

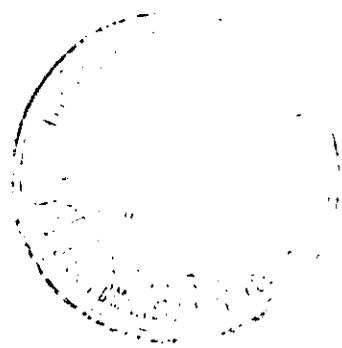
15
2ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" A C A T L A N "

**SISTEMA INTERACTIVO PARA COMPUTADORA
DE ANALISIS SISMICO DINAMICO
PARA ARMADURAS BIDIMENSIONALES
POR EL METODO PASO A PASO BETA DE NEWMARK**



ANTONIO GONZAGA FLORES

**NAUCALPAN, EDO. DE MÉXICO.
JUNIO 15, 1997.**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1998

258285



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas 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 imágenes, 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 donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADEZCO EL VALOR INTRAÑABLE DE MIS PADRES POR SU ESFUERZO Y ALIENTO DE SUPERACIÓN QUE FORJARON EL CAMINO DE MI VIDA; SU NOMBRE:

ESTEBAN GONZAGA HERNANDEZ

Y

MA. TEODORA FLORES MORALES

AGRADEZCO AL PROFESOR, COMPAÑERO Y AMIGO, SU VALIOSO TIEMPO E INSTRUCCIÓN PARA REALIZAR ESTE TRABAJO, AL MAESTRO EN INGENIERÍA:

FERNANDO VERA BADILLO.

AGRADEZCO A MIS HERMANOS SU LATENTE ESMERO POR ENFRENTAR JUNTOS LOS RETOS DE LA VIDA.

FAUSTINO

MA. ELENA

JAVIER

MARTÍN

Y

JESÚS

AGRADEZCO A MI ESPOSA SU COLABORACIÓN Y MOTIVACIÓN PARA CONCLUIR MIS METAS.

ISABEL CRISTINA LÓPEZ MEZA

AL AMOR DE MI HIJO, QUE ES EL IMPULSO DE MI VIDA.

ULISES ANTONIO GONZAGA LÓPEZ

**“ MI PENSAMIENTO Y ACCIÓN
POR LA GRANDEZA DE MÉXICO”**

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO
3. MÉTODO DE LA ACELERACIÓN GENERALIZADA DE NEWMARK
4. OBTENCIÓN DE DATOS DE LA ESTRUCTURA
5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE ACELEROGRAMAS
6. PROGRAMA DE COMPUTADORA
7. EJEMPLO DE APLICACIÓN CON EL PROGRAMA
8. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN FORMA MANUAL.
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
10. BIBLIOGRAFÍA

INDICE

PAGINA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES-----	8
1.2 OBJETIVOS-----	8

2. MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO

2.1 ANÁLISIS ESTÁTICO -----	10
2.2 ECUACIÓN DE MOVIMIENTO-----	12
2.3 ANÁLISIS DINÁMICO-----	20

3. MÉTODO DE LA ACELERACIÓN GENERALIZADA DE NEWMARK

3.1 ECUACIÓN DE EQUILIBRIO DINÁMICO -----	21
3.2 MÉTODO DE LA ACELERACIÓN LINEAL -----	22
3.3 MÉTODO GENERALIZADO-----	26
3.4 ALGORITMO NUMÉRICO-----	29

4. OBTENCIÓN DE DATOS DE LA ESTRUCTURA

4.1 OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE RIGIDECES <u>K</u> -----	31
4.2 OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE MASAS <u>M</u> -----	40

5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE ACELEROGRAMAS

5.1 SISMÓGRAFOS - ASPECTOS GENERALES-----	42
5.2 RED SISMOLOGICA-----	44
5.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACELEROMETRICA DEL CIRES-----	44
5.4 CARACTERÍSTICAS DE UN ACELEROGRAFO-----	45
5.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DEL CAMPO CIRES-----	46
5.6 DESCRIPCIÓN DEL ACELEROGRAFO DE LA UPAEP (SSA-2)-----	50
5.7 ARCHIVO CON REGISTROS ACELEROGRAFICOS-----	52

6. PROGRAMA DE COMPUTADORA

6.1 EQUIPO DE COMPUTO-----	54
6.2 ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA-----	55
6.3 MANUAL DEL USUARIO-----	58
6.4 LISTADO DE PROGRAMAS-----	78

7. EJEMPLO DE APLICACIÓN CON EL PROGAMA

7.1 ESTRUCTURA UTILIZADA-----	111
7.2 CORRIDA DE PROGRAMAS-----	115
7.3 RESULTADOS OBTENIDOS-----	125

8. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN FORMA MANUAL

8.1.ENSAMBLE DE MATRICES DE RIGIDECES Y DE MASAS-----	126
8.2.DESARROLLO DE ALGORITMO NUMÉRICO-----	132
8.3.PRIMERA ITERACION-----	137
8.4 SEGUNDA ITERACIÓN -----	140
8.5 TERCERA ITERACIÓN -----	145

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	150
---	------------

10. BIBLIOGRAFÍA -----	153
-------------------------------	------------

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La rapidez y la confianza, son características de la computadora que permiten al Ingeniero Civil encontrar alternativas para solucionar más eficientemente un problema; de allí surge nuestro interés por desarrollar este sistema de computadora como preámbulo para explotar esta indispensable herramienta; ante el proceso iterativo que representa desarrollar un análisis en forma manual, en cuestión de tiempo margen de error y limitación de alternativas.

Retomamos lo referente al diseño por sismo que el Reglamento de construcciones del D.F. presenta como opción de los métodos de análisis dinámico, calculando paso a paso las respuestas de la estructura a temblores específicos, considerando acelerogramas de temblores reales o bien de movimientos simulados, sustituyendo así el análisis sísmico tradicional de estructuras por los métodos estático y dinámico.

El sistema analiza una armadura Bidimensional expuesta a los efectos dinámicos de un sismo, a través del método PASO A PASO β DE NEWMARK. El sistema esta integrado por un preprocesador para la lectura de los datos iniciales, un procesador para ensamblar las matrices de la estructura y un procesador que analiza paso a paso la estructura, solicitando el acelerograma, que otro sistema adjunto gráfica y almacena en un archivo.

1.2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL. Desarrollar un sistema para computadora formado por un preprocesador y un procesador para el análisis dinámico de armaduras bidimensionales por el método paso a paso β de Newmark.

- OBJETIVO DEL CAPITULO 1. Se presentan una breve introducción de las generalidades y objetivos del trabajo.
- OBJETIVO DEL CAPITULO 2. Se presenta un breve resumen de los métodos estático y dinámico para la solución de la ecuación de movimiento.
- OBJETIVO DEL CAPITULO 3. Para la solución de la ecuación de movimiento o equilibrio dinámico, se presenta el método generalizado β de Newmark que permite obtener la respuesta sísmica paso a paso de la estructura.
- OBJETIVO DEL CAPITULO 4. En base a la teoría de la rigidez de una barra el sistema ensamblará la matriz de rigideces y de masas de la armadura.
- OBJETIVO DEL CAPITULO 5. Para la respuesta que tendrá la armadura ante un sismo se parte del conocimiento de las respuestas que tiene el suelo expuesto a sismos anteriores (acelerogramas). Por lo cual en este capítulo se desarrollará la lectura de dichos registros.
- OBJETIVO DEL CAPITULO 6. Se presenta el listado del programa, explicando la forma en como se organizó. Se especifica las características de la computadora para trabajar el sistema. Se proporciona también el manual del usuario para que este conozca la manera de introducir los datos.
- OBJETIVO DEL CAPITULO 7. Se presenta un ejemplo de aplicación con el uso de la computadora
- OBJETIVO DEL CAPITULO 8. Se presentan un ejemplo de aplicación en forma manual, con el ensamble las matrices de rigideces y de masas, así como tres iteraciones
- OBJETIVO DEL CAPITULO 9. Conclusiones y recomendaciones que resultan del desarrollo de este trabajo
- OBJETIVO DEL CAPITULO 10. Bibliografía.

2. MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO

2.1 ANÁLISIS ESTÁTICO

Las fuerzas sísmicas cuantificadas por este método implican una distribución lineal de aceleraciones en el edificio, como se muestra en la figura 2.1. De tal figura y mediante la expresión de la Segunda Ley de Newton para partículas, se obtienen las expresiones siguientes para las fuerzas (F_i):

$$F_i = M_i x_i = \frac{W_i}{g} x_i = W_i h_i \frac{x_N}{g h_N} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Donde:

- F_i es la fuerza aplicada en el nivel i
- M_i es la masa del nivel i
- x_i es la aceleración del nivel i
- W_i es el peso del nivel i
- g es la aceleración de la gravedad
- h_i es la altura del nivel i desde la base

Con base en la definición de fuerza cortante basal, V_1 , la definición de coeficiente sísmico, c , y la ecuación 2.1 se obtiene la expresión siguiente:

$$V_1 = \sum_{j=1}^N F_j = \frac{x_N}{g h_N} \sum_{j=1}^N W_j h_j = c \sum_{j=1}^N W_j$$

(Ec. 2.2)

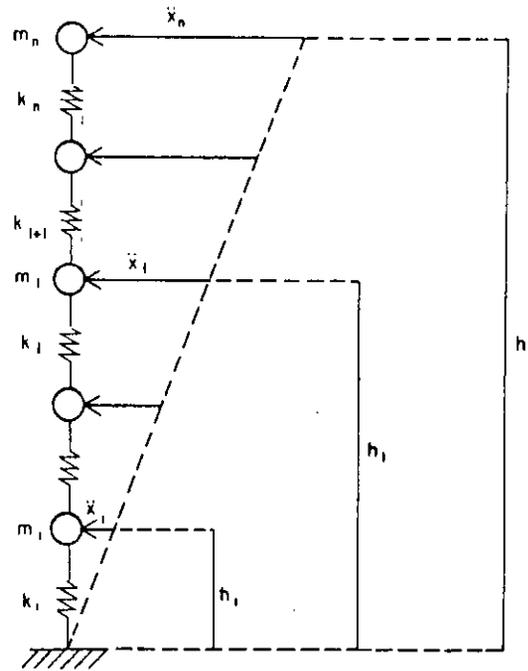
De la ecuación 2.2 se obtiene la expresión para x_N , que al sustituirse en la ecuación 2.1 se obtiene la siguiente expresión conocida de F_i :

$$F_i = c \frac{\sum_{j=1}^N W_j h_j}{\sum_{j=1}^N W_j h_j} W_i h_i \quad (\text{Ec. 2.3})$$

El coeficiente sísmico generalmente se especifica en función del tipo de estructura y de la zona de desplante de la misma. El Reglamento de Construcciones para el D.F. proporciona valores de los coeficientes sísmicos en el D.F. y considera reducciones de las fuerzas calculadas con la ecuación 2.3 cuando se conoce el periodo fundamental de vibración de la estructura.

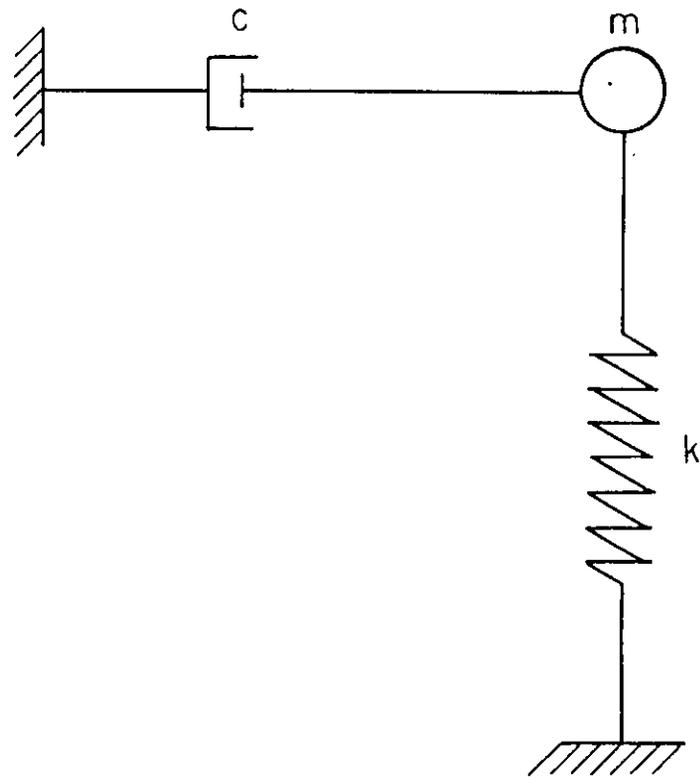
2.2 ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

El caso más sencillo para estudiar el comportamiento de una estructura ante un movimiento sísmico es considerar un sistema de masa rígida unida al terreno por medio de un resorte y un amortiguador lineales como se muestra en la figura 2.2.



- m_i masa del nivel i-ésimo
- k_i rigidez del entrepiso i-ésimo
- h_i altura del nivel i-ésimo
- x_i aceleración del nivel i-ésimo
- n número de niveles

FIG. 2.1. IDEALIZACIÓN DE UN EDIFICIO REGULAR



**FIG. 2.2. MODELO DE UN SOLO GRADO DE LIBERTAD
CON AMORTIGUAMIENTO**

Este tipo de modelación se dice que tiene un solo grado de libertad. Ahora bien, para entender mejor el comportamiento de una estructura ante un sismo no podemos estudiarla suponiendo un modelo de un solo grado de libertad, ya que las variaciones de los desplazamientos dependen de la carga dinámica y de la respuesta de la estructura a través del tiempo y Además para especificar la configuración deformada de la misma, se necesita un número infinito de grados de libertad si suponemos que la estructura está formada de un número infinito de partículas de masa no despreciable (modelo continuo). Sin embargo, algunas estructuras se pueden estudiar en forma adecuada mediante un modelo discreto con un número finito de grados de libertad.

A continuación se plantean las ecuaciones de un sistema de varios grados de libertad como el que se muestra en la figura 2.3.

El sistema es lineal y las fuerzas que se desarrollan en el sistema son:

- a) FUERZAS RESTAURADORAS LINEALES (\underline{F}_R)
Dependen de los desplazamientos de los puntos del modelo y se expresan como:

$$\underline{F}_R = \underline{K} \underline{u} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

donde \underline{u} es el vector de desplazamientos de los puntos de la estructura y \underline{K} es la matriz de rigideces de la estructura.

- b) FUERZAS DISIPADORAS VISCOSAS LINEALES (\underline{F}_D)
Son función de las velocidades de los puntos de la estructura y se representan por:

$$\underline{F}_D = \underline{C} \dot{\underline{u}} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

donde \dot{u} es el vector de velocidades y C es la matriz de amortiguamientos del sistema.

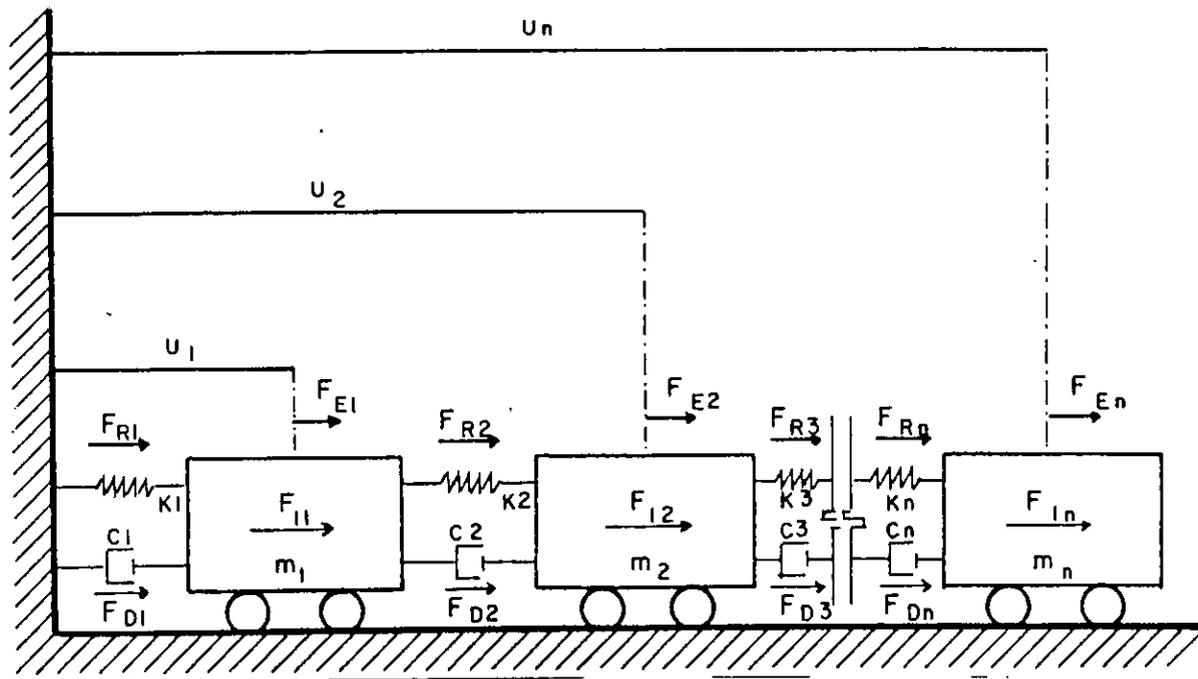


FIG. 2.3 SISTEMA DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD

Las ecuaciones de movimiento para un sistema de varios grados de libertad, se obtienen a partir de la Segunda Ley de Newton, indicada por:

$$\sum \underline{F} = \underline{M} \ddot{\underline{u}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

ó

$$\sum \underline{F} = \underline{F}_E - \underline{F}_R - \underline{F}_D = \underline{F}_E - \underline{K} \underline{u} - \underline{C} \dot{\underline{u}}$$

(Ec. 2.7)

donde $\ddot{\underline{u}}$ es el vector de aceleraciones del sistema, \underline{F}_E es el vector de fuerzas externas y \underline{M} es la matriz de masas.

Al sustituir las ecuaciones 2.4 a 2.6 en 2.7 resulta:

$$\underline{M} \ddot{\underline{u}} + \underline{C} \dot{\underline{u}} + \underline{K} \underline{u} = \underline{F}_E \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Para el caso de una estructura sometida a fuerzas sísmicas, debido a que el temblor está asociado a fuertes movimientos del terreno donde se desplanta la estructura, la forma de modelar el movimiento de la estructura se representa en la figura 2.4.

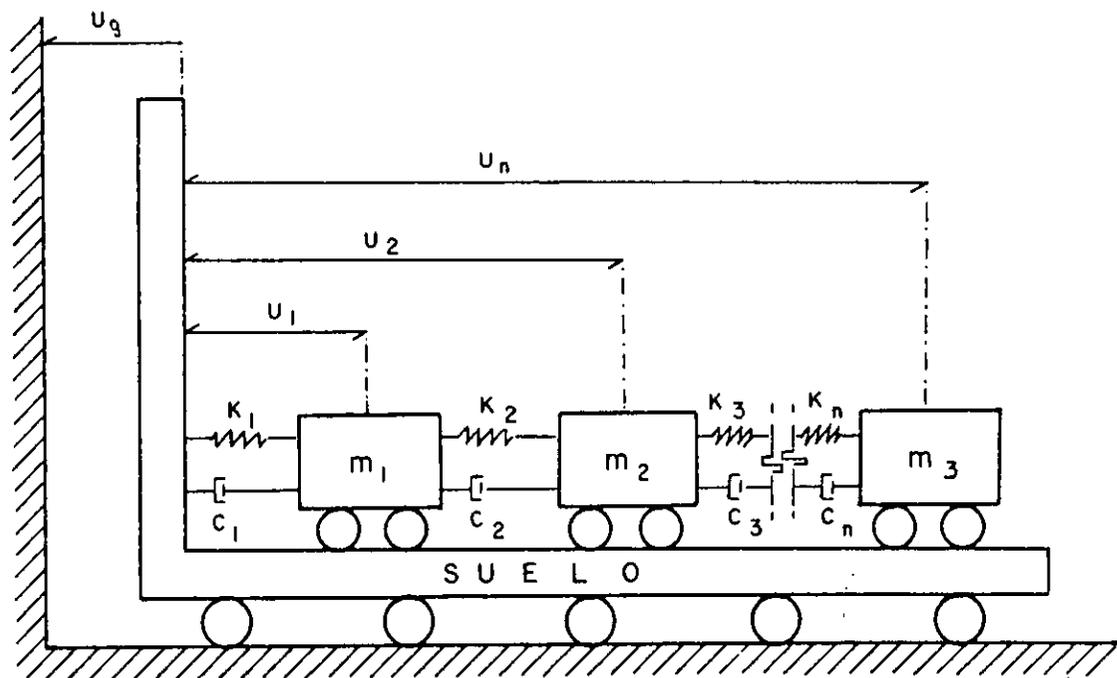


FIG. 2.4 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MOVIMIENTO DE LA ESTRUCTURA SUELO EN UN TEMBLOR

De acuerdo con las ecuaciones 2.4 a 2.6 los elementos de la ecuación de movimiento del sistema mostrado en la figura 2.4 resultan:

$$\underline{F}_I = \underline{M} \ddot{\underline{u}} = \underline{M} (\ddot{\underline{u}} + \ddot{\underline{u}}_g) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$\underline{F}_D = \underline{C} \dot{\underline{u}} = \underline{C} \dot{\underline{U}} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

$$\underline{F}_R = \underline{K} \underline{u} = \underline{K} \underline{U} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

$$\underline{F} = \underline{0} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

donde $\ddot{\underline{u}}_g$ representa la aceleración del terreno donde se desplanta el sistema, medida respecto a una referencia fija.

