

44  
2ES



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

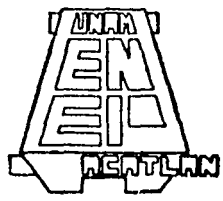
Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
"ACATLAN"

**FALLA DE ORIGEN**

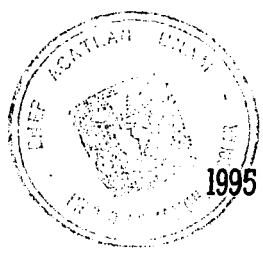
**"ANALISIS DINAMICO DE RETICULAS  
POR EL METODO PASO A PASO"**

**T E S I S**  
Que para obtener el Título de  
**I N G E N I E R O C I V I L**  
P r e s e n t a

**ANTONIO ZARATE SANTAMARIA**



México, D. F.





## **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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"  
JEFATURA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. ANTONIO ZARATE SANTAMARIA  
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.  
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 24 DE  
NOVIEMBRE DE 1992. ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA  
DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE  
TESIS:

"ANALISIS DINAMICO DE RETICULAS POR EL METODO PASO A PASO"

INTRODUCCION.

- I.- GENERALIDADES.
  - II.- DESCRIPCION DEL MODELO ESTRUCTURAL.
  - III.- SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO DINAMICO.
  - IV.- SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES.
  - V.- ORGANIZACION DEL PROGRAMA.
  - VI.- EJEMPLO DE APLICACION.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.  
BIBLIOGRAFIA.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL  
M.I. FERNANDO VERA BADILLO.

PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN CUMPLIMIENTO DE LO ESPECIFI-  
CADO EN LA LEY DE PROFESIONES. DEBERA PRESTAR SERVICIO SOCIAL  
DURANTE UN TIEMPO MINIMO DE SEIS MESES COMO REQUISITO BASICO  
PARA SUSTENTAR EXAMEN PROFESIONAL. ASI COMO DE LA DISPOSICION  
DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES EN EL SENTIDO  
DE QUE SE IMPRIMA EN LUGAR VISIBLE DE LOS EJEMPLARES DE LA  
TESIS. EL TITULO DE TRABAJO REALIZADO. ESTA COMUNICACION  
DEBERA IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA TESIS.

SIN MAS POR EL MOMENTO. RECIBA UN CORDIAL SALUDO.

A T E N T A M E N T E .  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
ACATLAN, EDO. DE MEX. . A 27 DE FEBRERO DE 199



ENEP-ACATLAN  
JEFATURA DEL  
PROGRAMA DE INGENIERIA

  
ING. CARLOS ROSALES AGUILAR  
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

*A mi madre, Ramoncita con todo cariño.*

*A la memoria de mi padre... Don Magos.*

*A mis hermanos: Arturo, Lucina,  
Isabel, Margarito, Magdalena, Cruz,  
Patricia y Raúl.*

*A mis profesores con eterno  
respeto y gratitud.*

*Al M.I. Fernando Vera Badillo  
por su invaluable participación  
en éste trabajo.*

*Con todo mi amor y agradecimiento  
a mi esposa, por su gran apoyo y  
por su valiosa colaboración...gracias Gaby.*

*A mis hijos: Tonito y Oscarito  
con amor y ternura.*

***"ANALISIS DINAMICO DE RETICULAS  
POR EL METODO PASO A PASO"***

# ANALISIS DINAMICO DE RETICULAS POR EL METODO PASO A PASO

## INDICE

	pag.
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
<b>Capítulo I GENERALIDADES.</b>	
1.1 Naturaleza de los sismos.....	4
1.2 El sismo de Septiembre de 1985.....	6
1.2.1 Evaluación de daños.....	8
1.3 Respuesta estructural a los sismos.....	20
1.4 Métodos de análisis sísmico.....	22
<b>Capítulo II DESCRIPCION DEL MODELO ESTRUCTURAL.</b>	
II.1 Aspectos básicos de una retícula.....	25
II.2 Obtención de las matrices de rigidez y masa de una barra.....	26
II.3 Obtención de las matrices [K] y [M] del sistema estructural.....	39
II.4 Ecuación de equilibrio dinámico de una retícula.....	46
<b>Capítulo III SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO DINAMICO.</b>	
III.1 Métodos de solución.....	53
III.2 Método B de Newmark.....	55
III.3 Acelerogramas.....	60
III.3.1 Red acelerométrica del CIRES.....	61
III.3.2 Registros acelerométricos.....	64
III.4 Proceso de solución.....	65

#### **Capítulo IV SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES.**

IV.1 Método de Cholesky.....	69
IV.2 Arreglos cuadrados.....	72
IV.2.1 Triangulación.....	72
IV.2.2 Sustitución hacia adelante.....	76
IV.2.3 Sustitución hacia atrás.....	77

#### **Capítulo V ORGANIZACION DEL PROGRAMA.**

V.1 Descripción del Software.....	79
V.1.1 Pre-procesador.....	79
V.1.2 Acegraf.....	83
V.1.3 Procesador.....	86
V.2 Manual de Operación.....	89
V.2.1 Pre-procesador.....	90
V.2.2 Acegraf.....	100
V.2.3 Procesador.....	105

#### **Capítulo VI EJEMPLO DE APLICACION.**

VI.1 Modelo estructural.....	107
VI.2 Resultados obtenidos.....	116

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFIA.....	125
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	127
ANEXO .....	131

## INTRODUCCION.

*El dinámico desarrollo que han tenido las computadoras después de la Segunda Guerra Mundial, ha permitido el surgimiento de una gran variedad de tipos y modelos que han facilitado la solución de problemas de casi la totalidad de las actividades humanas, incluyendo desde luego, la práctica de la ingeniería civil.*

