sísmica (R.I.I.S.).

4.2.1 RED SISMOLOGICA RIIS

A partir de 1990, aprovechando la experiencia de la Universidad Autónoma Metropolitana en la elaboración de la Zonificación Sísmica del Distrito Federal, se formaron proyectos de investigación en varias universidades con el objeto de definir la Zonificación Sísmica de las capitales estatales en que están ubicadas, las cuales carecían de los estudios necesarios para contar con una adecuada reglamentación antisísmica de las construcciones.

De esta manera, la Universidad Autónoma de Guerrero elaboró una propuesta de Zonificación Sísmica para Chilpancingo, la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla para la ciudad de Puebla, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para Morelia y la Universidad Autónoma del Estado de México para Toluca.

Los trabajos de zonificación mencionados hicieron patente la falta de información sobre sismicidad local, debido a la carencia de instrumentación sísmica de que adolecen la mayoría de los centros urbanos del país. Esto generó consciencia entre los investigadores de las instituciones sobre la necesidad de instrumentar las ciudades consideradas con el fin de retroalimentar los estudios efectuados.

En el mes de enero de 1993, la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla bajo la responsabilidad de la Facultad de Ingeniería Civil puso en operación dos estaciones de registro sísmico en colaboración con la Universidad Autónoma Metropolitana en la ciudad de Puebla para la investigación de dicha área con enfoque a la Ingeniería Civil.

El 18 de junio de 1994, con motivo del primer seminario interuniversitario de Zonificación Sísmica, celebrado en Chilpancingo Guerrero, esta colaboración se formalizó mediante la firma de un convenio de colaboración en Ingeniería Civil, entre la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma de Guerrero, la Universidad Autónoma de Chiapas, la Universidad Autónoma del Estado de México, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, dando así origen a la Red Interuniversitaria de Instrumentación Sísmica (R.I.I.S.). Posteriormente, en el mes de Septiembre de 1996, se integró a la red el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente

En la actualidad la RIIS cuenta con doce estaciones acelerométricas distribuidas en el Distrito Federal (3), Chilpancingo (2), Puebla (2), Morelia (2), Toluca (2) y Tuxtla Gutiérrez (1).

El objetivo principal de la RIIS es el registro de los movimientos telúricos en los centros urbanos instrumentados a fin de ampliar el conocimiento de su sismicidad, lo que permitirá mejorar los reglamentos de construcción y elevar la seguridad de las poblaciones ante futuros terremotos. En forma adicional, se pretende fomentar la creación de grupos de profesionales y académicos capaces de elaborar e implantar las estrategias para prevención de desastres sísmicos en sus propias comunidades.

4.2.2 INSTRUMENTACION SISMICA.

La instrumentación sísmica de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla consta de dos estaciones de registro, integradas cada una de un acelerógrafo marca Kinematics, modelo SSA-2, con acelerómetros triviales con escala de sensibilidad de ± 1 g, y una fuente de poder. Una estación se ubica en la 21 sur No. 1103 (Estación Central) y la otra en la calle Orquídeas No. 6136 (Estación San Baltazar).

Los acelerógrafos se instalaron en terrenos correspondientes a suelo tipo A con consistencia de muy firme a dura (Estación San Baltazar), y en suelo tipo B con consistencia blanda a firme (Estación Central), como se ve en la tabla 4.1:

Tabla 4.1 Ubicación de las estaciones de la U.P.A.E.P.

ESTACION	ZONA DE PUEBLA	TIPO DE SUELO	DEPOSITOS	COORDENADAS
Bachillerato Sur Mixto	A	Consistencia de muy firme a dura	Material arcillo-arenoso, roca-caliza y arcilla	19.01 N(Lat) 98.21O(Long) 2100 msnm
Edificio Central UPAEP	B	Consistencia de blanda a firme	Roca caliza fragmentada tipo travertino	19.05N(Lat.) 98.22O((Long) 2126 msnm

La Zona A comprende los suelos de consistencia de muy firme a dura para limos y arcillas, y de compactos a muy compactos para suelos granulares.

La Zona B abarca los suelos de consistencia blanda a firme para limos y arcillas, y depósitos arenosos de compacidades de suelta a mediana.

Los acelerógrafos tienen por objeto monitorear el comportamiento sísmico en la Ciudad de Puebla ante sollicitaciones sísmicas. Los registros obtenidos permitirán calibrar modelos analíticos elásticos e inelásticos en los cuales se considere, entre otros factores, el efecto de

interacción suelo-estructura. Para lograr lo anterior, es necesario realizar actividades de mantenimiento preventivo y correctivo tanto en instrumentos como en el procesamiento de la información.

4.2.3 CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES.

Los aparatos utilizados en las estaciones son acelerómetros digitales Kinematics SSA-2 (Solid State Acclerograph), diseñados para la medición de movimientos fuertes del terreno.

El SSA-2 es un acelerómetro triaxial con sensores FBA-23 del tipo de balance de fuerzas (dos canales horizontales ortogonales y un canal vertical). Es completamente autónomo en sus tres canales. La unidad electrónica está compuesta por tres sensores, una batería de poder y almacenadora de datos. Todo esto debidamente protegido dentro de una caja metálica. Cada sensor o canal es un medidor de aceleraciones o acelerómetro.

En previsión de posibles problemas de irregularidad en el suministro de la energía eléctrica se substituyó la batería recargable integrada de fábrica por un respaldo de energía Ryhde, compuesto por una batería sellada libre de mantenimiento, un cargador y una protección de sobre-voltaje. Este respaldo se adecuó para satisfacer las necesidades propias del equipo y tiene una autonomía aproximada de 15 días. La alimentación de corriente externa se proporciona mediante una línea conectada al sistema eléctrico municipal.

Con el fin de minimizar los efectos de interacción entre el suelo y la estructura encargada de resguardar al equipo, se optó por instalar el mismo en una base de concreto con las dimensiones mínimas necesarias para ubicarlo (alrededor de 1 m² de planta). Adicionalmente, se realizó un estudio comparativo entre señales de vibración ambiental y forzada obtenidas sobre la base y directamente sobre el terreno, observándose una correlación adecuada entre ambos tipos de medición.

4.3 DESCRIPCION DE ACELEROGRAMAS.

El acelerograma proporciona una imagen del sacudimiento del suelo, la interpretación exacta de esta imagen requiere conocimiento y experiencia. Constituye la descripción más útil del movimiento del suelo en un lugar. El análisis de los acelerogramas permite una evaluación cuantitativa de la intensidad sísmica, mucho más objetiva y confiable que por medio de la escala de Mercalli. Las características de los acelerogramas que más se relacionan con la potencialidad destructiva, o sea con la intensidad del sismo, son la aceleración máxima, la duración de la etapa sensible, o sea de aquella en que la amplitud de aceleración tiene un valor apreciable y, finalmente, las frecuencias dominantes del movimiento. En un acelerograma, el arribo de la onda P inicia el movimiento. A esto sigue la onda S. El tiempo entre las dos permite calcular la distancia desde el instrumento hasta el foco del sismo. Se muestra claramente la duración del movimiento fuerte, y se puede medir directamente la amplitud máxima de onda.

La aceleración del suelo se puede calcular relacionando la amplitud con el tiempo. La velocidad y el desplazamiento se obtienen matemáticamente integrando una y dos veces el registro, respectivamente.

Los acelerogramas derivados de los registros obtenidos en las estaciones de la UPAEP son graficados sin ningún tipo de corrección, y a partir de ellas se procesa la señal con el programa de procesamiento RIISP1 y se obtienen (Ref. 13):

- Historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos corregidos para cada canal.
- Espectros de Fourier normalizados (escala logarítmica)
- Espectros de Fourier normalizados (escala aritmética)
- Espectros elásticos de respuesta.

4.3.1 ACELEROGRAMA EMPLEADO EN EL PRESENTE TRABAJO.

El acelerograma elegido para el análisis dinámico paso a paso del ejemplo que se presenta en el Capítulo Siete, fue el del sismo ocurrido el 14 de Septiembre de 1995, que fue capturado por los dos acelerógrafos de la U.P.A.E.P. La información sismológica del evento se muestra en la tabla 4.2 (Ref. 14):

Tabla 4.2 Información sismológica del evento del 14 de Septiembre de 1995.

Fecha	Hora		Magnitud Richter	Epicentro		Profundidad (Km.)	Lugar
	Local	GMT		Latitud N	Longitud O		
14/09/95	8:05 AM	2:05 PM	7.3	17°	99°	45	Guerrero-Oaxaca

Fuente: Servicio Sismológico Nacional del Instituto de Geofísica de la UNAM

INFORMACION ACELEROGRAFICA.

Los archivos con los registros acelerométricos de los sismos siguen la nomenclatura de la RIIS (Ref. 13), a continuación, en la tabla 4.3, se muestran los resultados de la información registrada en los acelerógrafos y procesada con el programa RIISP1.

Tabla 4.3 Información acelerográfica del evento del 14 de Septiembre de 1995.

Nombre	Estación	Duración (seg.)	Sentido	Aceleración		Velocidad		Desplazamiento	
				Máxima	Mínima (gales)	Máxima	Mínima (cm/seg)	Máximo	Mínimo (cm)
14995PC	Central	150	N00E	+11.230	-10.390	+2.863	-2.608	+1.103	-1.236
		150	VER	+10.360	-07.650	+1.768	-1.873	+0.777	-0.649
		150	N90E	+13.840	-17.020	+3.371	-2.665	+1.155	-1.094
14995PB	Baltazar	210	N00E	+22.790	-25.790	+6.143	-5.456	+1.853	-1.386
		210	VERT	+07.030	-09.232	+1.881	-1.525	+0.772	-0.632
		210	N90E	+26.260	-23.28	+5.049	-5.705	+1.171	-1.473

1 gal = 0.980665 cm/seg²

* Nota: La duración incluye el tiempo por pre-evento y post-evento.

Para el ejemplo se tomó el registro obtenido en la estación central eligiendo el canal N90E que es donde se localizaron las máximas aceleraciones en esa estación. De los espectros de respuesta obtenidos se infiere que los períodos dominantes para el canal N90E andan alrededor de 1.80 seg. para una pseudoaceleración de aproximadamente 0.20g (Fig. 4.7).

El acelerógrafo captura aceleraciones para incrementos de tiempo de 0.005 seg., siendo muy pequeño para que el método sea estable y convergente, como también existe problema al elegir intervalos de tiempo de estudio muy altos, por lo que es conveniente elegir lapsos de tiempo cercanos a un décimo del período de la estructura o un poco mayores para que los desplazamientos obtenidos converjan a la solución.

Así, del programa RIISP1 que procesa la información de las señales recibidas por el acelerógrafo se obtuvo el registro del sismo ya mencionado y por medio de una hoja de cálculo se obtuvieron las aceleraciones correspondientes a incrementos de tiempo de 0.10, 0.15, 0.20, 0.50 y 1.0 seg., para el intervalo comprendido entre los 40 y 60 segundos del evento para el canal Este-Oeste, digitizados y normalizados en un archivo de texto cada uno.

En las figuras (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) y (4.7) se muestran los registros obtenidos en los canales NOOE (Norte-Sur), Vertical y N90E (Este-Oeste) del sismo tomado para el ejemplo.

En la figura (4.7) se muestran los espectros de respuesta para cada uno de los tres canales de registro donde se observan los períodos dominantes del suelo.

Registro: 14995PC
14/Sept./95 08:04:41 (Local) Aceleraciones no corregidas

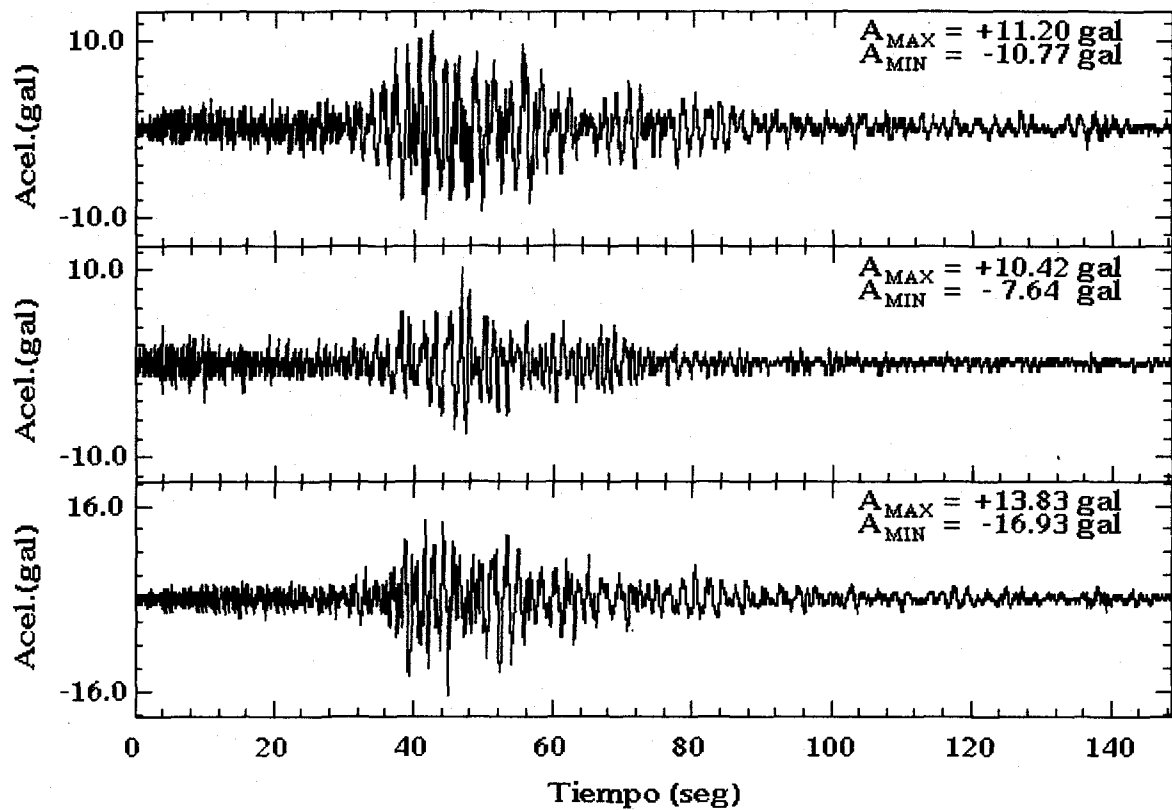


FIG. (4.1) ACCELERACIONES NO CORREGIDAS

Registro: 14995PC-N00E

14/Sept./95

08:04:41 (Local)

Corrección método Caltech

Filtro: 0.05Hz 0.10Hz 20Hz 30Hz

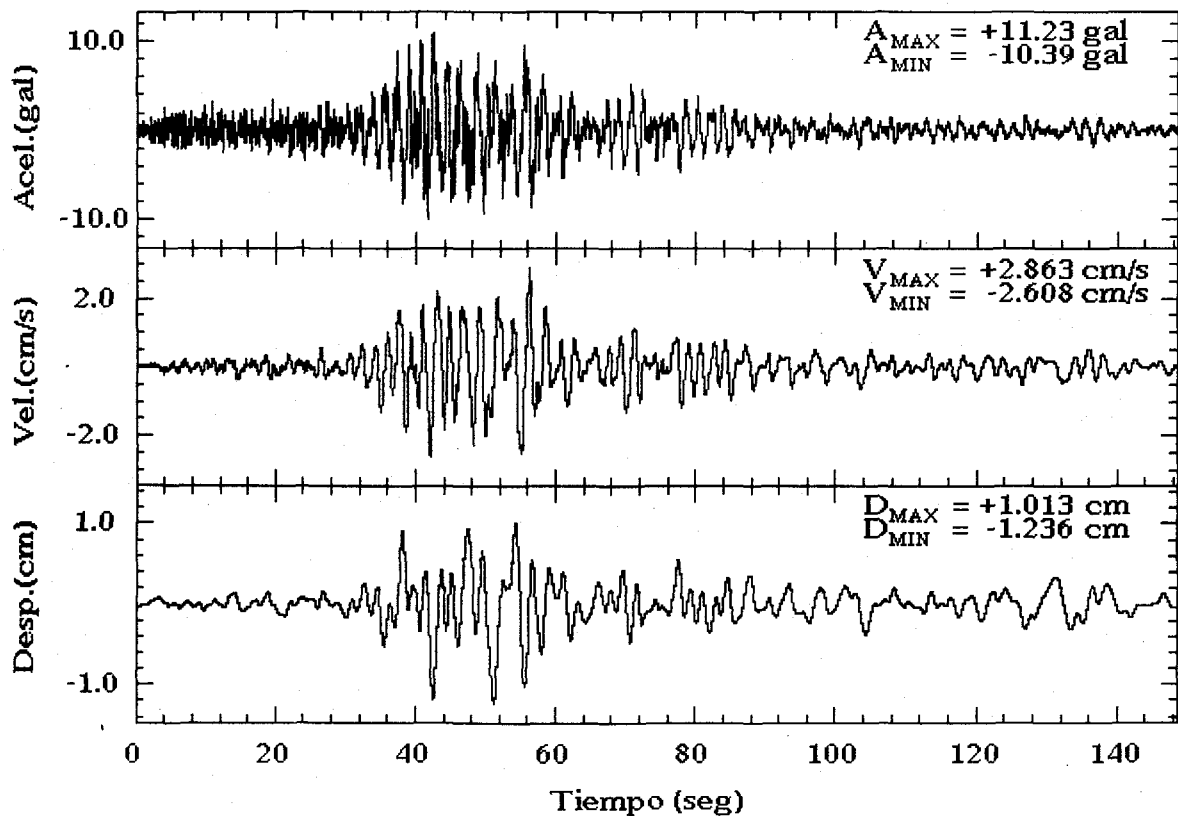


FIG. (4.2) ACELERACIONES CORREGIDAS NORTE-SUR

Registro: 14995PC-VERT	Corrección método Caltech
14/Sept./95 08:04:41 (Local)	Filtro: 0.05Hz 0.10Hz 20Hz 30Hz