Al sustituir las ecuaciones 2.9 a 2.12 en la ecuación de movimiento se obtiene:

$$\underline{M} \ddot{\underline{U}} + \underline{C} \dot{\underline{U}} + \underline{K} \underline{U}_g = - \underline{M} \ddot{\underline{u}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

La expresión representa un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias en la variable tiempo, de segundo orden, lineales, no homogéneas, de coeficientes constantes y acopladas.

El problema de valores iniciales consiste en encontrar una función $\underline{U}(t)$ que satisfaga la ecuación 2.13 para lo cual $t \in [0, t_{\max}]$, $t_{\max} > 0$ con las condiciones iniciales:

$$\underline{U} \Big|_{t=0} = \underline{d} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

$$\dot{\underline{U}} \Big|_{t=0} = \underline{v} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

2.3 ANÁLISIS DINÁMICO

Como ya se vio anteriormente las ecuaciones de equilibrio dinámico de una estructura de comportamiento lineal se pueden escribir como:

$$\underline{M} \ddot{\underline{u}} + \underline{C} \dot{\underline{u}} + \underline{K} \underline{u} = \underline{F} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Para resolver el modelo matemático de la ecuación 2.16 debemos entender que la función \underline{F} resulta tener una variación similar a los acelerogramas registrados en la base. Los métodos recomendables para integrar las ecuaciones 2.16 son los numéricos, paso a paso.

Los métodos numéricos mas utilizados son el de Superposición Modal y el grupo de los directos que son el de Beta de Newmark y Theta de Wilson entre otros.

Los métodos paso a paso convendrá utilizarlos cuando las ecuaciones de equilibrio de la estructura proporcionen directamente la información necesaria para cuantificar los elementos de diseño de la estructura (elementos mecánicos y cinemáticos).

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal acepta como métodos de análisis dinámico el análisis modal y el cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos.

Si se usa el análisis modal, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con período mayor o igual a 0.4 segundos, pero en ningún caso podrán considerarse menos que los tres primeros modos de traslación en cada dirección de análisis.

Si se emplea el método de cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos, podrá acudirse a acelerogramas de temblores reales o de movimientos simulados, o a combinación de éstos, siempre que se usen no menos de cuatro movimientos representativos, independientes entre si.

3. MÉTODO DE LA ACELERACIÓN GENERALIZADA DE NEWMARK

3.1 ECUACIÓN DE EQUILIBRIO DINÁMICO

La ecuación de equilibrio Dinámico de una estructura es:

$$\underline{M} \ddot{\underline{u}} + \underline{C} \dot{\underline{u}} + \underline{K} \underline{u} = \underline{f}(t) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

- \underline{M} es la matriz de masas de la estructura
- \underline{C} es la matriz de amortiguamiento de la estructura
- \underline{K} es la matriz de rigideces de la estructura
- $\ddot{\underline{u}}$ es el vector de aceleraciones de los puntos de la estructura
- $\dot{\underline{u}}$ es el vector de velocidades de los puntos de la estructura
- \underline{u} es el vector de desplazamientos de los puntos de la estructura
- $\underline{f}(t)$ es el vector de fuerzas en el tiempo t

3.2 MÉTODO DE LA ACELERACIÓN LINEAL

El método β de Newmark es una generalización del método de aceleración lineal que a continuación se presenta y luego se generaliza al introducir los parámetros adimensionales propuestos por Newmark.

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 dado por $[t_0, t_1]$, se tiene:

$$\underline{u}_\tau = \underline{u}_0 + \frac{\tau}{\Delta t} (\underline{u}_1 + \underline{u}_0) \quad (\text{Ec. A})$$

donde $\tau \in [t_0, t_1]$

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

$$\underline{u}_\tau \Big|_{\tau = t_0} = \underline{u}_0 \quad \text{y} \quad \dot{\underline{u}}_\tau \Big|_{\tau = t_0} = \dot{\underline{u}}_0$$

$$\underline{u}_\tau = \underline{u}_0 + \tau \ddot{u}_0 + \frac{\tau^2}{2\Delta t} (\ddot{u}_1 - \ddot{u}_0) \quad (\text{Ec. B})$$

$$\underline{u}_\tau = \underline{u}_0 + \tau \ddot{u}_0 + \frac{\tau^2}{2} \ddot{u}_0 - \frac{\tau^3}{3} (\ddot{u}_1 - \ddot{u}_0) \quad (\text{Ec. C})$$

Las expresiones B y C son las ecuaciones predictoras implícitas en \underline{u}_1 .

Para $\tau = \Delta t$, las ecuaciones A, B y C en función de t_1 son:

$$\ddot{u}_1 = \ddot{u}_1 \quad (\text{Ec. D})$$

$$\underline{u}_1 = \underline{u}_0 + \Delta t (\ddot{u}_0 + \ddot{u}_1) \quad (\text{Ec. E})$$

$$\underline{u}_1 = \underline{u}_0 + \Delta t \dot{\underline{u}}_0 + \frac{\Delta t^2}{2} (\ddot{\underline{u}}_1 + 2 \ddot{\underline{u}}_0) \quad (\text{Ec. F})$$

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

Al sustituir las ecuaciones D, E y F en la ecuación de equilibrio dinámico se tiene:

$$\underline{M} \ddot{\underline{u}}_1 + \underline{C} \left[\dot{\underline{u}}_0 + \frac{\Delta t}{2} (\ddot{\underline{u}}_1 + \ddot{\underline{u}}_0) \right] + \underline{K} \left[\underline{u}_0 + \Delta t \dot{\underline{u}}_0 + \frac{\Delta t^2}{2} (\ddot{\underline{u}}_1 + 2 \ddot{\underline{u}}_0) \right] = \underline{F}_{e1} \quad (\text{Ec. G})$$

De las ecuaciones anteriores tenemos que:

$$\ddot{\underline{u}}_1 = \underline{F} \left[- \underline{C} \underline{a} - \underline{K} \underline{b} + \underline{F}_{e1} \right] \quad (\text{Ec. H})$$

Donde:

$$\underline{F} = [\underline{M} + \frac{\Delta t}{2} \underline{C} + \frac{\Delta t^2}{6} \underline{K}]^{-1} \quad (\text{Ec. I})$$

$$\underline{a} = \underline{u}_0 + \frac{\Delta t}{2} \ddot{\underline{u}}_0 \quad (\text{Ec. J})$$

$$\underline{b} = \underline{u}_0 + \Delta t \dot{\underline{u}}_0 + \frac{\Delta t^2}{3} \ddot{\underline{u}}_0 \quad (\text{Ec. K})$$

Al quedar definida en H la aceleración al final del intervalo, las ecuaciones E y F se expresan como:

$$\dot{\underline{u}}_1 = \underline{a} + \frac{\Delta t}{2} \ddot{\underline{u}}_1 \quad (\text{Ec. L})$$

$$\underline{u}_1 = \underline{b} + \frac{\Delta t}{6} \ddot{\underline{u}}_1 \quad (\text{Ec. M})$$

3.3 MÉTODO GENERALIZADO

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

Newmark generaliza las ecuaciones predictoras D, E y F, al introducir dos parámetros adimensionales β y γ como sigue:

$$\ddot{\underline{U}}_1 = \ddot{\underline{U}}_1 \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\dot{\underline{U}}_1 = \dot{\underline{U}}_0 + \Delta t [1 - \gamma] \ddot{\underline{U}}_0 + \Delta t \gamma \ddot{\underline{U}}_1 \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_0 + \Delta t \dot{\underline{U}}_0 + [0.5 - \beta] \Delta t^2 \ddot{\underline{U}}_0 + \beta \Delta t^2 \ddot{\underline{U}}_1 \quad (\text{Ec. 4})$$

El parámetro β está relacionado con la estabilidad del método y el parámetro γ con el amortiguamiento matemático. "El valor de β se puede asociar a la forma en que se supone que varía la aceleración en el intervalo Δt si $\beta = 1/6$ dicha variación es lineal entre \ddot{u}_i y \ddot{u}_{i+1} ; si $\beta = 1/4$, la aceleración es constante, igual a $(\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1})/2$. El valor de $\beta = 1/8$ corresponde a una variación escalonada de la aceleración. Por otra parte el método es inestable incondicionalmente cuando β es menor de $1/4$ "

Para el caso $\beta = 1/6$ y $\gamma = 1/2$ se tienen las ecuaciones D, E y F.

Al sustituir las ecuaciones 2, 3 y 4 en la ecuación de movimiento al final del paso y al despejar el valor de \ddot{U}_1 se obtiene:

$$\ddot{U}_1 = \underline{F} [- \underline{C} \underline{a} - \underline{K} \underline{b} + \underline{F}] \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

$$\underline{F} = [\underline{M} + \gamma \Delta t \underline{C} + \beta \Delta t^2 \underline{K}]^{-1} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\underline{a} = \dot{\underline{U}}_0 + (1 - \gamma) \Delta t \ddot{\underline{U}}_0 \quad (\text{Ec. 7})$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \Delta t \dot{\underline{U}}_0 + [0.5 - \beta] \Delta t^2 \ddot{\underline{U}}_0 \quad (\text{Ec. 8})$$

Al sustituir el criterio de Rayleigh en las ecuaciones 5 y 6 se tiene:

$$\underline{K} \dot{\underline{U}}_1 = \underline{r} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

$$\underline{K} = [1 + \gamma \Delta t \alpha] \underline{M} + [\gamma \Delta t \mu + \beta \Delta t] \underline{K} \quad (\text{Ec. 10})$$

y

$$\underline{r} = - \alpha \underline{M} \underline{a} - \underline{K} [\mu \underline{a} + \underline{b}] + \underline{F}_1 \quad (\text{Ec. 11})$$

Al resolver la ecuación 9, las ecuaciones 3 y 4 se escriben en forma explícita como sigue:

$$\underline{U}_1 = \underline{a} + \gamma \Delta t \ddot{\underline{U}}_1 \quad (\text{Ec. 12})$$

$$\dot{\underline{U}}_1 = \underline{b} + \beta \Delta t \ddot{\underline{U}}_1 \quad (\text{Ec. 13})$$

3.4 ALGORITMO NUMÉRICO

El Algoritmo Numérico para el método de la aceleración Generalizada de Newmark se presenta a continuación:

1. Se determinan las constantes :

$$E0 = \gamma \Delta t$$

$$E1 = \beta \Delta t \Delta t$$

$$EK1 = 1 - E0 \alpha$$

$$EK2 = E0 \mu + E1$$

$$EA1 = \Delta t - E0$$

$$EB1 = (1/2 - \beta) \Delta t \Delta t$$

2. Se calcula la Matriz K

$$\underline{K} = EK1 \underline{M} + EK2 \underline{K}$$

3. Se trianguliza K

PARA CADA PUNTO DEL ACELEROGRAMA REALIZAR:

4. Determinar los Vectores:

$$\underline{a} = \dot{\underline{U}}_0 + EA1 \ddot{\underline{U}}_1$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \Delta t \dot{\underline{U}}_0 + EB1 \ddot{\underline{U}}_0$$

$$\underline{r} = -\ddot{u}_g \underline{M} - \alpha \underline{M} \underline{a} - \underline{K} [\mu \underline{a} + \underline{b}]$$

5. Resolver el sistema de ecuaciones:

$$\underline{K} \ddot{\underline{U}}_1 = \underline{r}$$

6. Obtener los vectores:

$$\dot{\underline{U}}_1 = \underline{a} + EO \ddot{\underline{U}}_1$$

$$\underline{U}_1 = \underline{b} + E1 \ddot{\underline{U}}_1$$

$$\underline{U}_1 = \underline{b} + E1 \ddot{\underline{U}}_1$$

4. OBTENCIÓN DE DATOS DE LA ESTRUCTURA

4.1 OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE RIGIDECES K

Se considera armadura plana a toda estructura esquelética plana construida con barras que tengan a ambos lados puntos nodales articulados.

Al considerar el análisis se van a tener dos sistemas de referencia, uno llamado local que esta asociado a cada barra y el segundo es un sistema de referencia global de la armadura (ver ejemplo pag. 114).

Un modelo discreto estándar de un sistema estructural es toda expresión, que compuesta por un número finito de elementos de la estructura, representa las características del sistema y de los componentes del mismo; es el resultado de idealizar un modelo continuo a base de hipótesis que determinen su comportamiento aproximado.

Por ejemplo

La ecuación de equilibrio de una barra doblemente articulada en referencia local es:

$$\underline{f}^{\circ} + \underline{k} \underline{u} = \underline{f}^{\circ} \quad (\text{Ec. 4.1})$$

en donde:

$$\underline{f}^{\circ} = \text{vector de fuerzas de fijación}$$

\underline{k} = matriz de rigideces

\underline{u} = vector de desplazamientos

\underline{f}^* = vector de cargas externas

La ecuación No. 4 considera una barra prismática (ver fig. 7.3 página 113) de material homogéneo, eje recto, sección transversal constante y además se define el punto nodal i , el cual está en el extremo donde se inicia la barra y el final de la barra se indica mediante el punto nodal j .

Al considerar los elementos de la Ec. 4.1 en forma desarrollada se tiene:

A) VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS

Al vector \underline{u} de la ec. 4.1 se le conoce con el nombre de vector de desplazamientos de la barra; esta formado con los desplazamientos en los puntos nodales y tiene cuatro componentes, estos son:

$$\underline{u} = \begin{matrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{matrix} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

En donde:

u_i = es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje x del punto nodal i de la barra.

v_i = es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje y del punto nodal i de la barra.

u_j = es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje x del punto nodal j de la barra.

v_j = es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje y del punto nodal j de la barra.

B) MATRIZ DE RIGIDECES

A la matriz k de la Ec. 4.1 se le conoce con el nombre de matriz de rigideces de la barra, es de orden de cuatro por cuatro, simétrica y sus componentes dependen de la geometría y material de la barra, en forma desarrollada es:

$$K = \begin{matrix} & & k & 0 & -k & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & -k & 0 & k & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

$$k = \frac{A E}{L}$$

A = Área de la sección transversal

E = Modulo de elasticidad

L = Longitud de la barra

C) VECTOR DE CARGAS EXTERNAS

Al vector \underline{f}^* de la Ec. 4.1 se llama vector de fuerzas externas de la barra y está formado con los vectores de cargas que actúan en los dos puntos nodales (i, j) de la barra, tiene cuatro componentes, estos son:

$$\underline{f}^* = \begin{pmatrix} f_{ix}^* \\ f_{iy}^* \\ f_{jx}^* \\ f_{jy}^* \end{pmatrix} \quad (\text{Ec. 4.4})$$

En donde:

f_{ix}° = fuerza externa paralela al eje x aplicada en el punto nodal i.

f_{iy}° = fuerza externa paralela al eje y aplicada en el punto nodal i.

f_{jx}° = fuerza externa paralela al eje x aplicada en el punto nodal j.

f_{jy}° = fuerza externa paralela al eje y aplicada en el punto nodal j.

D) ECUACIÓN DE EQUILIBRIO DE UNA BARRA REFERIDA A UN SISTEMA DE REFERENCIA GLOBAL.

Para poder formar las ecuaciones de la solución de la armadura es necesario cambiar la matriz \underline{k} (Ec. 4.3) que está en la referencia local a la referencia global y esto se efectúa mediante la siguiente ecuación:

$$\underline{\bar{k}} = \underline{a}^T \underline{k} \underline{a} \quad (\text{Ec. 4.5})$$

En donde:

\underline{k} = matriz de rigideces de la barra en referencia global

\underline{a} = matriz de transformación

\underline{k} = matriz de rigideces de la barra en referencia local

$$\underline{a} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline C & S & 0 & 0 \\ \hline -S & C & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & C & S \\ \hline 0 & 0 & -S & C \\ \hline \end{array} \quad \text{Ec. 4.6}$$

c = coseno del ángulo que forma el sistema de referencia local de la barra y el sistema de referencia global de la armadura.

s = seno del ángulo que forma el sistema de referencia local de la barra y el sistema de referencia global de la armadura.

Al sustituir la Ec. 4.3 y la Ec. 4.6, en la Ec. 4.5 se tiene:

Matriz de rigideces en su referencia global de cada barra

$$\underline{k} = \begin{matrix} c^2k+s^2 & csk & -c^2k & -csk \\ & s^2k+c^2 & -csk & -s^2k \\ \text{s i m é t r i c a} & c^2k+s^2 & csk & \\ & & & s^2k+c^2 \end{matrix} \quad (\text{Ec. 4.7})$$

E) ECUACIÓN DE EQUILIBRIO DE LA ESTRUCTURA

Al tener la matriz de rigideces en la referencia global de cada barra, mediante la numeración de los nodos, con el criterio del indicador de ecuación, se efectúa el ensamble de la matriz de rigideces de cada barra para formar la matriz de rigideces de la estructura, el vector de cargas de la estructura se forma con las fuerzas aplicadas en cada punto nodal (en cada punto hay dos fuerzas, una en la dirección x y otra en la dirección y), en forma general se puede escribir:

$$\underline{K}^* = \sum_{e=1}^n \underline{K}^{(e)} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

En donde:

\underline{k} = matriz de rigideces de cada elemento en referencia global

\underline{k}^* = matriz de rigideces de la armadura
Conocida la matriz de rigideces de la estructura y el vector de cargas aplicada a la estructura se puede escribir:

$$\underline{K}^* \underline{U}^* = \underline{F}^* \quad (\text{Ec. 4.9})$$

En donde:

\underline{U}^* = vector de desplazamientos de la armadura

\underline{F}^* = vector de cargas de la armadura

La Ec. 4.9 representa un sistema de ecuaciones lineales donde la matriz de rigideces de la estructura y el vector de cargas de la misma son conocidas y las incógnitas son los desplazamientos.

4.2 OBTENCIÓN DE LA MATRIZ DE MASAS M

Matriz de Masas en su referencia Local.

2C2	0	C2	0
0	2C2	0	C2
C2	0	2C2	0
0	C2	0	2C2

Donde:

$$C2 = (m l) / 6$$

m = masa por unidad de longitud

$$m = (PV/g) * l^2 \quad (\text{kg-seg}^2) / \text{cm}^2$$

l = longitud de la barra

Matriz de Masas en su referencia Global

$2C2 (C^2 + S^2)$	0	$C2 (C^2 + S^2)$	0
0	$2C2 (C^2 + S^2)$	0	$C2 (C^2 + S^2)$
$C2 (C^2 + S^2)$	0	$2C2 (C^2 + S^2)$	0
0	$C2 (C^2 + S^2)$	0	$2C2 (C^2 + S^2)$

Donde:

C = Coseno &

S = Seno &

5. OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE ACELEROGRAMAS

5.1 SISMÓGRAFOS - ASPECTOS GENERALES

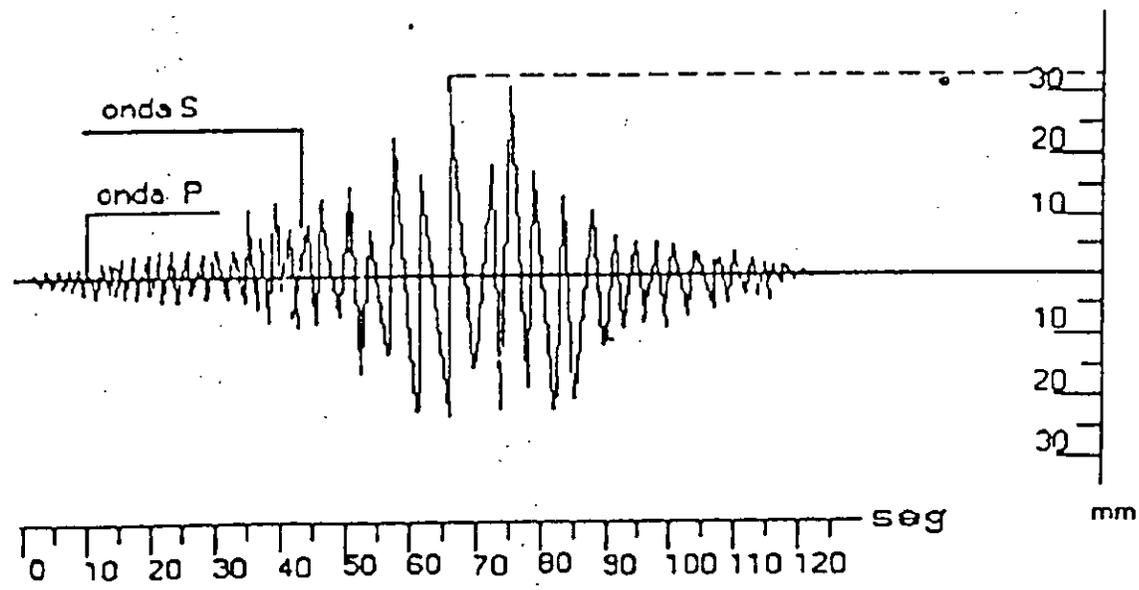
El sismógrafo registra el movimiento del suelo; este instrumento apareció apenas a fines del siglo XIX. El sismoscopio chino mostraba solamente la dirección principal del sismo y no registraba su variación en el tiempo. El sismógrafo registra el movimiento respecto al tiempo de un péndulo que pende libremente dentro de un marco sujeto al suelo.