*Por su parte, preocupado por el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad, y de construir una infraestructura necesaria para su desarrollo económico, el ingeniero civil hace frente a los fenómenos físicos en una de sus manifestaciones más complejas, valiéndose de las matemáticas como herramienta de análisis y de la computadora como instrumento de trabajo, que es la última de una larga lista de herramientas precursoras (reglas de cálculo, sumadoras de escritorio, tablas, gráficas, nomogramas, etc.) y que ha revolucionado la manera de proceder del ingeniero ante sus tareas, sin olvidarse de crear y promover una tecnología adecuada a los recursos y necesidades de dicha sociedad.*

*Por lo tanto, dado que una buena parte de la labor del ingeniero civil se asocia al cálculo, evaluación, ejecución y administración de proyectos, con las formas de procesamiento de información correspondientes, la computadora se ha convertido en parte integral de la educación, investigación y ejercicio de la ingeniería civil, de manera tal que el ingeniero debe ser capaz de elaborar programas y generar todo el "software" necesario, apoyándose en buenas bases teóricas y en adecuados criterios, con el fin de realizar su trabajo con eficiencia.*

*En este contexto, se hace evidente mi inquietud por participar en el desarrollo de la ingeniería civil y el progreso de México, contribuyendo, para ello, con la presente*



*investigación, en la cual se pretende, mediante un conjunto de programas de computadora, auxiliar a los profesionistas del ramo en lo que se refiere al análisis sísmico de estructuras.*

*Para lograr tal propósito, en el primer capítulo de este trabajo se desarrolla la teoría de la tectónica de placas para explicar el origen de los temblores, los efectos sobre las construcciones y el comportamiento estructural. Se analiza también la información originada por el terremoto ocurrido en México en Septiembre de 1985.*

*En el segundo capítulo, se describe el modelo estructural de retículas planas y se plantea la ecuación de equilibrio dinámico, siempre considerando un comportamiento lineal de los materiales.*

*Posteriormente, en el tercer capítulo, se plantean los diferentes métodos de solución a la ecuación del equilibrio dinámico, dando mayor atención al método paso a paso  $\beta$  de Newmark justificando su elección.*

*En el capítulo cuarto se trata el método matricial utilizado en la solución a los sistemas de ecuaciones lineales, denominado método de Cholesky.*

*En el quinto capítulo, se describe a detalle la organización del programa, su funcionamiento y los resultados que se pueden esperar del mismo.*

*Finalmente en el capítulo seis, se presenta un ejemplo de aplicación, con el fin de probar la eficacia del "software" desarrollado así como su utilidad y precisión.*

## **OBJETIVOS**

**OBJETIVO GENERAL:** *El objetivo general de la presente investigación es la de aportar el "software" desarrollado como una herramienta moderna y útil en el quehacer del ingeniero estructurista, además de proporcionar material para las investigaciones presentes y futuras en materia de ingeniería sísmica.*

**OBJETIVO PARTICULAR:** *La finalidad de ésta investigación es la de elaborar un conjunto de programas que realice el análisis dinámico de retículas por el método paso a paso, conocido como  $\beta$  de Newmark. Incluyendo las rutinas necesarias para la captura de datos, la realización de todos los cálculos previos a la aplicación del método y la emisión de resultados.*

**OBJETIVO SINGULAR:** *Se pretende demostrar que la realización de éste proyecto representa la aplicación correcta de un criterio profesional elemental, forjado gracias a los conocimientos adquiridos durante mis estudios en la carrera de Ingeniería civil y el cual será determinante en mi ejercicio profesional.*

## I. GENERALIDADES.

### **I.1 NATURALEZA DE LOS SISMOS.**

La teoría con mayor aceptación, de las muchas planteadas para justificar el origen de los movimientos tectónicos, es la que se refiere a que la tierra esta cubierta por varias capas de placas duras que interactúan entre ellas (litosfera, cuyo espesor es de 70 km bajo el mar y de 140 km en los bloques continentales, aproximadamente), asentadas sobre otra capa relativamente suave (astenosfera), en la que se mueven como cuerpos rígidos, y tales desplazamientos relativos son los causantes de los sismos. Esta teoría es conocida como **tectónica de placas o de la deriva continental**, planteada por el meteorólogo Alfred Wegener a principios de éste siglo. (fig. 1.1) Y explica que en los límites de las placas existen cordilleras submarinas denominadas **mezoceánicas**, en las que se presenta una emisión continua de lava, generando, al enfriarse nueva corteza (nueva placa), la cual tiende a expandirse horizontalmente.

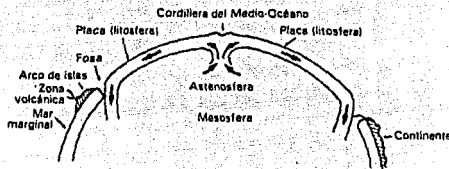


fig.1.1 Teoría de la Tectónica de Placas.