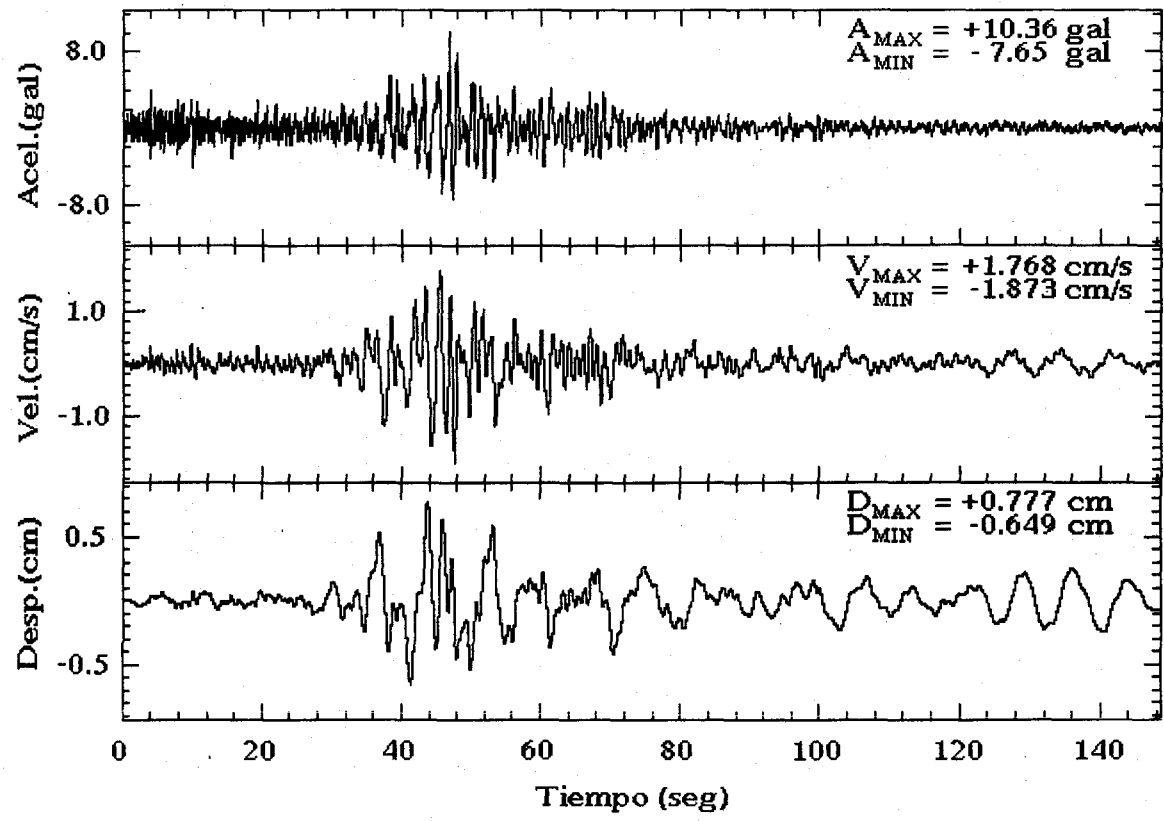


FIG. (4.3) ACELERACIONES CORREGIDAS VERTICALES

Registro: 14995PC-N90E

14/Sept./95

08:04:41 (Local)

Corrección método Caltech

Filtro: 0.05Hz 0.10Hz 20Hz 30Hz

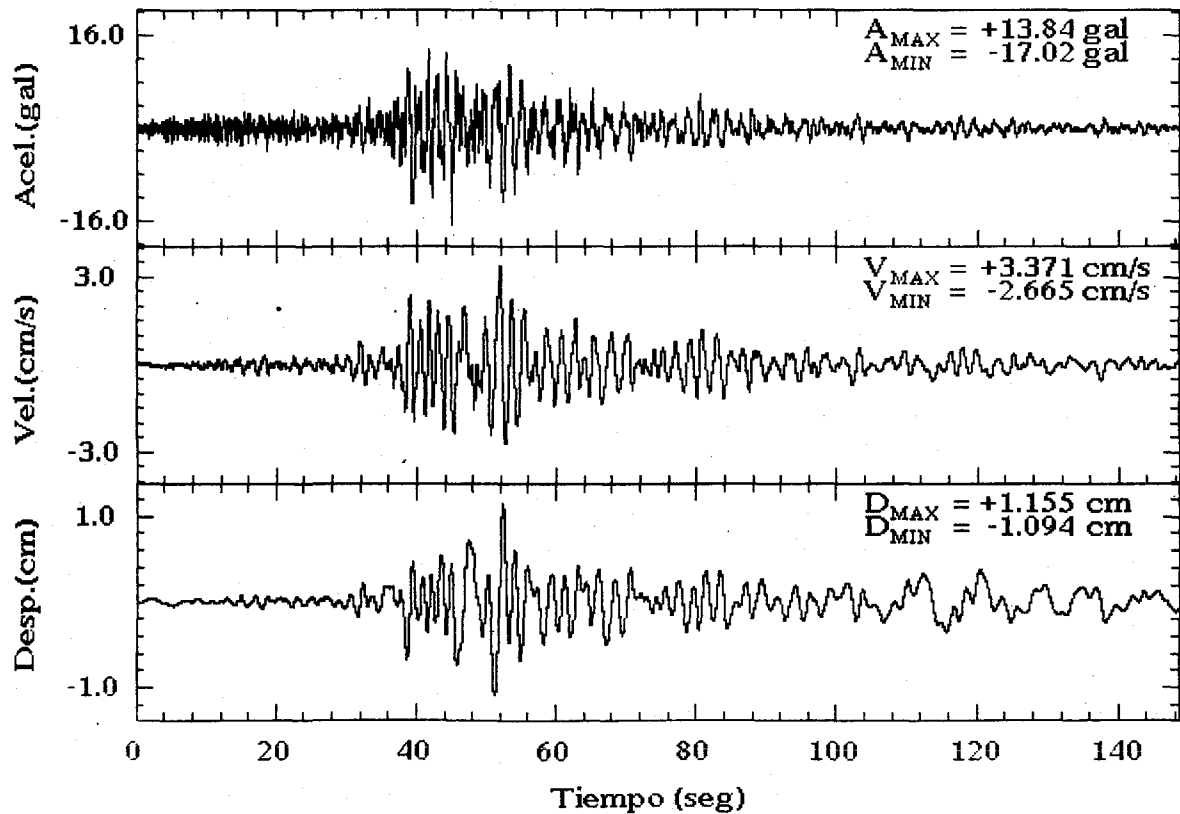


FIG. (4.4) ACELERACIONES CORREGIDAS ESTE-OESTE

Registro: 14995PC

14/Sept./95

08:04:41 (Local)

Espectros de Fourier normalizados
(Aceleraciones no corregidas)

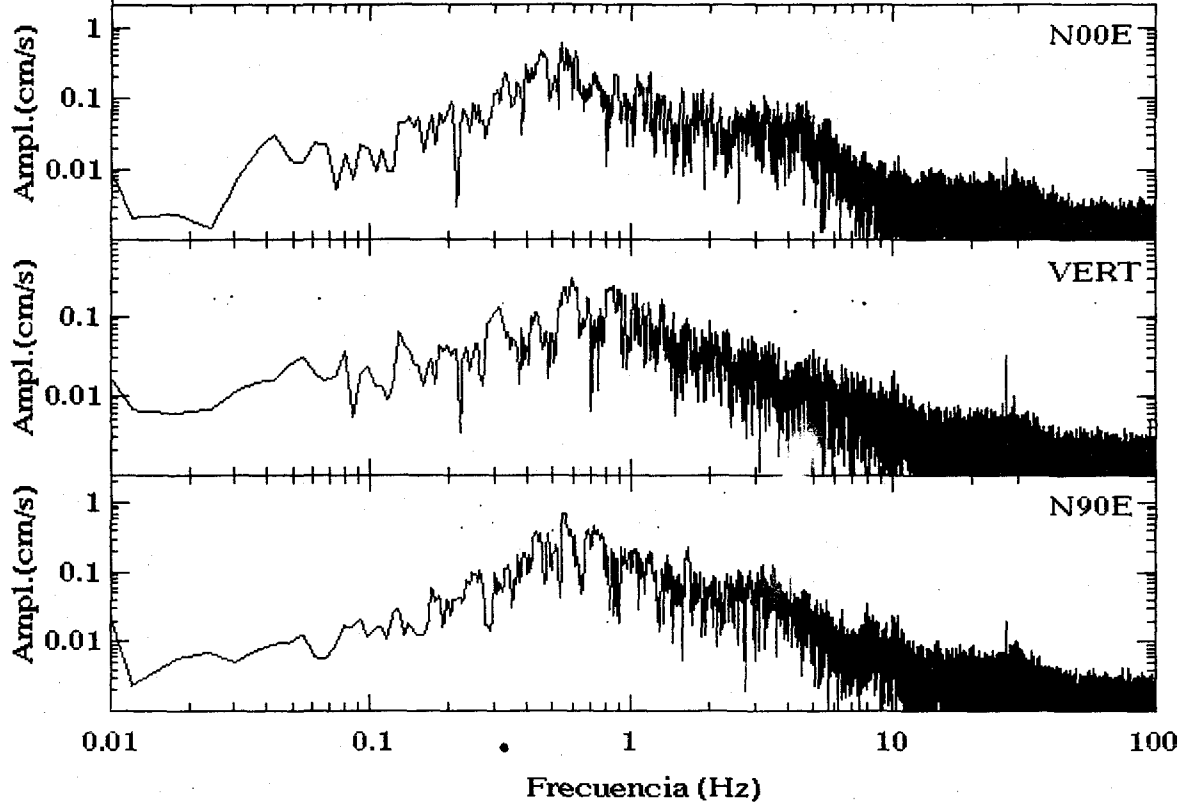


FIG. (4.5) ESPECTROS DE FOURIER NORMALIZADOS
(ACELERACIONES NO CORREGIDAS)

Registro: 14995PC

14/Sept./95

08:04:41 (Local)

Espectros de Fourier normalizados

(Aceleraciones corregidas)

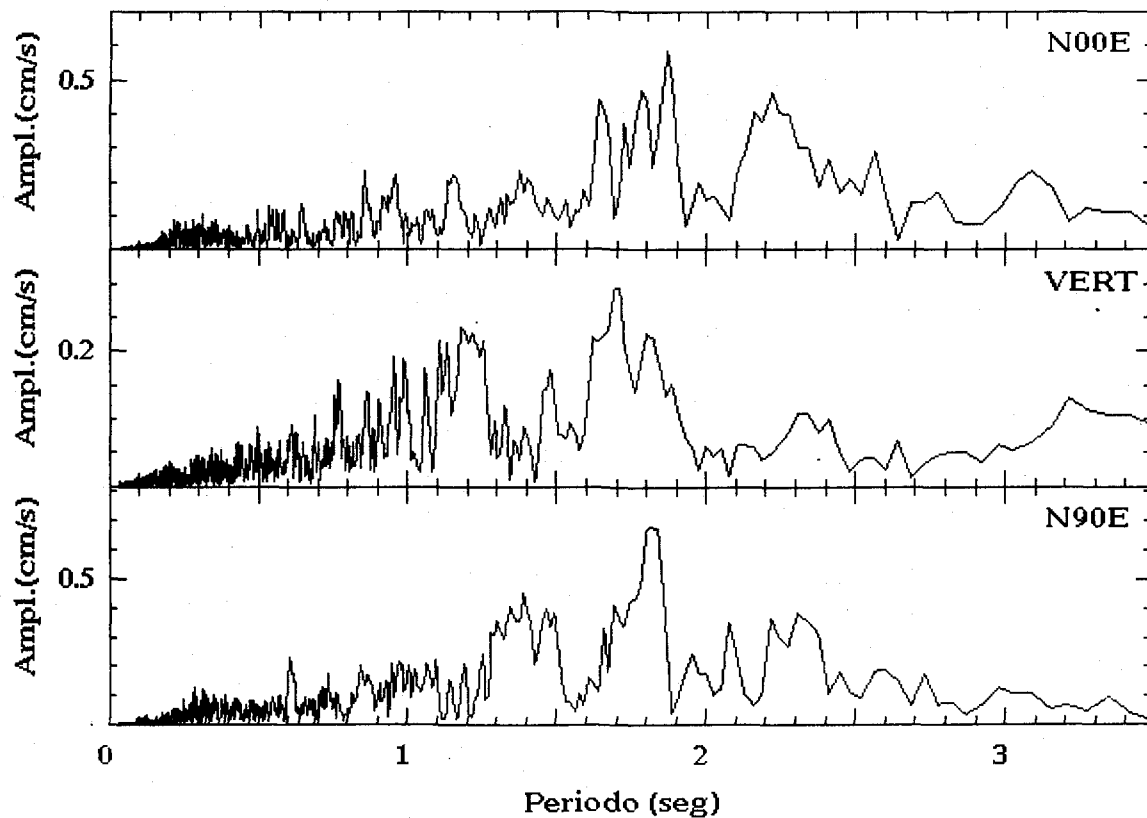


FIG. (4.6) ESPECTROS DE FOURIER NORMALIZADOS
(ACELERACIONES CORREGIDAS)

Registro: 14995PC	Espectros de Respuesta
14/Sept./95 08:04:41 (Local)	Amortiguamiento (%) : 0, 2, 5

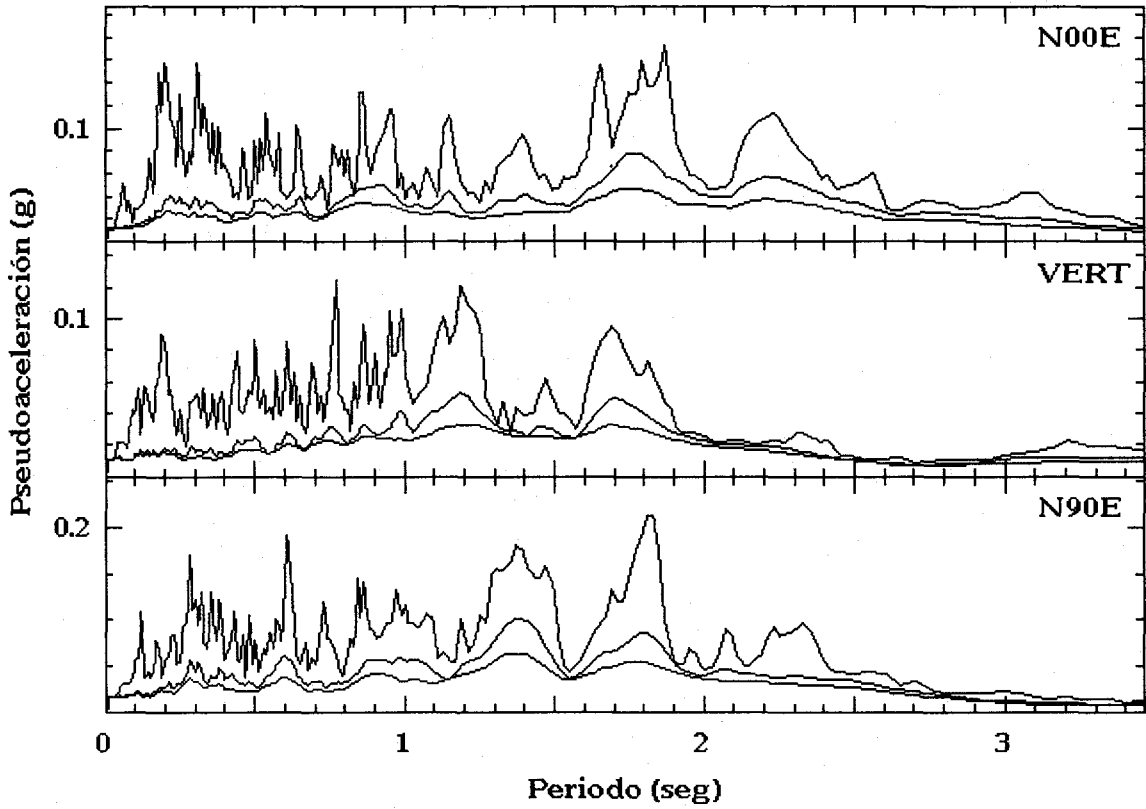


FIG. (4.7) ESPECTROS DE RESPUESTA

5. METODO PASO A PASO PARA ANALISIS DINAMICO.

5.1 ECUACION DE EQUILIBRIO DINAMICO.

El equilibrio dinámico de las estructuras lineales, en función de los desplazamientos nodales de los mismos, se puede escribir mediante la siguiente ecuación matricial:

$$M \ddot{U}(t) + C \dot{U}(t) + K U(t) = P(t) \quad (5.1.1)$$

Donde:

M, C y K son las matrices de masas, de amortiguamiento y de rigideces, respectivamente, sus componentes son constantes.

$\ddot{U}(t)$, $\dot{U}(t)$ y $U(t)$ son los vectores de aceleraciones, velocidades y desplazamientos, respectivamente. Sus componentes son funciones del tiempo y el punto sobre el símbolo indica derivada respecto al tiempo, es decir:

$$\dot{U}(t) = \frac{d}{dt} U$$

P(t) es el vector de fuerzas actuantes sobre la estructura cuyos componentes son funciones del tiempo. La forma explícita de este vector depende del tipo de fuerza considerada.

La ec. 5.1.1 se origina de consideraciones de equilibrio estático en el instante de tiempo t, por lo que puede ser escrita (Ref. 6):

$$F_i(t) + F_D(t) + F_E(t) = R(t) \quad (5.1.2)$$

Donde:

$F_i(t)$	son las fuerzas de inercia,	$F_i(t) = M\ddot{U}$
$F_D(t)$	son las fuerzas de amortiguamiento,	$F_D(t) = C\dot{U}$
$F_E(t)$	son las fuerza elásticas o de rigidez,	$F_E(t) = KU$

Por lo tanto en el análisis dinámico, en principio, es considerado el equilibrio estático en el instante de tiempo t, en el cuál se incluyen los efectos de la aceleración dependiente de las fuerzas de inercia y de la velocidad dependiente de las fuerzas de amortiguamiento. Viceversa, en el análisis estático la ecuación de movimiento 5.1.1 se considera, despreciando los efectos de inercia y amortiguamiento.