En sismógrafos modernos, el movimiento del péndulo se convierte 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, producen un registro denominado ACELEROGRAMA. Los instrumentos normalmente se colocan de tal modo que midan movimientos a lo largo de dos ejes horizontales y uno vertical. Las medidas más importantes son tres: aceleración, velocidad y desplazamiento. La aceleración cuando se multiplica por la masa, da la fuerza de inercia que debe resistir el edificio. Por lo común, la aceleración se mide en términos de g , que es la aceleración de un cuerpo que cae libremente debido a la gravedad de la tierra (aproximadamente 32 pies/seg./seg., ó 980 gals. ó 1.0 g).

La velocidad, que se mide en pulgadas o centímetros por segundo, 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 ACELEROGRAMA proporciona una imagen del sacudimiento del suelo; la interpretación exacta de esta imagen requiere conocimientos y experiencia, y los principios se ilustran en la figura 5.1. En el 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.

Figura 5.1



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

5.2 RED SISMOLOGICA

Existen en México varias asociaciones encargadas del registro sísmico en el D.F., como la Fundación de Ingenieros Civiles Asociados, FICA, y el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, A.C. (CIRES A.C.), de la Fundación Javier Barrios Sierra, A.C., las cuales tienen registro sísmico del D.F. A continuación se indican las características de los aparatos de la Red Básica a cargo del CIRES.

5.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACELEROMETRICA DEL CIRES

La configuración de la Red Básica Acelerográfica a cargo del CIRES esta constituida por cuarenta estaciones de superficie y tres de pozo profundo. Los instrumentos son acelerógrafos digitales con registro magnético en cassette, que pueden captar en escala completa hasta 10.5 g con 12048 cuentas, y toman 100 muestras por segundo de tres sensores ortogonales dispuestos en las tres direcciones vertical, norte-sur y este-oeste, utilizados para evaluar las aceleraciones del terreno. Además de una señal de tiempo propia, a la información registrada se le agrega una señal de referencia de tiempo externa. El aparato puede iniciar automáticamente su operación y se detiene la grabación del cassette 15 segundos después de que la aceleración detectada supera por última vez el umbral de disparo. Cabe señalar, que el umbral de disparo es diferente en cada estación para evitar que, en algunos casos, el ruido sísmico local llene la cinta magnético con eventos falsos.

A diferencia de los instrumentos de superficie, los de pozo profundo son sistemas constituidos por arreglos de 2 o 3 sensores triaxiales colocados a profundidades entre 10 y 60 metros. Por otro lado, el nivel de disparo se comparo

con el promedio de las señales ortogonales (vertical, norte-sur y este-oeste) del censor seleccionado para activar el arreglo.

El sistema de tiempo externo de referencia es el denominado Omega que sincroniza automáticamente con la recepción de una señal de radio, el reloj externo de cada estación; éste sistema genera cada 10 segundos un código representativo del tiempo universal. El código también indica si durante el evento la recepción de la señal Omega es correcta. En condiciones de recepción adecuadas, el sistema asegura un error medio no mayor de 10 mseg al día.

5.4 CARACTERÍSTICAS DE UN ACELEROGRAFO

Un acelerógrafo o acelerómetro es normalmente un aparato que registra los cambios de aceleración en función del tiempo, en las direcciones de tres ejes coordenados; por ejemplo norte-sur, este-oeste, y vertical, simultáneamente. Los registros son de gran utilidad para los ingenieros, pues conociendo las aceleraciones del terreno es posible estimar las fuerzas de inercia que se generan en la base de las estructuras aplicando la segunda ley de Newton.

5.5 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DE CAMPO DEL CIRES

La figura 5.2 muestra esquemáticamente una estación de campo típica que aloja a un acelerógrafo de superficie y

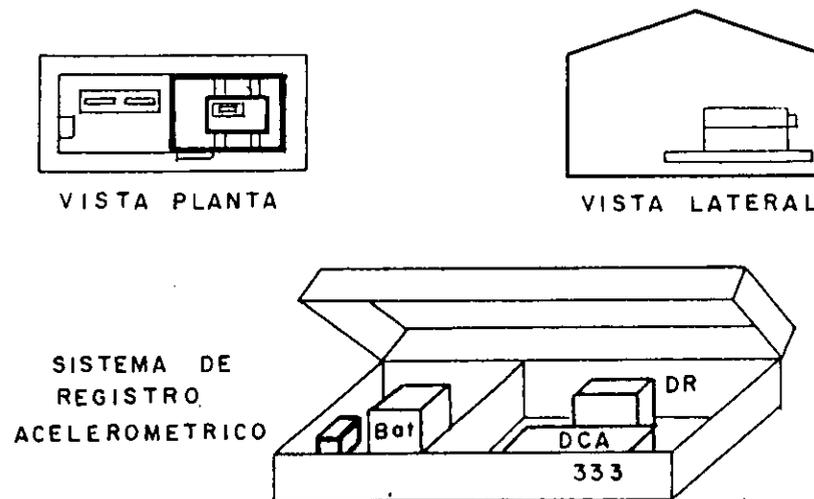


FIG. 5.2 ESTACIÓN DE CAMPO DE LA RED

sus sistemas de soporte; a su vez la figura 5.3 señala la interconexión entre dichos sistemas. Actualmente, existe una tendencia cada vez más generalizada al uso de traductores sensibles a la aceleración, llamados comúnmente acelerómetros, debido a su reducido tamaño y la amplia gama de frecuencias disponibles en la banda de interés de la Ingeniería Sísmica.

La miniaturización de los acelerómetros nos permite considerar una medición puntual. El ancho de banda de 0 a 50 Hz, supera los requerimientos de medición típicos en Ingeniería Civil (0.1 a 20 Hz).

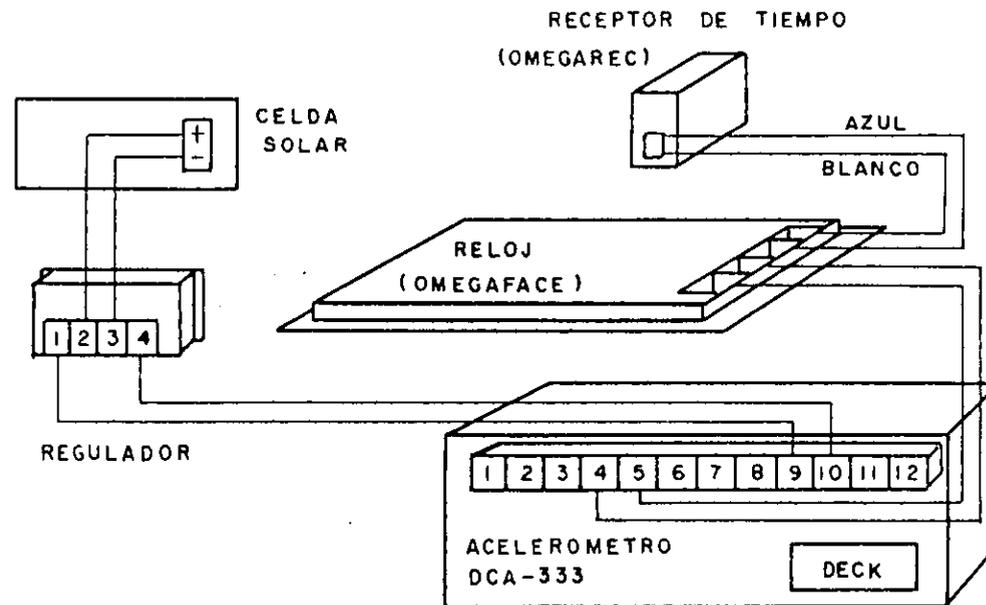


FIG. 5.3 INTERCONEXIONES DEL SISTEMA DE REGISTRO

Además, la señal de salida se puede integrar electrónicamente para obtener la velocidad y desplazamiento.

Las estaciones de campo de la red contienen equipos acelerométricos tipo DCA-333 (TERRA TECHA, 1986) los cuales utilizan traductores con las características indicadas y gravan digitalmente en cassette las señales de 3 acelerómetros ortogonales.

Dicho equipo utiliza un microprocesador de 12 bits tipo 6100 de INTERSIL programado para disparar automáticamente la grabación de los eventos en cassette, cuando se detectan aceleraciones del terreno que sobrepasan un umbral mínimo preseleccionado. Estos aparatos inscriben digitalmente, en formato NRZI: la aceleración del terreno en tres componentes ortogonales, muestreando cada canal a razón de 100 veces por segundo; el número de serie del acelerómetro para identificación; un número progresivo indicativo de los sismos almacenados; y las horas de relojes interno y externo del instrumento para identificar y sincronizar el tiempo de ocurrencia de los eventos. El microprocesador está programado para detectar la cinta 15 seg. después de que las aceleraciones producidas por el sismo son menores que el nivel preestablecido.

En cada cassette, se graban bloques con 48 bits de información distribuidos en 8 palabras de 6 bits. Cada bloque incluye:

- a) Una muestra de la señal de aceleración detectada en cada canal ortogonal.
- b) Datos sobre la fecha, hora del registro del reloj interno y el número de serie del registrador.
- c) Información del código de ganancia de cada muestra.

d) Una muestra de la señal de código de tiempo interno.

En cada bloque sólo se representa una muestra, por ello, para integrar un segundo del registro de aceleración se necesitan 100 bloques, dentro de los cuales se multiplican los datos del código de tiempo externo y el tiempo de reloj interno del acelerómetro. Cada cassette contiene 300 pies de cinta magnética en la cual se pueden grabar hasta 14 minutos de datos.

Por otro lado, con el propósito de tener un patrón horario exacto para relacionar los registros obtenidos en diferentes sitios de la ciudad para un mismo sismo, cada estación incluye un sistema de tiempo interno que utiliza como estándar de referencia la señal del sistema Omega de navegación de alta precisión; el cual consta de 8 transmisores de radio distribuidos en los distintos continentes de tal manera que su señal cubre cíclicamente todo el mundo; la señal de referencia de tiempo se repite cada 10 segundos y está sincronizada con la hora universal (Omega, 1986).

Este patrón de tiempo es captado por los receptores (OmegaRec) instalados en las estaciones, (ver fig. 5.3) y proporciona un pulso de sincronización al reloj de referencia (Omegaface), para asegurar que no pierda su sincronía respecto a la hora universal, permitiendo un error menor de +/- 10 ms. A su vez, el reloj genera internamente un código BCD indicativo de la fecha y hora y envía al sistema de registro simultáneamente con las señales de cada acelerómetro.

Gracias a esta sincronía de tiempo de todas las estaciones de la red, es posible estudiar la acción de un mismo evento en todo el D. F. y hacer determinaciones epicentrales de sismos si se conoce la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

El sistema de alimentación típico de los acelerómetros consiste en una batería plomo-ácido de 12 volts que se recarga con una celda solar en aquellos sitios donde no hay alimentación comercial.

5.6 DESCRIPCIÓN DEL ACELEROGRAFO DE LA UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL ESTADO DE PUEBLA (UPAEP) (SSA-2)

5.6.1 ACELEROGRAFO DE ESTADO SOLIDÓ

El SSA-2 es el más reciente de una larga línea de excelentes acelerógrafos Kinematics. Este ofrece lo principal, bajo costo, alternativa digital para el SMA-1 de movimiento regional que se aplica a la red sismológica. Además del bajo costo el SSA-2 ofrece más datos, por el extenso ancho de banda, altos rangos dinámicos, un mejor dispositivo y gran capacidad potencial; más rápido acceso de datos a través del modelo RS-232C, XMODEM protocolo interface y una rutina de procesador de datos; con una gran rentabilidad y fácil servicio, a través de su estado sólido, tecnología digital y estándar, tienen un mantenimiento automático del Software.

Entre otras ventajas, incluye la potencia para el interrogador potencial, mejor documentación a través de su automático almacenamiento de llave de datos, incluyendo tiempo eventual en el cabezal de datos y más preciso interconector de antenas.

El SSA-2 toma prestadas todas las partes del SSA-1, reteniendo todas las características más populares en los dos tableros del circuito. Como el SSA-1 es diseñado cuidadosamente por datos integrados y de fácil manejo. La memoria del estado solido CMOS es de 256 K bytes en una pequeña tarjeta conectable, y expandible a 2048 K. El tiempo de grabación promedio es de aproximadamente de 10 minutos; 80 minutos con la memoria larga. Una relación simple es de 200 canales simples por segundo.

El SSA-2 detecta sismos por monitoreo de señales de aceleración de cada uno de sus acelerógramas triaxiales. Cuando el movimiento excede de su uso definido, se selecciona entre 0.1 y 10 % de su escala total, los datos son registrados

directamente en memoria RAM. Con una resolución de una parte en 2000, el SSA-2 puede registrar una escala completa de 1 g también como las perturbaciones tan pequeñas como de .0005 g en el mismo registro. La frecuencia responde de 0 a 50 Hertz, que hacen capaz al SSA-2 para ser usado en una extensa variedad de aplicaciones. La simple interface serial RS-232C facilita la conexión a las líneas del teléfono para una interrogación remota. Tiempo de evento, duración y cúspide de la aceleración son registrados en cada evento máximo para una evaluación y recuperación rápida.

Además de las nuevas características incluye una "marca generadora de tiempo" de 2 Hz designado en el SMA-1 como un sistema interconectado, y algo mejor, un sistema interconectado al acelerógrama más simple que provee de todas las opciones necesarias en la aplicación de arreglos. Las opciones importantes incluyen varias escalas completas de opciones de censor, y una variedad de códigos de tiempo y recuperación y generación de opciones.

5.7 ARCHIVOS CON REGISTROS ACELEROGRAFICOS

El registro del evento también puede grabarse en código ASCII conteniendo las tres componentes ortogonales (los acelerógramas tienen tres componentes ortogonales perpendiculares entre sí que se orientan en las direcciones vertical, norte-sur y este-oeste) del sismo, registrado en tres columnas de datos tal y como se muestra en la siguiente Tabla:

Horario Internacional
Hora:Min:Seg (GMT) Grenwich Meridian Time

COMPONENTE NORTE-SUR

14:29:50 GMT

	-0.06943	-0.00239	0.00958	
	-0.06943	-0.00239	0.00958	
	-0.07183	-0.00239	0.00718	
	-0.07183	-0.00479	0.00718	
	-0.07422	-0.00479	0.00718	
COMPONENTE	-0.07422	-0.00239	0.00718	COMPONENTE
VERTICAL	-0.07422	-0.00479	0.00718	ESTE-OESTE
	-0.07422	-0.00479	0.00718	
	-0.07422	-0.00479	0.00479	
	-0.07422	-0.00479	0.00479	
	-0.07183	-0.00479	0.00479	
	-0.07183	-0.00479	0.00718	

CONTENIDO DEL ARCHIVO DE UN ACELEROGRAMA EN CÓDIGO ASCII.

Estos archivos en código ASCII, contienen en cada renglón una cadena de caracteres numéricos que corresponden al valor registrado por el acelerómetro para cada muestra. Esta cadena de caracteres puede ser leída y convertida a formato de números reales mediante instrucciones estándar de lenguajes de alto nivel para programar computadoras. Una vez que los archivos con las componentes ortogonales se han convertido a números reales en el mundo de la computación, tales como las matemáticas y de Graficación pueden ser analizados exhaustivamente el comportamiento del sismo en cada una de sus componentes. Es importante mencionar que la ejecución del procedimiento que hace la conversión de estos datos se encuentra en un módulo o procedimiento desempaca del sistema.

6. PROGRAMA DE COMPUTADORA

En este capítulo se presenta la forma en que está organizado el programa de computadora, aplicando los algoritmos analizados en los capítulos anteriores. Además, a continuación se presenta el manual del usuario.

6.1 EQUIPO DE COMPUTO

Existen en el mercado una gama inmensa de equipos de cómputo que van desde las computadoras personales hasta los sistemas personales.

Para ejecutar los programas que a continuación se explican se debe contar, como mínimo con:

- 1.- Microcomputadora o computadora personal 286 AT.
- 2.- Sistema operativo MS-DOS versión 3.5 o superiores.
- 3.- Adaptador gráfico super VGA.
- 4.- 640 Kbytes de memoria RAM.
- 5.- Manejador de diskette 3.5 in.
- 6.- Impresora de matriz de puntos.

6.2 ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA

Para resolver la integración de las ecuaciones de movimiento se presenta el problema de optimizar tanto la captura de la información como del proceso de la misma. El lenguaje de programación ideal para problemas de ingeniería es el compilador de fortran. Una desventaja de este compilador es que no se puede manejar la pantalla para que el ingreso de la información por parte del usuario sea eficiente. Por otro lado en el mercado ya se encuentra a nuestra disposición el compilador de QUICK BASIC, que nos permite con gran flexibilidad el manejo de la pantalla.

Por estas razones el programa que se presenta para resolver el problema de la integración de las ecuaciones de movimiento se divide en dos:

- * El ingreso de datos se hace mediante un PRE-PROCESADOR, hecho en QUICK BASIC, y
- * El PROCESO de toda la información para su solución se realiza mediante el compilador FORTRAN.

1) ORGANIZACIÓN DEL PRE-PROCESADOR

EL PROGRAMA PREDAT tiene las siguientes características:

- a) Dada una armadura bidimensional, efectúa un archivo de datos generales.
- b) El programa al pedir los datos trabaja en forma interactiva con opción a corregir datos.

C) Esta organizado en forma modular mediante sub-rutinas.

- * TIT4 Despliega un letrero con el nombre del programa en pantalla.
- * ENCABEA Despliega en pantalla un encabezado.
- * NOMARCHI Se da el nombre del archivo en que se van a guardar los datos.
- * ARCHI Sirve para abrir y cerrar archivos.
- * DATAR Se dan los datos iniciales del problema.
- * PUNA Se dan los datos de los puntos nodales.
- * CONFRA Se dan las condiciones frontera de puntos nodales.
- * SEC1 Se dan los datos de las secciones transversales.
- * MATA Se dan los tipos de materiales y su peso volumétrico.
- * CARBA Se dan los datos de las barras.
- * DATI1 Guarda en archivo los datos iniciales de la armadura en forma tabular.
- * DATI2 Guarda en archivo los datos de los puntos nodales en forma tabular.
- * DATI3 Guarda en archivo los datos de las barras. en forma tabular.
- * DATI4 Guarda en archivo los datos de las secciones transversales en forma tabular.
- * DATI5 Guarda en archivo los datos de los materiales y su peso volumétrico en forma tabular.

II) ORGANIZACIÓN DEL PROCESADOR

Este programa PRODAT.EXE retoma los datos generados por el archivo del preprocesador para ensamblar la matriz de rigideces y de masas de la estructura en forma tabular, y genera un nuevo archivo.

III) ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA DEL ACELEROGRAMA

El programa de computadora fue realizado por el Lic. en matemáticas aplicadas y computación Oscar Alejandro González Bustamantes, como trabajo de investigación, nuestro enfoque será exclusivamente al manejo del sistema, ya que lo que interesa son los valores convertidos en código ASCII, que son los que necesita el programa BETA20.EXE para realizar el proceso de cálculo de aceleraciones, velocidades y desplazamientos en los puntos nodales de la armadura bidimensional.

IV) ORGANIZACIÓN DEL PROGRAMA BETA DE NEWMARK

El programa Beta de Newmark, BETANE.EXE, como primer paso lee el archivo donde se encuentran las matrices de rigideces y masas (K y M respectivamente), calculado en el procesador. Continúa leyendo las constantes: Gama, Beta, Alfa, Nu, y como último dato lee el archivo donde se encuentra la información del acelerografo (No. de datos, incremento de tiempo y los valores de las aceleraciones para cada uno de los diferentes puntos de la gráfica).

El proceso comienza calculando las constantes E_0 , E_1 , E_{K1} , E_{K2} , E_{A1} y E_{B1} . Se calcula la matriz K , multiplicando la constante E_{K1} por la matriz de masas y sumándola a la multiplicación de la constante E_{K2} por la matriz de rigideces.

Se inicializan los vectores de la velocidad y desplazamiento con cero y se comienza con el calculo para cada punto del acelerograma para calcular el desplazamiento, velocidad y aceleración de los nodos de la estructura.

Se inicializa un contador hasta el número de valores de acelerógrafo y se calcula los vectores a y b para cada aceleración, estos vectores se utilizarán para el cálculo del vector r . Se resuelve la ecuación, obteniendo las aceleraciones de los nodos de la armadura y por último se calculan las velocidades y desplazamientos de los nodos; este proceso se repite para el número de puntos que se tenga en la lectura del acelerógrafo.