Para compensar el crecimiento de las placas, en las zonas donde estas se cruzan son absorbidas de regreso a la astenosfera (dichas zonas se conocen como "zonas orogénicas") formando fosas marinas y montañas, o un fenómeno conocido como subducción, donde una placa penetra bajo otra, como ocurre en el sur de México, donde la llamada placa de Cocos tiende a penetrar bajo la placa Continental justamente frente a las costas de Méjicoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

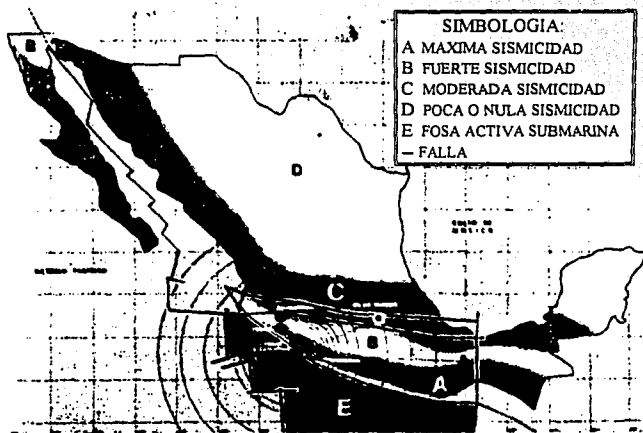


fig.1.2 Regionalización sísmica de México.

*Gran parte de México se encuentra en la zona denominada Cinturón Circumpacífico, por lo que continuamente se registran movimientos sísmicos considerables. Estos temblores se originan principalmente por la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa Americana, frente a las costas de los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco, y por la famosa falla de San Andrés que afecta a Sonora y Baja California Norte, además de los causados a lo largo del Eje Neovolcánico que cruza al país de costa a costa en su parte central (fig. 1.2).*

## **1.2 EL SISMO DE SEPTIEMBRE DE 1985.**

*Cada vez que ocurre un movimiento telúrico, el evento representa una forma de calibrar los conocimientos y el avance tecnológico aplicados a la construcción.*

*Muestra de ello fué el sismo ocurrido en México, en 1985, el cual se registró la mañana del día Jueves 19 de Septiembre a las 7:19:44 horas, con una magnitud de 8.1 Ms. Se acompañó de una serie de réplicas, la mayor de éstas se sintió el día 20 de Septiembre, es decir al siguiente día, con una magnitud de 7.5 Ms.*

*El evento tuvo su origen con la reactivación de la brecha de Michoacán, mediante dos violentos desplazamientos de la placa de Cocos por debajo de la placa Americana.*

*Como producto de dichos deslizamientos surgieron ondas que viajaron a través de diversos materiales hacia la ciudad de México a una velocidad promedio de 3.3 Km/seg, atenuándose durante su trayecto.*

*Los registros obtenidos en diferentes zonas de la ciudad fueron muy diversos,*

debido al tipo de terreno específico en cada sitio. En las zonas de terrenos blandos se observó una amplificación de la aceleración, velocidad y desplazamiento de tres o hasta cuatro veces las registradas en los suelos firmes (fig. 1.3).

De acuerdo a estudios geológicos, se sabe que la arcilla lacustre que subyace en la Ciudad de México tiene espesores variables, lo cual fué determinante en el ritmo que tomaron las oscilaciones sísmicas.

Luego de analizar los registros sísmicos de temblores anteriores a 1985, se llegó a la conclusión de que la mencionada amplificación dinámica del estrato blando de la ciudad siempre se ha presentado.

ACELERACIONES MAXIMAS MEDIDAS EN DISTINTOS SITIOS  
DEL DISTRITO FEDERAL, EN  $\text{cm}/\text{seg}^2$

Componente	Terreno Firme			Terreno de Transición	Terreno Blando		
	Cd. Universitaria	Tacubaya	Viveros		S.C.T.	Cent.Abas.	
	CUMV	CUIP	CUOI			CDAO	CDAF
N-S	37	32	28	34	44	98	69 81
E-W	39	35	33	33	42	168	80 95
VERT	20	22	22	19	18	36	36 27

Fig. 1.3 Aceleraciones medidas en el D.F.

*Estos movimientos hicieron oscilar a los edificios construidos sobre estas áreas y cuando la frecuencia de vibración de las construcciones coincidió con las frecuencias predominantes del subsuelo, se presentaron amplificaciones en las aceleraciones transmitidas por el terreno a las edificaciones (resonancia), lo que se tradujo en fuerzas de inercia muy superiores a las fuerzas de diseño, consideradas. Esto causó severos daños en las edificaciones e incluso en muchos de los casos, provocó el colapso total.*

#### **1.2.1 EVALUACION DE DAÑOS.**

*Diversos organismos realizaron estudios sobre los daños ocasionados, y todos coinciden en la correlación que existe entre la distribución de daños en la ciudad y el tipo de subsuelo.*

*En la figura 1.4 se aprecia una zonificación realizada para la evaluación de daños. Se clasificó el nivel de daños y se localizaron en un mapa aquellos de mayor relevancia (colapsos totales o colapsos parciales y daños graves en elementos estructurales de los que depende la estabilidad). Esto permitió la definición de una zona de alta densidad de daños, alcanzando una superficie aproximada de 27 Km<sup>2</sup>, la cual se muestra en la figura 1.5.*

*En la gráfica 1.6 se puede comparar la zona más dañada por el sismo de referencia y las correspondientes a los sismos del 28 de Julio de 1957 y el del 14 de Marzo de 1979.*

*Los daños en 1985 fueron muchos más graves y la zona resultó más amplia, como se puede ver. Sin embargo, lo más sobresaliente de esta comparación es la*

*coincidencia entre las zonas más afectadas en los tres temblores, ubicadas al poniente de la zona del terreno compresible de la ciudad.*

*Se tomaron como parámetros algunas características de las construcciones dañadas como son el número de pisos, el sistema estructural y la edad de la construcción, con el fin de evaluar de manera aceptable los daños sísmicos.*