MATRIZ DE AMORTIGUAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.

Esta matriz, que aparece en la ecuación 5.1.1, no se compone de matrices de amortiguamientos de cada una de las barras, sino que sólo se habla de una, cuyo propósito es aproximar toda la disipación de energía durante la respuesta de la estructura a la acción dinámica. El mecanismo de disipación es bastante complejo y en la actualidad no se comprende totalmente. Para considerar las fuerzas de amortiguamiento en el análisis de sistemas estructurales, es necesario introducir simplificaciones, basadas en la experiencia, en cuanto a su naturaleza. Es muy común asumir que la matriz de amortiguamiento es una combinación lineal de las matrices de masas y rigideces, conocido este amortiguamiento como el "amortiguamiento de Rayleigh" (Ref. 6 y 15), de la forma:

$$C = \alpha M + \mu K \quad (5.1.3)$$

Donde:

α y μ son parámetros que son función de los amortiguamientos críticos y frecuencias para los diversos modos de vibrar de la estructura.

MÉTODOS DE SOLUCIÓN.

Matemáticamente la ec. 5.1.1 representa un sistema lineal de ecuaciones diferenciales de segundo orden y la solución del sistema puede obtenerse por la aplicación de los procedimientos clásicos para la solución de ecuaciones diferenciales con coeficientes constantes.

Sin embargo, los métodos de solución para sistemas generales de ecuaciones diferenciales pueden resultar ineficientes para sistemas estructurales; por tal razón se han desarrollado técnicas especiales que toman en cuenta algunas características de los coeficientes K, C y M, para mejorar la eficiencia del método de solución. Tales procedimientos se pueden dividir en dos clases de métodos: integración directa y superposición modal.

a) Los métodos directos se basan en dos ideas:

1. Se trata de satisfacer el equilibrio únicamente en puntos discretos dados a intervalos Δt , en vez de que se satisfaga para todo el tiempo t. Donde Δt se denomina paso de integración.
2. La variación de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones dentro de cada intervalo Δt se supone conocida.

Las ideas anteriores conducen a métodos aproximados. La aproximación, estabilidad y costo de cada método depende de la variación que se elija.

Los métodos directos más comunes son:

- Diferencias centrales.
- Houbolt.
- Theta de Wilson.
- Beta de Newmark.
- Hilber.
- Argyris.

b) Método de superposición modal:

En el método de superposición modal se transforman las n ecuaciones diferenciales acopladas 5.1.1 en n sistemas de un solo grado de libertad. n es el número de grados de libertad.

El proceso de transformación se denomina desacoplamiento de las ecuaciones.

La transformación que se emplea en el desacoplamiento de las ecuaciones se establece mediante la solución de la ecuación 5.1.1 para el caso no amortiguado en vibración libre ($C=0$ y $F_E=0$), que conduce a resolver un problema de valores característicos.

El método de Newmark, es un método de integración directa, en éste se asume que los vectores de desplazamiento, velocidad y aceleración en el tiempo 0, U_0 , \dot{U}_0 y \ddot{U}_0 , son conocidos y la solución de la ecuación se encuentra del tiempo 0 al tiempo T. En las consideraciones de solución T es subdividido en n intervalos iguales $\Delta t = T/n$, (0, $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, t, t+\Delta t, \dots, T$), donde el tamaño del intervalo depende del método (Ref. 6).

Una observación importante es que el costo de un análisis de integración directa (el número de operaciones requeridas), es directamente proporcional al número de pasos requeridos para la solución, por lo que la selección de uno apropiado es de suma importancia.

El objetivo de la integración numérica de las ecuaciones de equilibrio es evaluar, con una buena aproximación, la respuesta dinámica de la estructura en estudio.

En muchos análisis la respuesta primaria se encuentra solamente en algunos modos de vibrar, donde T_p es el período de los principales modos de vibrar, y por esta razón solo los primeros modos son considerados en el análisis de superposición modal, por lo que se considera que el análisis puede ser eficiente si se toma:

$$\Delta t = T_p / 10 \quad (5.1.4)$$

5.2 METODO β DE NEWMARK.

5.2.1 DESARROLLO DEL METODO.

La ecuación de movimiento al establecer el equilibrio dinámico de un sistema discreto es:

$$M \ddot{U}(t) + C \dot{U}(t) + K U(t) = F_E \quad (5.2.1)$$

El término excitador está dado por el vector, F_E que está definido por:

$$F_E = -MJ\ddot{u}_g \quad (5.2.2)$$

Donde:

M es la matriz de masas.

J es un vector que indica la dirección del movimiento del terreno, respecto a la referencia del sistema.

\ddot{U}_0 es el vector de aceleraciones del terreno donde se desplanta el sistema, respecto a una referencia fija.

El método de Newmark, con base en el método de aceleración lineal, generaliza la variación de la aceleración relativa, al introducir dos parámetros adimensionales cuyos valores se definen de tal forma que el método resulta eficiente.

A continuación se presenta el método de aceleración lineal y después se describe la generalización propuesta por Newmark.

5.2.2 METODO DE LA ACELERACION LINEAL.

Al suponer la variación de la aceleración relativa asociada a cada grado de libertad del sistema, como una función lineal a lo largo del intervalo de integración $\{t_0, t_1\}$, se tiene, de acuerdo a la fig. 5.1:

$$\ddot{U}_\tau = \ddot{U}_0 + \frac{\tau}{\Delta t} (\ddot{U}_1 - \ddot{U}_0) \quad (5.2.3)$$

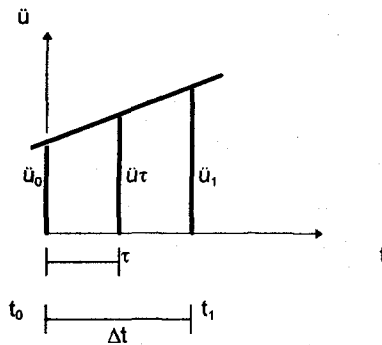


Figura 5.1 Gráfica de la aceleración lineal.

Donde:

$\tau \in \{t_0, t_1\}$, τ es el tiempo dentro del intervalo.

Al integrar sucesivamente la ecuación 5.2.3, con las condiciones iniciales:

$$\dot{U}_\tau \Big|_{\tau=t_0} = \dot{U}_0 \quad ; \quad U_\tau \Big|_{\tau=t_0} = U_0 \quad ;$$

Se obtiene:

$$\dot{U}_\tau = \dot{U}_0 + \tau \ddot{U}_0 + \frac{\tau^2}{2 \Delta t} (\ddot{U}_1 - \ddot{U}_0) \quad (5.2.4)$$

$$U_\tau = U_0 + \tau \dot{U}_0 + \frac{\tau^2}{2} \ddot{U}_0 + \frac{\tau^3}{6 \Delta t} (\ddot{U}_1 - \ddot{U}_0) \quad (5.2.5)$$

Las expresiones 5.2.4 y 5.2.5 son las ecuaciones predictoras implícitas en \ddot{U}_1 .

Para $\tau = \Delta t$, las ecuaciones 5.2.3 a 5.2.5 en función de t_1 son:

$$\ddot{U}_1 = \ddot{U}_1 \quad (5.2.6)$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0 + \frac{\Delta t}{2} (\ddot{U}_0 + \ddot{U}_1) \quad (5.2.7)$$

$$U_1 = U_0 + \Delta t \dot{U}_0 + \frac{\Delta t^2}{6} (\ddot{U}_1 + 2\ddot{U}_0) \quad (5.2.8)$$

La forma explícita de las ecuaciones predictoras requiere determinar las aceleraciones, \ddot{U}_1 , al final del paso. Para lo anterior se usa la ecuación de movimiento 5.2.1 para $t = t_1$.

Al sustituir las ecuaciones 5.2.6 a 5.2.8 en 5.2.1 se tiene:

$$M\ddot{U}_1 + C \left[\dot{U}_0 + \frac{\Delta t}{2} (\ddot{U}_0 + \ddot{U}_1) \right] + K \left[U_0 + \Delta t \dot{U}_0 + \frac{\Delta t^2}{6} (\ddot{U}_1 + 2\ddot{U}_0) \right] = F_{E1} \quad (5.2.9)$$

De la ecuación 5.2.9

$$\ddot{U}_1 = F (-Ca - Kb + F_{E1}) \quad (5.2.10)$$

Donde:

$$F = \left[M + \frac{\Delta t}{2} C + \frac{\Delta t^2}{6} K \right]^{-1} \quad (5.2.11)$$

$$a = \dot{U}_0 + \frac{\Delta t}{2} \ddot{U}_0 \quad (5.2.12)$$

$$b = U_0 + \Delta t \dot{U}_0 + \frac{\Delta t^2}{3} \ddot{U}_0 \quad (5.2.13)$$

Al sustituir la ec. 5.2.12 en 5.2.7 y la ec. 5.2.13 en 5.2.8 queda respectivamente:

$$\dot{U}_1 = a + \frac{\Delta t}{2} \ddot{U}_1 \quad (5.2.14)$$

$$U_1 = b + \frac{\Delta t^2}{6} \ddot{U}_1 \quad (5.2.15)$$

Al utilizar el criterio de Rayleigh para definir la matriz de amortiguamiento C se tiene:

$$C = \alpha M + \mu K \quad (5.2.16)$$

Y las ecuaciones 5.2.10 y 5.2.11 se transforman en:

$$\dot{U}_1 = G(-\alpha M a - K(\mu a + b) + F_{E1}) \quad (5.2.17)$$

Donde G se define:

$$G = \left[\left(1 + \frac{\Delta t}{2} \alpha \right) M + \left(\frac{\Delta t}{2} \mu + \frac{\Delta t^2}{6} \right) K \right]^{-1} \quad (5.2.18)$$

5.2.3 METODO GENERALIZADO DE NEWMARK

Newmark generaliza las ecuaciones predictorias 5.2.6 a 5.2.8 al introducir dos parámetros adimensionales β y γ como sigue:

$$\ddot{U}_1 = \ddot{U}_1 \quad (5.2.19)$$

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_0 + \Delta t(1 - \gamma)\ddot{U}_0 + \Delta t\gamma\ddot{U}_1 \quad (5.2.20)$$

$$U_1 = U_0 + \Delta t \dot{U}_0 + \left[\frac{1}{2} - \beta \right] \Delta t^2 \ddot{U}_0 + \beta \Delta t^2 \ddot{U}_1 \quad (5.2.21)$$

El parámetro β está relacionado con la estabilidad del método y el parámetro γ con el amortiguamiento matemático.

Para el caso de $\beta = 1/6$ y $\gamma = 1/2$ se tienen las ecuaciones 5.2.6 a 5.2.8 del método de aceleración lineal.

Al sustituir las ecuaciones 5.2.19 a 5.2.21 en la ecuación de movimiento al final del paso y al despejar el valor \ddot{U}_1 se tiene:

$$\ddot{U}_1 = F (-Ca - Kb + F_{E1}) \quad (5.2.22)$$

Donde:

$$F = (M + \gamma \Delta t C + \beta \Delta t^2 K)^{-1} \quad (5.2.23)$$

$$a = \dot{U}_0 + (1 - \gamma) \Delta t \ddot{U}_0 \quad (5.2.24)$$

$$b = U_0 + \Delta t \dot{U}_0 + \left[\frac{1}{2} - \beta \right] \Delta t^2 \ddot{U}_0 \quad (5.2.25)$$

Al sustituir la expresión 5.2.16 en 5.2.22 y 5.2.23 se tiene:

$$K \ddot{U}_1 = r \quad (5.2.26)$$

Donde:

$$K = (1 + \gamma \Delta t \alpha) M + (\gamma \Delta t \mu + \beta \Delta t^2) K \quad (5.2.27)$$

$$y \quad r = -\alpha M a - K(\mu a + b) + F_{E1} \quad (5.2.28)$$

Al resolver la ec. 5.2.26, las ecuaciones 5.2.20 y 5.2.21 se escriben en forma explícita como sigue:

$$\ddot{U}_1 = a + \gamma \Delta t \ddot{U}_1 \quad (5.2.29)$$

$$U_1 = b + \beta \Delta t^2 \ddot{U}_1 \quad (5.2.30)$$

5.3 ALGORITMO NUMERICO.

Las expresiones 5.2.19 a 5.2.25 conducen al siguiente algoritmo numérico.

1) Se determinan las constantes

$$E_0 = \gamma \cdot \Delta t \quad (5.3.1)$$

$$E_1 = \beta \cdot \Delta t^2 \quad (5.3.2)$$

$$E_{k1} = 1 + E_0 \cdot \alpha \quad (5.3.3)$$

$$E_{k2} = E_0 \cdot \mu + E_1 \quad (5.3.4)$$

$$E_{A1} = \Delta t - E_0 \quad (5.3.5)$$

$$E_{B1} = (0.5 - \beta) \cdot \Delta t^2 \quad (5.3.6)$$

2) Se calcula la matriz K

$$\underline{K} = E_{k1} \cdot M + E_{k2} \cdot K \quad (5.3.7)$$

3) Se trianguliza \underline{K}

Para cada paso de la siguiente forma:

4) Determinar los vectores

$$\underline{a} = \underline{U}_0 + E_{A1} \cdot \underline{U}_0 \quad (5.3.8)$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \Delta t \underline{U}_0 + E_{B1} \cdot \underline{U}_0 \quad (5.3.9)$$

$$\underline{r} = -\underline{U}_0 \underline{J} M - \alpha \cdot M \cdot \underline{a} - K(\mu \underline{a} + \underline{b}) \quad (5.3.10)$$

5) Resolver el sistema de ecuaciones

$$\underline{K} \underline{U}_1 = \underline{r} \quad (5.3.11)$$

6) Obtener los vectores:

$$\dot{U}_1 = \underline{a} + E_0 \cdot \ddot{U}_1 \quad (5.3.12)$$

$$U_1 = \underline{b} + E_1 \cdot \ddot{U}_1 \quad (5.3.13)$$

5.4 PROCESO DE SOLUCION.

Al considerar el método de solución paso a paso y sistematizarlo para posteriormente elaborar un programa de cómputo, se propone la siguiente secuencia de cálculo:

1. Tener definida la estructura para analizar, se efectúa la discretización de la misma, numerando nodos y barras así como un sistema de referencia global y tener los datos de geometría y tipo de material y sus condiciones de frontera, en resumen, tener definidos los datos del problema.
2. Se procede a calcular la matriz de rigideces de cada barra con la ec. 2.2.1
3. Se calcula la matriz de masas de cada barra con la ec. 2.3.1
4. Se calcula la matriz de transformación, con la ec. 2.2.2.3, de cada barra de acuerdo a las coordenadas de referencia global.
5. Se obtiene la matriz de rigideces de cada barra en la referencia global, ec. 2.2.3
6. Se calcula la matriz de masas de cada barra en la referencia global, ec. 2.3.2
7. Se obtiene la matriz de rigideces de la estructura, ec. 3.2.1
8. Se obtiene la matriz de masas de la estructura, ec. 3.3.1
9. Se define el acelerograma a utilizar, con el incremento de tiempo adecuado (capítulo 4).
10. Con la información de los incisos 7, 8 y 9 se aplica el método β de Newmark ec. 5.3.1 a la ec. 5.3.13 y se obtienen los desplazamientos, velocidades y aceleraciones.
11. Calcular los desplazamientos promedios con el criterio de Rosenblueth (Ref. 8 y 9), en el cuál el promedio de la respuesta es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los desplazamientos en este caso, en cada paso de la historia a analizar, es decir:

$$u_{\text{prom}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{np} u_i^2} \quad (5.4)$$

Donde:

- U_{prom} = vector de desplazamientos promedio de Rosenblueth.
- U_i = vector de desplazamiento en el paso de integración i
- np = número de pasos o registros del acelerograma.

El promedio obtenido con Rosenblueth es mayor, aproximándose al doble, que una media aritmética.

6. PROGRAMA DE COMPUTADORA.

6.1 CONCEPTOS GENERALES.

CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA.

El programa de computadora que en este trabajo se presenta se llevó a cabo mediante la técnica de la programación modular, en la que se tienen varios módulos principales, con sus respectivas subrutinas, que interactúan entre sí desarrollando funciones propias para resolver partes particulares del problema general que al integrarlas se llega a la solución final. Esta técnica de trabajo es muy conveniente en la elaboración de programas complejos, ya que al estar dividido en subprogramas o subrutinas, éstas se pueden elaborar, probar, corregir y refinar por separado e incluso por diferentes programadores.

El programa en general tiene las siguientes características:

- Dada una armadura bidimensional, efectúa el análisis mediante el procedimiento de solución del método dinámico paso a paso β de Newmark y se obtienen los desplazamientos en los puntos nodales.
- El programa al pedir los datos, trabaja en forma interactiva con opción a corregir datos.
- Está organizado en forma modular mediante subrutinas.
- El programa se encuentra dividido en varios módulos principales:
El Preprocesador, el Procesador 1, el Procesador 2 y el Procesador 3.
- Genera un archivo de datos y resultados en código ASCII para mandarse a imprimir directamente a impresora a partir del sistema operativo.

En la tabla 6.1 se presentan algunas características de los programas desarrollados, apartando el Procesador 2, que es un programa empleado solamente para ver en pantalla la gráfica de los puntos de un acelerograma, pero que no influye para nada en el desarrollo del análisis ni en los resultados obtenidos.

Tabla 6.1 Principales características de los programas.

LENGUAJE	NOMBRE DEL PROGRAMA	ACCION QUE EJECUTA	ARCHIVOS LECTURA	ARCHIVOS GENERADOS	N° DE LINEA
Q-BASIC 4.5	PREDIN.EXE	Captura los datos iniciales del problema	Ninguno	-De datos* -Titulo.	420
FORTRAN 5.0	PROCES1.EXE	Calcula las matrices K y M de la armadura	De datos*	De Matrices* K y M	329
FORTRAN 5.0	BETA1.EXE	Calcula los desplazamientos por el método β de Newmark	- De Matrices K y M * -Acelerograma* - Titulo	De * Desplazamientos	332

(*) es el nombre del archivo que se elija para el ejemplo

6.2 PREPROCESADOR.

6.2.1 ORGANIZACION DEL PROGRAMA.

El Preprocesador está hecho en lenguaje QuickBasic y es el programa con el cuál se alimenta a la computadora de los datos generales de la armadura que se va a analizar. Su principal objetivo es el de almacenar los datos de la estructura en un archivo en disco, para poder ser empleados cualquier número de veces en problemas subsecuentes. El Preprocesador se ejecuta desde el QuickBasic con el nombre de Predin.Bas y da la opción de poder asignar cualquier nombre al archivo de datos que se origina y direccionarlo a una unidad de disco que el usuario elija.