6.3 MANUAL DEL USUARIO

I) PARA EL PREPROCESADOR

1. COMO PRIMER PASO SERÁ NECESARIO TENER EL DIBUJO DE LA ARMADURA, DATOS DE SU MODULO DE ELASTICIDAD Y PESO VOLUMÉTRICO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE (O DE LOS) MATERIALES.
VER PAG. No. 111

2. TRAZAR EL SISTEMA DE REFERENCIA GLOBAL Y EL SISTEMA DE REFERENCIA LOCAL.
VER PAG. No. 112

3. NUMERAR LOS PUNTOS NODALES Y CADA UNA DE LAS BARRAS.
VER PAG. No. 114

4. INSERTAR EL DISKETTE Y EJECUTAR EL PROGRAMA CON EL NOMBRE: PREDAT.EXE.

5. APARECERÁ EN PANTALLA LAS CARÁTULAS DE PRESENTACIÓN.
VER PAG. No. 115

6. PARA USAR EL PAQUETE SE REQUIERE DE DATOS QUE A CONTINUACIÓN SE DEFINEN:

A) NOMBRE DEL ARCHIVO:
Ver página No. 116

El programa pregunta si desea generar archivo de resultados.

El programa pregunta el nombre del archivo en donde se van a guardar los datos. El nombre debe ser máximo de 6 caracteres, y luego pregunta la dirección del manejador de diskette donde se va a guardar la información.

B) DATOS INICIALES
Ver página No. 117

- 1) No. de Nodos
- 2) No. de puntos frontera
- 3) No. de Barras
- 4) No. de Secciones Transversales.
- 5) No. de Materiales.

NOTAS

- (1) Se indica el número de nodos que tiene la estructura.
- (2) Se da el número de puntos que son restringidos de movimiento.
- (3) Se da el número de barras de la estructura.
- (4) Se da el número de secciones transversales.
- (5) Se indica el número de materiales que tiene la estructura.

C) DATOS DE LOS PUNTOS NODALES

Ver página No. 117

En esta parte se dan los datos referentes a las coordenadas de los puntos nodales, para cada punto nodal se piden los siguientes elementos:

- (1) Abscisa del punto nodal NOTA (8)
- (2) Ordenada del punto nodal NOTA (9)

El número de datos depende del total de puntos nodales de la estructura, el programa pregunta en grupos de 10 en forma secuencial, dichos puntos con opción a corregir el dato.

NOTAS:

- (8) Se da la abscisa con respecto al sistema de referencia global de la estructura.
- (9) Se da la ordenada con respecto al sistema de referencia global de la estructura.

D) DATOS DE LAS CONDICIONES FRONTERA

Ver página No. 118

Cada punto nodal tiene dos grados de libertad; un desplazamiento en la dirección X, y un desplazamiento en la dirección Y. Cada punto debe tener una condición de desplazamiento, pueden ser desplazamiento cero o desplazamiento libre. Aquí se van a definir los puntos nodales que tiene desplazamiento cero en algunas de las direcciones, mediante el siguiente código:

1 = desplazamiento cero

2 = desplazamiento desconocido

Con este código se definen puntos nodales restringidos que generalmente coinciden con ser puntos frontera de la estructura. El número de datos depende del total de puntos restringidos de desplazamiento, el programa pregunta en grupo de 10. La forma como pregunta los datos es :

1.- Numero de Nodo

2.- Desplazamiento en la dirección X

3.- Desplazamiento en la dirección Y

E) DATOS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

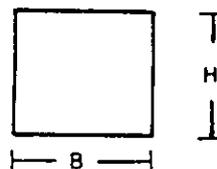
Ver página No. 119

En esta parte se preguntan las dimensiones de las secciones transversales que tienen las barras de acuerdo al siguiente catalogo:

SECCIÓN TIPO RECTANGULAR

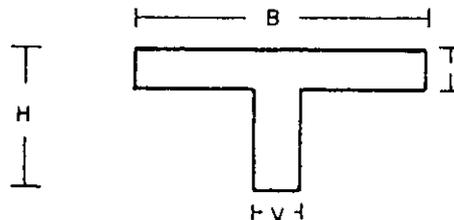
- D1 = 1
- D2 = B
- D3 = H
- D4 = 0
- D5 = 0

FIGS.



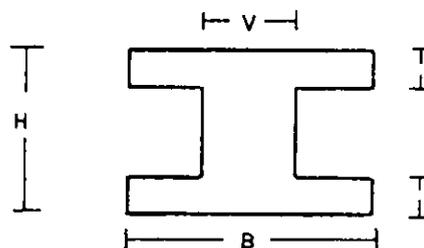
SECCIÓN TIPO T

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



SECCIÓN TIPO I

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



SECCIÓN TIPO ESPECIAL

D1 = 4
D2 = ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL
D3 = 0
D4 = 0
D5 = 0

Se dan los datos según este catálogo de secciones transversales, con las dimensiones en el orden que se indica, en caso de tener una sección que no este en este catálogo, esta la opción de tipo especial, en donde en lugar de dar las dimensiones se da directamente el área de la sección transversal, en donde se indica cero se pone únicamente dicho valor.

F) DATOS DE MATERIALES

Ver página No. 119

En esta parte se pregunta el modulo de elasticidad y el peso volumétrico (en Kg./cm^3) de cada material que esta formada la estructura, con este conjunto de materiales se forma una tabla, a cada material se le asigna un número en forma secuencial que servirá para identificar el tipo de material de cada barra, cuando se den los datos de las barras. El número de datos depende el número de materiales diferentes de las barras, el programa pregunta en grupos de 10 en forma secuencial.

G) DATOS DE LAS BARRAS
Ver página No. 119

El número de datos dependen del total de barras que contenga la estructura, las barras se deben dar en forma secuencial, la información que pide para cada barra es :

NOTAS

- | | |
|--------------------------------|------|
| 1. Punto nodal i | (10) |
| 2. Punto nodal j | (11) |
| 3. Tipo de sección transversal | (12) |
| 4. Tipo de material | (13) |

NOTAS

- (10) Cada barra queda definida por dos puntos nodales en los extremos, en este punto se da el punto nodal inicial (i).
- (11) Cada barra queda definida por dos puntos nodales en los extremos, en este dato se da el punto nodal final (j).
- (12) Se indica el tipo de sección transversal que tiene la barra de acuerdo a la tabla definida en el inciso E.
- (13) Se indica el tipo de material que es la barra, según la tabla definida en el inciso F.

H) UNA VEZ QUE SE DEFINIERON LOS DATOS Y SE EJECUTO EL PROGRAMA SE CIERRA ESTE PRIMER CICLO.

Ver página No. 120

Nótese que al ejecutarse el programa solicita todos los datos de la estructura en el orden que se especifico, del inciso A al inciso G, de este manual del usuario, al dar los datos los da en forma interactiva con el usuario y permite la opción de corregir cada determinado grupo de datos.

En caso de generar archivo de resultados, este archivo se guarda en código ASII por lo que es posible mandarlo a imprimir directamente, estando en el sistema operativo MS-DOS., se puede escribir:

a>COPY (NOMBRE DEL ARCHIVO) LPT1:

se imprimirá el archivo.

II) MANUAL DEL USUARIO PARA EL PROCESADOR

Ver página No. 122

El manejo del PROCESADOR es sencillo por los pocos datos que utiliza y su finalidad es ensamblar la matriz de rigideces y de masas en un archivo, retomando el archivo generado desde el PRE-PROCESADOR.

A) EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.

Se manda ejecutar el programa con el nombre PRODAT.EXE. El programa solicita los datos en el orden que se especifica a continuación:

B) NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS GENERALES DE LA ESTRUCTURA.

En la primera pantalla aparece una leyenda donde se le pide que se le de el nombre del archivo donde se encuentran los datos generales de la estructura, generados previamente desde el PRE-PROCESADOR.

C) DIRECCIONAMIENTO DEL ARCHIVO DE DATOS.

En la misma pantalla aparece otra leyenda donde se pide la dirección o unidad de disco donde se encuentran los datos de la estructura.

D) DIRECCIONAMIENTO DEL ARCHIVO DE RESULTADOS.

Al finalizar el programa solicita un nombre para el archivo donde se guardan los resultados en forma tabular del No. de nodos y el ensamble de la matriz de rigideces y de masas de la armadura.

III) MANUAL DEL USUARIO DEL ACELEROGRAMA (ACEGRAF.EXE)

Ver Página No. 123

ACEGRAF (Sistema de Graficación de Acelerogramas) es un programa de microcomputadora cuya finalidad es la de producir gráficas de los registros de acelerógrafos. Un acelerógrafo es un instrumento empleado para medir los sismos, como su nombre lo indica, miden las aceleraciones del terreno durante temblores intensos. Las gráficas de los registros de un acelerógrafo se denomina ACELEROGRAMA. Este sistema fue diseñado para apoyar a investigadores, profesores y estudiantes que efectúen diseño y análisis de Estructuras. También fue diseñado para ejemplificar las técnicas de programación de alto nivel como Pascal. Usa un ambiente de comunicación entretenido y fácil de emplear, a través de un dialogo interactivo usuario-programa de menús, ventanas y plantillas de acopio de datos.

El cuadro centrado indica la versión del programa y año de creación. Si pulsa F1 aparece ayuda relativa al uso del programa, si oprime cualquier otra tecla, desaparece el cuadro y se visualiza una pantalla limpia con un rectángulo en blanco, el cual es la ventana de Graficación y el menú de opciones que diferirá según sea la versión utilizada.

El programa tiene un menú principal el cual se encuentra en la parte superior de la pantalla. Este menú esta siempre presente en la pantalla, proporciona una forma de saber exactamente que parte del programa está ejecutándose. La interacción entre el usuario y el programa se realiza por medio de opciones ejecutadas con la ayuda de menús desplegados con estructura arborecente. Un menú arborecente posee varios niveles, de los cuales cada uno constituye una subdivisión del nivel superior. El nivel superior lo ocupa el menú principal y consta de 5 opciones. Abajo de este se encuentra el área donde se grafican los acelerogramas (ventana de Graficación) y en la parte inferior de la pantalla aparece una barra de ayuda, la cual contiene información de diferentes ordenes asociadas a las teclas de función o combinación de teclas. Así, por ejemplo, F1-Ayuda significa si se pulsa F1 se consulta la ayuda.

Aparte del menú principal el programa tiene varios submenús los cuales contienen opciones más específicos de ejecución del programa. Los submenús se presentan en forma de ventanas que contienen una serie de opciones de ejecución de rutinas determinadas. Dentro de cada una de estas ventanas existe un cursor en forma de rectángulo, el cual puede ser movido hacia arriba o hacia abajo con ayuda de la tecla de flecha correspondiente.

Además para mayor rapidez, pueden utilizarse las teclas de Inicio (Home) y la de Fin (End), las cuales moverán directamente el rectángulo a la parte superior e inferior de la ventana, correspondiente.

COMO DARLE ORDENES AL PROGRAMA.

Para ordenar al programa que lleve acabo la ejecución de una rutina específica, lo único que debe hacerse es colocar el cursor sobre la rutina u opción de submenú deseada y presionar la tecla de Enter. Esta acción nos llevará ya sea directamente a la ejecución de la tarea seleccionada ó un nuevo submenú que nos presentará ahora opciones más específicas de ejecución del programa. Esta forma de tener submenús dentro de otros menús implica la existencia de jerarquías en los menús. El menú principal es el de mayor jerarquía, y conforme se va entrando a nuevos menús la jerarquía de estos va disminuyendo.

Cuando se está dentro de un determinado menú, se puede ordenar la ejecución de una tarea específica, con solo teclear la primera letra del letrero que describe dicha tarea (por ejemplo en el menú principal, para entrar a la opción Gráfica es suficiente teclear la letra G).

Es importante saber que cuando se está dentro de un determinado menú y se desea salir de él, para regresar al menú que le sigue en jerarquía, lo que debe hacerse es simplemente presionar la tecla ESC.

Una vez que ya se esté más familiarizado con los menús del programa probablemente se desee accesar la ejecución de ciertas tareas de una forma aun más ágil. Esto puede lograrse utilizando las teclas de referencia rápida, las cuales permitirán realizar un salto directo de un menú a otro del programa sin necesidad de seguir todo el cambio de jerarquías que lleven a él.

ENTRADA DE DATOS

Como ya se explicó al principio, el programa tiene como fin, el graficar los registros de un acelerógrafo, y producir los acelerogramas. Este programa utiliza los datos aportados por el centro de instrumentación y registro sísmico; (CIRES, A.C) captados en su red de estaciones con acelerógrafos digitales con registro magnético en cassette. Estos registros son grabados en diskette en archivos ASCII.

El programa maneja estos archivos ASCII que contienen los datos en un formato ASCII o texto, la opción Empaca convierte estos datos a formato de tipo entero, y produce archivos con este tipo de dato, para así reducir el espacio de memoria que ocuparía el formato ASCII. Estos registros convertidos de formato ASCII a enteros son almacenados en archivos con extensión .ACG, los cuales están listos para su Graficación. Estos archivos con extensión .ACG se denominan archivos empacados, los cuales se cargan a la memoria principal, con el comando Carga de la opción Archivo. En ambos casos aparecen ventanas con mensajes al usuario, indicándolo si el proceso va efectuándose correctamente. El proceso inverso (desempacar un archivo con datos tipo entero a su formato original ASCII, servirán para la utilización en el programa BETA DE NEWMARK) se realiza por medio de la opción Desemp, de la Opción Archivo. Dir y ChDir son opciones o comandos para gestión o administración de todos estos Archivos.

GRAFICACION

El menú de Graficación, - Gráfica - del menú principal (Ver Pág. No. 124), contiene opciones para la Graficación de los acelerogramas. Para hacer uso de esta opción, primeramente se debe cargar el archivo empacado con extensión .ACG en memoria RAM que contiene los registros del acelerógrafo. Hay que decir aquí que un acelerógrafo capta el movimiento o aceleración del suelo con tres sensores ortogonales dispuestos en tres direcciones ortogonales que son Vertical, Norte-Sur y Este-Oeste. El objetivo del comando Gráfica del menú principal es el de desplegar la

gráfica de los acelerogramas por pantalla. Dentro de éste menú se encuentran las siguientes opciones:

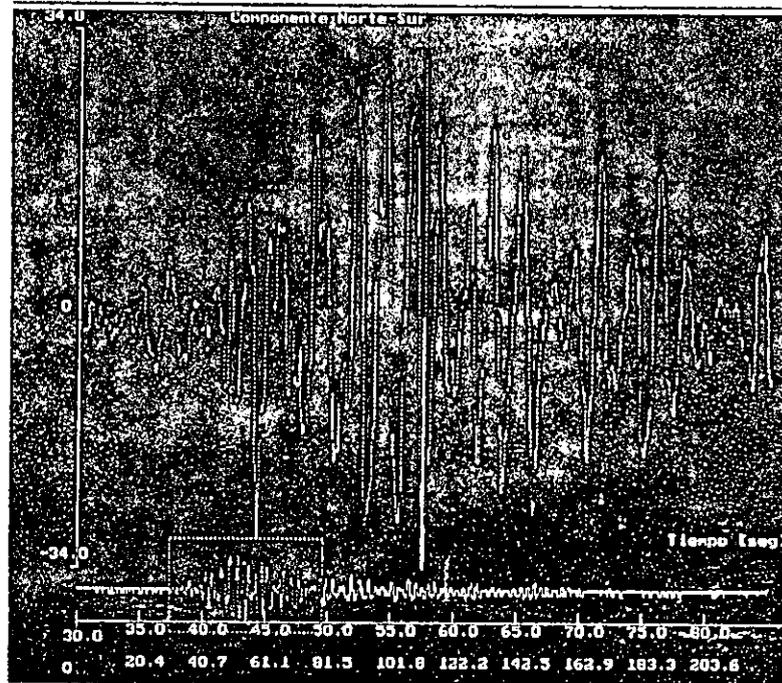
- a) 3-Comp.
- b) Vert.
- c) N-S
- d) E-O

3-Comp: produce en la pantalla los acelerogramas correspondientes a las tres componentes del movimiento; Vertical, Norte-Sur y Este-Oeste. Al pie de los acelerogramas se muestra la información relacionada a estos; el nombre del archivo, la fecha y hora del evento, los máximos y mínimos registrados en cada componente ortogonal y el máximo absoluto de los acelerogramas. Cada componente tiene su escala de aceleración en gals en el eje Y, y en el eje X la escala del tiempo en segundos.

Vert, N-S, E-O: El propósito de estas opciones, es la de producir el despliegue por separado, de cada ACELEROGRAMA; Vert para la componente vertical, N-S para la componente Norte-Sur y E-O para la componente Este-Oeste. El área de trabajo o despliegue es ocupada por el ACELEROGRAMA correspondiente y en la parte inferior aparece la misma información del comando anterior.

Existe otro comando del menú principal llamado Agranda Fig. 5.7, que despliega en pantalla los acelerogramas de cada componente, pero además hace un escalamiento en el eje Y, o de aceleración y permite ajustar el rango de Graficación en el eje X o tiempo con un incremento definido por el usuario.

FIGURA 5.7



Este comando sirve para visualizar la parte crítica, donde se registraron las aceleraciones más violentas, proporcionándole al usuario una visión en detalle de la gráfica.

IMPRESION

El comando Imprimir produce una copia dura por impresora, del ACELEROGRAMA que esta en este momento por pantalla. Basta con posicionarse al comando Imprimir y pulsar Enter, hay que asegurarse que la impresora esta en línea antes de ejecutar el comando.

SALIDA

Permite terminar la sesión de uso del programa y regresar al sistema operativo.

En general la filosofía del entorno o ambiente de ACEGRAF es:

- Pulsar la tecla Return (Intro) para seleccionar y ejecutar una orden o comando.
- Pulsar la tecla ESC para retroceder a una orden o menú sin terminar la orden o selección realizada. Si accidentalmente se introduce en un menú que no necesita, pulse ESC y retornará a la posición en la cual se seleccionó ese menú.

TECLAS DISPONIBLES PARA MENÚS:

Flecha Izq.	-	Termina este Menú
Flecha Der.	-	Termina este Menú
Flecha Baja	-	Cursor baja una línea
Flecha Sube	-	Cursor sube una línea
Esc.	-	Termina este Menú
Home	-	Cursor a la primera línea
End	-	Cursor a la última línea
Pgup	-	Despliegue 10 líneas anteriores
Pgdn	-	Despliegue 10 líneas posteriores
Enter	-	Toma o ejecuta comandos

TECLAS DE REFERENCIA RÁPIDA

F1	-	Ayuda de comando
Alt-F1	-	Ayuda teclas disponibles para menús
Alt-A	-	Menú de Archivo
Alt-G	-	Menú de Gráfica
Alt-R	-	Agranda
Alt-P	-	Imprime
Alt-X	-	Salir del programa
F3	-	Cargar un Archivo

MAPA DE MENÚS DE ACEGRAF

ACEGRAF

Archivo	Gráfica	Agranda	Imprime	Salida
Carga	3-Comp	C. Vert		
Empaca	Vert	C. N-S		
Dir	N-S	C. E-O		
ChDir	E-O			
Desemp				

IV) MANUAL DEL USUARIO PARA EL PROGRAMA BETA DE NEWMARK

Ver página No. 125

El manejo del programa BETA DE NEWMARK (BETANE.EXE) es sencillo y rápido, ya que utiliza información que esta almacenada en disco mediante archivos generados desde el preprocesador, procesador y datos del acelerograma. Esta información es el número de ecuaciones por resolver, las matrices de rigideces y masas globales de la estructura (K y M respectivamente) y la información del acelerógrama (No. de datos, incremento de tiempo, valores de las aceleraciones) y 4 constantes que son leídas desde el teclado.

A) EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.

Se carga el programa con el nombre de BETANE.EXE.

B) ENTRADA DEL NOMBRE DEL ARCHIVO DE LA MATRIZ DE RIGIDECES Y DE MASAS.

Escribir nombre del archivo.

C) ENTRADA DEL NOMBRE DEL ARCHIVO DEL ACELEROGRAMA.

Escribir el nombre del archivo.

D) DAR LA CONSTANTE ALFA (α) Y NU (μ).

Para todos los cálculos realizados en este trabajo se han considerado igual a CERO. Dejándose a futuras investigaciones su inclusión.

E) DAR LA CONSTANTE GAMA (γ) Y LA CONSTANTE BETA (β).

Según la teoría expuesta en el capítulo 3.3 del método generalizado que introduce estos parámetros adimensionales. Beta esta relacionado con la estabilidad del método y Gama con el amortiguamiento matemático. Para el caso:

$$\beta = 1/6$$

$$\gamma = 1/2$$

F) NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS.

En este renglón solicita desde el teclado el nombre del archivo donde han de quedar guardados los parámetros de desplazamiento velocidad y aceleración para cada uno de los puntos de la armadura.

G) TERMINA EL CICLO.

Este ciclo termina y para comparar el comportamiento de la estructura con mayor o menor cantidad de puntos del acelerograma debemos regresar al inciso A). Destacándose que la forma modular de los archivos de datos y matrices de rigideces y de masas ya existen y no se tienen que volver a calcular, resultando así más eficiente el análisis comparativo de la estructura.