*En la figura 1.7 se presentan los datos correspondientes a cada una de las zonas marcadas en la figura 1.5 y se indican exclusivamente los casos de colapso y daños graves.*

*Respecto al número de pisos, se aprecia que el mayor número de fallas corresponde a construcciones con más de cinco pisos, es decir, estructuras de mediana altura. Sus periodos naturales correspondieron a ordenadas espectrales elevadas las cuales se incrementaron cada vez que disminuyeron su rigidez por daños.*

*Las construcciones menores (que son las más abundantes) con periodos naturales inferiores a los periodos dominantes del terreno en las zonas compresibles, soportaron cargas de menor magnitud. Por su parte, las construcciones muy elevadas con periodos naturales superiores a los dominantes del terreno tuvieron un comportamiento notable ya que no entraron en resonancia y en algunos casos, se alejaron del periodo dominante del terreno al sufrir daños iniciales y disminuir su rigidez. Con respecto a la edad de las construcciones se tomaron como referencia tres intervalos correspondientes a la vigencia de normas o reglamentos de construcción en la Ciudad de México, y que son:*



# CIUDAD DE MEXICO

## DISTRITO FEDERAL

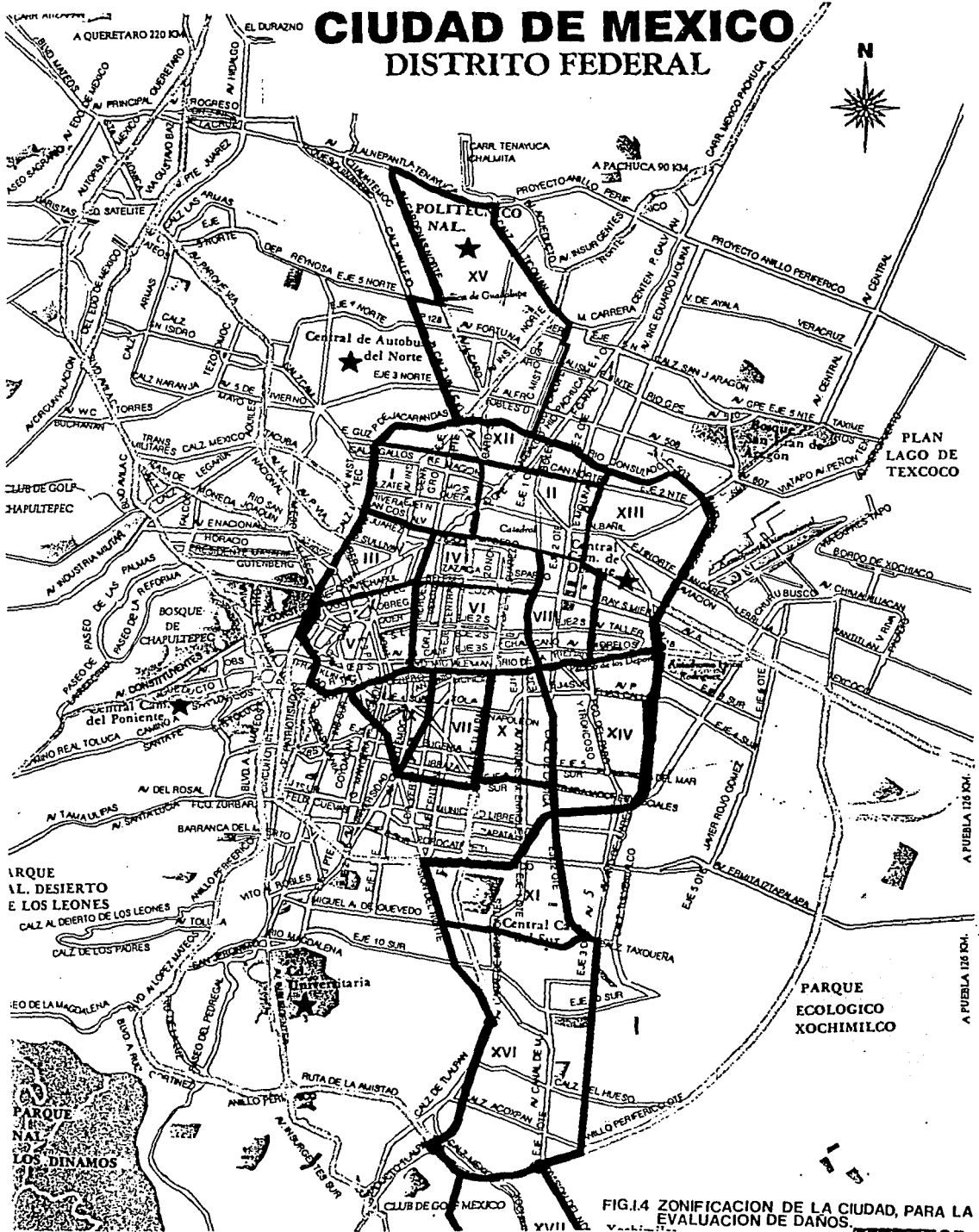


FIG.14 ZONIFICACION DE LA CIUDAD, PARA LA EVALUACION DE DAÑOS.