Este programa guarda los datos en dos formas, uno como archivo para ser leído por el procesador 1 con el nombre que se desee y otro con el mismo nombre más un número 1 (uno) al final para poder ver los datos en pantalla en forma ordenada cada vez que se mande llamar.

Por ejemplo, si se elige como nombre del archivo a "DESPLA", el programa crea el archivo adicional para ser leído en forma ordenada con el nombre "DESPLA1".

El programa pide también un título con el cual se puede identificar el problema a analizar y lo guarda en un archivo con el nombre "Titulo. ". Este archivo sólo es utilizado como etiqueta que al ser abierto mas adelante por otro programa (en este caso por el Procesador 3), solo indica el título que se le dio al problema.

El programa Predin.Bas (Preprocesador) contiene las siguientes subrutinas:

- TIT4.- Despliega un letrero con el nombre del programa en pantalla.
- ENCABEA.- Despliega en pantalla un encabezado o presentación.
- NOMARCHI.- Se da el nombre del archivo en que se van a guardar los datos del problema.
- ARCHI.- Sirve para abrir y cerrar archivos.
- ARCHIP.- Abre y cierra el archivo de datos para ser leído en pantalla.
- DATAR.- Se dan los datos iniciales del problema.
- PUNA.- Se dan los datos de los puntos nodales.
- CONFRA.- Se dan las condiciones de frontera de puntos nodales.
- SEC1.- Se dan los datos de las secciones transversales.
- MATA.- Se dan los tipos de materiales.
- CARBA.- Se dan los datos de las barras.
- DAT11.- Guarda en archivo los datos iniciales de la armadura.
- DAT12.- Guarda en archivo los datos de los puntos nodales.
- DAT13.- Guarda en archivo los datos de las barra.
- DAT14.- Guarda en archivo los datos de las secciones.
- DAT15.- Guarda en archivo los datos de los materiales.

6.2.2 MANUAL DEL USUARIO.

Para iniciar el preprocesador se necesita dar a la computadora los siguientes datos:

A) NOMBRE DEL ARCHIVO.

El programa pregunta el nombre del archivo en donde el usuario desea guardar los datos del problema. Existe una restricción por la cuál el nombre no debe exceder de cinco caracteres y después pregunta la dirección o unidad de disco donde se va a almacenar.

B) DATOS INICIALES.

- 1.- Título
- 2.- Número de puntos nodales
- 3.- Número de puntos con condiciones de frontera
- 4.- Número de barras
- 5.- Número de secciones transversales
- 6.- Número de materiales

Notas de los puntos enumerados arriba:

- 1.- Se indica un nombre para identificar el problema a tratar.
- 2.- Se proporciona el número de nodos que tiene la armadura.
- 3.- Se proporciona el número de nodos que son restringidos de movimiento.
- 4.- Se da el número de barras de la estructura.
- 5.- Se da el número de secciones transversales que tiene la estructura.
- 6.- Se indica el número de materiales diferentes que se tiene en la armadura.

C) DATOS DE LOS PUNTOS NODALES.

En esta parte se proporcionan las coordenadas de los puntos nodales de la siguiente manera:

- 1.- Abscisa del punto nodal (con respecto al sistema de referencia global de la armadura).
- 2.- Ordenada del punto nodal (con respecto al sistema de referencia global también).

El número de datos que se dan aquí dependen del total de puntos nodales de la estructura, el programa pregunta en grupos de diez en forma secuencial dichos puntos con opción a corregir el dato. Estos datos se dan en centímetros.

D) DATOS DE LAS CONDICIONES DE FRONTERA.

En el caso de armaduras planas, cada nodo tiene dos grados de libertad, un desplazamiento en dirección x, y un desplazamiento en dirección y. Cada punto debe tener una condición de desplazamiento, puede ser desplazamiento cero o desplazamiento libre. Aquí

se van a definir los puntos nodales que tienen desplazamiento cero en alguna de las direcciones, mediante el siguiente código:

- 1 => Desplazamiento cero
- 2 => Desplazamiento libre

Con este código se definen los puntos nodales restringidos que generalmente coinciden con ser puntos frontera de la estructura. El número de datos depende del total de puntos nodales restringidos de desplazamiento, el programa los pide en grupos de diez. La forma en como pide los datos es la siguiente:

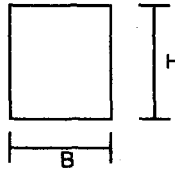
- 1.- Número de nodo.
- 2.- Desplazamiento en la dirección x.
- 3.- Desplazamiento en la dirección y.

E) DATOS DE SECCIONES TRANSVERSALES.

El programa pide esta información de acuerdo al siguiente catálogo:

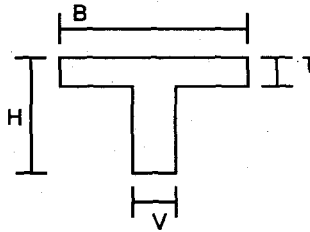
SECCION TIPO RECTANGULAR

- D1 = 1
- D2 = B
- D3 = H
- D4 = 0
- D5 = 0



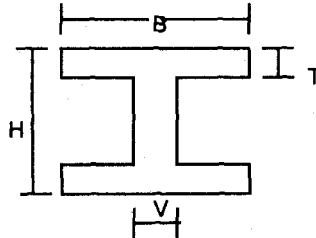
SECCION TIPO T

- D1 = 2
- D2 = B
- D3 = H
- D4 = V
- D5 = T



SECCION TIPO I

- D1 = 3
- D2 = B
- D3 = H
- D4 = V
- D5 = T



SECCION TIPO ESPECIAL

D1 = 4

D2 = AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL

D3 = 0

D4 = 0

D5 = 0

El programa necesita estos datos en el orden como aquí se indican y en centímetros, en caso de tener una sección que no se encuentre en este catálogo se tiene la opción de la sección tipo especial, en la que en lugar de dar las dimensiones sólo se da el área de la sección.

F) DATOS DE MATERIALES.

Los datos que se le deben de proporcionar al programa es el módulo de elasticidad en kg/cm^2 , el coeficiente de Poisson y el peso volumétrico, en kg/cm^3 , de cada material que forme parte de la armadura, a cada material se le asigna un número en forma secuencial con el cuál se le va a identificar para indicar de que material es cada barra, cuando se den los datos de éstas. El número de datos depende del número de materiales diferentes de las barras, el programa los pide en grupos de diez en forma secuencial.

G) DATOS DE LAS BARRAS.

En esta parte se le debe de dar al programa los datos de cada barra en forma secuencial de acuerdo a una enumeración de las mismas, y para cada una se da:

- 1.- Punto nodal i
- 2.- Punto nodal j
- 3.- Tipo de sección transversal
- 4.- Tipo de material

Notas:

1. Cada barra queda definida por dos puntos nodales en sus extremos, en este dato se da el punto nodal inicial (i). (Fig. 2.1)
2. En este dato se da el punto nodal final (j). (Fig. 2.1).
3. Aquí se indica el tipo de sección transversal que tiene la barra de acuerdo al catálogo del inciso E).
4. Se indica el tipo de material de la barra, según se defina en F).

6.3 PROCESADOR 1

6.3.1 ORGANIZACION DEL PROGRAMA.

El procesador 1, que está hecho en lenguaje Fortran, es el segundo programa del sistema y se encarga de abrir el archivo de datos generado por el preprocesador y calcular las matrices de Rigideces y de Masas de la Estructura. El proceso que sigue es el de leer los datos almacenados previamente, calcular las propiedades geométricas de las secciones transversales diferentes que componen la estructura, calcular las longitudes y cosenos directores de las barras, hacer la transformación de las matrices de coordenadas locales a globales y ensamblarlas en la matriz de la Estructura. Una vez calculadas las matrices el usuario puede seleccionar un nombre para el archivo y la unidad de disco donde se desee almacenar.

Este programa, que tiene el nombre de Proces1.For, trabaja con memoria dinámica, la cuál consiste en dimensionar un vector, que para este caso se le denominó como vector A, el cuál va a ser la única unidad de almacenamiento de datos en la memoria de la computadora y que va a contener todos los datos de la estructura; en una primera parte, los datos iniciales que son los que se guardaron en el preprocesador y que aquí son leídos y guardados en dicho vector, y en una segunda parte, contendrá los datos obtenidos de los cálculos que el procesador realiza hasta tener las matrices de rigideces y de masas de la estructura. Esta memoria dinámica se revisa después de ser leídos los datos iniciales y posteriormente después que se calcula el indicador del número de ecuaciones que se tendrán que resolver para llegar a la solución y que rige las dimensiones de las matrices de la armadura en cuestión. La memoria dinámica es bastante útil en este tipo de programas, ya que mediante estas revisiones de ella, al ser abortado el programa o presentarse otro tipo de problema, el usuario puede saber si se trata de capacidad de memoria o de otra clase de error.

Todo este proceso lo realiza mediante las siguientes subrutinas que son las que lo componen:

ABRIRA.- Abre el archivo de datos generado en el preprocesador o el archivo donde se desea guardar los resultados.

DATOS.- Lee los datos iniciales de la armadura (datos generales).

REVISAR.- Revisa el dimensionamiento de la memoria dinámica, comparando el dimensionamiento del vector A, con el dimensionamiento usado por los datos y/o por los resultados.

LECAR.- Lee los datos particulares de las partes componente de la armadura.

FINAR.- Cierra el archivo de datos.

PROPIEA.- Calcula las propiedades geométricas de las secciones.

INDICA.- Numera el indicador de ecuación e indica el número de ecuaciones a resolver.

RIMA.- Es una subrutina del procesador 1 que calcula datos de cada barra iterando barra por barra a través de otras subrutinas, que son las que a continuación se enlistan:

CALXLA.- Calcula la longitud de cada barra así como el ángulo que se forma entre la referencia local de la barra y la referencia global de la estructura, y también el seno y coseno de dicho ángulo.

MATRIA.- Calcula la matriz de rigideces de cada barra en referencia local y global.

IEDA.- Calcula el indicador de ecuación de cada barra.

ENSAMBLA.- Realiza el ensamble de la matriz de rigideces de la estructura.

MATRIB.- Calcula la matriz de masas de cada barra en referencia local y global.

ENSAMM.- Realiza el ensamble de la matriz de masas de la estructura.

IMATR1.- Imprime en pantalla una matriz de N renglones por N columnas en bloques de 5x5 elementos.

Por último, el programa guarda en un arreglo columnar el número de nodos de la armadura, el número de ecuaciones que resultaron, a continuación los números indicadores de ecuaciones y por último los datos de las matrices de Rigideces y de Masas que van a ser leídos por el programa Beta1.Exe.

6.3.2 MANUAL DEL USUARIO.

Esta parte del sistema es bastante sencilla de ejecutar y fue uno de los objetivos de la programación modular, logrando realizar cálculos rápidos y fácil de manejar.

El usuario debe mandar a llamar el programa con el nombre de PROCES1.Exe desde el disco donde se localice, y a continuación el programa pide la dirección y el nombre del archivo de datos que se guardaron en el Preprocesador, y con eso, el programa realiza la ejecución del procedimiento mediante las subrutinas arriba mencionadas efectuando los cálculos necesarios y generando el archivo de resultados, que contiene los datos de las Matrices de Rigideces y de Masas que necesita el Procesador 3, dando la opción de asignarle un nombre y un direccionamiento deseado.

6.4 PROCESADOR 2

6.4.1 ORGANIZACION DEL PROGRAMA.

El procesador 2, que es el Acegraf (Sistema de Graficación de Acelerogramas) es un programa de microcomputadora cuya finalidad es la de producir gráficas de los registros de acelerógrafos, que como su nombre lo indica, miden las aceleraciones del terreno durante temblores intensos, cuyas gráficas se denominan Acelerogramas. Este sistema fue diseñado para apoyar a investigadores, profesores y estudiantes que efectúen diseño y análisis de Estructuras. Utiliza un ambiente de comunicación entretenido y fácil de emplear, a través de un diálogo interactivo con menús, ventanas y plantilla de recopilación de datos.

El programa fue realizado por el Lic. en Matemáticas Aplicadas y Computación Oscar Alejandro González Bustamante, como trabajo de Investigación, por lo que aquí solo se hace mención del sistema y no se incluye el listado del mismo, para lo cuál puede consultarse la referencia 11, ya que realmente lo que interesa son los valores de las aceleraciones convertidas en código ASCII, que son los que necesita el Procesador 3, Beta1.Exe.

6.4.2. MANUAL DEL USUARIO.

El programa Acegraf puede ser corrido desde la unidad en que se tenga cargado, la pantalla actual se borrará y aparece primero una pantalla de presentación. El programa tiene un menú principal el cual se encuentra en la parte superior de la pantalla y siempre esta presente para proporcionar una forma de saber exactamente qué parte del programa se está ejecutando. La interacción entre el usuario y el programa se lleva a cabo mediante opciones ejecutadas con la ayuda de menús desplegables con estructura arborecente. Un menú arborecente posee varios niveles, de los cuales cada uno constituye una subdivisión del nivel superior dando opciones muy fáciles de ejecutar.

6.5 PROCESADOR 3

6.5.1. ORGANIZACION DEL PROGRAMA.

El procesador 3, llamado Beta.For es el programa del método β de Newmark, elaborado en lenguaje Fortran 5.0, este programa necesita como datos para poder realizar el cálculo que tiene como función dentro del sistema, en primer lugar, el archivo de disco donde se encuentran almacenados los resultados del Procesador 1, que contiene el número de nodos de la armadura, el número de ecuaciones por resolver, los indicadores de ecuaciones, las matrices de Rigideces y de Masas (K y M respectivamente); posteriormente lee el archivo donde se encuentra la información del acelerógrafo (número de datos, incremento de tiempo y los valores de las aceleraciones) y por último las constantes γ , β , α y μ , que son leídas desde el teclado. El proceso comienza siguiendo los pasos mencionados en el algoritmo numérico en el Cap. 5, obteniendo las aceleraciones de los grados de libertad de la estructura y por último se calculan las velocidades y desplazamientos de los dichos grados de libertad; este proceso se repite para el número de puntos que se tenga en la lectura del acelerógrafo. Una vez que se ejecutan todos los pasos de integración, el programa realiza un promedio de los desplazamientos aplicando el criterio de Rosenbluth y por último calcula los desplazamientos promediados por cada nudo de la armadura.

Cabe mencionar que este procesador abre el archivo llamado "Titulo. " que se guarda en el Preprocesador para imprimirlo como título del problema en los resultados obtenidos, por lo que debe estar almacenado en la unidad de disco donde se encuentran las matrices de masas y de rigideces de la estructura.

El programa contiene las siguientes subrutinas para llevar a cabo el proceso anterior:

ABRIRA.- Abre los archivos de datos necesarios o de resultados de los cálculos realizados.

BETANE.- Realiza las iteraciones paso a paso del método β de Newmark para el cálculo de las aceleraciones, velocidades y desplazamientos y calcula al final los desplazamientos promediados por cada nudo, empleando para ello las siguientes subrutinas:

IMATR.- Imprime en archivo una matriz de $N \times N$ en bloques de 5 columnas x N renglones.

TGCSIM.- Triangula una matriz cuadrada por el método de Gauss-Crout.

MULMAT.- Realiza la multiplicación de matrices.

SGCSIM.- Realiza las sustituciones para el método de Gauss-Crout.

Por último el programa guarda en un archivo los desplazamientos obtenidos de cada nodo de la armadura.

6.5.2. MANUAL DEL USUARIO.

El manejo del programa β de Newmark es sencillo y rápido ya que utiliza información que se encuentra almacenada en discos. Para ejecutar el programa, éste se debe de llamar desde la unidad en que se tenga cargado, con el nombre de Beta1.Exe, y a continuación el programa solicita los datos que necesita de la siguiente manera: el archivo de las matrices de Rigideces y de Masas, dando opción de seleccionar la dirección y el nombre donde se encuentran almacenados estos datos. Se recuerda que en este archivo también se encuentran el número de nodos de la estructura y los indicadores de ecuaciones, los cuáles son utilizados para encontrar, al final, los desplazamientos por nodos.

Después, el programa solicita el nombre o una referencia del sismo empleado, esto sólo para efectos de control de las impresiones que se quieran hacer de los resultados obtenidos, como información del evento empleado para llegar a esos resultados. Posteriormente, el programa requiere la información del acelerograma de ese sismo, dando la dirección y el nombre donde se encuentra.

A continuación, da la opción de elegir, tanto la unidad donde se quiere guardar el archivo de resultados obtenidos de los cálculos hechos por el procesador, como su nombre.

Después de ésto el programa realiza una revisión de la memoria dinámica, informando cuál es el estado de la misma y pregunta si se desea realizar o no el cálculo.

Si se elige que no, el programa termina allí, de lo contrario continúa pidiendo las cuatro constantes que son γ , β , α y μ , para finalmente llevar a cabo las operaciones por medio de las subrutinas antes mencionadas y llegar a los resultados.

El procesamiento de datos depende del número de ecuaciones que se tengan que resolver de acuerdo al indicador de ecuaciones y del número de puntos del acelerograma, que está en función del incremento del tiempo elegido.

Los resultados son las aceleraciones, velocidades y desplazamientos de los grados de libertad para cada punto del acelerograma, el promedio de los desplazamientos de dichos grados de libertad con el criterio de Rosenblueth y por último los desplazamientos promedio de cada nodo de la armadura, almacenando los resultados en el archivo con el nombre que el usuario haya elegido.

7.- EJEMPLO NUMERICO.

En el este capítulo se presentan dos ejemplos que se realizaron corriendo los programas mencionados anteriormente y llevando a cabo cada uno de los pasos que se comentan a lo largo del capítulo 6, sus resultados han sido comprobados con ejercicios solucionados manualmente, probando cada etapa de cada uno de los programas que componen el sistema del presente trabajo.