LISTADO

DE LOS

PROGRAMAS

LISTADO DEL PROGRAMA DEL PRE-PROCESADOR DE DATOS

PREDAT.FOR

DECLARE SUB ARCHI (NOMBRE1S, DDRS, NUMERO!, INDI!, IND!)
DECLARE SUB DATAR (ND!, NB!, NS!, NM!, NCF!)
DECLARE SUB PUNA (X!(), Y!(), ID!(), ND!)
DECLARE SUB CONFRA (ND, X!(), Y!(), NCF!, ID!(), JA!)
DECLARE SUB SEC1 (NS!, SEC!())
DECLARE SUB MATA (NM!, E!(), PV!())
DECLARE SUB CARBA (NB!, BA!())
DECLARE SUB CARGASA (NC!, P!())
DECLARE SUB TIT4 ()
DECLARE SUB ENCABEA ()
DECLARE SUB NOMARCHI (NOMBRE1S, DDRS, IND!)
DECLARE SUB DATI1 (ND!, NCF!, NB!, NS!, NM!, NC!)
DECLARE SUB DATI2 (ND!, X!(), Y!(), ID!(), NCF!, JA!)
DECLARE SUB DATI3 (NB!, BA!())
DECLARE SUB DATI4 (NS!, SEC!())
DECLARE SUB DATI5 (M1!, E!(), PV!())

REM PROGRAMA DE ARMADURAS PLANAS MÉTODO DINÁMICO

CALL ENCABEA

CALL NOMARCHI(NOMBRE1S, DDRS, IND)

CALL ARCHI(NOMBRE1S, DDRS, 2, 1, IND)

CALL DATAR(ND, NB, NS, NM, NCF)

DIM X(ND), Y(ND), ID(2, ND), SEC(NS, 6), E(NM), PV(NM)

DIM P(NC, 3), BA(NB, 7), RL(4, 4), RG(4, 4)

DIM FL(4), FG(4), IE(4), U(4), PC(4), F3(3 * ND)

ESTE TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

```
CALL PUNA(X(), Y(), ID(), ND)
CALL CONFRA(ND, X(), Y(), NCF, ID(), JA)
CALL SEC1(NS, SEC())
```

```
CALL MATA(NM, E(), PV())
CALL CARBA(NB, BA())
```

```
CALL DATI1(ND, NCF, NB, NS, NM, NC)
CALL DATI2(ND, X(), Y(), ID(), NCF, JA)
CALL DATI3(NB, BA())
CALL DATI4(NS, SEC())
CALL DATI5(NM, E(), PV())
```

```
92 CALL ARCHI(NOMBRES, DDRS, 2, 3, IND)
   PRINT "FIN DE PROGRAMA"
   END
```

```
SUB ARCHI (NOMBRE1S, DDRS, NUMERO, IND1, IND)
IF IND = 1 THEN GOTO L4
NOMBRES = DDRS + ":" + NOMBRE1S
ON IND1 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 CARBA (NB, BA())
FOR J = 1 TO NB STEP 10
CALL TIT4
LOCATE 6, 2: PRINT "BARRAS"
LOCATE 7, 1: PRINT "No. NODO  NODO  SECCIÓN  MATERIAL"
LOCATE 8, 1: PRINT "  1    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(JJ, 1)
LOCATE XX, 16: INPUT "", BA(JJ, 2)
LOCATE XX, 26: INPUT "", BA(JJ, 3)
LOCATE XX, 36: INPUT "", BA(JJ, 4)
NEXT JJ
142 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGÚN 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(C2, 1)
LOCATE XX, 16: INPUT "", BA(C2, 2)
LOCATE XX, 26: INPUT "", BA(C2, 3)
LOCATE XX, 36: INPUT "", BA(C2, 4)
GOTO 142
155 NEXT J
END SUB

```

```

SUB CONFRA (ND, X0, Y0, NCF, ID0, JA)
REM **** LECTURA DE CONDICIONES FRONTERA ****
FOR J = 1 TO CF 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 > CF THEN VF = NCF
FOR JJ = VI TO VF
XX = XX + 1
LOCATE XX, 5: PRINT JJ
LOCATE XX, 16: INPUT "", JA
LOCATE XX, 24: INPUT "", ID(1, JA)
LOCATE XX, 33: INPUT "", ID(2, JA)
NEXT JJ
90 LOCATE 20, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGÚN 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 V2 <= 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, 24: INPUT "", ID(1, C3)
LOCATE XX, 33: INPUT "", ID(2, C3)
GOTO 90
110 NEXT J
END SUB

```

```

SUB DATAR (ND, NB, NS, NM, NCF)
CALL TIT4
LOCATE 6, 3: PRINT "DATOS INICIALES"
I = 1
7  LOCATE 8, 3: INPUT "1. No. DE NODOS ", ND: IF I = 2 THEN 30
5  LOCATE 9, 3: INPUT "3. NO. DE PUNTOS CON C.F. ", CF: IF I = 2 THEN 30
8  LOCATE 10, 3: INPUT "4. No. DE BARRAS ", NB: IF I = 2 THEN 30
10 LOCATE 11, 3: INPUT "5. No. DE SECCIONES TRANSVERSALES ", NS: IF I = 2 THEN 30
15 LOCATE 12, 3: INPUT "6. No. DE MATERIALES ", NM: IF I = 2 THEN 30
30 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGÚN 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 > 7 OR C2 < 1 THEN 35
   XX = C2 + 7: LOCATE XX, 1
   PRINT "           "
   ON C2 GOTO 7, 5, 8, 10, 15
40  REM
   END SUB

```

```

SUB DATI1 (ND, NCF, NB, NS, NM, NC)

```

```

PRINT #2, ND
PRINT #2, NCF
PRINT #2, NB
PRINT #2, NS
PRINT #2, NM
END SUB

```

```
SUB DAT12 (ND, X(), Y(), ID(), NCF, JA)
```

```
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 " # # "; ID(I, 1)  
PRINT #2, USING " # # "; ID(I, 2)  
NEXT I  
END SUB
```

```
SUB DAT13 (NB, BA())
```

```
FOR I = 1 TO NB  
PRINT #2, USING "### "; BA(I, 1)  
NEXT I  
FOR I = 1 TO NB  
PRINT #2, USING "###"; BA(I, 2)  
NEXT I  
FOR I = 1 TO NB  
PRINT #2, USING "###"; BA(I, 3)  
NEXT I  
FOR I = 1 TO NB  
PRINT #2, USING "###"; BA(I, 4)  
NEXT I  
END SUB
```

```
SUB DAT14 (NS, SEC())
FOR I = 1 TO NS
PRINT #2, USING "### "; SEC(I, 1)
NEXT I
FOR I = 1 TO NS
PRINT #2, USING "####"; SEC(I, 2)
NEXT I
FOR I = 1 TO NS
PRINT #2, USING "####"; SEC(I, 3)
NEXT I
FOR I = 1 TO NS
PRINT #2, USING "####"; SEC(I, 4)
NEXT I
FOR I = 1 TO NS
PRINT #2, USING "####"; SEC(I, 5)
NEXT I
END SUB
```

```
SUB DAT15 (NM, E(), PV())
FOR I = 1 TO NM
PRINT #2, USING "#.#####^ ^ ^ ^"; E(I)
NEXT I
FOR I = 1 TO NM
PRINT #2, USING "#.####^ ^ ^ ^"; PV(I)
NEXT I
END SUB
```

SUB ENCABEA

CLS

SCREEN 8, 2

LINE (1, 7)-(632, 183), 1, BF

LINE (1, 35)-(632, 35)

LOCATE 3, 18: PRINT "UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO "

LOCATE 8, 20: PRINT "E . N . E . P A C A T L A N "

LOCATE 11, 30: PRINT "TESIS PROFESIONAL"

LOCATE 15, 20: PRINT "SISTEMA INTERACTIVO PARA COMPUTADORA"

LOCATE 16, 25: PRINT " DE ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO"

LOCATE 17, 23: PRINT "PARA ARMADURAS BIDIMENSIONALES"

LOCATE 18, 20: PRINT "POR EL MÉTODO PASO A PASO BETA DE NEWMARK"

LOCATE 22, 26: PRINT "<OPRIMA RETURN PARA CONTINUAR> "

1 IF INKEYS = "" THEN 1

LINE (1, 7)-(632, 183), 1, BF

LINE (1, 35)-(632, 35)

LOCATE 3, 18: PRINT " "

LOCATE 3, 23: PRINT "ANÁLISIS DINÁMICO DE ARMADURAS"

LOCATE 4, 33: PRINT "BIDIMENSIONALES"

LOCATE 8, 20: PRINT " VERSIÓN : ENERO DE 1995 "

LOCATE 11, 28: PRINT " "

LOCATE 10, 24: PRINT "ELABORADO POR:"

LOCATE 12, 38: PRINT "ANTONIO GONZAGA FLORES"

LOCATE 17, 24: PRINT "COORDINACIÓN:"

LOCATE 19, 33: PRINT "ING. FERNANDO VERA BADILLO"

2 IF INKEYS = "" THEN 2

END SUB

SUB MATA (NM, E0, PV0)

REM **** LECTURA DE MATERIALES ****

FOR J = 1 TO NM STEP 10

CALL TIT4

LOCATE 6, 3: PRINT "MATERIALES "

LOCATE 8, 1: PRINT "No. E PESO VOL "

LOCATE 9, 1: PRINT " EN KG/CM3 "

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. 6 carac.) ", NOMBRE1S
   LOCATE 12, 3: INPUT "DIRECCIÓN DEL DRIVE (A,B,C...)", DDRS
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 PUNA (X0, Y0, ID0, ND)

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, 9: INPUT "", X(JJ)

LOCATE XX, 17: INPUT "", Y(JJ)

NEXT JJ

70 LOCATE 20, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGÚN DATO (S/N) ", CS

```

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, 7: INPUT "", E(JJ)
LOCATE XX, 21: INPUT "", PV(JJ)
NEXT JJ
122 LOCATE 21, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGÚN DATO (S/N) ", CS
LOCATE 21, 1: PRINT "
IF CS = "N" THEN 135
IF CS = "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, 7: INPUT "", E(C2)
LOCATE XX, 21: INPUT "", PV(C2)
GOTO 122
135 NEXT J
END SUB

SUB NOMARCHI (NOMBRE1S, DDRS, IND)
REM *** NOMBRE DEL ARCHIVO ***
C1:
CLS
LOCATE 1, 12: PRINT "PROGRAMA DINÁMICO DE ARMADURAS BIDIMENSIONALES"
LOCATE 3, 2: PRINT " ***** "
CALL TIT4
LOCATE 10, 3: INPUT "DESEA GENERAR ARCHIVO DE DATOS Y RESULTADOS (0=SI,1=NO)", IND

```

```

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 V2 <= VF THEN 77
GOTO 75
77 XX = C2 - VI + 9
LOCATE XX, 2: PRINT " "
LOCATE XX, 2: PRINT C2
LOCATE XX, 9: INPUT "", X(C2)
LOCATE XX, 17: INPUT "", Y(C2)
GOTO 70
80 NEXT J
FOR I = 1 TO ND
FOR J = 1 TO 2
ID(J, I) = 2
NEXT J
NEXT I
END SUB

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(JJ, 1)
LOCATE XX, 16: INPUT "", SEC(JJ, 2)
LOCATE XX, 23: INPUT "", SEC(JJ, 3)

```

```

LOCATE XX, 30: INPUT "", SEC(JJ, 4)
LOCATE XX, 36: INPUT "", SEC(JJ, 5)
NEXT JJ
120 LOCATE 22, 1: INPUT "DESEA CAMBIAR ALGÚN DATO (S/N) ", CS
LOCATE 22, 1: PRINT "
IF CS = "N" THEN 140
IF CS = "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(C2, 1)
LOCATE XX, 16: INPUT SEC(C2, 2)
LOCATE XX, 23: INPUT SEC(C2, 3)
LOCATE XX, 30: INPUT SEC(C2, 4)
LOCATE XX, 36: INPUT SEC(C2, 5)
GOTO 120
140 NEXT J
END SUB

SUB TIT4

CLS
LOCATE 1, 12: PRINT "PROGRAMA ANÁLISIS DINÁMICO DE ARMADURAS"
LOCATE 3, 2: PRINT "*****"
END SUB

```



```
ARCHI (1:1) = DISCO
ARCHI (2:1+1) = ':'
ARCHI (3:2+6)=NOME
OPEN (1,FILE =ARCHI,STATUS= 'OLD')
```

```
C ***** LECTURA DE DATOS INICIALES *****
```

```
READ (1,8011) ND
READ (1,8011) NCF
READ (1,8011) NB
READ (1,8011) NS
READ (1,8011) NM
READ (1,8011) NC
WRITE (*,*)ND
WRITE (*,*)NCF
WRITE (*,*)NB
WRITE (*,*)NS
WRITE (*,*)NM
WRITE (*,*)NC
8011 FORMAT (I5)
8012 FORMAT (E12.6)
8013 FORMAT (I17)
8014 FORMAT (I4)
8015 FORMAT (I13)
8016 FORMAT (E10.4)
8017 FORMAT (E10.6)
8018 FORMAT (I4)
8019 FORMAT (E16.6)
8020 FORMAT (E12.5)
```

C *** MEMORIA DINÁMICA *******

$$N1 = 7$$

$$N2 = N1 + ND$$

$$N3 = N2 + ND$$

$$N4 = N3 + ND$$

$$N5 = N4 + ND$$

$$N6 = N5 + NB$$

$$N7 = N6 + NB$$

$$N8 = N7 + NB$$

$$N9 = N8 + NB$$

$$N10 = N9 + NS$$

$$N11 = N10 + NS$$

$$N12 = N11 + NS$$

$$N13 = N12 + NS$$

$$N14 = N13 + NS$$

$$N15 = N14 + NM$$

$$N16 = N15 + NC$$

$$N17 = N16 + NC$$

$$N18 = N17 + NC$$

C ***** LECTURA DE DATOS INICIALES *****

```
DO 100 I=7,N2-1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
100 CONTINUE
  DO 200 I= N2, N3-1
    READ (1,*) A(I)
    WRITE (5,*) A(I)
200 CONTINUE
  DO 300 I = N3, N4 - 1
    READ (1,*) A(I)
    WRITE (5,*) A(I)
300 CONTINUE
  DO 400 I = N4, N5 - 1
    READ (1,*) A(I)
    WRITE(5,*) A(I)
400 CONTINUE
  DO 500 I = N5, N6 - 1
    READ (1, *) A(I)
    WRITE (5,*) A(I)
500 CONTINUE
  DO 600 I= N6, N7 - 1
    READ (1, *) A(I)
    WRITE (5,*) A(I)
600 CONTINUE
  DO 700 I = N7, N8 - 1
    READ(1, *) A(I)
    WRITE (5,*) A(I)
700 CONTINUE
  DO 800 I=N8, N9 - 1
    READ (1,*) A(I)
    WRITE(5,*) A(I)
800 CONTINUE
  DO 900 I = N9, N10 - 1
    READ (1,*) A(I)
    WRITE (5,*) A(I)
```

```
900 CONTINUE
  DO 1000 I= N10,N11 - 1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
1000 CONTINUE
  DO 1100 I= N11,N12 - 1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
1100 CONTINUE
  DO 1200 I = N12, N13 - 1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE(5,*) A(I)
1200 CONTINUE

  DO 1300 I = N13, N14 - 1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE(5,*) A(I)
1300 CONTINUE
  DO 1400 I= N14, N15 - 1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
1400 CONTINUE
  DO 1500 I = N15, N16 - 1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
1500 CONTINUE
  DO 1600 I = N16, N17 -1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
1600 CONTINUE
  DO 1700 I=N17,N18 -1
  READ (1,*) A(I)
  WRITE (5,*) A(I)
1700 CONTINUE
```

```

C
C *****
C
C ***** PROGRAMA PRINCIPAL *****
CALL PROPIEA(NS, A(N9), IND)
N19 = N18 + 2 * ND
CALL INDICA(NN, ND, A(N3), IND)
N20 = N19 + NEC * NEC
DO I=1,NB
CALL CALXLA(A(N1), A(N2), A(N5), A(N9), A(N14),
/E1, AR, I, ND, NB, NS, NM)
CALL MATRIM(E1, AR, XL, C, S, RL, RG)
CALL IEDA(IE, A(N5), A(N18), ND, NB, I)
CALL ENSAMBLA(IE, A(N19), RG, NEC)
END DO
END

C
C *****
C
C *****CALCULO DE PROPIEDADES GEOMÉTRICAS *****
SUBROUTINE PROPIEA(NS, SEC, IND)
DIMENSION SEC(NS, 6)
DO 2000 I=1,NS
IND = INT(SEC(I, 1))
GOTO (82,84,86,87),IND
C ***** SECCIÓN RECTANGULAR *****
82 B = SEC(I, 2)
H = SEC(I, 3)
AR = B * H
GOTO 88

```

```

C ***** SECCIÓN T *****
84 B = SEC(1, 2)
   H = SEC(1, 3)
   V = SEC(1, 4)
   T = SEC(1, 5)
   AR = (H - T) * V + 2 * B * T
   GOTO 88
C ***** SECCIÓN I *****
86 B = SEC(1, 2)
   H = SEC(1, 3)
   V = SEC(1, 4)
   T = SEC(1, 5)
   AR = (H - 2 * T) * V + 2 * B * T
   GOTO 88
C ***** SECCIÓN GENERAL *****
87 AR = SEC(1, 2)
88 SEC(1, 6) = AR
2000 CONTINUE
    RETURN
    END
C *****CALCULA EL INDICADOR DE ECUACIÓN *****
SUBROUTINE INDICA(NN, ND, AID, IND)
DIMENSION AID(2, ND)
NEC = 0
NN = 0
DO I=1,ND
DO K=1,2
IND = INT(AID(K, I))
GOTO (50,55),IND
50 NN = NN + 1
   AID(K, I) = 0
   GOTO 60
55 NEC = NEC + 1
   AID(K, I) = NEC
60 END DO
   END DO

```

```

WRITE (*,*)'No. DE ECUACIONES A RESOLVER',NEC
WRITE (*,*)'OPRIMA RETURN PARA CONTINUAR';DATS
RETURN
END
C
C
C *****CALCULO XL,C,S, DE CADA BARRA *****
SUBROUTINE CALXLA(X, Y, BA, SEC, E, E1, AR, I, ND, NB, NS, NM)
DIMENSION X(ND), Y(ND), BA(NB, 7), SEC(NS, 6), E(NM)
L = BA(I, 3)
AR = SEC(I, 6)
C **** TIPO DE MATERIAL ****
E1 = E(BA(I, 4))
XI = X(BA(I, 2)) - X(BA(I, 1))
YI = Y(BA(I, 2)) - Y(BA(I, 1))
XL = SQRT((XI**2) + (YI**2))
S = (YI) / (XL)
C = (XI) / (XL)
BA(I, 5) = XL
BA(I, 6) = S
BA(I, 7) = C
RETURN
END

```

```

C
C
C ***** MATRIZ DE MASAS *****
SUBROUTINE MATRIM(E1, AR, XL, C, S, RL, RG)
DIMENSION RL(4, 4), RG(4, 4)
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) = C * S * C1
RG(1, 3) = C * C * C1
RG(1, 4) = C * S * C1
RG(2, 2) = S * S * C1
RG(2, 3) = C * S * C1
RG(2, 4) = S * S * C1
RG(3, 3) = C * C * C1
RG(3, 4) = C * S * C1
RG(4, 4) = S * S * C1
DO II=1,4
DO JJ=1,4
RG(JJ, II) = RG(II, JJ)
END DO
END DO
RETURN
END
C
C
C

```

C ***** CALCULO DEL INDICADOR DE ECUACION *****

SUBROUTINE IEDA(IE, BA, AID, NB, ND, I)

DIMENSIÓN IE(4), BA(NB, 7), AID(2, ND)

DO IJ=1,2

L = BA(I, 1)

IE(IJ) = INT(AID(IJ, L))

L = BA(I, 2)

IE(IJ + 2) = INT(AID(IJ, L))

END DO

RETURN

END

C

C

C

C ***** ENSAMBLE DE LA MATRIZ DE MASAS *****

SUBROUTINE ENSAMBLA(IE, AK, RG, NEC)

DIMENSIÓN AK(NEC, NEC), IE(4), RG(4, 4)

DO 64 II=1,4

IK = IE(II)

IF (IK.LE.0) GOTO 64

DO 62 JJ=1,4

JK = IE(JJ)

IF (JK.LE.0) GOTO 62

AK(IK, JK) = AK(IK, JK) + RG(II, JJ)

62 CONTINUE

64 CONTINUE

RETURN

END

LISTADO DEL PROGRAMA PARA EL MÉTODO GENERALIZADO BETA DE NEWMARK.