# CIUDAD DE MEXICO

## DISTRITO FEDERAL

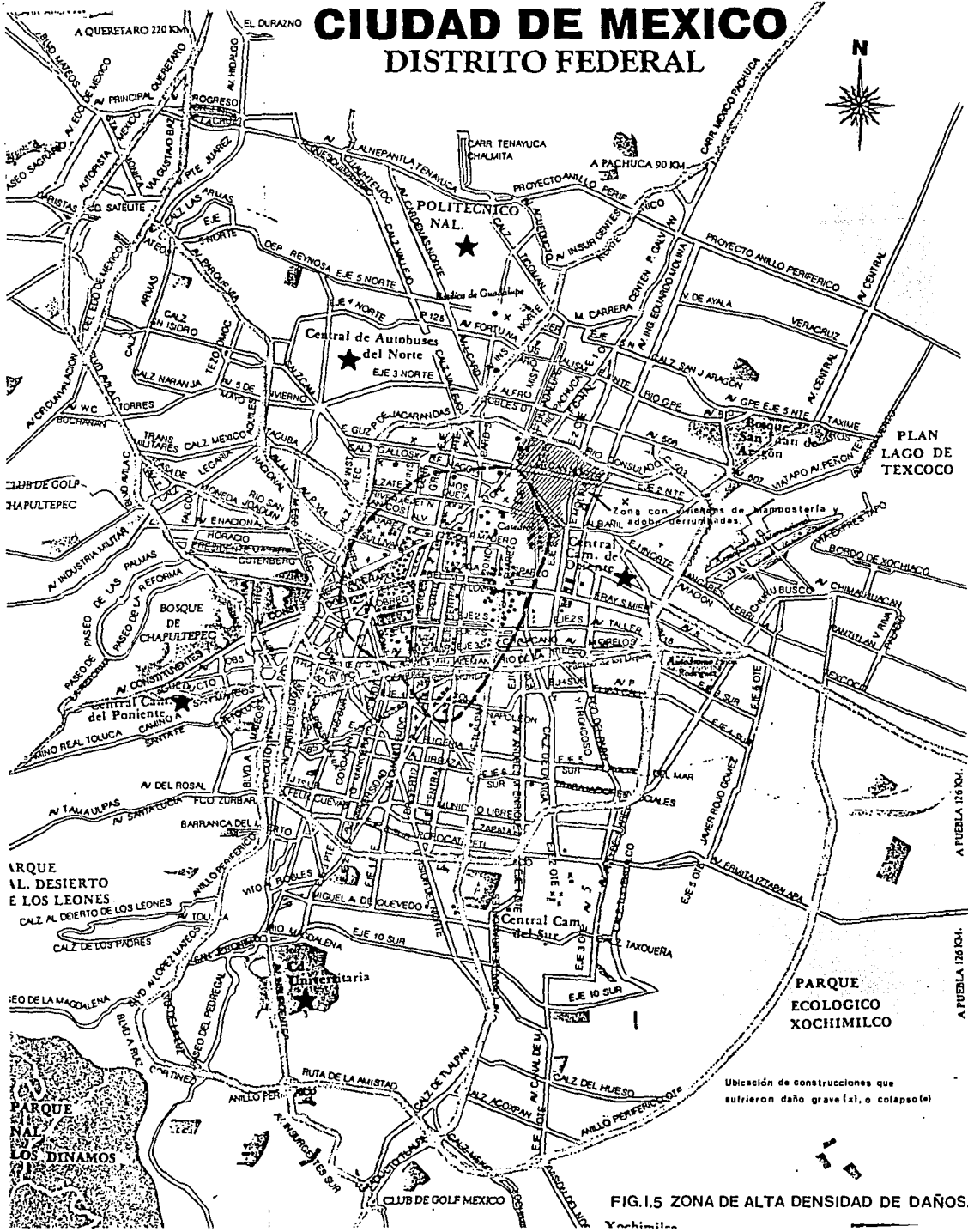


FIG. I.5 ZONA DE ALTA DENSIDAD DE DAÑOS.

FALLA DE

A PUEBLA 126 KM.

A PUEBLA 126 KM.