Se presenta en la siguiente forma para cada ejemplo:

1. Información general del ejemplo (codificación de los datos).
2. Impresión de resultados del sistema de computadora.
3. Figura de la armadura que se empleo como ejemplo con sus dimensiones.

7.1 EJEMPLO UNO.

Se trata de una armadura plana, a la que se le llamó Armadura plana "A", como se indica en la Fig. 7.1, para la cuál se define un sistema de referencia global de la estructura, donde se muestran sus dimensiones así como las secciones que la componen, la numeración de los nodos y de las barras y se efectúa el procedimiento para definir la información general de la misma como datos iniciales para el programa.

7.1.1 CODIFICACION DE LOS DATOS.

La codificación de los datos, de acuerdo como se indicó en el manual del usuario del preprocesador en el capítulo 6, se aprecia en la tabla 7.1 y aparecen como se guardan en archivo durante la corrida del programa para ser leídos en pantalla cuando se desee.

7.1.2 RESULTADOS DEL EJEMPLO.

Una vez definidos todos los datos de la armadura se corre el programa o procesador 1 y posteriormente el procesador 3, dejando como opción la corrida del procesador 2, llegando finalmente a los resultados del ejemplo.

Cabe mencionar que la armadura de este ejemplo se corrió con cinco archivos diferentes de aceleraciones del mismo sismo, el ocurrido el 14 de septiembre de 1995, en el intervalo de 40 a 60 segundos, en los que únicamente se cambió el Δt y por lo tanto, el número de puntos, esto es:

- Registro con un $\Delta t = 1.0$ seg. y 21 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.5$ seg. y 41 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.2$ seg. y 101 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.15$ seg. y 135 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.1$ seg. y 201 puntos.

En las tablas (7.2), (7.3), (7.4), (7.5) y (7.6) aparecen los desplazamientos de la armadura para cada uno de los registros anteriores respectivamente.

7.2 EJEMPLO DOS

Se trata de una armadura plana, a la que se le llamó Armadura plana "B", como se indica en la Fig. 7.2 donde se muestran sus dimensiones, las secciones que la componen, se indica la referencia global de la estructura y la numeración de los nodos y de las barras, y se lleva a cabo el mismo procedimiento para proporcionar los datos que para el ejemplo uno.

7.2.1 CODIFICACION DE LOS DATOS.

De acuerdo al manual del usuario del preprocesador descrito en el capítulo 6, se definen los datos iniciales de la armadura, los cuáles aparecen en la tabla 7.7 como los guarda en archivo el programa.

7.2.2 RESULTADOS DEL EJEMPLO.

Una vez definidos todos los datos de la armadura se corre el programa o procesador 1 y posteriormente el procesador 3, dejando como opción la corrida del procesador 2, llegando finalmente a los resultados del ejemplo.

A la armadura de este ejemplo se le aplicaron también los cinco archivos diferentes de aceleraciones del mismo sismo mencionado anteriormente:

- Registro con un $\Delta t = 1.0$ seg. y 21 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.5$ seg. y 41 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.2$ seg. y 101 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.15$ seg. y 135 puntos.
- Registro con un $\Delta t = 0.1$ seg. y 201 puntos.

En las tablas (7.8), (7.9), (7.10), (7.11) y (7.12) aparecen los desplazamientos nodales respectivos para cada archivo de este ejemplo.

Tabla 7.1 Datos de la armadura plana "A"

```

*****
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS PLANAS
POR EL METODO BETA DE NEWMARK
FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P
PROGRAMA PREDIN VERSION 01-96
*****
    
```

ARMADURA PLANA "A"

DATOS INICIALES

- 1.NO. DE NODOS = 4
- 2.NO. DE CONDICIONES FRONTERA = 2
- 3.NO. DE ELEMENTOS = 5
- 4.NO. DE SECCIONES TRANSVERSALES = 1
- 5.NO. DE MATERIALES = 1

PUNTOS NODALES

NODO	X	Y	DX	DY
1	0.00	300.00	2	2
2	500.00	300.00	2	2
3	0.00	0.00	1	1
4	500.00	0.00	1	1

BARRAS

No.	NODO I	NODO J	SECCION	MATERIAL
1	1	2	1	1
2	3	1	1	1
3	4	2	1	1
4	4	1	1	1
5	3	2	1	1

SECCIONES TRANSVERSALES

No.	D1	D2	D3	D4	D5
1	1	30 00	60.00	0.00	0.00

MATERIALES

NO.	E	NU	PV
1	2000000.000	0.200	0.00785000

Tabla 7.2 Desplazamiento para un Dt=1.00 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)

ARMADURA PLANA "A"

NUMERO DE ECUACIONES = 4

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=1
Numero de Registros = 21
Incremento de Tiempo = 1.000 Seg
Tiempo de Estudio = 21.000 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:

Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:

Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:

DAT = 1.00000
DAT2= 1.00000
EO = .50000
E1 = .25000
EK1 = 1.00000
EK2 = .25000
EA1 = .50000
EB1 = .25000

PROMEDIO DE ROSENBLUETH

1	4.638823E-05
2	2.229402E-05
3	4.253051E-05
4	4.529238E-06

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	4.63882E-05	2.22940E-05
2	4.25305E-05	4.52924E-06
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00

Tabla 7.3 Desplazamientos para un Dt=0.50 Seg.

```

*****
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)
*****

```

ARMADURA PLANA "A"

```

NUMERO DE ECUACIONES = 4

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.5
Numero de Registros = 41
Incremento de Tiempo = .500 Seg
Tiempo de Estudio = 20.500 Seg

```

```

CONSTANTES DE INTEGRACION:
Gama = .50
Beta = .25

```

```

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:
Alfa = .00
Nu = .00

```

```

COEFICIENTES DE INTEGRACION:
DAT = .50000
DAT2= .25000
EO = .25000
E1 = .06250
EK1 = 1.00000
EK2 = .06250
EA1 = .25000
EB1 = .06250

```

PROMEDIO DE ROSENBLUETH

```

1 6.654234E-05
2 3.197236E-05
3 6.101133E-05
4 6.493121E-06

```

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	6.65423E-05	3.19724E-05
2	6.10113E-05	6.49312E-06
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00

Tabla 7.4 Desplazamientos para un Dt=0.20 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)

ARMADURA PLANA "A"

NUMERO DE ECUACIONES = 4

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.2
Numero de Registros = 101
Incremento de Tiempo = .200 Seg
Tiempo de Estudio = 20.200 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:

Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:

Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:

DAT = .20000
DAT2= .04000
EO = .10000
E1 = .01000
EK1 = 1.00000
EK2 = .01000
EA1 = .10000
EB1 = .01000

PROMEDIO DE ROSENBLUETH

1	1.062643E-04
2	5.094487E-05
3	9.746313E-05
4	1.032180E-05

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	1.06264E-04	5.09449E-05
2	9.74631E-05	1.03218E-05
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00

Tabla 7.5 Desplazamientos con un Dt=0.15 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS)

ARMADURA PLANA "A"

NUMERO DE ECUACIONES = 4
EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.15
Numero de Registros = 135
Incremento de Tiempo = .150 Seg
Tiempo de Estudio = 20.250 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:
Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:
Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:
DAT = .15000
DAT2= .02250
EO = .07500
E1 = .00563
EK1 = 1.00000
EK2 = .00563
EA1 = .07500
EB1 = .00563

PROMEDIO DE ROSENBLUETH

1	1.223974E-04
2	5.876656E-05
3	1.122386E-04
4	1.193156E-05

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	1.22397E-04	5.87666E-05
2	1.12239E-04	1.19316E-05
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00

Tabla 7.6 Desplazamientos con un Dt=0.10 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)

ARMADURA PLANA "A"

NUMERO DE ECUACIONES = 4

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.1

Numero de Registros = 201

Incremento de Tiempo = .100 Seg

Tiempo de Estudio = 20.100 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:

Gama = .50

Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:

Alfa = .00

Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:

DAT = .10000

DAT2= .01000

EO = .05000

E1 = .00250

EK1 = 1.00000

EK2 = .00250

EA1 = .05000

EB1 = .00250

PROMEDIO DE ROSENBLUETH

1 1.507738E-04

2 7.221343E-05

3 1.383436E-04

4 1.486102E-05

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	1.50774E-04	7.22134E-05
2	1.38344E-04	1.48610E-05
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00

Tabla 7.7 Datos de la armadura plana "B"

 PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS PLANAS
 POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO

U . P . A . E . P .

PROGRAMA PREDIN VERSION 01-96

ARMADURA PLANA "B"

DATOS INICIALES

- 1.NO. DE NODOS = 10
- 2.NO. DE CONDICIONES FRONTERA = 2
- 3.NO. DE ELEMENTOS = 17
- 4.NO. DE SECCIONES TRANSVERSALES = 1
- 5.NO. DE MATERIALES = 1

PUNTOS NODALES

NODO	X	Y	DX	DY
1	0.00	0.00	1	1
2	0.00	300.00	2	2
3	300.00	300.00	2	2
4	300.00	0.00	2	2
5	600.00	300.00	2	2
6	600.00	0.00	2	2
7	900.00	0.00	2	2
8	900.00	300.00	2	2
9	1200.00	0.00	1	1
10	1200.00	300.00	2	2

BARRAS

No.	NODO I	NODO J	SECCION	MATERIAL
1	2	3	1	1
2	3	5	1	1
3	5	8	1	1
4	8	10	1	1
5	1	2	1	1
6	1	3	1	1
7	4	3	1	1
8	4	5	1	1
9	6	5	1	1
10	7	5	1	1
11	7	8	1	1
12	9	8	1	1
13	9	10	1	1
14	1	4	1	1
15	4	6	1	1
16	6	7	1	1
17	7	9	1	1

SECCIONES TRANSVERSALES

No.	D1	D2	D3	D4	D5
1	1	20.00	40.00	0.00	0.00

MATERIALES

NO.	E	NU	PV
1	2000000.000	0.200	0.00785000

Tabla 7.8 Desplazamientos con un Dt=1.00 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)

ARMADURA PLANA "B"

NUMERO DE ECUACIONES = 16

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=1.0
Numero de Registros = 21
Incremento de Tiempo = 1.000 Seg
Tiempo de Estudio = 21.000 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:

Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:

Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:

DAT = 1.00000
DAT2= 1.00000
EO = .50000
E1 = .25000
EK1 = 1.00000
EK2 = .25000
EA1 = .50000
EB1 = .25000

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	3.66994E-05	6.79802E-06
3	2.99015E-05	1.62935E-04
4	4.91692E-05	2.15019E-04
5	7.51995E-05	2.89169E-04
6	4.62728E-05	3.01422E-04
7	3.11391E-05	2.43296E-04
8	1.31499E-04	2.25988E-04
9	0.00000E+00	0.00000E+00
10	1.38301E-04	6.79851E-06

Tabla 7.9 Desplazamientos con un Dt=0.50 Seg.

```

*****
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)
*****

ARMADURA PLANA "B"

NUMERO DE ECUACIONES = 16

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.5
Numero de Registros = 41
Incremento de Tiempo = .500 Seg
Tiempo de Estudio = 20.500 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:
Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:
Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:
DAT = .50000
DAT2= .25000
EO = .25000
E1 = .06250
EK1 = 1.00000
EK2 = .06250
EA1 = .25000
EB1 = .06250

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS
NUDO DX DY
1 0.00000E+00 0.00000E+00
2 5.27456E-05 9.74935E-06
3 4.30476E-05 2.35597E-04
4 7.06239E-05 3.10629E-04
5 1.07933E-04 4.17745E-04
6 6.64029E-05 4.35480E-04
7 4.46538E-05 3.51242E-04
8 1.89113E-04 3.26012E-04
9 0.00000E+00 0.00000E+00
10 1.98893E-04 9.75212E-06

```

Tabla 7.10 Desplazamientos con un Dt=0.20 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)

ARMADURA PLANA "B"

NUMERO DE ECUACIONES = 16

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.2
Numero de Registros = 101
Incremento de Tiempo = .200 Seg
Tiempo de Estudio = 20.200 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:

Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:

Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:

DAT = .20000
DAT2= .04000
EO = .10000
E1 = .01000
EK1 = 1.00000
EK2 = .01000
EA1 = .10000
EB1 = .01000

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	9.15050E-05	1.54878E-05
3	7.67702E-05	3.89320E-04
4	1.12939E-04	5.10135E-04
5	1.72739E-04	6.85785E-04
6	1.06141E-04	7.15204E-04
7	7.18194E-05	5.74406E-04
8	3.03436E-04	5.30831E-04
9	0.00000E+00	0.00000E+00
10	3.19138E-04	1.55066E-05

Tabla 7.11 Desplazamientos con un Dt=0.15 Seg.

```

*****
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)
*****

```

ARMADURA PLANA "B"

```

NUMERO DE ECUACIONES = 16

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.15
Numero de Registros = 135
Incremento de Tiempo = .150 Seg
Tiempo de Estudio = 20.250 Seg

```

```

CONSTANTES DE INTEGRACION:
Gama = .50
Beta = .25

```

```

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:
Alfa = .00
Nu = .00

```

```

COEFICIENTES DE INTEGRACION:
DAT = .15000
DAT2= .02250
EO = .07500
E1 = .00563
EK1 = 1.00000
EK2 = .00563
EA1 = .07500
EB1 = .00563

```

NUDO	DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS	
	DX	DY
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	9.65415E-05	1.79374E-05
3	7.88045E-05	4.39534E-04
4	1.30307E-04	5.78669E-04
5	1.98788E-04	7.78026E-04
6	1.22246E-04	8.11135E-04
7	8.19859E-05	6.53514E-04
8	3.49719E-04	6.05902E-04
9	0.00000E+00	0.00000E+00
10	3.67796E-04	1.79505E-05

Tabla 7.12 Desplazamientos con un Dt=0.10 Seg.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK

FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO
U . P . A . E . P .

PROGRAMA BETA1 , ALGORITMO BETA DE NEWMARK
(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS)

ARMADURA PLANA "B"

NUMERO DE ECUACIONES = 16

EVENTO : SISMO DEL 14-09-95, Dt=0.1
Numero de Registros = 201
Incremento de Tiempo = .100 Seg
Tiempo de Estudio = 20.100 Seg

CONSTANTES DE INTEGRACION:

Gama = .50
Beta = .25

COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:

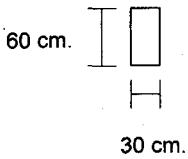
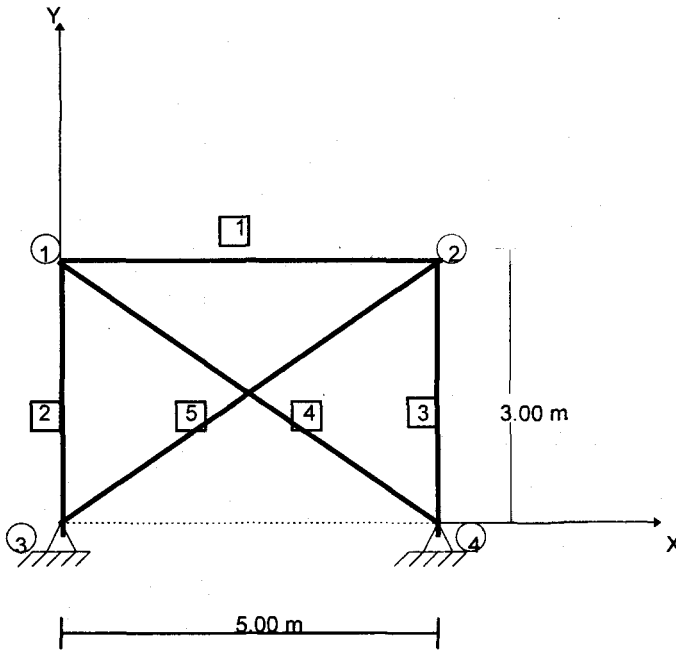
Alfa = .00
Nu = .00

COEFICIENTES DE INTEGRACION:

DAT = .10000
DAT2= .01000
EO = .05000
E1 = .00250
EK1 = 1.00000
EK2 = .00250
EA1 = .05000
EB1 = .00250

DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS

NUDO	DX	DY
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	1.52207E-04	2.19344E-05
3	1.31481E-04	5.56935E-04
4	1.61465E-04	7.25409E-04
5	2.48812E-04	9.71973E-04
6	1.53050E-04	1.01373E-03
7	1.06038E-04	8.12591E-04
8	4.30685E-04	7.50249E-04
9	0.00000E+00	0.00000E+00
10	4.53210E-04	2.19692E-05

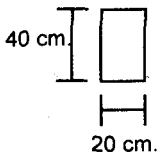
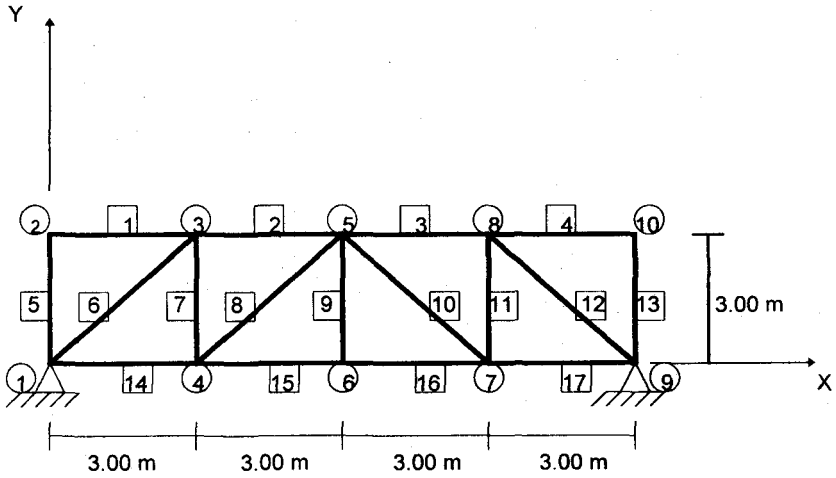


$$E = 2.0 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

Todas las barras son de la misma sección y del mismo material

- NUMERO DE NODO
- NUMERO DE BARRA

Fig. 7.1 ARMADURA PLANA "A"



$$E = 2.0 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

Todas las barras son de la misma sección y del mismo material

- NUMERO DE NUDO
- NUMERO DE BARRA

Fig. 7.2 ARMADURA PLANA "B"

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 CONCLUSIONES DE PROGRAMACION.