BETANE.FOR

```
C  REVISIÓN 29 DE OCTUBRE 1993
c  30 DE JUNIO DE 1995
C  MÉTODO GENERALIZADO DE á NEWMARK
    EXTERNAL TGCSIM, SGCSIM, BETANE, MULMAT, IMATR
    CHARACTER*30 FILEA,FILEB,FILEC
    CHARACTER*60 LETRE
    DIMENSIÓN A(30000)
    INTEGER*4 IRET4
    NA = 30000
C
C  LECTURA DE LOS ARCHIVOS
C  MATRIZ DE RIGIDECES Y DE MASAS
10  WRITE(*,6000)
    READ(*,5000)FILEA
    OPEN (UNIT=1, FILE=FILEA, MODE='READ', STATUS='OLD',IOSTAT=IRECT4)
    IF (IRECT4.NE. 0) GOTO 10
    READ(1,*) NC
    N1 = 1
    N2 = N1 + (NC * NC)
    N3 = N2 + (NC * NC)
    DO I = N1, N3-1
    READ(1,*) A(I)
    END DO
    CLOSE (1)
C  ***** LECTURA DEL ACELEROGRAMA *****
30  WRITE(*,6010)
    READ(*,5000)FILEB
    OPEN (UNIT=2, FILE=FILEB,MODE='READ', STATUS='OLD'.IOSTAT=IRET4)
    IF (IRET4.NE. 0) GOTO 30
    READ(2,4000)LETRE
    READ(2,*) NP
```

```
READ(2,*) DT
N4 = N3 + NP
DO I = N3, N4-1
READ(2,*) A(I)
END DO
CLOSE (2)
```

```
C ***** ARCHIVO DE IMPRESION DE RESULTADOS *****
WRITE (*,6022)
READ(*,5000)FILEC
OPEN (UNIT=9, FILE=FILEC, STATUS="NEW")
```

```
C *****DIMENSIONAMIENTO MEMORIA DINAMICA*****
N5 = N4 + NC * NC
N6 = N5 + 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 * NP
N17 = N16 + NC * NP
N18 = N17 + NC * NP
N19 = N18 + NC * NP
N20 = N19 + NC
N21 = N20 + NC
WRITE(*,6020)N21,NA
READ(*,5010)NSINO
IF (NSINO.EQ.1) GOTO 200
```

```
IF (N21.GT.NA) GOTO 200
WRITE(*,6030)
READ(*,5020)ALFA
WRITE(*,6040)
READ(*,5020)ANU
WRITE(*,6050)
READ(*,5020)GAMA
WRITE(*,6060)
READ(*,5020)BETA
```

```
C
C ***** CALCULO POR EL METODO BETA DE NEWMARK *****
CALL BETANE (ALFA,ANU,GAMA,BETA,DT,NP,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),A(N20))
```

```
C
200 CONTINUE
4000 FORMAT (A60)
5000 FORMAT (A)
5010 FORMAT (I1)
5020 FORMAT (F10.2)
6000 FORMAT(3X,/, ' Nombre de ARCHIVO de matriz de rigidez y masas')
6020 FORMAT(/,3X,'DIMENSIONAMIENTO DEL PROGRAMA',I10,
* /,2X,'DIMENSIONAMIENTO CALCULADO',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 LA COSNANTE NU = ')
6050 FORMAT(/,3X,'DAR LA CONSTANTE GAMA = ')
6060 FORMAT(/,3X,'DAR LA CONSTANTE BETA = ')
END
```


C *****+***** IMPRESION DE RESULTADOS PARCIALES *****

WRITE (9,6010)

6010 FORMAT(/,2X,'MATRIZ DE RIGIDECES')

CALL IMATR(AK, N, N)

WRITE (9,6020)

6020 FORMAT(/,2X,'MATRIZ DE MASAS')

CALL IMATR(AM, N, N)

WRITE (9,6030)

6030 FORMAT(/,2X,'MATRIZ AMK')

CALL IMATR(AMK, N, N)

CALL TGCSIM(AMK, N)

C *****

DO I=1,N

VA(I) = 0!

VB(I) = 0!

DESO(I) = 0!

VELO(I) = 0!

ACEO(I) = 0!

VAUX4(I) = 1!

END DO

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)

END DO

DO I=1,N

VAUX1(I) = ANU * VA(I) + VB(I)

END DO

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)

END DO

```

        CALL MULMAT(AM, VAUX1, VAUX4, N, N, N, 1)
        DO I=1,N
            VR(I) = -VAUX4(I) - ALFA * VAUX3(I) - VAUX2(I)
        END DO
C      ***** IMPRESION DE RESULTADOS PARCIALES *****
        WRITE (9,6041)K
6041  FORMAT (/ ,2X,'No. DE ITERACIONES',I2)
        WRITE (9,6040)
6040  FORMAT (/ ,2X,'VECTOR VA')
        CALL IMATR(VA, N, 1)
        WRITE(9,6050)
6050  FORMAT (/ ,2X,'VECTOR VB')
        CALL IMATR(VB, N, 1)
        WRITE (9,6060)
6060  FORMAT (/ ,2X,'VECTOR VAUX2')
        CALL IMATR(VAUX2, N, 1)
        WRITE (9,6070)
6070  FORMAT (/ ,2X,'VECTOR VAUX3')
        CALL IMATR(VAUX3, N, 1)
        WRITE(9,6080)
6080  FORMAT (/ ,2X,'VECTOR VR')
        CALL IMATR(VR, N, 1)
C      *****
        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)
        END DO
        DO I=1,N
            DES(I, K) = DESO(I)
            VEL(I, K) = VELO(I)
            ACE(I, K) = ACEO(I)
        END DO

```

C ***** IMPRESION DE RESULTADOS PARCIALES *****

WRITE (9,6090)

6090 FORMAT (/2X, 'VECTOR DE ACELERACIONES')

CALL IMATR(ACEO, N, 1)

WRITE (9,6100)

6100 FORMAT (/2X, 'VECTOR DE VELOCIDADES')

CALL IMATR(VELO, N, 1)

WRITE(9,6110)

6110 FORMAT(/,2X, 'VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS')

CALL IMATR(DESO, N, 1)

END DO

C *****

DO I=1,N

PDES(I) = 0!

PVEL(I) = 0!

PACEL(I) = 0!

END DO

DO K=1, NPUNT

DO I=1,N

PDES(I) = PDES(I) + (DES(I, K) * DES(I, K))

PVEL(I) = PVEL(I) + (VEL(I, K) * VEL(I, K))

PACEL(I) = PACEL(I) + (ACE(I, K) * ACE(I, K))

END DO

END DO

DO I=1,N

PDES(I) = SQRT(PDES(I))

PVEL(I) = SQRT(PVEL(I))

PACEL(I) = SQRT(PACEL(I))

END DO

CALL IMATR(DES, N, K - 1)

CALL IMATR(VEL, N, K - 1)

CALL IMATR(ACE, N, K - 1)

C

CALL IMATR(PDES, N, 1)

CALL IMATR(PVEL, N, 1)


```

IS=N-1
DO I=1,IS
  IA = N - I
  KI = IA + 1
  S = 0
  DO K=KI,N
    S = S + A(IA, K) * B(K)
  END DO
  B(IA) = B(IA) / A(IA, IA) - S
END DO
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE IMATR(B, NR, NCO)
DIMENSION B(NR, NCO)
DO L=1,NCO,5
  M = L + 4
  IF (M.GT.NCO) M=NCO
  WRITE(9,6001)(K,K=L,M)
  DO I=1,NR
    WRITE(9,6011)I,(B(L,J),J=L,M)
  END DO
END DO
RETURN

```

```

6001 FORMAT(/,9X,I4,4(10X,I4))
6011 FORMAT(1X,I4,5(1PE14.6))
RETURN
END

```

7. EJEMPLO DE APLICACIÓN CON EL PROGRAMA

7.1 ESTRUCTURA ANALIZADA : En la sig. figura se presenta la estructura que se analizó como EJEMPLO .

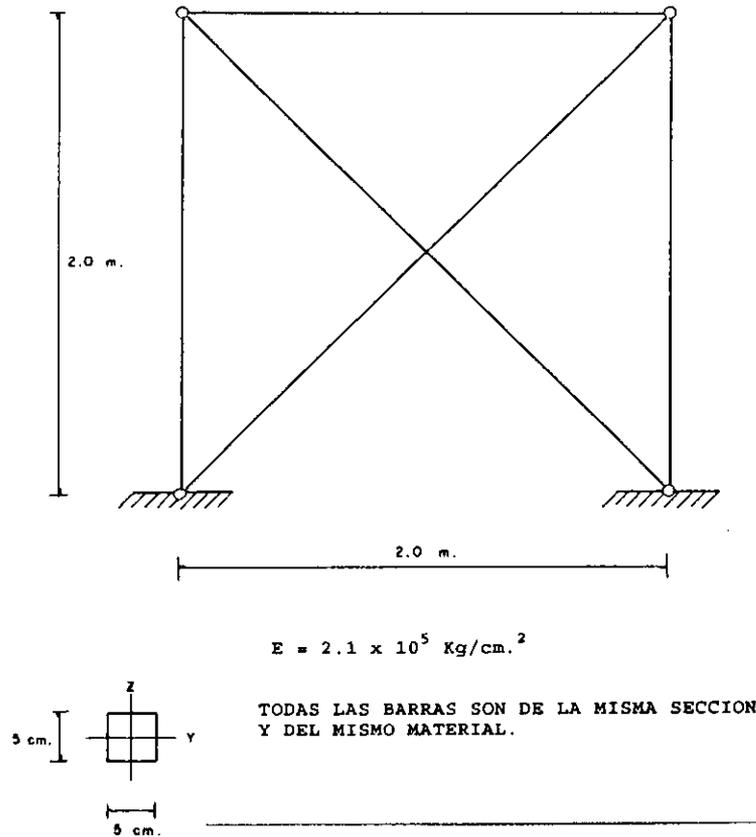
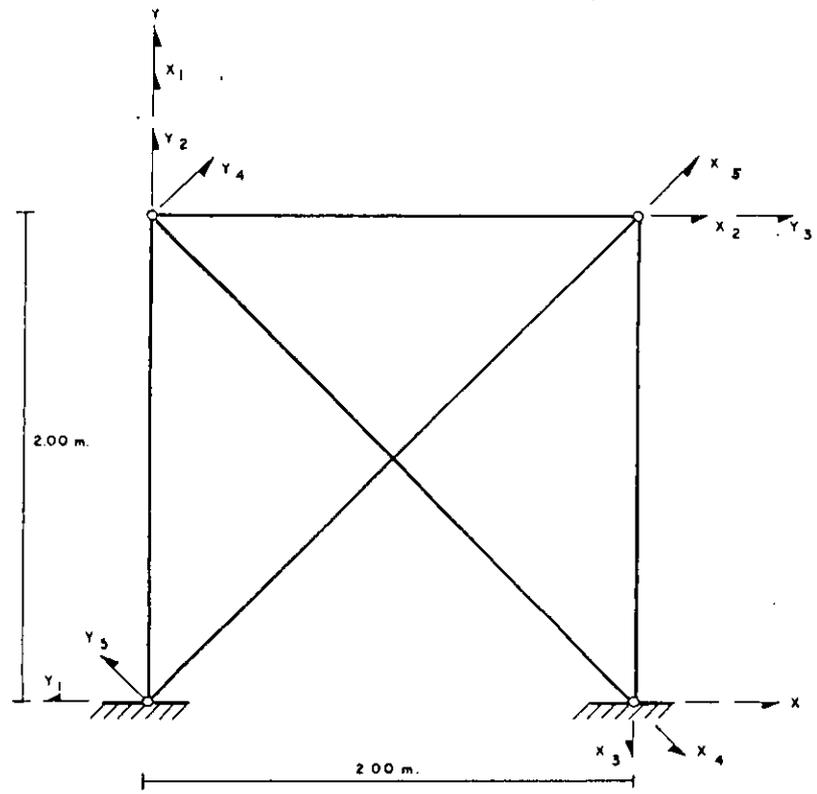


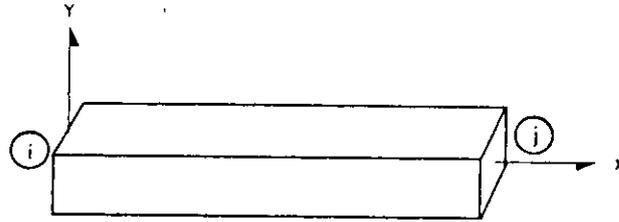
FIG. 7.1 ARMADURA PLANA



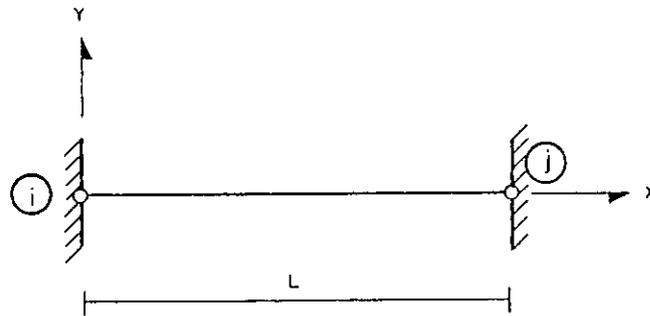
X-Y SISTEMA DE REFERENCIA GLOBAL.

X_m - Y_m SISTEMA DE REFERENCIA LOCAL DE LA N-ESIMA BARRA.

FIG. 7.2 SISTEMA DE REFERENCIA GLOBAL Y SISTEMA DE REFERENCIA LOCAL.

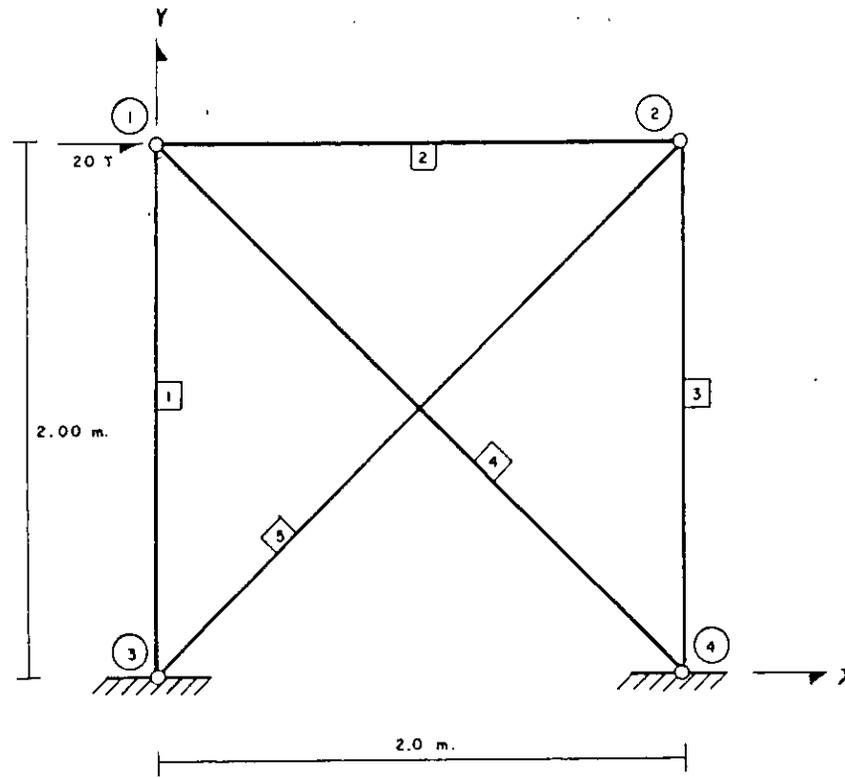


A) BARRA PRISMÁTICA



B) ARTICULACIONES

FIG. 7.3 BARRA CON PUNTOS NODALES ARTICULADOS .



- NUMERO DE NODO
- NUMERO DE BARRA

FIG. 7.4 ARMADURA CON NUMERACIÓN DE PUNTOS NODALES, BARRAS Y SELECCIÓN DE LA REFERENCIA LOCAL Y GLOBAL.

7. 2 CORRIDA DE PROGRAMAS

Se corrió la estructura con el preprocesador PREDAT.EXE, con los datos que a continuación se presentan en las siguientes pantallas:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

E . N . E . P . A . C . A . T . L . A . N

TESIS PROFESIONAL

SISTEMA INTERACTIVO PARA COMPUTADORA
DE ANALISIS SISMICO DINAMICO
PARA ARMADURAS BIDIMENSIONALES
POR EL METODO PASO A PASO BETA DE NEWMARK

<OPRIMA RETURN PARA CONTINUAR>

ANALISIS DINAMICO DE ARMADURAS
BIDIMENSIONALES

VERSION : ENERO DE 1995

ELABORADO POR:
ANTONIO GONZAGA FLORES

COORDINACION:
ING. FERNANDO VERA BADILLO

ARMADURA bidimensional
METODO DINAMICO version 9-93 PC

NOMBRE DEL ARCHIVO (max. 6 carac.) DAT3
DIRECCION DEL DRIVE (A,B,C...):B

DESEA CAMBIAR LOS DATOS (S/N) █

ARMADURA bidimensional
METODO DINAMICO version 9-93 PC

DESEA GENERAR ARCHIVO DE DATOS Y RESULTADOS (0-SI, 1-NO)0

DESEA CAMBIAR EL DATO (S/N) █

FALTAN PAGINAS

De la: 17

A la: 18

ARMADURA bidimensional
 METODO DINAMICO version 9-93 PC

MATERIALES

No.	E	Peso Vol. kg/cm ³
1	2.1E+06	.785E-02

DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) █

ARMADURA bidimensional
 METODO DINAMICO version 9-93 PC

BARRAS

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

DESEA CAMBIAR ALGUN DATO (S/N) █

Genero el siguiente archivo de datos de la estructura.

```
4 ..... NUMERO DE NODOS
2 ..... NUMERO DE PUNTOS CON CONDICIONES FRONTERA
5 ..... NUMERO DE BARRAS
1 ..... NUMERO DE SECCIONES TRANSVERSALES
1 ..... NUMERO DE MATERIALES
  0.000000E+00
  2.000000E+00
  0.000000E+00   COORDENADAS EN "X"
  2.000000E+00
2.000000E+00
2.000000E+00
  0.000000E+00   COORDENADAS EN "Y"
  0.000000E+00
2
2
2   CONDICIONES FRONTERA EN "X"
2
1
1   CONDICIONES FRONTERA EN "Y"
1
1
3
1
4   NODO "I"
4
3
1
2
2   NODO "J"
1
2
1
1
```

```

1
1          SECCIONES TRANSVERSALES
1
1
1
1
1          TIPO DE MATERIAL
1
1
1
1
5.0000E-02
5.0000E-02          SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MATERIAL
0.0000E+00
0.00000E+00
0.210000E+07          MODULO DE ELASTICIDAD
0.785000E-002          PESO VOLUMÉTRICO

```

Con los datos generados en el archivo anterior (DAT1) se corrió el procesador PRODAT.EXE para obtener la matriz de rigideces y masas generando el archivo MK1.

AL EJECUTAR EL PROGRAMA PREGUNTA:

CUAL ES EL NOMBRE DEL ARCHIVO (MAX. 6 CARACTERES)
 DAT1

DRIVE A UTILIZAR ÚNICAMENTE LETRA
 B

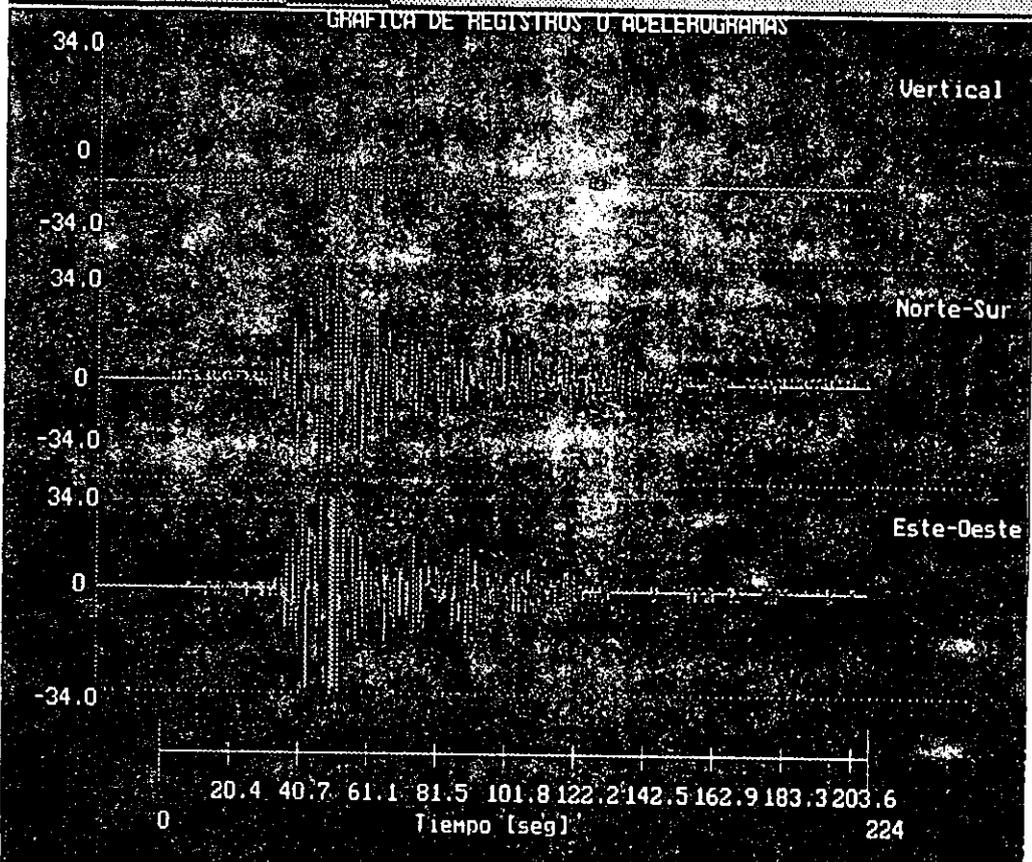
GENERA EL SIGUIENTE ARCHIVO DE RESULTADOS (MK1)

```

      4          NUMERO DE ECUACIONES POR RESOLVER
3553.078000
-928.077700
-2625.000000
0.000000E+00
-928.077700
3553.078000
0.000000E+00
0.000000E+00
-2625.000000
0.000000E+00  MATRIZ DE RIGIDECES
3553.078000
928.077700
0.000000E+00
0.000000E+00
928.077700
3553.078000
103.032700
0.000000E+00
10.669380
0.000000E+00
0.000000E+00
103.032700
0.000000E+00
10.669380  MATRIZ DE MASAS
10.669380
0.000000E+00
103.032700
0.000000E+00
0.000000E+00
10.669380
0.000000E+00
103.032700
```

Se corrió el programa ACEGRAF.EXE para obtener los datos del acelerograma. Generando el archivo ACEL.CNS.