# CIUDAD DE MEXICO

## DISTRITO FEDERAL

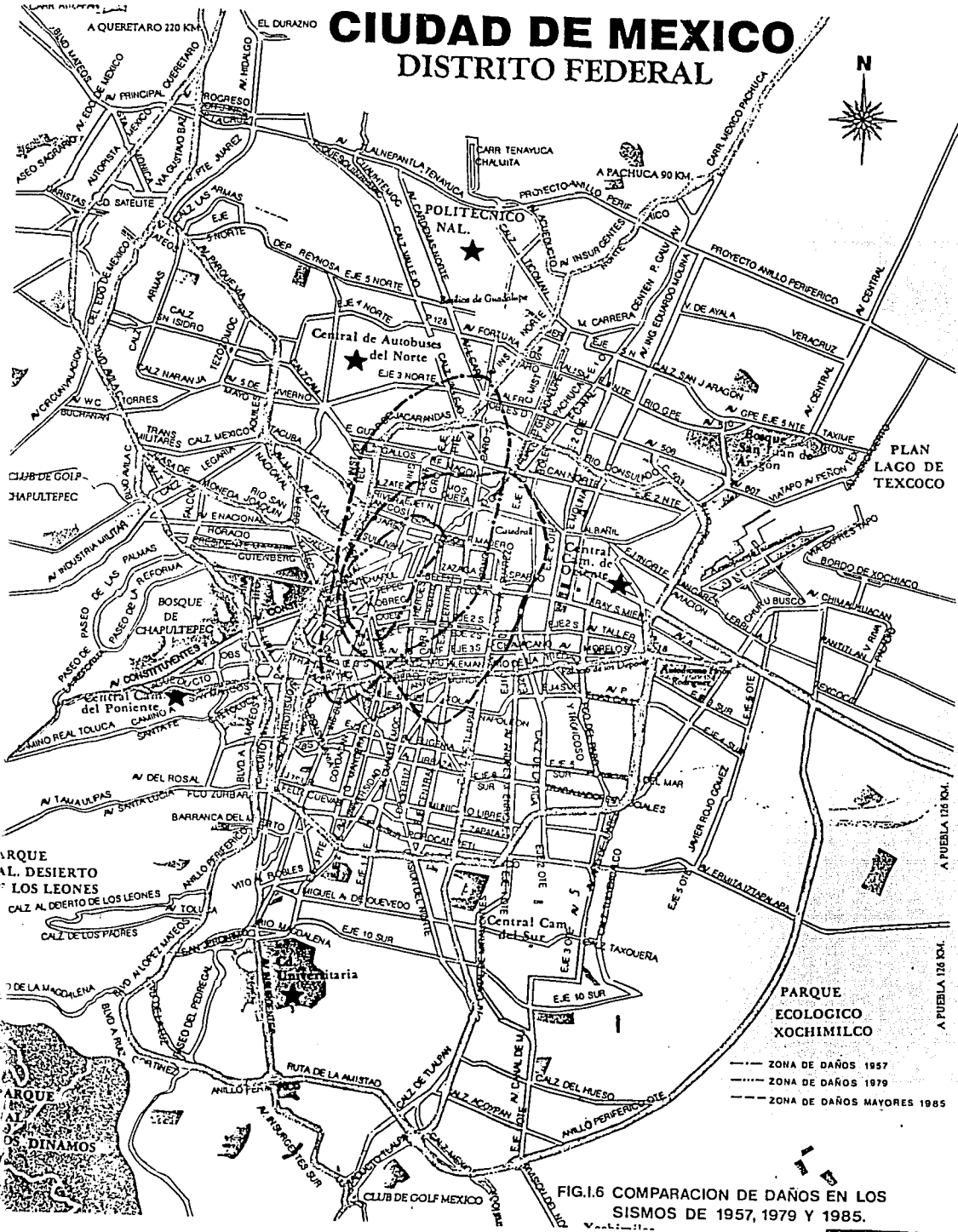


FIG.1.6 COMPARACION DE DAÑOS EN LOS SISMOS DE 1957, 1979 Y 1985.

*Las construcciones menores (que son las más abundantes) con periodos naturales inferiores a los periodos dominantes del terreno en las zonas compresibles, soportaron cargas de menor magnitud. Por su parte, las construcciones muy elevadas con periodos naturales superiores a los dominantes del terreno tuvieron un comportamiento notable ya que no entraron en resonancia y en algunos casos, se alejaron del periodo dominante del terreno al sufrir daños iniciales y disminuir su rigidez. Con respecto a la edad de las construcciones se tomaron como referencia tres intervalos correspondientes a la vigencia de normas o reglamentos de construcción en la Ciudad de México, y que son:*

*Antes de 1957 - Periodo carente de una reglamentación relativa al diseño sísmico.*

*De 1957 a 1976 - Periodo en el que estuvieron vigentes las normas de Emergencia y el reglamento subsecuente, los cuales incluan requisitos detallados de diseño sísmico.*

*Después de 1976 - Vigencia del reglamento de dicho año. Con modificaciones sustanciales respecto al reglamento anterior.*

*A pesar de la falta de información sobre el número de construcciones erigidas en cada uno de los periodos anteriores, es posible concluir que el número relativamente bajo de fallas en edificios construidos en el último de los periodos refleja un progreso en la calidad de las construcciones.*

*Mientras que el número, también bajo de fallas en construcciones anteriores a 1957, se debe a que pocos fueron los edificios altos construidos en ese primer periodo.*

Fig. 1.7 Resumen estadístico de daños en edificios.

ESTRUCTURACION	TIPO DE DAÑO	AÑO DE CONSTRUCCION			NUMERO DE PISOS				TOTAL
		< 1957	57 - 76	> 1976	< 5	6 10	11 15	> 15	
MARCOS DE CONCRETO	Derrumbe	27	51	4	27	46	8	1	82
	Grave	16	23	6	10	28	6	1	45
MARCOS DE ACERO	Derrumbe	7	3	0	4	3	1	2	10
	Grave	1	1	0	0	0	2	0	2
LUSA PLANA	Derrumbe	8	62	21	36	49	5	1	91
	Grave	4	22	18	5	26	12	1	44
MAMPOSTERIA	Derrumbe	6	5	2	11	2	0	0	13
	Grave	9	13	1	22	1	0	0	23
OTROS	Derrumbe	4	8	2	12	2	0	0	14
	Grave	0	4	2	2	4	0	0	6
TOTAL	Derrumbe y graves	82	192	56	129	161	34	6	330

*Con referencia al sistema estructural, se hizo la siguiente clasificación: estructuras de concreto a base de columnas y vigas que forman marcos en dos direcciones, estructuras de columnas y losa reticular de concreto, estructuras de columnas de acero y vigas de perfiles laminados o de alma abierta de acero, y estructuras a base de muros de carga de mampostería.*

*El número de fallas en construcciones con éste último sistema estructural resulta muy pequeño, a pesar de ser el más común, y obedece a que dada su baja altura los efectos del movimiento del terreno fueron menores.*

*El número de fallas en estructuras de acero fué muy reducido y corresponde a estructuras bajas y antiguas con conexiones inadecuadas entre vigas y columnas. Sólo cuatro colapsos o daños graves en estructuras de acero corresponden a construcciones modernas.*

*El mayor índice de fallas ocurrió en las estructuras de concreto, aunque se debe considerar que éste sistema es de mucho mayor uso que el acero estructural. Los sistemas a base de columnas y losas reticulares presentó casi el doble del número de fallas de sistemas columna-trabe y losas planas.*