El método β de Newmark, como una técnica para la solución de la ecuación de equilibrio dinámico, es un método de integración directa que utiliza un procedimiento numérico paso a paso, para cuya programación, tema de este trabajo, se hicieron las siguientes consideraciones:

- El programa se realizó mediante la técnica de programación modular -top-down, en la que se tiene un módulo principal y otros que interactúan con aquél.
- Los datos iniciales de la estructura fueron proporcionados por el PREPROCESADOR, el cuál trabaja en forma interactiva con opción a corregir datos, elaborado en lenguaje Quick Basic 4.5, por su fácil manejo, rápida compilación y utilización de procedimientos.
- El PROCESADOR 1, que calcula las matrices de Rigideces y Masas de la estructura, se elaboró en lenguaje Fortran 5.0, que es el compilador adecuado para trabajar con diversos procedimientos matemáticos, además de ser un lenguaje bastante compatible con cualquier nivel de computadoras personales.
- El PROCESADOR 3 calcula los desplazamientos de los nudos, y al igual que el anterior, se elaboró en lenguaje Fortran, lo que permitió realizar una adecuada estructuración y cálculos numéricos más rápidos.
- En ambos procesadores se utilizó Memoria Dinámica, lo que eficientó aún más el procedimiento de cálculo con las revisiones del vector A.

8.2 CONCLUSIONES DE EJEMPLOS.

Los resultados de la programación del método son los desplazamientos en cada grado de libertad de las armaduras, al aplicar las diferentes aceleraciones del sismo ocurrido el 14-09-95 capturado en la estación central de la UPAEP. La decisión de tomar éste y no el capturado en la estación de San Baltazar de la misma UPAEP es puramente arbitraria.

El registro original contiene la historia de las aceleraciones digitizadas y normalizadas con incrementos de tiempo de 0.005 seg que es con el que las estaciones capturan los datos, pero que para la solución suele ser muy pequeño e impedir la convergencia del método.

Como ya se mencionó, se estima que un buen paso sería $\Delta t = T_p / 10$, pero en vista de que queda fuera del alcance del presente estudio el determinar T_p , para el caso práctico se toman los incrementos de tiempo indicados en la tabla 8.1 que se encuentra más adelante, en donde se dan datos comparativos de los desplazamientos regidos por dichos incrementos para el nodo representativo 1(un) del ejemplo uno.

Tabla 8.1 Desplazamientos comparativos del nodo uno del ejemplo uno.

DESPLAZAMIENTO	INCREMENTOS (seg)				
	1.00	0.50	0.20	0.15	0.10
Dx	4.6388E-05	6.6543E-05	1.0626E-04	1.2240E-04	1.5077E-04
Dy	2.2294E-05	3.1973E-05	5.0945E-05	5.8766E-05	7.2213E-05

En la tabla 8.1 se observa que con un Δt más pequeño, el desplazamiento aumenta comparativamente contra un Δt más grande y que esa diferencia es más grande entre más grande sea el paso de integración, es decir, que entre más pequeña sea la diferencia de incrementos más pequeña será también la diferencia en los desplazamientos.

Los valores de desplazamientos de cada nudo son los promedios de Rosenblueth, con los cuáles se obtienen valores más grandes que si se hiciera un promedio normal.

8.3 RECOMENDACIONES.

Se hace hincapié, en lo que a programación se refiere, a que en programas de este tipo, es de bastante utilidad:

- A) Utilizar la programación modular.
- B) Emplear memoria dinámica en el proceso.
- C) Programar en un compilador de rápido procesamiento de algoritmos matemáticos.

El programa puede refinarse y optimizarse en cualquiera de sus módulos, inclusive por separado (gracias a la programación top-down), así como se debe comprobar resultados con ejercicios elaborados manualmente o con otros programas.

En cuanto a la descripción del método se recomienda recurrir a las referencias para tener mayor información así como consultar otros textos relacionados, sobre todo en cuanto a la elección del incremento de tiempo Δt o paso de integración, ya que una importante observación a esto es que, por un lado, el paso debe ser lo suficientemente pequeño para obtener exactitud en la solución, pero por otro, el paso no debe ser más pequeño que el necesario pues esto significaría que la solución resulta más costosa que lo que realmente se requiere, por lo tanto se deben buscar criterios definidos para su adecuada elección.

9 REFERENCIAS.

- (1) **Mario Paz**, "DINAMICA ESTRUCTURAL", Edit. Reverté, México, 1991.
- (2) **D. K. Anand, P.F. Cunniff**, "MECANICA PARA INGENIEROS: ESTATICA", Editorial CECSA, México 1984.
- (3) **Fernando Vera B.**, "ANALISIS DE ARMADURAS PLANAS POR COMPUTADORA", Escuela de Ingeniería, reporte interno, ULSA, 1990.
- (4) **Jaime Juárez B., Fernando Vera B.**, "APUNTES DE LOS CURSOS DE TEORIA GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS I Y II", División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería Civil, UPAEP, 1993.
- (5) **J. S. Przemieniecki**, "THEORY OF MATRIX STRUCTURAL ANALYSIS", Edit. Mc Graw Hill, New York, USA, 1968.
- (6) **Klaus-J. Bathe, Edward L. Wilson**, "NUMERICAL METHODS IN FINITE ELEMENT", Edit. Prentice Hall, New Jersey, USA, 1976.
- (7) **Minoru Wakabayashi, Enrique Martínez R.**, "DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMORESISTENTES", Edit. Mc Graw Hill, México, 1988.
- (8) **Roberto Meli P.**, "DISEÑO ESTRUCTURAL", Edit. Noriega Limusa, México, 1991.
- (9) **N. M. Newmark, E. Rosenblueth**, "FUNDAMENTOS DE INGENIERIA SISMICA", Edit. Diana, México, 1976.
- (10) **Departamento del Distrito Federal**, "REGLAMENTO DE CONSTRUCCION DEL DISTRITO FEDERAL" Y "NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS, TITULO SEXTO", México, 1987.
- (11) **Ulises Mena H.**, "ANALISIS DINAMICO TRIDIMENSIONAL PASO A PASO POR EL METODO BETA DE NEWMARK", Tesis profesional, UPAEP, 1993.
- (12) **Fernando Vera B.**, "APUNTES DEL CURSO DE SEMINARIO DE TESIS", División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería Civil, UPAEP, 1995.
- (13) **Red Interuniversitaria de Instrumentación Sísmica**, "SISMO DEL 22 DE MAYO DE 1994", Reporte interno RIIS, México, 1994.
- (14) **Jaime Juárez B., Tiziano Perea O.**, "SISMOS REGISTRADOS EN LOS ACELEROGRAFOS UPAEP", Reporte interno RIIS, UPAEP, 1995.

- (15) **Ceballos Blanco Juan M. B.**, "INTEGRACION DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO DINAMICO DE LAS ESTRUCTURAS SOMETIDAS A TEMBLORES", Tesis profesional, ULSA, 1980.
- (16) **Luis Joyanes A.**, "PROGRAMACION EN QUICK BASIC 4.0/4.5", Edit. Mc Graw Hill, México, 1993.
- (17) **L. Nyhoff, S. Leestma**, "FORTRAN 77 FOR ENGINEERS & SCIENTISTS", McMillan Publishing Company, USA, 1992.
- (18) **Fernando Vera Badillo**, "APUNTES DE FORTRAN EN EL CURSO DE TEORIA GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS II", División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería Civil, UPAEP, 1995.

APENDICE A
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK.

FCO. ERIC ALVARADO CINCO.

Upaep

PROGRAMA "PREDIN.BAS"

```

DECLARE SUB DATI1 (TITUSS, ND!, NCF!, NB!, NS!, NM!)
DECLARE SUB DATI2 (ND!, X!(), Y!(), XID!())
DECLARE SUB DATI3 (NB!, BA!())
DECLARE SUB DATI4 (NS!, SEC!())
DECLARE SUB DATI5 (NM!, E!(), POI!(), PV!())
DECLARE SUB ARCHI (NOMBRE!$, DDR$, NUMERO!, IND!!, IND!)
DECLARE SUB ARCHIP (NOMBRE!$, DDR$, NUMERO!, IND!!, IND!)
DECLARE SUB CARBA (NB!, BA!())
DECLARE SUB CONFRA (NCF!, XID!())
DECLARE SUB DATAR (TI$, ND!, NCF!, NB!, NS!, NM!)
DECLARE SUB ENCABEA ()
DECLARE SUB MATA (NM!, E!(), POI!(), PV!())
DECLARE SUB NOMARCHI (NOMBRE!$, DDR$, IND!)
DECLARE SUB PUNA (ND!, X!(), Y!(), XID!())
DECLARE SUB SECI (NS!, SEC!())
  REM PROGRAMA DE ARMADURAS PLANAS
  CALL ENCABEA
  CALL NOMARCHI(NOMBRE!$, DDR$, IND)
  CALL ARCHI(NOMBRE!$, DDR$, 2, 1, IND)
  CALL ARCHIP(NOMBRE!$, DDR$, 3, 1, IND)
  CALL DATAR(TI$, ND, NCF, NB, NS, NM)
    DIM X(ND), Y(ND), XID(2, ND), SEC(6, NS), BA(7, NB), E(NM)
    DIM POI(NM), PV(NM)

  CALL PUNA(ND, X(), Y(), XID())
  CALL CONFRA(NCF, XID())
  CALL SECI(NS, SEC())
  CALL MATA(NM, E(), POI(), PV())

```

89

CALL CARBA(NB, BA())

```

IF IND = 1 THEN 11
CALL DATI1(TI$, ND, NCF, NB, NS, NM)
CALL DATI2(ND, X(), Y(), XID())
CALL DATI3(NB, BA())
CALL DATI4(NS, SEC())
CALL DATI5(NM, E(), POI(), PV())
TITUL$ = DDR$ + " " + "TITULO"
OPEN "O", #4, TITUL$
PRINT #4, TI$
CLOSE #4

```

11

```

CALL ARCHI(NOMBRES$, DDR$, 2, 3, IND)
CALL ARCHIP(NOMBREPS$, DDR$, 3, 3, IND)
PRINT "FIN DE PROGRAMA"
END

```

```

SUB DATI1 (TITUSS, ND, NCF, NB, NS, NM)
PRINT #2, ND
PRINT #2, NCF
PRINT #2, NB
PRINT #2, NS
PRINT #2, NM
PRINT #3, " PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS PLANAS"
PRINT #3, " POR EL METODO BETA DE NEWMARK "
PRINT #3, " "
PRINT #3, "FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO"
PRINT #3, "U . P . A . E . P ."
PRINT #3, "PROGRAMA PREDIN VERSION 01-96"
PRINT #3, " "
PRINT #3, TITUSS
PRINT #3, " "
PRINT #3, "DATOS INICIALES"
PRINT #3, "1.NO. DE NODOS = " : PRINT #3, ND
PRINT #3, "2.NO. DE CONDICIONES FRONTERA = " : PRINT #3,
NCF

```

```

PRINT #3, "3.NO. DE ELEMENTOS = "; : PRINT #3, NB
PRINT #3, "4.NO. DE SECCIONES TRANSVERSALES = "; : PRINT #3,
NS
PRINT #3, "5.NO. DE MATERIALES = "; : PRINT #3, NM
PRINT #3, "
"
END SUB

SUB DATI2 (ND, X(), Y(), XID())
FOR I = 1 TO ND
PRINT #2, USING "####.##"; X(I)
NEXT I
FOR I = 1 TO ND
PRINT #2, USING "####.##"; Y(I)
NEXT I
FOR I = 1 TO ND
PRINT #2, USING "##.##"; XID(1, I)
PRINT #2, USING "##.##"; XID(2, I)
NEXT I
PRINT #3, "PUNTOS NODALES"
PRINT #3, "NODO X Y DX DY "; ""
FOR I = 1 TO ND
PRINT #3, USING "### ####.## ####.##"; I; X(I); Y(I);
PRINT #3, USING " ## ## "; XID(1, I); XID(2, I)
NEXT I
PRINT #3, "
"
END SUB

SUB DATI3 (NB, BA())
FOR J = 1 TO NB
FOR I = 1 TO 7
PRINT #2, USING "####.##"; BA(I, J)
NEXT I
NEXT J
PRINT #3, "BARRAS"
PRINT #3, "No. NODO NODO SECCION MATERIAL"
PRINT #3, " 1 J"
FOR J = 1 TO NB
PRINT #3, USING "### ## ##"; J; BA(1, J); BA(2, J);

```

```

PRINT #3, USING " ### ####"; BA(3, J); BA(4, J)
NEXT J
PRINT #3, ""
END SUB

SUB DATI4 (NS, SEC()) FOR J = 1 TO NS
FOR I = 1 TO 6
PRINT #2, USING "####.##"; SEC(I, J)
NEXT I
NEXT J
PRINT #3, "SECCIONES TRANSVERSALES"
PRINT #3, "No. D1 D2 D3 D4 D5 "
FOR J = 1 TO NS
PRINT #3, USING "### ## ####.##"; J; SEC(1, J); SEC(2, J);
PRINT #3, USING " ###.## ###.## ###.##"; SEC(3, J); SEC(4, J); SEC(5, J)
NEXT J
PRINT #3, ""
END SUB

SUB DATI5 (NM, E(), POI(), PV())
FOR I = 1 TO NM
PRINT #2, USING "#####.###"; E(I)
NEXT I
FOR I = 1 TO NM
PRINT #2, USING "#.###"; POI(I)
NEXT I
FOR I = 1 TO NM
PRINT #2, USING "########"; PV(I)
NEXT I
PRINT #3, "MATERIALES"
PRINT #3, "NO. E NU PV "
FOR I = 1 TO NM
PRINT #3, USING "## #####.### ##.### "; I; E(I); POI(I);
PRINT #3, USING " ########"; PV(I)
NEXT I
PRINT #3, "
"
END SUB

```

SUBROUTINAS DEL PROGRAMA PREDIN

SUB ENCABEA
CLS
SCREEN 2
LINE (1, 7)-(632, 183), , B
LINE (1, 35)-(632, 35)
LOCATE 3, 18: PRINT "UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL
ESTADO DE PUEBLA"
LOCATE 8, 20: PRINT "DIVISION DE POSTGRADO"
LOCATE 11, 28: PRINT " GRUPO UPAEP-95"
LOCATE 15, 26: PRINT " PROGRAMA DE ARMADURAS PLANAS
"
LOCATE 22, 26: PRINT "<OPRIMA RETURN PARA CONTINUAR> "
1 IF INKEY\$ = "" THEN 1
LINE (1, 7)-(632, 183), , B
LINE (1, 35)-(632, 35)
LOCATE 3, 18: PRINT " "
LOCATE 3, 23: PRINT "PROGRAMA DE ARMADURAS "
LOCATE 4, 23: PRINT " PLANAS"
LOCATE 8, 20: PRINT " VERSION : ENERO - 96 "
LOCATE 11, 28: PRINT " "
LOCATE 10, 24: PRINT "ELABORADO POR: "
LOCATE 13, 24: PRINT "FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO"
LOCATE 11, 33: PRINT " "
LOCATE 15, 26: PRINT " "
LOCATE 17, 24: PRINT "COORDINACION:"
LOCATE 19, 24: PRINT "ING. FERNANDO VERA BADILLO"
2 IF INKEY\$ = "" THEN 2
END SUB

70

DECLARE SUB TIT4 ()

SUB NOMARCHI (NOMBRE1\$, DDR\$, IND)
REM *** NOMBRE DEL ARCHIVO ***
C1:
CALL TIT4
LOCATE 10, 3: INPUT "DESEA GENERAR ARCHIVO DE DATOS Y
RESULTADOS (0=SI,1=NO)", IND
C2:
LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR EL DATO (S/N)", CS
LOCATE 22, 1: PRINT " "
IF CS\$ = "S" THEN GOTO C1
IF CS\$ = "N" THEN GOTO 3
GOTO C2
3 IF IND = 1 THEN GOTO 23
CALL TIT4
LOCATE 10, 3: INPUT "NOMBRE DEL ARCHIVO (max. 5 carac.)",
NOMBRE1\$
LOCATE 12, 3: INPUT "DIRECCION DEL DRIVE (A,B,C...)", DDR\$
4 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR LOS DATOS (S/N)", CS
LOCATE 22, 1: PRINT " "
IF CS\$ = "S" THEN GOTO 22
IF CS\$ = "N" THEN GOTO 23
GOTO 4
22 LOCATE 10, 3: PRINT " "
LOCATE 12, 3: PRINT " "
GOTO 3
23 END SUB

SUB ARCHI (NOMBRE1\$, DDR\$, NUMERO, INDI, IND)
IF IND = 1 THEN GOTO L4
NOMBRES = DDR\$ + ":" + NOMBRE1\$
ON INDI GOTO L1, L2, L3
L1:
OPEN "O", #NUMERO, NOMBRES

```

GOTO L4
L2:
OPEN "I", #NUMERO, NOMBRES$
GOTO L4
L3:
CLOSE #NUMERO
L4:
END SUB

```

```

SUB ARCHIP (NOMBRE1$, DDR$, NUMERO, INDI, IND)
IF IND = 1 THEN GOTO L4
NOMBREP$ = DDR$ + ":" + NOMBRE1$ + "1"
ON INDI GOTO L1, L2, L3
L1:
OPEN "O", #NUMERO, NOMBREP$
GOTO L4
L2:
OPEN "I", #NUMERO, NOMBREP$
GOTO L4
L3:
CLOSE #NUMERO
L4:
END SUB

```

```

DECLARE SUB TIT4 ()

```

```

SUB DATAR (TI$, ND, NCF, NB, NS, NM)
CALL TIT4
LOCATE 6, 3: PRINT "DATOS INICIALES"
I = 1
3 LOCATE 8, 3: INPUT "1. DAR UN TITULO: ", TI$: IF I = 2 THEN 30