Se mostrará una gráfica utilizando los datos del sismo ocurrido el 25 de Abril de 1989 y que forma parte de los sismos lejanos que afectan al valle de México, y que ocurren generalmente en las Costas de Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. De acuerdo con los datos del Servicio Sismológico Nacional (SSN) del Instituto de Geofísica (I de G), el sismo se generó el 25 de abril de 1989 a las 12:26 horas tiempo de Greenwich; tuvo magnitud de 6.9 Mb y su epicentro se localizó al suroeste de Acapulco, en las coordenadas 16.53 latitud Norte y 99.5 longitud Oeste, la gráfica se muestra a continuación.



Archivo:	CMHES2.T00	Max (m/s)	Min (m/s)
Hora de Inicio:		Vertical: 0.04877	-0.16041
Fecha:		Norte-Sur: 0.32736	-0.32561
Maximo Absoluto:	gals	Este-Oeste: 0.32736	-0.32736

Conocidas las matrices de rigideces y masas de la estructura se corrió el programa Beta de Newmark BETANE.EXE, con 200 y 333 puntos del acelerograma y se obtuvieron los siguientes resultados del archivo RES1; que son las aceleraciones, velocidades y desplazamientos de cada punto nodal de la armadura.

7.3 RESULTADOS OBTENIDOS

EJEMPLO

Nº PUNTOS ACELEROGRAMA	NODO	DESPLAZAMIENTO	VELOCIDAD	ACELERACION
200	1	1.435505E+00	3.448878E+00	8.843659E+00
	2	5.101389E-01	1.713275E+00	8.485945E+00
	3	1.442268E+00	3.473538E+00	8.957236E+00
	4	5.467313E-01	1.808680E+00	8.691636E+00
333	1	2.252402E+00	5.426058E+00	1.366189E+01
	2	7.261154E-01	2.146419E+00	9.0111765E+00
	3	2.260409E+00	5.455740E+00	1.377211E+01

8. EJEMPLO DE APLICACIÓN EN FORMA MANUAL

8.1 ENSAMBLE DE MATRICES DE RIGIDECES Y DE MASAS

1.- MATRIZ DE RIGIDECES DE CADA BARRA EN SU REFERENCIA LOCAL

$$k_i = \begin{bmatrix} k_{11} & 0 & -k_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_{31} & 0 & k_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$k_{ij} = A E / L \quad [\text{Kg} / \text{cm}]$$

A = área de la sección transversal

E = módulo de elasticidad

L = longitud de la barra

RIGIDEZ PARA CADA UNA DE LAS BARRAS

BARRA No. 1

BARRA No. 2

BARRA No. 3

BARRA No. 4

BARRA 5

A = 25 cm²
 E = 2,100,000 kg/cm²
 L = 200 cm
 k₁ = 25 * 2,100,000 / 200
 k₁ = **262,500 kg / cm**

A = idem
 E = idem
 L = 200 cm
 k₂ = k₁ = **262, 500 kg / cm**

k₃ = k₂ = k₁ = 262, 500 kg / cm

L = 282.84 cm

k₄ = 25 * 2,100,000 / 282.84
 k₄ = 185,617.31

L = 282.84 cm
 k₅ = 185,671.31 kg / cm

MATRIZ DE RIGIDECES DE CADA BARRA EN SU REFERENCIA LOCAL

$$k_1 = \begin{bmatrix} 262500 & 0 & -262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -262,500 & 0 & 262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad k_2 = \begin{bmatrix} 262,500 & 0 & -262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -262,500 & 0 & 262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad k_3 = \begin{bmatrix} 262,500 & 0 & -262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -262,500 & 0 & 262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad k_4 = \begin{bmatrix} 282,500 & 0 & -262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -262,500 & 0 & 262,500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad k_5 = \begin{bmatrix} 185,617.13 & 0.00 & -185,617.13 & 0 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0 \\ -185,617.13 & 0.00 & 185,617.13 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

II.- MATRIZ DE RIGIDECES DE CADA BARRA EN SU REFERENCIA GLOBAL

$$\bar{k}_i = \begin{bmatrix} C^2 k_{11} & CSk_{11} & -C^2 k_{13} & -CSk_{13} \\ & S^2 k_{11} & -CSk_{13} & -S^2 k_{13} \\ & & C^2 k_{33} & -CSk_{33} \\ & & & S^2 k_{33} \end{bmatrix}$$

C = Coseno Φ

S = Seno Φ

COORDENADAS GLOBALES

Donde:

$$L_1 = X_2 - X_1,$$

$$L_2 = Y_2 - Y_1, \text{ para que}$$

$$L = \text{SQR}(L_1^2 + L_2^2), \text{ y por lo tanto:}$$

$$\text{SEN } \Phi = L_2 / L$$

$$\text{COS } \Phi = L_1 / L$$

II.1.-COORDENADAS DE LAS BARRAS

BARRA No.1

$X_i \ Y_j$

Nodos 3 (0,0)

1 (0,2)

$$L_1 = X_2 - X_1, \quad L_1 = 0 - 0 = 0$$

$$L_2 = Y_2 - Y_1; \quad L_2 = 2 - 0 = 2$$

$$L = \text{SQR}(L_1^2 + L_2^2); \quad L = \text{SQR}(0^2 + 2^2) = 2$$

$$\text{SEN } \Phi = L_2 / L; \quad \text{SEN } \Phi = 2 / 2 = 1$$

$$\text{COS } \Phi = L_1 / L; \quad \text{COS } \Phi = 0 / 2 = 0$$

$$\bar{k}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 262,500 & 0 & -262,500 \\ & & & 0 \\ & & & 262,500 \end{bmatrix}$$

$$S = 1$$

$$C = 0$$

BARRA No.2

$X_i \ Y_j$

Nodos 1 (0,2)

2 (2,2)

$$L_1 = 2 - 0 = 2$$

$$L_2 = 2 - 2 = 0$$

$$L = \text{SQR}(2^2 + 0^2) = 2$$

$$\text{SEN } \Phi = 0 / 2 = 0$$

$$\text{COS } \Phi = 2 / 2 = 1$$

$$\bar{k}_2 = \begin{bmatrix} 262,500 & 0 & -262,500 & 0 \\ & 0 & 0 & 0 \\ & & 262,500 & 0 \\ & & & 0 \end{bmatrix}$$

$$S = 0$$

$$C = 1$$

BARRA No.3

Nodos 4 (2,0)

2 (2,2)

$$L_1 = 2 - 2 = 0$$

$$L_2 = 2 - 0 = 2$$

$$L = \text{SQR}(0^2 + 2^2) = 2$$

$$\text{SEN } \Phi = 2 / 2 = 1$$

$$\text{COS } \Phi = 0 / 2 = 0$$

$$\bar{k}_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 262,500 & 0 & -262,500 \\ & & & 0 \\ & & & 262,500 \end{bmatrix}$$

$$S = 1$$

$$C = 0$$

BARRA No.4

Nodos 4 (2,0)

1 (0,2)

$$L_1 = 0 - 2 = -2$$

$$L_2 = 2 - 0 = 2$$

$$L = \text{SQR}(-2^2 + 2^2) = 2.8284$$

$$\text{SEN } \Phi = 2 / 2.8284 = 0.7071$$

$$\text{COS } \Phi = -2 / 2.8284 = 0.7071$$

$$\bar{k}_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 262,500 & 0 & -262,500 \\ & & & 0 \\ & & & 262,500 \end{bmatrix}$$

$$S = 0.7071$$

$$C = 0.7071$$

BARRA No.5

Nodos 3 (0,0)

2 (2,2)

$$L_1 = 2 - 0 = 2$$

$$L_2 = 2 - 0 = 2$$

$$L = \text{SQR}(2^2 + 2^2) = 2.8284$$

$$\text{SEN } \Phi = 2 / 2.8284 = 0.7071$$

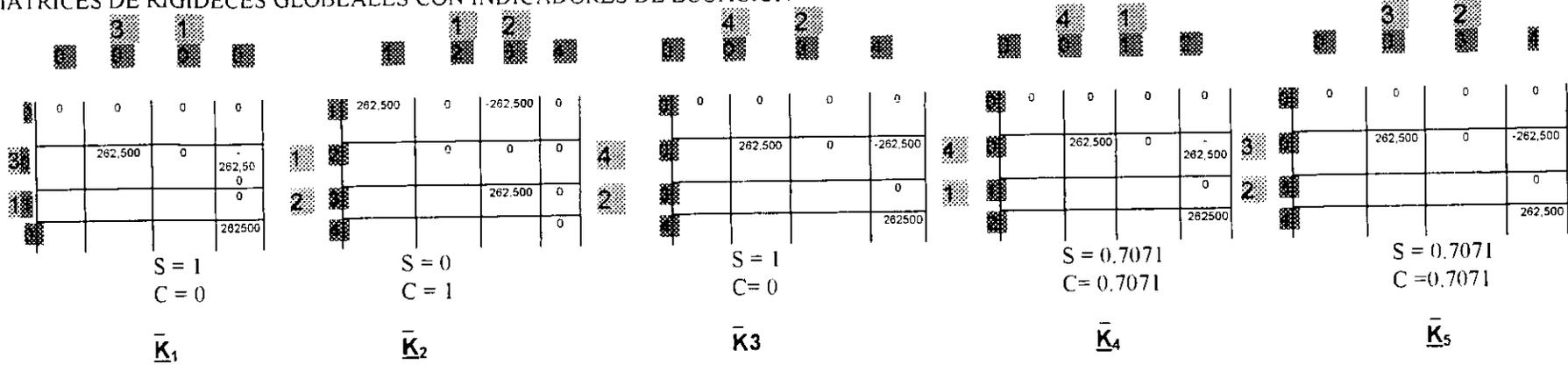
$$\text{COS } \Phi = 2 / 2.8284 = 0.7071$$

$$\bar{k}_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 262,500 & 0 & -262,500 \\ & & & 0 \\ & & & 262,500 \end{bmatrix}$$

$$S = 0.7071$$

$$C = 0.7071$$

MATRICES DE RIGIDEZES GLOBALES CON INDICADORES DE ECUACION



ENSAMBLE DE LA MATRIZ DE RIGIDEZES DE LA ESTRUCTURA

INDICADOR DE ECUACION

B \ A	1	2	3	4
X	0	0	1	1
Y	0	0	1	1

- A = No. PUNTOS NODALES
- B = No. GRADOS DE LIBERTAD
- 0 = (CERO) DESPLAZAMIENTO LIBRE
- 1 = (UNO) DESPLAZAMIENTO RESTRINGIDO

REMUNERACION O TRANSFORMACION

B \ A	1	2	3	4
X	1	3	0	0
Y	2	4	0	0

MATRIZ DE 4 X 4

- 1,1) $262,500 + 9280.68 = 355,306.78$
- 1,2) $-9,280.68$
- 1,3) $-262,500$
- 1,4) 0
- 2,1) 0
- 2,2) $262,500 + 9,280.68 = 355,306.78$
- 2,3) 0
- 2,4) 0
- 3,1) 0
- (3,2) 0
- (3,3) $262,500 + 9,280.68 = 355,306.78$
- (3,4) $92,806.78$
- (4,1) 0
- (4,2) 0
- (4,3) 0
- (4,4) $262,500 + 92,806.78 = 355,306.78$

	1	2	3	4
1	355,306.78	-92,806.78	-262,500	0
2		355,306.78	0	0
3			355,306.78	0
4				355,306.78

MATRIZ DE RIGIDECES DE LA ESTRUCTURA

MATRICES DE MASAS EN SU REFERENCIA LOCAL.

2M	0	M	0
0	2M	0	M
M2	0	2M	0
0	M2	0	2M

$$M = \frac{\bar{m} l}{6}$$

\bar{m} = MASA POR UNIDAD DE LONGITUD

$$\bar{m} = \frac{P.V.}{g} \cdot l^2 \quad \frac{Kg/cm^3}{\frac{cm}{seg^2}} \cdot cm^2$$

$$\frac{Kg \cdot seg^2}{cm^2}$$

CALCULO.

$g = Cte = 981 \text{ cm/seg}^2$

$l_1 = 200 \text{ cm}$

$l_2 = 200 \text{ cm}$

$l_3 = 200 \text{ cm}$

$l_4 = 282.84 \text{ cm}$

$P.V = CTE = 0.00785 \text{ KG} / \text{cm}^3$

(*) Aceleración de la gravedad

$m_1 = .00785/981 \cdot 200^2$

$m_1 = .0.3200 \text{ kg} \cdot \text{seg}^2 / \text{cm}^2$

$m_{2,3} = 0.3200$

$m_4 = .0.00785/981 \cdot 282.84^2$

$m_{4,5} = 0.6401$

$M_1 = m \cdot l / 6$

$M_1 = 0.32 \cdot 200/6 = 10.669$

$M_2 = 10.669$

$M_3 = 10.669$

$M_4 = M_5 = 30.174$

$2M_{4,5} = 60.3486$

21.338	0	10.669	0
0	21.3382	0	10.669
10.669	0	21.338	0
0	10.669	0	21.3380

M2=

21.338	0	10.669	0
0	21.3382	0	10.669
10.669	0	21.338	0
0	10.669	0	21.3380

M3=

21.338	0	10.669	0
0	21.3382	0	10.669
10.669	0	21.338	0
0	10.669	0	21.3380

M4=

60.348	0	30.17	0
0	60.348	0	30.17
30.17	0	60.348	0
0	30.17	0	60.348

M5=

60.348	0	30.17	0
0	60.348	0	30.17
30.17	0	60.348	0
0	30.17	0	60.348

MATRICES DE MASAS EN SU REFERENCIA GLOBAL

$2M(C^2 + S^2)$	0	M	0
0	$2M(C^2 + S^2)$	0	$M(C^2 + S^2)$
$M(C^2 + S^2)$	0	$2M(C^2 + S^2)$	0
0	$M(C^2 + S^2)$	0	$2M(C^2 + S^2)$

Donde

$\bar{m} = 1/6$
 C = Coseno
 S = Seno

21.338	0	10.669	0
0	21.3382	0	10.669
10.669	0	21.338	0
0	10.669	0	21.338

S = 1
C = 0

21.338	0	10.669	0
0	21.3382	0	10.669
10.669	0	21.338	0
0	10.669	0	21.338

S = 1
C = 0

21.338	0	10.669	0
0	21.3382	0	10.669
10.669	0	21.338	0
0	10.669	0	21.338

S = 1
C = 0

60.348	0	30.17	0
0	60.348	0	30.17
30.17	0	60.348	0
0	30.17	0	60.348

S = 0.7071
C = 0.7071

60.348	0	30.17	0
0	60.348	0	30.17
30.17	0	60.348	0
0	30.17	0	60.348

S = 0.7071
C = 0.7071

8.2 DESARROLLO DEL ALGORITMO NUMERICO

METODO BETA DE NEWMARK

I. ALGORITMO NUMERICO

1. SE DETERMINAN LAS ECUACIONES

$$E_0 = \gamma \Delta t$$

$$E_1 = \beta \Delta t \Delta t = \beta \Delta t^2$$

$$EK_1 = 1 - E_0 \alpha$$

$$EK_2 = E_0 \mu + E_1$$

$$EA_1 = \Delta t - E_0$$

$$EB_1 = (1/2 - \beta) \Delta t^2$$

2. SE CALCULA LA MATRIZ K

$$K = EK_1 \underline{M} + EK_2 \underline{K}$$

3. SE RESUELVE LA MATRIZ K

PARA CADA PUNTO DEL ACELEROGRAMA REALIZAR:

4. DETERMINAR LOS VECTORES

$$\underline{a} = \dot{\underline{U}}_0 + E \Delta t \ddot{\underline{U}}_1$$

$$\underline{b} = \dot{\underline{U}}_0 + \Delta t \dot{\underline{U}}_0 + E \beta_1 \ddot{\underline{U}}_0$$

$$\underline{r} = -\underline{U}_g \underline{M} - \alpha \underline{M} \underline{a} - \underline{K} [\mu \underline{a} + \underline{b}]$$

5. RESOLVER SISTEMA DE ECUACIONES

$$\underline{K} \underline{U} = \underline{r}$$

6. OBTENER LOS VECTORES:

$$\underline{U} = \underline{a} + E_0 \underline{U}_1$$

$$\underline{U}_1 = \underline{b} + E_1 \underline{U}_1$$

CALCULO DE ITERACIONES

CONSTANTES:

$$\gamma = 0.5$$

$$\beta = 1/6 = 0.166$$

$$\Delta t = 0.1 \text{ seg.}$$

$$\Delta t = 0.5 \text{ seg.} \quad * \text{primer valor considerado}$$

$$\Delta t = 0.25 \text{ seg.}$$

$$\Delta t = 0.02 \text{ seg.}$$

1. SE DETERMINAN LAS ECUACIONES:

$$\Delta t = 0.5 \text{ seg.}$$

$$E_0 = \gamma \Delta t$$

$$E_0 = (0.5) (0.5) = 0.25 \quad [\text{seg.}]$$

$$E_1 = \beta \Delta t^2$$

$$E_1 = (0.166) (0.5)^2 = 0.0415 \quad [\text{seg.}^2]$$

$$EK_1 = 1 - E_0 \alpha$$

$$EK_1 = 1 - (0.25 * 0) = 1.00$$

$$EK_2 = E_0 \mu + E_1$$

$$EK_2 = 0.25 * 0 + 0.0415 = 0.0415$$

$$EA_1 = \Delta t - E_0$$

$$EA_1 = 0.5 - 0.25 = 0.25$$

$$EB_1 = (1/2 - \beta) \Delta t^2$$

$$EB_1 = (0.5 - 0.166) (0.5)^2 = 0.0835$$

2. SE CALCULA LA MATRIZ \underline{K}

$$\underline{\bar{K}} = EK_1 \underline{M} + EK_2 \underline{K}$$

\underline{M} = MATRIZ DE MASAS

\underline{K} = MATRIZ DE RIGIDECES

$$\underline{M} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 103.024 & 0 & 10.669 & 0 \\ \hline 0 & 103.024 & 0 & 10.669 \\ \hline 10.669 & 0 & 103.024 & 0 \\ \hline 0 & 10.7 & 0 & 103.024 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{K} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 355,306.78 & -92,806.78 & -262,500 & 0 \\ \hline -92,806.78 & 355,306.78 & 0 & 0 \\ \hline -262,500 & 0 & 355,306.78 & 92,806.78 \\ \hline 0 & 0 & 92,806.78 & 355,306.78 \\ \hline \end{array}$$

$$EK_1 \underline{M} ; EK_1 = 1$$

$$EK_1 \underline{M} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 103.024 & 0 & 10.669 & 0 \\ \hline 0 & 103.024 & 0 & 10.669 \\ \hline 10.669 & 0 & 103.024 & 0 \\ \hline 0 & 10.669 & 0 & 103.024 \\ \hline \end{array}$$

$$EK_2 = 0.0415$$

$$EK_2 \underline{K} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 14,745.23 & -3,851.48 & -108.937 & 0 \\ \hline -3,851.48 & 14,745.23 & 0 & 0 \\ \hline -108.937 & 0 & 14,745.23 & 3,851.48 \\ \hline 0 & 0 & 3,851.48 & 14,745.23 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 14,848.254 & -3,851.48 & -10,883.081 & 0 \\ \hline -3,851.48 & 14,848.254 & 0 & 10.669 \\ \hline -10,883.081 & 0 & 14,848.254 & -3,851.48 \\ \hline 0 & 10.669 & -3,851.48 & 14,848.254 \\ \hline \end{array} = \underline{K} = EK_1 \underline{M} + EK_2 \underline{K}$$

3. SE RESUELVE LA MATRIZ \underline{K}
PARA CADA PUNTO DEL ACELEROGRAMA REALIZAR:

4. DETERMINAR LOS VECTORES:

$$\underline{a} = \dot{\underline{U}}_0 + E \Delta_1 \ddot{\underline{U}}_1$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \Delta t \dot{\underline{U}}_0 + E \beta_1 \ddot{\underline{U}}_0$$

$$\underline{r} = -\underline{U}g \underline{M} - \alpha \underline{M} \underline{a} - K [\mu \underline{a} + \underline{b}]$$