*La intensidad alcanzada por el sismo en la zona de terreno blando de la ciudad, donde los movimientos del suelo fueron amplificados, fué determinante para que ocurriera la falla de un gran número de edificios.*

*Las construcciones que tenían periodos de oscilación cercanos a los dos segundos, soportaron vibraciones muy elevadas que se transformaron en fuerzas*

*de inercia de gran magnitud, lo que originó ciertos daños, acompañados con pérdidas de rigidez, y el incremento del periodo de vibración, hasta alcanzar el colapso.*

*Es importante subrayar que las solicitaciones que se produjeron superaron por mucho a las especificadas en el reglamento de construcciones.*

*Algunos modos de falla que incidieron con cierta frecuencia, se citan en los siguientes párrafos.*

*En un gran número de edificios a base de marcos de concreto que se colapsaron, la falla se originó en las columnas por flexocompresión, cortante o por una combinación de ambos esfuerzos, debido a la repetición de un elevado número de ciclos de cargas laterales, excediéndose la resistencia en cortante o flexocompresión.*

*Lo anterior se produjo en ciertos casos por la concentración del refuerzo longitudinal, formando paquetes en las esquinas de las secciones. En algunos otros el insuficiente refuerzo transversal, produjo un deficiente confinamiento del concreto, la concentración de esfuerzos significativos de adherencia y el correspondiente desgarramiento progresivo del concreto.*

*Es notable también el gran número de edificios ubicados en esquinas que fallaron, debido a los muros de mampostería ubicados en los dos lados de la colindancia, mientras que en las dos fachadas habían grandes claros. Esta distribución asimétrica de los muros provocó fuerzas de torsión que incrementaron los esfuerzos en las columnas de fachadas, dando origen al colapso.*

*Algunas edificaciones llegaron a la distribución asimétrica de muros, debido a la falla de ciertos muros de vital importancia para la resistencia de cargas laterales. En general la destrucción de muros divisorios o de colindancia fué muy común dadas las grandes deformaciones laterales que sufrieron los edificios.*

*Otra situación que se presentó con frecuencia, en los edificios dañados, fué el caso de la concentración de cargas sísmicas en las columnas del primer nivel, ocasionadas por la alta resistencia relativa a cargas laterales en los pisos superiores (debido a la presencia de un gran número de muros divisorios) en comparación a la débil capacidad de carga lateral del primer nivel de grandes claros (ocupados para estacionamientos, salones y escaparates, entre otros usos).*

*Algunas otras edificaciones colapsadas fueron dañadas por sismos anteriores y debido a que no fueron reparadas o sus reparaciones no fueron correctamente hechas, terminaron por fallar.*

*Así también fué frecuente el daño causado por el choque entre construcciones adyacentes.*

*Por lo antes expuesto, el sismo de 1985 demandó una revisión minuciosa del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, con el fin de realizar las modificaciones pertinentes y prever situaciones como las vividas en ese sismo, y realizar construcciones más seguras. Algunas de estas modificaciones al reglamento se exponen a continuación.*

*Se redujo de la clasificación que por su destino, se hace de las estructuras. Se*



*eliminó el grupo C anterior, aunque el grupo B se subdividió en B1 y B2, de acuerdo con la altura de la construcción, su superficie cubierta y la zona de desplante.*

*Para los proyectos arquitectónicos, se estableció la necesidad de estructurar en formas regulares para eliminar efectos sísmicos; de no ser así, se aplicará únicamente el 80% del valor del factor de comportamiento sísmico para calcular las reducciones admisibles.*

*Se normaron acabados y elementos no estructurales que puedan afectar el comportamiento sísmico de la estructura.*

*Se incrementó en un 100% la carga viva a considerar en el análisis sísmico; de 90 Kg/m<sup>2</sup> pasó a 180 Kg/m<sup>2</sup>. Para edificios de oficinas no se permite variar la magnitud de la carga viva en función del área tributaria del elemento en estudio excepto, si dicha área excede a 36 m<sup>2</sup>.*

*También se dan reglas para muros, tanto para aquellos intrínsecos en la estructura como para los muros exclusivamente divisorios, desligados totalmente de la estructura, de modo tal que no obstruyan las deformaciones estructurales y no aporten resistencia y rigidez.*

*De las modificaciones al reglamento, lo más sobresaliente es el incremento a los coeficientes sísmicos: para la zona blanda quedó en 0.40 g, 0.32 g para la zona de transición y 0.16 g para la firme. El factor de incremento en dichos coeficientes para las estructuras del grupo A se determinó en 1.5 en vez de 1.3 del reglamento de 1976.*

Los desplazamientos permisibles pasaron de  $0.008h$  a  $0.006h$ , donde  $h$  representa la altura de entrepiso o la altura total. De no existir posibilidades de causar daños en los elementos estructurales, se permiten valores de hasta  $0.012h$ .

La separación entre edificios adyacentes o entre cuerpos de una misma construcción, deberá ser igual a la suma de sus desplazamientos horizontales, calculados sin considerar reducciones en las fuerzas sísmicas, se incrementaron en  $0.001h$ ,  $0.003h$  ó  $0.006h$  según se trate de la zona I, II, ó III respectivamente ( $h$  es igual a la altura de interés medida sobre el terreno de desplante).

Otro de los cambios relevantes son los factores de comportamiento sísmico, antes factores de reducción por ductilidad. Se eliminó el factor de 6, quedando los valores de 4, 3, 2, 1.5, y 1. Se establece que para toda la estructura se usará el menor valor de  $Q$  que corresponda a los diversos entrepisos, en la dirección del análisis en cuestión.