```

```

5 LOCATE 9, 3: INPUT "2. No. DE NODOS: ", ND: IF I = 2 THEN 30
8 LOCATE 10, 3: INPUT "3. NO. DE PUNTOS CON C.F.: ", NCF: IF I = 2
THEN 30
10 LOCATE 11, 3: INPUT "4. No. DE BARRAS: ", NB: IF I = 2 THEN 30
15 LOCATE 12, 3: INPUT "5. No. DE SECCIONES TRANSVERSALES: ",
NS: IF I = 2 THEN 30
20 LOCATE 13, 3: INPUT "6. No. DE MATERIALES: ", NM: IF I = 2
THEN 30
30 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) ",
CS$
LOCATE 22, 1: PRINT " "
IF CS$ = "S" THEN 35
IF CS$ <> "N" THEN 30
GOTO 40
35 LOCATE 22, 1: INPUT "No. de Dato ", C2: I = 2
LOCATE 22, 1: PRINT " "
IF C2 > 6 OR C2 < 1 THEN 35
XX = C2 + 7: LOCATE XX, 1
PRINT " "
ON C2 GOTO 3, 5, 8, 10, 15, 20
40 REM
END SUB

```

```

DECLARE SUB TIT4 ()

```

```

SUB PUNA (ND, X(), Y(), XID())
REM **** LECTURA DE PUNTOS NODALES ****
FOR J = 1 TO ND STEP 10
CALL TIT4
LOCATE 6, 2: PRINT "PUNTOS NODALES "
LOCATE 8, 2: PRINT "No. X Y "
VI = J: VF = J + 9: XX = 8
IF VF > ND THEN VF = ND
FOR JJ = VI TO VF
XX = XX + 1

```

```

LOCATE XX, 2: PRINT JJ
LOCATE XX, 11: INPUT "", X(JJ)
LOCATE XX, 20: INPUT "", Y(JJ)
NEXT JJ
70 LOCATE 20, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) ",
CS
LOCATE 20, 1: PRINT " "
IF CS = "N" THEN 80
IF CS = "S" THEN 75
GOTO 70
75 LOCATE 20, 5: INPUT "No. de punto a cambiar ", C2
LOCATE 20, 5: PRINT " "
IF C2 >= VI AND C2 <= VF THEN 77
GOTO 75
77 XX = C2 - VI + 9
LOCATE XX, 2: PRINT " "
LOCATE XX, 2: PRINT C2
LOCATE XX, 11: INPUT "", X(C2)
LOCATE XX, 20: INPUT "", Y(C2)
GOTO 70
80 NEXT J
FOR I = 1 TO ND
FOR J = 1 TO 2
XID(J, I) = 2
NEXT J
NEXT I
END SUB

```

DECLARE SUB TIT4 ()

```

SUB CONFRA (NCF, XID())
REM **** LECTURA DE CONDICIONES FRONTERA ****
FOR J = 1 TO NCF STEP 10
CALL TIT4
LOCATE 6, 2: PRINT "CONDICIONES FRONTERA "

```

```

LOCATE 8, 2: PRINT "NO.DE DATO PUNTO X Y "
VI = J: VF = J + 9: XX = 8
IF VF > NCF THEN VF = NCF
FOR JJ = VI TO VF
XX = XX + 1
LOCATE XX, 5: PRINT JJ
LOCATE XX, 17: INPUT "", JA
LOCATE XX, 27: INPUT "", XID(1, JA)
LOCATE XX, 36: INPUT "", XID(2, JA)
NEXT JJ
90 LOCATE 20, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) ",
CS
LOCATE 20, 1: PRINT " "
IF CS = "N" THEN 110
IF CS = "S" THEN 95
GOTO 90
95 LOCATE 20, 5: INPUT "No. de punto a cambiar ", C2
LOCATE 20, 5: PRINT " "
IF C2 >= VI AND C2 <= VF THEN 100
GOTO 95
100 XX = C2 - VI + 9
LOCATE XX, 2: PRINT " "
LOCATE XX, 5: PRINT C2
LOCATE XX, 16: INPUT "", C3
LOCATE XX, 26: INPUT "", XID(1, C3)
LOCATE XX, 35: INPUT "", XID(2, C3)
GOTO 90
110 NEXT J
END SUB

```

DECLARE SUB TIT4 ()

```

SUB SEC1 (NS, SEC())
FOR J = 1 TO NS STEP 10
CALL TIT4

```

```

LOCATE 6, 2: PRINT "SECCIONES TRANSVERSALES"
LOCATE 7, 1: PRINT "No. D1 D2 D3 D4 D5 "
LOCATE 8, 1: PRINT "
VI = J: VF = J + 9: XX = 9
IF VF > NS THEN VF = NS
FOR JJ = VI TO VF
XX = XX + 1
LOCATE XX, 1: PRINT JJ
LOCATE XX, 9: INPUT "", SEC(1, JJ)
LOCATE XX, 16: INPUT "", SEC(2, JJ)
LOCATE XX, 23: INPUT "", SEC(3, JJ)
LOCATE XX, 30: INPUT "", SEC(4, JJ)
LOCATE XX, 36: INPUT "", SEC(5, JJ)
SEC(6, JJ) = 0
NEXT JJ
120 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) ",
C$
LOCATE 22, 1: PRINT "
IF C$ = "N" THEN 140
IF C$ = "S" THEN 125
GOTO 120
125 LOCATE 22, 1: INPUT "No. de elemento a corregir ", C2
LOCATE 22, 1: PRINT "
IF C2 >= VI AND C2 <= VF THEN 130
GOTO 125
130 XX = C2 - J + 10
LOCATE XX, 1: PRINT "
LOCATE XX, 1: PRINT C2
LOCATE XX, 9: INPUT SEC(1, C2)
LOCATE XX, 16: INPUT SEC(2, C2)
LOCATE XX, 23: INPUT SEC(3, C2)
LOCATE XX, 30: INPUT SEC(4, C2)
LOCATE XX, 36: INPUT SEC(5, C2)
GOTO 120
140 NEXT J
END SUB

```

73

```

DECLARE SUB TIT4 ()
SUB MATA (NM, E(), POI(), PV())
REM **** LECTURA DE MATERIALES ****
FOR J = 1 TO NM STEP 10
CALL TIT4
LOCATE 6, 3: PRINT "MATERIALES "
LOCATE 8, 1: PRINT "No. E NU PV "
LOCATE 9, 1: PRINT "
VI = J: VF = J + 9: XX = 9
IF VF > NM THEN VF = NM
FOR JJ = VI TO VF
XX = XX + 1
LOCATE XX, 2: PRINT JJ
LOCATE XX, 9: INPUT "", E(JJ)
LOCATE XX, 21: INPUT "", POI(JJ)
LOCATE XX, 30: INPUT "", PV(JJ)
NEXT JJ
122 LOCATE 21, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) ",
C$
LOCATE 21, 1: PRINT "
IF C$ = "N" THEN 135
IF C$ = "S" THEN 126
GOTO 122
126 LOCATE 21, 1: INPUT "No. de material a corregir ", C2
LOCATE 21, 1: PRINT "
IF C2 >= VI AND C2 <= VF THEN 132
GOTO 126
132 XX = C2 - J + 10
LOCATE XX, 1: PRINT "
LOCATE XX, 2: PRINT C2
LOCATE XX, 9: INPUT "", E(C2)
LOCATE XX, 21: INPUT "", POI(C2)
LOCATE XX, 30: INPUT "", PV(C2)
GOTO 122
135 NEXT J
END SUB

```

DECLARE SUB TIT4 ()

SUB CARBA (NB, BA())

FOR J = 1 TO NB STEP 10

CALL TIT4

LOCATE 6, 2: PRINT "BARRAS"

LOCATE 7, 1: PRINT "No. NODO NODO SECCION
MATERIAL"

LOCATE 8, 1: PRINT " I J"

VI = J: VF = J + 9: XX = 9

IF VF > NB THEN VF = NB

FOR JJ = VI TO VF

XX = XX + 1

LOCATE XX, 1: PRINT JJ

LOCATE XX, 7: INPUT "", BA(1, JJ)

LOCATE XX, 16: INPUT "", BA(2, JJ)

LOCATE XX, 26: INPUT "", BA(3, JJ)

LOCATE XX, 36: INPUT "", BA(4, JJ)

BA(5, JJ) = 0

BA(6, JJ) = 0

BA(7, JJ) = 0

NEXT JJ

142 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) ",
CS

LOCATE 22, 1: PRINT " "

IF CS = "N" THEN 155

IF CS = "S" THEN 145

GOTO 142

145 LOCATE 22, 1: INPUT "No. de elemento a corregir ", C2

LOCATE 22, 1: PRINT " "

IF C2 >= VI AND C2 <= VF THEN 150

GOTO 145

150 XX = C2 - J + 10

LOCATE XX, 1: PRINT " "

LOCATE XX, 1: PRINT C2

LOCATE XX, 7: INPUT "", BA(1, C2)

LOCATE XX, 16: INPUT "", BA(2, C2)

LOCATE XX, 26: INPUT "", BA(3, C2)

LOCATE XX, 36: INPUT "", BA(4, C2)

GOTO 142

155 NEXT J

END SUB

APENDICE B
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK.

FCO. ERIC ALVARADO CINCO.
PROGRAMA "PRECES1.FOR"

Upaep

PROGRAM ARMADURA
DIMENSION A(5000)
CHARACTER NOMBREX*7, DRIX*1, NOMARX*8
CHARACTER NOMBREW*7, DRIW*1, NOMARW*8
NA=5000
C *** PRESENTACION ***
WRITE(*,5060)
READ(*,5000)NE
C *** ABRIR EL ARCHIVO DE DATOS ***
WRITE(*,6000)
CALL ABRIRA (NOMBREX, DRIX, NOMARX, 2, 2)
C *** LECTURA DE DATOS ***
CALL DATOS (ND,NCF,NB,NS,NM,2)
C DIMENSIONAMIENTO PARA MEMORIA DINAMICA
N1=1
N2=N1+ND
N3=N2+ND
N4=N3+2*ND
N5=N4+7*NB
N6=N5+6*NS
N7=N6+NM
N8=N7+NM
N9=N8+NM
NT=N9-1
C REvisa el dimensionamiento
CALL REvisa(NA, NT)
C LECTURA DE DATOS
CALL LECAR(A,N1,N9,NT,2)

C *** CERRAR EL ARCHIVO ***
CALL FINAR(2)
C *** CALCULO DE PROPIEDADES GEOMETRICAS ***
CALL PROPIE(NS,A(N5))
C *** CALCULO DEL INDICADOR DE ECUACIONES ***
CALL INDICA(ND,A(N3), NEC,NN)
N10=N9+NEC*NEC
N11=N10+NEC*NEC
NT=N11-1
C REvisa el dimensionamiento
CALL REvisa(NA,NT)
NNOD=ND
CALL
RIMA(A(N1),A(N2),A(N3),A(N4),A(N5),A(N6),A(N7),A(N8),A(N9)
*,A(N10),IE,ND,NB,NS,NM,NEC)
WRITE(*,*)'MATRIZ DE RIGIDECES DE LA ESTRUCTURA'
CALL IMATRI(A(N9),NEC,NEC)
READ(*,5000)NE
WRITE(*,6300)
CALL IMATRI(A(N10),NEC,NEC)
C *** ABRIR EL ARCHIVO PARA IMPRIMIR MATRICES K Y M ***
WRITE(*,6310)
CALL ABRIRA (NOMBREW, DRIW, NOMARW, 8, 1)
WRITE(8,5010)NNOD,NEC
DO I=N3,N4-1
WRITE(8,5030)A(I)
END DO
DO I=N9,N11-1
WRITE(8,5050)A(I)
END DO
C *** CIERRA EL ARCHIVO QUE GUARDA K Y M ***
CLOSE(8)
5000 FORMAT(A1)
5010 FORMAT(I4)
5030 FORMAT(F5.2)
5050 FORMAT(F15.6)
5060 FORMAT(9(/,75('*'))

```

* /,15X,'PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS',
* /,21X,'PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK',
* 3(/),2X,'FRANCISCO ERIC ALVARADO CINCO',
* /, 2X,' U . P . A . E . P .',
* 2(/),2X,'PROGRAMA PROCESI',
* /,2X,'(CALCULO DE LAS MATRICES DE RIGIDEZ Y DE MASA
DE LA',
* ' ESTRUCTURA)',/,75('*'))
6000 FORMAT(3(/),2X,'ABRIR EL ARCHIVO DE DATOS')
6300 FORMAT(3(/),2X,'MATRIZ DE MASAS DE LA ESTRUCTURA')
6310 FORMAT(3(/),2X,'ABRIR EL ARCHIVO PARA GUARDAR LAS
MATRICES K Y M')
END

```

SUBROUTINAS DEL PROGRAMA PROCESI

```

SUBROUTINE ABRIRA(NOMBRE,DRI,NOMAR,NAR,IND)
C * ABRE LOS ARCHIVOS *
CHARACTER NOMBRE*7,DRI*1,NOMAR*8
WRITE(*,6000)
READ(*,5000)DRI
WRITE(*,6010)
READ(*,5010)NOMBRE
NOMAR(1:1)=DRI
NOMAR(2:1+1)=CHAR(58)
NOMAR(3:2+7)=NOMBRE
IF (IND.EQ.1) THEN
OPEN(NAR,FILE=NOMAR,STATUS='NEW')
ELSE
OPEN(NAR,FILE=NOMAR,STATUS='OLD')
ENDIF
5000 FORMAT(A1)

```

```

5010 FORMAT(A7)
6000 FORMAT(/,2X,'DRIVE DEL ARCHIVO (A o B o C)')
6010 FORMAT(/,2X,'NOMBRE DEL ARCHIVO (7 LETRAS)')
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DATOS(ND,NCF,NB,NS,NM,NAR)
C * LECTURA DE DATOS INICIALES *
READ(NAR,5000)ND
READ(NAR,5000)NCF
READ(NAR,5000)NB
READ(NAR,5000)NS
READ(NAR,5000)NM
5000 FORMAT (I4)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE REvisa(NA,NT)
C REvisa EL DIMENSIONAMIENTO
IF (NA.LT.NT)THEN
WRITE(*,6000)NA,NT
STOP
ELSE
WRITE(*,6000)NA,NT
READ(*,5000)NE
ENDIF
5000 FORMAT(I1)
6000 FORMAT(/,2X,'DIMENSIONAMIENTO DE A= ',I10,
*/,2X,'DIMENSIONAMIENTO USADO = ',I10)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE LECAR(A,NI,NF,NT,NAR)
DIMENSION A(NT)
C LECTURA DE VECTOR A MEMORIA DINAMICA
DO I=NI,NF-1
READ(NAR,*)A(I)
END DO
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FINAR(NAR)
C * CIERRA LOS ARCHIVOS *
CLOSE(NAR)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PROPIE (NS,SEC)
DIMENSION SEC(6,NS)
C *** CALCULO DE LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS ***
DO 100 I=1,NS
NSEC=INT(SEC(1,I))
GOTO ( 200,300,400,500), NSEC
200 CONTINUE
C *** SECCION RECTANGULAR ***
B=SEC(2,I)
H=SEC(3,I)
AR=B*H
GOTO 600
300 CONTINUE
C *** SECCION T ***
B=SEC(2,I)
H=SEC(3,I)
V=SEC(4,I)

```

```

T=SEC(5,I)
AR=(H-T)*V + B*T
GOTO 600
400 CONTINUE
C *** SECCION I ***
B=SEC(2,I)
H=SEC(3,I)
V=SEC(4,I)
T=SEC(5,I)
AR=(H-2*T)*V + 2*(B*T)
GOTO 600
500 CONTINUE
C *** SECCION GENERAL ***
AR=SEC(2,I)
600 SEC(6,I)=AR
100 CONTINUE
WRITE(*,800)AR
800 FORMAT(/,2X,'AREA= ',F10.2)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE INDICA(ND,XID,NEC,NN)
DIMENSION XID(2,ND)
C *** CALCULA EL INDICADOR DE ECUACIONES ***
NEC=0
NN=0
DO 100 I=1,ND
DO 110 K=1,2
IN=INT(XID(K,I))
GOTO (200,300), IN
200 CONTINUE
NN=NN+1
XID(K,I)=0
GOTO 110
300 CONTINUE

```

```

    NEC=NEC+1
    XID(K,I)=NEC
110 CONTINUE
100 CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

C=XI/XL
BA(5,I)=XL
BA(6,I)=S
BA(7,I)=C
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE
RIMA(X,Y,XID,BA,SEC,E,POI,PV,EK,EM,IE,ND,NB,NS,NM,NEC)
C *** CALCULO DE LAS MATRICES DE RIGIDECES Y DE MASAS
***

```

```

    DIMENSION X(ND),Y(ND),XID(2,ND),BA(7,NB),SEC(6,NS),E(NM)
    *,POI(NM),PV(NM),EK(NEC,NEC),EM(NEC,NEC),AMG(4,4),AML(4,4)
    *,RG(4,4),IE(4)
    DO I=1,NB
    CALL CALXLA(X,Y,BA,ND,NB,I)
    CALL MATRIA(E,BA,SEC,NM,NB,NS,RG,I)
    CALL IEDA(IE,BA,XID,I,NB,ND)
    CALL ENSAMBLA(IE,EK,RG,NEC)
    CALL MATRIB(PV,BA,SEC,AML,AMG,NM,NB,NS,I)
    CALL ENSAMM(IE,EM,AMG,NEC)
    END DO
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE CALXLA(X,Y,BA,ND,NB,I)
DIMENSION X(ND),Y(ND),BA(7,NB)
C *** CALCULO DE XL,C,S, DE CADA BARRA ***
XI=X(INT(BA(2,I)))-X(INT(BA(1,I)))
YI=Y(INT(BA(2,I)))-Y(INT(BA(1,I)))
XL=SQRT(XI*XI + YI*YI)
S=YI/XL

```

```

SUBROUTINE MATRIA(E,BA,SEC,NM,NB,NS,RG,I)
DIMENSION RL(4,4),RG(4,4),E(NM),BA(7,NB),SEC(6,NS)
C *** CALCULO DE LA MATRIZ DE RIGIDECES LOCAL Y GLOBAL
***