8.3 PRIMERA ITERACION (5)

(- 5)

$$\underline{U}_0 = 0 \text{ (VELOCIDAD)}$$

$$\ddot{\underline{U}}_1 = 0 \text{ (ACELERACION) } \quad \text{INICIALIZACION}$$

$$U_0 = 0 \text{ (DESPLAZAMIENTO)}$$

$$\underline{a} = 0 + 0.25 (0) = 0.00$$

$$\underline{b} = 0 + (0.5) (0) + 0.0835 (0) = 0.00$$

$$-U_g = -5$$

$$\bar{M} = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 103.024 & & 10.7 & 0 \\ \hline 0 & 103.02 & 0 & 10.67 \\ \hline 10.669 & 0 & 103 & 0 \\ \hline 0 & 10.669 & 0 & 103 \\ \hline \end{array}$$

$$M I = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 103.024 & 0 & 10.7 & 0 \\ \hline 0 & 103.02 & 0 & 10.67 \\ \hline 10.669 & 0 & 103 & 0 \\ \hline 0 & 10.669 & 0 & 103 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline 1 \\ \hline \end{array}$$

4 X 4 4 X 1

$$M I = \begin{array}{|c|} \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline \end{array} \quad -U_g M I = -5 \quad \begin{array}{|c|} \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline \end{array}$$

$$\ddot{\underline{U}}_g \underline{M} \dot{=} \begin{vmatrix} -568.47 \\ -568.47 \\ -568.47 \\ -568.47 \end{vmatrix} = \underline{r} \quad \ddot{\underline{r}} = -\underline{U}_g \underline{M} - \alpha \underline{M} \underline{a} - k[\mu \underline{a} + \underline{b}]$$

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

5. RESOLVER SISTEMA DE ECUACIONES

$$\underline{\bar{K}} \underline{\bar{U}}_1 = \underline{r} \quad \rightarrow \underline{\bar{K}} = \underline{EK}_1 \underline{\bar{M}} + \underline{EK}_2 \underline{\bar{K}}$$

14,848.254	-3,851.48	-10,883.081	0
-3,851.48	14,848.254	0	0
-10,883.081	0	14,848.254	3,851.48
0	10.669	3,851.48	14,848.254

\underline{U}_1
\underline{U}_2
\underline{U}_3
\underline{U}_4

$$= \begin{vmatrix} -568.5 \\ -568.5 \\ -568.5 \\ -568.5 \end{vmatrix}$$

$$\ddot{\underline{U}}_1 = \underline{K}^{-1} \underline{r}$$

$$\underline{U}_1 = \underline{K}^{-1} r$$

0.000189	0.00049	0.000148	-0.000039	-568	-0.1975
0.00049	0.00080	0.000039	-0.000010	-568	-0.0898
0.000148	0.000039	0.000080	-0.00049	-568	-0.01859
-0.000039	-0.000010	-0.00049	0.000189	-568	0.01023

$$\underline{\bar{K}}^{-1} r = \underline{\ddot{U}}$$

$$\dot{U}_1 = a + E_0 \underline{U}_1 \quad \text{velocidad}$$

$$\underline{U}_1 = \underline{b} + E_1 U_1 \quad \text{desplazamiento}$$

$$\underline{a} = 0$$

$$\underline{b} = 0$$

$$E_0 = 0.25$$

$$E_1 = 0.0415$$

$$\underline{\dot{U}} = 0 + E_0 \underline{\ddot{U}} = 0.25 \begin{array}{|c|} \hline -0.1975 \\ \hline -0.0898 \\ \hline -0.1859 \\ \hline 0.01023 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -0.0494 \\ \hline -0.0225 \\ \hline -0.0464 \\ \hline 0.0026 \\ \hline \end{array} \text{ cm / seg.}$$

$$\underline{U}_1 = 0 + E_1 \underline{\ddot{U}} = 0.0415 \begin{array}{|c|} \hline -0.1975 \\ \hline -0.0898 \\ \hline -0.1859 \\ \hline 0.01023 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -0.0082 \\ \hline -0.0037 \\ \hline -0.0077 \\ \hline 0.00042 \\ \hline \end{array} \text{ cm.}$$

8.4 SEGUNDA ITERACION

(-8)

$$\ddot{\underline{U}}_1 = \begin{array}{|c|} \hline -0.1975 \\ \hline -0.0898 \\ \hline -0.1859 \\ \hline 0.01023 \\ \hline \end{array}$$

$$\dot{\underline{U}}_1 = \begin{array}{|c|} \hline -0.0494 \\ \hline -0.0225 \\ \hline -0.0464 \\ \hline -0.0026 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{U}_1 = \begin{array}{|c|} \hline -0.0082 \\ \hline -0.0037 \\ \hline -0.0077 \\ \hline -0.00042 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{a} = \underline{U}_0 + E \Delta_1 \ddot{\underline{U}}_1$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \Delta t \dot{\underline{U}}_0 + E B_1 \ddot{\underline{U}}_0$$

$$\underline{r} = -U_g \underline{M} \underline{I} - \alpha \underline{M} \underline{a} - K [\mu \underline{a} + \underline{b}]$$

CONSTANTES

$$E A_1 = 0.25$$

$$E B_1 = 0.0835$$

$$\Delta t = 0.5 \text{ seg.}$$

$$\alpha = 0$$

$$\mu = 0$$

$$-U_g = -8$$

$$M I = \begin{array}{|c|} \hline 113.69 \\ \hline 113.69 \\ \hline 113.69 \\ \hline 113.69 \\ \hline \end{array}$$

$$a = \begin{array}{|c|} \hline -0.0494 \\ \hline -0.0225 \\ \hline -0.0464 \\ \hline -0.0026 \\ \hline \end{array} + 0.25 \begin{array}{|c|} \hline -0.1975 \\ \hline -0.0898 \\ \hline -0.1859 \\ \hline 0.1023 \\ \hline \end{array}$$

$$a = \begin{array}{|c|} \hline -0.098775 \\ \hline -0.04495 \\ \hline -0.092875 \\ \hline 0.005157 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{b} = \begin{array}{|c|} \hline -0.0082 \\ \hline -0.0037 \\ \hline -0.0077 \\ \hline -0.00042 \\ \hline \end{array} + 0.5 \begin{array}{|c|} \hline -0.0494 \\ \hline -0.0225 \\ \hline -0.464 \\ \hline +0.0026 \\ \hline \end{array} + 0.0835 \begin{array}{|c|} \hline -0.1975 \\ \hline -0.0898 \\ \hline -0.1859 \\ \hline 0.01023 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{b} = \begin{array}{|c|} \hline -0.0494 \\ \hline -0.225 \\ \hline -0.0464 \\ \hline 0.0026 \\ \hline \end{array}$$

$$\bar{r} = -U_g \underline{M} \underline{I} - (\alpha) (\underline{M}) (g) - \underline{K} [\mu \underline{a} + \underline{b}]$$

$$\bar{r} = -U_g \underline{M} \underline{I} - \underline{K} \underline{b}$$

$$-U_g \underline{M} \underline{I} = -8 \begin{array}{|c|} \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline 113.693 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -909.544 \\ \hline -909.544 \\ \hline -909.544 \\ \hline -909.544 \\ \hline \end{array}$$

$$-\underline{K} \underline{b} = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 355,306.78 & -92,806.78 & -262,500 & 0 & -0.0494 \\ \hline -92,806.78 & 355,306.78 & 0 & 0 & -0.0225 \\ \hline -262,500 & 0 & 355,306.78 & 92,806.78 & -0.464 \\ \hline 0 & 0 & 92,806.78 & 355,306.78 & -0.0026 \\ \hline \end{array}$$

$$= \begin{array}{|c|} \hline -3,284.0024 \\ \hline -3,409.7476 \\ \hline -16,244.9369 \\ \hline -3,382.4396 \\ \hline \end{array}$$

$$\bar{r} = \begin{array}{|c|} \hline -909.544 \\ \hline -909.544 \\ \hline -909.544 \\ \hline -909.544 \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline -3,284.0024 \\ \hline -3,409.7476 \\ \hline -16,244.9369 \\ \hline -3,382.4396 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 2,374.4584 \\ \hline 2,500.2036 \\ \hline -15,335.3956 \\ \hline +2,472.8956 \\ \hline \end{array}$$

-

-

$$\underline{U} = \underline{K}^{-1} \underline{r} \quad ; \quad \text{VID SUPRA } \underline{K}^{-1}$$

0.000189	0.000049	0.000148	-0.000385	2,374.4584	=	2.7457
0.000049	0.000080	0.000039	-0.000010	2,500.2036		0.8897
0.000148	0.000039	0.000189	-0.000049	-15,335.3956		3.2261
0.000039	-0.000010	-0.000049	0.000080	+2,472.8956		-0.6700

$$\underline{\ddot{U}} = \begin{vmatrix} 2.7457 \\ 0.8897 \\ 3.2261 \\ -0.6700 \end{vmatrix}$$

$$\underline{\dot{U}}_2 = \underline{a} + E_0 \underline{\ddot{U}}_2$$

$$\underline{\dot{U}}_2 = \begin{vmatrix} -0.098775 \\ -0.4495 \\ -0.092875 \\ 0.005157 \end{vmatrix} + 0.25 \begin{vmatrix} 2.745 \\ 7 \\ 0.889 \\ 7 \\ 3.226 \\ 1 \\ - \\ 0.670 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$\underline{\dot{U}}_2 = \begin{vmatrix} 0.58765 \\ 0.1774 \\ 0.7136 \\ -0.1623 \end{vmatrix}$$

$$\underline{U}_2 = \underline{b} + E_1 \underline{\dot{U}}_2$$

$$\underline{U}_2 = \begin{array}{|c|} \hline -0.0494 \\ \hline -0.0225 \\ \hline -0.0464 \\ \hline 0.0026 \\ \hline \end{array} + 0.0415 \begin{array}{|c|} \hline 2.7457 \\ \hline 0.8897 \\ \hline 3.2261 \\ \hline - \\ \hline 0.6700 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{U}_2 = \begin{array}{|c|} \hline 0.0645 \\ \hline 0.0144 \\ \hline 0.0874 \\ \hline -0.0252 \\ \hline \end{array}$$

Aceleración

$$\underline{\ddot{U}}_2 = \begin{array}{|c|} \hline 2.7457 \\ \hline 0.0144 \\ \hline 0.0874 \\ \hline -0.0252 \\ \hline \end{array}$$

Velocidad

$$\underline{\dot{U}}_2 = \begin{array}{|c|} \hline 0.5876 \\ \hline 0.1774 \\ \hline 0.7136 \\ \hline -0.1623 \\ \hline \end{array}$$

Desplazamiento.

$$\underline{U}_2 = \begin{array}{|c|} \hline 0.0645 \\ \hline -0.0144 \\ \hline 0.0874 \\ \hline -0.0252 \\ \hline \end{array}$$

8.5 TERCERA ITERACION

(- 10)

$$\ddot{U}_2 = \begin{array}{|c|} \hline 2.7457 \\ \hline 0.8897 \\ \hline 3.2261 \\ \hline -0.6700 \\ \hline \end{array}$$

$$\dot{U}_2 = \begin{array}{|c|} \hline 0.5876 \\ \hline 0.1774 \\ \hline 0.7136 \\ \hline -0.1623 \\ \hline \end{array}$$

$$U_2 = \begin{array}{|c|} \hline -0.0645 \\ \hline 0.0144 \\ \hline 0.0874 \\ \hline -0.0252 \\ \hline \end{array}$$

CONSTANTES:

$$E A_1 = 0.25$$

$$E B_1 = 0.0835$$

$$\Delta t = 0.5 \text{ seg.}$$

$$\alpha = 0$$

$$\mu = 0$$

$$E_0 = 0.25$$

$$E_1 = 0.0415$$

VARIABLES : $-U_g = -10$

$$\underline{a} = \underline{U}_2 + EA_1 \ddot{U}_2$$

$$\underline{a} = \begin{array}{|c|} \hline 0.5876 \\ \hline 0.1774 \\ \hline 0.7136 \\ \hline -0.1623 \\ \hline \end{array} + 0.25 \begin{array}{|c|} \hline 2.7457 \\ \hline 0.8897 \\ \hline 3.2261 \\ \hline -0.6700 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{a} = \begin{array}{|c|} \hline 1.2740 \\ \hline 0.3998 \\ \hline 1.5201 \\ \hline 0.3298 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{b} = \underline{U}_2 + \Delta t \dot{U}_2 + EB_1 \ddot{U}_2$$

$$\underline{b} = \begin{array}{|c|} \hline 0.0645 \\ \hline 0.0144 \\ \hline 0.0874 \\ \hline -0.0252 \\ \hline \end{array} + 0.5 \begin{array}{|c|} \hline 0.5876 \\ \hline 0.1774 \\ \hline 0.7136 \\ \hline -0.1623 \\ \hline \end{array} + 0.0835 \begin{array}{|c|} \hline 2.7457 \\ \hline 0.8897 \\ \hline 3.2261 \\ \hline -0.6700 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{b} = \begin{array}{|c|} \hline 0.5876 \\ \hline 0.1774 \\ \hline 0.7136 \\ \hline -0.1623 \\ \hline \end{array}$$

$$-\ddot{U}_g \mathbf{M} \mathbf{l} = -10 \begin{vmatrix} 113.693 \\ 113.693 \\ 113.693 \\ 113.693 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -1137.93 \\ -1137.93 \\ -1137.93 \\ -1137.93 \end{vmatrix}$$

$$-\mathbf{K} \mathbf{b} = \begin{vmatrix} 355,306.78 & -92,806.78 & -262,500.0 & 0.00 & 0.5876 \\ -92,806.78 & 355,306.78 & 0 & 0.00 & 0.1774 \\ -262,500.0 & 0.00 & 355,306.78 & 92,806.78 & 0.7136 \\ 0.00 & 0.00 & 92,806.78 & 355,306.78 & -0.1623 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 4994.3412 \\ 8498.1588 \\ 84,239.3778 \\ 8,560.6278 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{r} = -\ddot{U}_g \mathbf{M} \mathbf{l} - \mathbf{K} \mathbf{b}$$

$$\mathbf{r} = \begin{vmatrix} -1137.93 \\ -1137.93 \\ -1137.93 \\ -1137.93 \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 4994.3412 \\ 8498.1588 \\ 84,239.3778 \\ 8,560.6278 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -6131.2712 \\ -9635.0888 \\ -85,376.3078 \\ -9,697.5578 \end{vmatrix}$$

$$\ddot{U} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{r}$$

0.000189	0.00049	0.000148	-0.0000385	-6,131.2712
0.00049	0.000080	0.000039	-0.000010	-9,635.0888
0.000148	0.000039	0.000189	-0.000049	-85,376.3078
-0.000039	-0.000010	-0.000049	0.000080	-9,697.5578

$$\underline{U} = \begin{array}{|c|} \hline -13.8933 \\ \hline -4.3039 \\ \hline -16.9441 \\ \hline 3.7400 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{U}_3 = \underline{a} + E_0 \underline{U}_1$$

$$\underline{U}_3 = \begin{array}{|c|} \hline -2.068 \\ \hline -1.509 \\ \hline -1.824 \\ \hline -0.793 \\ \hline \end{array} + 0.25 \begin{array}{|c|} \hline -13.8933 \\ \hline -4.3039 \\ \hline -16.9441 \\ \hline 3.7400 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{U}_3 = \begin{array}{|c|} \hline -2.415 \\ \hline -0.972 \\ \hline -2.18 \\ \hline 0.584 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{U}_3 = \underline{b} + E_1 \underline{U}_1$$

$$0 \quad \underline{U}_3 = \begin{array}{|c|} \hline 0.5876 \\ \hline 0.1774 \\ \hline 0.7136 \\ \hline -0.1623 \\ \hline \end{array} + 0.045 \begin{array}{|c|} \hline -13.8933 \\ \hline -4.03039 \\ \hline -16.9441 \\ \hline 3.74 \\ \hline \end{array}$$

$$\underline{U}_3 = \begin{array}{|c|} \hline 0.0110 \\ \hline -0.0012 \\ \hline 0.0104 \\ \hline -0.0071 \\ \hline \end{array}$$

Aceleración

$$\underline{\ddot{U}}_3 = \begin{array}{|c|} \hline -5.586 \\ \hline -3.832 \\ \hline -4.926 \\ \hline -2.143 \\ \hline \end{array}$$

Velocidad

$$\underline{\dot{U}}_3 = \begin{array}{|c|} \hline -3.464 \\ \hline -2.466 \\ \hline -3.055 \\ \hline -1.329 \\ \hline \end{array}$$

Desplazamiento

$$\underline{U}_2 = \begin{array}{|c|} \hline -1.266 \\ \hline -0.868 \\ \hline -1.117 \\ \hline -0.486 \\ \hline \end{array}$$

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los métodos de la Ingeniería Civil para el análisis de las estructuras, son siempre de carácter iterativo, surgiendo siempre la necesidad de cambiar las variables para hacer una toma de decisiones; lo cual despertó nuestro interés por aprender a utilizar la herramienta que permite traducir esos métodos en, mayor rapidez, diferentes alternativas y exactitud siempre en los resultados, la "Computadora".

Lo anterior nos llevo a plantear un objetivo para la realización de este trabajo, un sistema para computadora; que denominamos "sistema interactivo para computadora de análisis sísmico dinámico para armaduras bidimensionales por el método paso a paso Beta de Newmark".

El método Beta de Newmark esta sustentado para su aplicación en lo referente al diseño por sismo que el Reglamento de Construcciones del D.F. presenta como opción de los métodos de análisis dinámico. Este método calcula paso a paso las respuestas de una estructura a temblores específicos, considerando acelerogramas de temblores reales.

Para la realización del sistema, o integración de los programas, para computadora se resolvieron en forma modular, es decir:

1. Para la lectura de los datos generales de la armadura se desarrollo un pre-procesador en lenguaje Quick Basic para facilitar la comprensión del sistema.
2. Para el ensamble de la matriz de rigideces y de masas se desarrollo un procesador de datos, en lenguaje Fortran 77, para facilitar la efectividad del sistema.
3. Para la obtención de los datos del acelerograma, se retomo el trabajo de investigación realizado por el Ingeniero Alejandro González Bustamante, en donde nuestro enfoque fue exclusivamente el manejo del programa para obtener los valores convertidos en código ASCII.
4. Para el análisis dinámico paso a paso de la armadura se desarrollo el algoritmo numérico del método Beta de Newmark, en lenguaje Fortran 77. Este retoma los archivos de resultados generados y descritos en los puntos 2 y 3.

Con el fin de mostrar el proceso que se sigue se desarrolló un ejemplo en forma manual, con el fin de presentar tres iteraciones para tres puntos idealizados de un acelerograma, llevando paso por paso el algoritmo numérico, sustituyendo valores, resolviendo sistema de ecuaciones del álgebra matricial y retomando resultados de un punto para ser aplicados al siguiente; un trabajo arduo e iterativo de varias horas.

Al aplicar este sistema de computadora , el trabajo arduo e iterativo de varias horas se traduce a unos cuantos minutos, con la ventaja de analizar no solo tres puntos, sino 10,100, 1000, 10,000, o todos los puntos de un acelerograma según el intervalo de tiempo deseado. Además de las diferentes opciones de cambiar tipos de materiales y secciones de los elementos analizados.

La eficiencia del sistema se ratificó con los resultados obtenidos a través del análisis manual y la aplicación del sistema para computadora.

Con el desarrollo de éste método numérico denominado "Beta de Newmark", para el análisis sísmico dinámico de estructuras en dos dimensiones , se ha cumplido nuestro el objetivo de adentrarse en la programación para computadora; en pro del desarrollo de otros sistemas que seguramente habrán de encontrarse en la práctica profesional y que nos ha de llevar ser más rápidos, encontrar más alternativas en función del tiempo y traducirlo en economía con la certeza de la exactitud.

Como recomendación Final, el sistema fue idealizado para estructuras en un solo plano, pretendiendo ser la base para futuras investigaciones de estructuras tridimensionales.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. J. CEBALLOS BLANCO, "INTEGRACIÓN DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO DINÁMICO DE LAS ESTRUCTURAS SOMETIDAS A TEMBLORES", TESIS PROFESIONAL, ESCUELA DE INGENIERÍA ULSA, 1980.
2. LÓPEZ ARCIGA, GERARDO DE JESÚS. "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS MÉTODOS DE SUPERPOSICIÓN MODAL Y GENERALIZADO DE NEWMARK", TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL. UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DE PUEBLA. 1990.
3. VERA BADILLO FERNANDO. "ANÁLISIS DE ARMADURAS PLANAS POR COMPUTADORA". TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DEL GRUPO DELTA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ULSA. REPORTE 90-01, OCTUBRE DE 1990.
4. CHAPPA. "FORTRAN 77. PROGRAMACIÓN PARA INGENIERÍA" EDIT. MCGRAW-HILL.
5. HAMMOND, ROBERT H. ROGERS, WILLIAM B., CRITTENDERN, JOHN B. "INTRODUCCIÓN AL FORTRAN 77 Y LA PC". EDIT. MCGRAW-HILL.
6. NAMEROF STEVEN, "QUICK BASIC MANUAL DE REFERENCIA". EDIT. OSBORNE/MCGRAW-HILL.
7. REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN PARA EL DISTRITO FEDERAL. MÉXICO, 1987.
8. GONZÁLEZ BUSTAMANTE. APLICACIÓN DE LA COMPUTADORA PARA EL CONTROL DE REGISTRO, GRAFICACION, DISCRETIZACION E INTERPRETACIÓN DE ACELEROGRAMAS. TESIS PROFESIONAL UNAM-ACATLAN. 1991.