```

```

    L=INT(BA(3,I))
    AR=SEC(6,L)
    XL=BA(5,I)
    S=BA(6,I)
    C=BA(7,I)
    IMAT=INT(BA(4,I))
    E1=E(IMAT)
    C1=(AR*E1)/XL
    RL(1,1)=C1
    RL(1,3)=-C1
    RL(3,1)=-C1
    RL(3,3)=C1
    RG(1,1)=C1*C*C
    RG(1,2)=C1*C*S
    RG(1,3)=-RG(1,1)
    RG(1,4)=-RG(1,2)
    RG(2,2)=C1*S*S
    RG(2,3)=-RG(1,2)
    RG(2,4)=-RG(2,2)
    RG(3,3)=RG(1,1)
    RG(3,4)=RG(1,2)
    RG(4,4)=RG(2,2)
    DO II=1,4
    DO JJ=1,4

```

```
RG(JJ,II)=RG(II,JJ)
END DO
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE IEDA(IE,BA,XID,I,NB,ND)
DIMENSION IE(4), BA(7,NB), XID(2,ND)
DO IJ=1,2
L=INT(BA(1,I))
IE(IJ)=INT(XID(IJ,L))
L=INT(BA(2,I))
IE(IJ+2)=INT(XID(IJ,L))
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE ENSAMBLA(IE,EK,RG,NEC)
DIMENSION IE(4), EK(NEC,NEC), RG(4,4)
DO 100 II=1,4
IK=IE(II)
IF (IK.LE.0) GOTO 100
DO 200 JJ=1,4
JK=IE(JJ)
IF (JK.LE.0) GOTO 200
EK(IK,JK)=EK(IK,JK) + RG(II,JJ)
200 CONTINUE
100 CONTINUE
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE MATRIB(PV,BA,SEC,AML,AMG,NM,NB,NS,I)
DIMENSION PV(NM), BA(7,NB), SEC(6,NS), AML(4,4), AMG(4,4)
C *** CALCULO DE LA MATRIZ DE MASAS LOCAL Y GLOBAL ***
L=INT(BA(3,I))
AR=SEC(6,L)
CM=PV(INT(BA(4,I)))*AR/981
XL=BA(5,I)
S=BA(6,I)
C=BA(7,I)
C1=(CM*XL)/6
AML(1,1)=2*C1
AML(1,3)=C1
AML(2,2)=2*C1
AML(2,4)=C1
AML(3,1)=C1
AML(3,3)=2*C1
AML(4,2)=C1
AML(4,4)=2*C1
AMG(1,1)=C1*2*(C*C + S*S)
AMG(1,3)=C1*(C*C + S*S)
AMG(2,2)=AMG(1,1)
AMG(2,4)=AMG(1,3)
AMG(3,1)=AMG(1,3)
AMG(3,3)=AMG(1,1)
AMG(4,2)=AMG(2,4)
AMG(4,4)=AMG(1,1)
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE ENSAMM(IE,EM,AMG,NEC)
DIMENSION IE(4), EM(NEC,NEC), AMG(4,4)
DO 100 II=1,4
IK=IE(II)
IF (IK.LE.0) GOTO 100
DO 200 JJ=1,4
```

```

JK=IE(JJ)
IF (JK.LE.0) GOTO 200
EM(IK,JK)=EM(IK,JK) + AMG(II,JK)
200 CONTINUE
100 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IMATRI (A,NR,NC)
DIMENSION A(NR,NC)
DO L=1,NC,5
M=L+4
IF (M.GT.NC) M=NC
WRITE(*,6000) (K,K=L,M)
DO I=1,NR
WRITE (*,6010) I,(A(I,J),J=L,M)
END DO
END DO
RETURN
6000 FORMAT(/,9X,I4,4(10X,I4))
6010 FORMAT(/,1X,I4,5(1PE14.6))
RETURN
END

```

08

APENDICE C
PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS
PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK.

FCO. ERIC ALVARADO CINCO. **Upaep**
PROGRAMA "BETA.FOR"

```

C REVISION 28 DE FEBRERO 1996
C METODO GENERALIZADO DE á NEWMARK
DIMENSION A(100000)
EXTERNAL TGCSIM,SGCSIM,BETANE
CHARACTER NOMBREX*7, DRIX*1, NOMARX*9
CHARACTER NOMBREY*7, DRIY*1, NOMARY*9
CHARACTER NOMBREZ*7, DRIZ*1, NOMARZ*9
CHARACTER SISMO*40, EJE*8, TIT*40
NA=100000

C *** PRESENTACION ***
WRITE(*,5600)
WRITE(*,5620)
PRINT '(3(/))'
READ(*,5000)NE
C *** LECTURA DE LOS ARCHIVOS ***
C ** MATRIZ DE RIGIDECES Y DE MASAS **
WRITE(*,4)
4 FORMAT(3(/),2X,'ABRIR ARCHIVO DE LAS MATRICES K Y M')
CALL ABRIRA (NOMBREX, DRIX, NOMARX, 1, 2)
READ(1,*) ND
READ(1,*) NC
N1 = 1
N2 = N1+(2*ND)
N3 = N2+(NC*NC)
N4 = N3+(NC*NC)
DO I = N1, N4-1
READ(1,*) A(I)

```

```

      END DO
      CLOSE(1)
C  ** LECTURA DEL ACELEROGRAMA **
      WRITE(*,6)
6  FORMAT(3(/),2X,'NOMBRE DEL SISMO EMPLEADO (Max. 40
caract): ')
      READ(*,5005)SISMO
      WRITE(*,8)
8  FORMAT(2(/),2X,'ABRIR ARCHIVO DEL ACELEROGRAMA')
      CALL ABRIRA (NOMBREY, DRIY, NOMARY, 2, 2)
      READ(2,*) NP
      READ(2,*) DT
      N5 = N4+NP
      DO I = N4, N5-1
        READ(2,*) A(I)
      END DO
      CLOSE(2)
C  ** ARCHIVO DE IMPRESION DE RESULTADOS **
      WRITE(*,10)
10  FORMAT(3(/),2X,'ABRIR ARCHIVO DE RESULTADOS')
      CALL ABRIRA (NOMBREZ, DRIZ, NOMARZ, 9, 1)
C  DIMENSIONAMIENTO MEMORIA DINAMICA
      N6=N5+NC*NC
      N7=N6+NC
      N8=N7+NC
      N9=N8+NC
      N10=N9+NC
      N11=N10+NC
      N12=N11+NC
      N13=N12+NC
      N14=N13+NC
      N15=N14+NC
      N16=N15+NC
      N17=N16+NC*NP
      N18=N17+NC*NP
      N19=N18+NC*NP
      N20=N19+NC
      WRITE(*,6020)N20,NA

```

```

      READ(*,5010)NSINO
      IF(NSINO.EQ.1)GOTO 200
      IF(N20.GT.NA)GOTO 200
      WRITE(9,5610)
      WRITE(9,5620)
C  ** NOMBRE DEL EJEMPLO **
      EJE(1:1)=DRIX
      EJE(2:1+1)=CHAR(58)
      EJE(3:2+7)='TITULO'
      OPEN(4,FILE=EJE, STATUS='OLD')
      READ(4,5005)TIT
      CLOSE(4)
      WRITE(9,5630)TIT
      WRITE(*,6030)
      READ(*,5020)ALFA
      WRITE(*,6040)
      READ(*,5020)ANU
      WRITE(*,6050)
      READ(*,5020)GAMA
      WRITE(*,6060)
      READ(*,5020)BETA

C  CALCULO POR EL METODO BETA DE NEWMARK
      CALL BETANE
      (ALFA,ANU,GAMA,BETA,SISMO,DT,NP,ND,NC,A(N1),A(N2),
      *A(N3),A(N4),A(N5),A(N6),A(N7),A(N8),A(N9),A(N10),A(N11),A(N12),
      *A(N13),A(N14),A(N15),A(N16),A(N17),A(N18),A(N19))

      CLOSE (9)
200  CONTINUE
5000  FORMAT(A1)
5005  FORMAT(A)
5010  FORMAT(I1)
5020  FORMAT(F10.2)
5600  FORMAT(9(/),75('*'),
      * /,15X,'PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS')

```

```

5610 FORMAT(75(**),
* /,15X,'PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE
ARMADURAS')
5620 FORMAT(21X,'PLANAS POR EL METODO BETA DE NEWMARK',
* 3(/),2X,'FRANCISCO ERJC ALVARADO CINCO',
* /, 2X,'U . P . A . E . P . ',
* 2(/),2X,'PROGRAMA BETA 1 , ALGORITMO á DE NEWMARK',
* /, 2X,'(CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN LOS
NODOS)',
* /,75(**))
5630 FORMAT(/,A)
6000 FORMAT(3(/),3X,'NOMBRE DEL ARCHIVO DE MATRIZ RIGIDEZ
Y MASAS')
6020 FORMAT(/,3X,'DIMENSIONAMIENTO CALCULADO',I10,
* /,2X,'DIMENSIONAMIENTO DEL PROGRAMA',I10,
* /,2X,'EFECTUA EL CALCULO 0=SI, 1=NO')
6022 FORMAT(/,2X,'NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS')
6010 FORMAT(3X,',' NOMBRE DEL ARCHIVO DEL ACELEROGRAMA
')
6030 FORMAT(3X,'DAR LA CONSTANTE ALFA =')
6040 FORMAT(/,3X,'DAR LACOSNTANTE NU =')
6050 FORMAT(/,3X,'DAR LA CONSTANTE GAMA =')
6060 FORMAT(/,3X,'DAR LA CONSTANTE BETA =')
END

```

SUBROUTINAS DEL PROGRAMA BETA1

```

*****
SUBROUTINE ABRIRA(NOMBRE,DRI,NOMAR,NAR,IND)
C * ABRE LOS ARCHIVOS *
CHARACTER NOMBRE*7,DRI*1,NOMAR*9
WRITE(*,6000)
READ(*,5000)DRI
WRITE(*,6010)
READ(*,5010)NOMBRE

```

```

NOMAR(1:1)=DRI
NOMAR(2:1+1)=CHAR(58)
NOMAR(3:2+7)=NOMBRE
IF (IND.EQ.1) THEN
OPEN(NAR,FILE=NOMAR,STATUS='NEW')
ELSE
OPEN(NAR,FILE=NOMAR,STATUS='OLD')
ENDIF
5000 FORMAT(A1)
5010 FORMAT(A7)
6000 FORMAT(/,2X,'DRIVE DEL ARCHIVO (A o B o C)')
6010 FORMAT(/,2X,'NOMBRE DEL ARCHIVO (7 LETRAS)')
RETURN
END

```

SUBROUTINE

BETANE(ALFA,ANU,GAMA,BETA,SISMO,DT,NPUNT,ND,N,XID,AK,

*AM,ACEL,AMK,DESO,VELO,ACEO,VA,VB,VR,VAUX1,VAUX2,VAUX
3,VAUX4,DES,

*VEL,ACE,DESPRO)

DIMENSION

XID(2,ND),AK(N,N),AM(N,N),ACEL(NPUNT),AMK(N,N),DESO(N),

*VELO(N),ACEO(N),VA(N),VB(N),VR(N),VAUX1(N),VAUX2(N),VAUX3
(N),

*VAUX4(N),DES(N,NPUNT),VEL(N,NPUNT),ACE(N,NPUNT),DESPRO(
N)

CHARACTER*40 SISMO

TE=NPUNT*DT

EO=GAMA*DT

DT2=DT*DT

E1=BETA*DT2

EK1=1.+EO*ALFA

```

EK2=EO*ANU+E1
EA1=DT-EO
EB1=(0.5-BETA)*DT2
C *** IMPRESION DE DATOS ***
WRITE(9,5000)N
WRITE(9,5005)SISMO
WRITE(9,5010)NPUNT
WRITE(9,5015)DT,TE
WRITE(9,5020)GAMA,BETA
WRITE(9,5030)ALFA,ANU
5000 FORMAT(2(/,2X,'NUMERO DE ECUACIONES = ',I4)
5005 FORMAT(/,2X,'EVENTO : ',A)
5010 FORMAT(2X,'Numero de Registros = ',I4)
5015 FORMAT(2X,'Incremento de Tiempo = ',F5.3,' Seg',
* /,2X,'Tiempo de Estudio = ',F8.3,' Seg')
5020 FORMAT(/,2X,'CONSTANTES DE INTEGRACION:',
* /,2X,'Gama = ',F4.2,
* /,2X,'Beta = ',F4.2,)
5030 FORMAT(/,2X,'COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO:',
* /,2X,'Alfa = ',F4.2,
* /,2X,'Nu = ',F4.2,)
C IMPRESION DE RESULTADOS PARCIALES
WRITE(9,6000)DT,DT2,EO,E1,EK1,EK2,EA1,EB1
6000 FORMAT(/,2X,'COEFICIENTES DE INTEGRACION:',
* /,2X,'DAT = ',F12.5,
* /,2X,'DAT2 = ',F12.5,
* /,2X,'EO = ',F12.5,
* /,2X,'E1 = ',F12.5,
* /,2X,'EK1 = ',F12.5,
* /,2X,'EK2 = ',F12.5,
* /,2X,'EA1 = ',F12.5,
* /,2X,'EB1 = ',F12.5,)

DO I=1,N
DO J=1,N
AMK(I,J)=EK1*AM(I,J)+EK2*AK(I,J)
ENDDO
ENDDO

```

```

CALL TGCSIM (AMK,N)
DO I=1,N
VA(I)=0.
VB(I)=0.
DESO(I)=0.0
VELO(I)=0.0
ACEO(I)=0.0
DESPRO(I)=0.0
VAUX4(I)=1.0
ENDDO
DT1=DT
DO K=1,NPUNT
DO I=1,N
VA(I)=VELO(I)+EA1*ACEO(I)
VB(I)=DESO(I)+DT*VELO(I)+EB1*ACEO(I)
ENDDO
DO I=1,N
VAUX1(I)=ANU*VA(I)+VB(I)
ENDDO
CALL MULMAT (AK,VAUX1,VAUX2,N,N,N,1)
CALL MULMAT (AM,VA,VAUX3,N,N,N,1)
DO I=1,N
VAUX1(I)=ACEL(K)
ENDDO
CALL MULMAT (AM,VAUX1,VAUX4,N,N,N,1)
DO I=1,N
VR(I)=-VAUX4(I)-ALFA*VAUX3(I)-VAUX2(I)
ENDDO

CALL SGCSIM(AMK,VR,N)
DO I=1,N
ACEO(I)=VR(I)
VELO(I)=VA(I)+EO*ACEO(I)
DESO(I)=VB(I)+E1*ACEO(I)
ENDDO

DO I=1,N

```

```

DES(I,K)=DESO(I)
VEL(I,K)=VELO(I)
ACE(I,K)=ACEO(I)
DESPRO(I)=DESPRO(I)+DESO(I)**2
ENDDO
ENDDO
WRITE(9,6230)
DO I=1,N
  DESPRO(I)=SQRT(DESPRO(I))
  WRITE(9,6240)I,DESPRO(I)
ENDDO

```

C **DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS**

```

DESPRO(0)=0
WRITE(9,6300)
WRITE(9,6400)
DO I=1,ND
  WRITE(9,6450)I,DESPRO(XID(1,I)),DESPRO(XID(2,I))
END DO

```

```

6100 WRITE(9,*)
6230 FORMAT(/,10X,'PROMEDIO DE ROSENBLUETH',/)
6240 FORMAT(3X,14,2X,1PE14.6)
6300 FORMAT(/,10X,'DESPLAZAMIENTOS POR NUDOS')
6400 FORMAT('NUDO',6X,'DX',11X,'DY')
6450 FORMAT(13,3X,1PE11.5,2X,1PE11.5)
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IMATR(A, NR, NC)
DIMENSION A(NR, NC)
DO 100 L=1,NC,5
  M = L + 4
  IF (M.GT.NC) M=NC
  WRITE(9,6000)(K,K=L,M)
DO 100 I=1,NR

```

```

WRITE(9,6010)I,(A(I,J),J=L,M)
100 CONTINUE
RETURN
6000 FORMAT(/,9X,14,4(10X,14))
6010 FORMAT(1X,14,5(1PE14.6))
RETURN
END

```

C PROGRAMA QUE TRIANGULA UNA MATRIZ CUADRADA

```

C METODO DE GAUSS-CROUT
SUBROUTINE TGCSIM(A,N)
DIMENSION A(N,N)
A(1,2)=A(1,2)/A(1,1)
A(2,2)=A(2,2)-A(1,1)*A(1,2)**2
IF(N.EQ.2) GOTO 50
DO J=3,N
  IS=J-1
  A(1,J)=A(1,J)/A(1,1)
DO I=2,IS
  S=0
  KS=I-1
  DO K=1,KS
    S=S+A(K,I)*A(K,K)*A(K,J)
  END DO
  A(I,J)=(A(I,J)-S)/A(I,I)
END DO
S1=0
DO K=1,IS
  S1=S1+A(K,K)*A(K,J)**2
END DO
A(I,J)=A(I,J)-S1
END DO
50 RETURN
END

```



```

C PROGRAMA DE MULTIPLICACION DE MATRICES
C SUBROUTINA MULMAT
SUBROUTINE MULMAT(A,B,C,N1,N2,M1,M2)
DIMENSION A(N1,N2),B(M1,M2),C(N1,M2)
DO K=1,N1
DO I=1,M2
C(K,I)=0.0
DO J=1,N2
C(K,I)=C(K,I)+A(K,J)*B(J,I)
END DO
END DO
END DO
RETURN
END

```

```

DO K=K1,N
S=S+A(IA,K)*B(K)
END DO
B(IA)=B(IA)/A(IA,IA)-S
END DO
RETURN
END

```

```

C PROGRAMA QUE HACE LAS SUSTITUCIONES PARA EL
C METODO DE GAUSS-CROUT
SUBROUTINE SGCSIM(A,B,N)
DIMENSION A(N,N),B(N)
DO I=2,N
KS=I-1
S=0
DO K=1,KS
S=S+A(K,I)*B(K)
END DO
B(I)=B(I)-S
END DO
B(N)=B(N)-A(N,N)
IS=N-1
DO I=1,IS
IA=N-I
KI=IA+1
S=0

```