Así también se determinó que en el proyecto y construcción de edificios del grupo A y subgrupo B1 es necesario contar con un director de la obra y con un corresponsable de la seguridad estructural. "Quien deberá revisar que se hayan hecho los estudios necesarios para el proyecto de estructura y cimentación, y revisará dichos proyectos, los materiales que se emplearán; asimismo, vigilará que la construcción se haga de acuerdo con esos proyectos y que la construcción de las instalaciones no afecte a los elementos estructurales"<sup>1</sup>.

Los espectros de diseño también sufrieron cambios: variaron los periodos que

determinan las zonas de ordenadas constantes, quedando ahora en 0.2, 0.3 y 0.6 seg. en el inicio y de 0.6, 1.5 y 3.9 seg. en el término, para las zonas I, II, y III respectivamente.

Se anexó también una serie de recomendaciones para considerar la interacción suelo-estructura, incluyendo, para algunos casos, la manera de modificar el espectro de diseño en base a los periodos dominantes del suelo en el lugar de desplante, para lo cual se proporciona un plano del D.F con dichos valores.

Sin embargo, un aspecto muy importante y de gran interés particular, lo representan los métodos empleados en la estimación de la respuesta estructural a los sismos. Considero que no es conveniente basar el análisis sísmico de estructuras en hipótesis simplistas como es la evaluación de cargas laterales equivalentes en relación a un cortante basal, distribuido a lo largo de la altura del edificio en forma lineal.

### **1.3 RESPUESTA ESTRUCTURAL A LOS SISMOS.**

Los parámetros que determinan los efectos de los sismos sobre las estructuras son los siguientes:

- a) Las características dinámicas de un temblor, definidas por su duración, su máxima amplitud (desplazamiento, velocidad o aceleración) además de su frecuencia.
- b) Las características dinámicas correspondientes a una estructura, como son las formas y periodos modales de vibración, los coeficientes de amortiguamiento, la forma de las leyes carga deformación de sus diversos elementos, tanto en el

*intervalo elástico como en el inelástico.*

*c) La forma de la estructura, su simetría (en planta y elevaciones), la distribución de su masa y sus miembros resistentes así como su capacidad de disipar energía.*

*El movimiento del terreno no daña a las estructuras por algún impacto, presión o por la acción directa de fuerzas externas, lo hace por la generación de fuerzas internas de inercia causadas por la aceleración del movimiento actuando sobre cada masa de la estructura. Como consecuencia, las características dinámicas de las estructuras, determinan la forma de vibración, la magnitud de las fuerzas sísmicas, su distribución en la estructura y su capacidad para resistirlas.*

*Se puede observar que el problema es sumamente complejo, pues las características de un sismo, son variables de un temblor a otro e incluso durante la ocurrencia de un mismo sismo, que como se sabe, dependen de la magnitud, la distancia epicentral y profundidad del foco, así como del tipo de terreno en el que se ubica la estructura.*

*Por otra parte, la determinación de las propiedades elásticas de los elementos estructurales, la contribución a la resistencia y rigidez de elementos no estructurales, la ductilidad y el amortiguamiento de las estructuras, son valores difíciles de calcular con precisión.*

*Sin embargo, la respuesta sísmica de una estructura puede predecirse o estimarse, de manera aceptable, mediante la aplicación de modelos matemáticos.*

#### **1.4 METODOS DE ANALISIS SISMICO.**

*Como anteriormente se dijo, el problema dinámico que surge en las estructuras ante un sismo es en extremo complejo y por lo tanto difícil de representarse analíticamente.*

*Existen métodos de análisis relativamente simples, que tratan de representar los efectos sísmicos mediante cargas horizontales aplicados a las masas estructurales, y análisis dinámicos que tratan de ser más precisos.*

*En los métodos estáticos se considera el efecto sísmico como una fuerza lateral equivalente y estática aplicada en la base de la estructura, evaluada como una constante (Cs) multiplicada por el peso total de dicha estructura distribuida linealmente en cada entrepiso de la construcción. Posteriormente se hace una revisión por el momento de volteo y por el momento de torsión.*

*Los métodos dinámicos, surgen con el afán de calcular con mayor precisión las fuerzas sísmicas y el consecuente comportamiento estructural.*

*Dentro de éstos métodos existen dos tipos de análisis, uno es el llamado análisis modal, en el cual las ecuaciones de movimiento para un sistema de  $n$  grados de libertad se descomponen en  $n$  ecuaciones independientes, con un sólo grado de libertad, con lo que se simplifica el sistema original.*

*Una vez resueltas las  $n$  ecuaciones se superponen los efectos sísmicos de acuerdo a su participación.*

*Otros tipos de análisis dinámicos, son los llamados métodos paso a paso, en las cuales se realiza una integración directa de la ecuación de movimiento, para lo*

*cual se utiliza el registro de una onda sísmica.*

*En éstos métodos el dominio del tiempo se discretiza en muchos intervalos pequeños llamados pasos de integración, y para cada uno de los lapsos se resuelven las ecuaciones del movimiento tomando como base los desplazamientos y velocidades del paso anterior. Estos métodos de análisis, reducen el problema sísmico a sencillos modelos matemáticos. Existe una alternativa más que pretende de manera directa conocer el comportamiento estructural ante un sismo. Dicha técnica es el diseño por modelos, como el de la mesa vibratoria que permite estudiar el fenómeno de resonancia. Sin embargo éstos métodos tienen el inconveniente de ser costosos y se requiere de mucho tiempo para obtener resultados.*

*El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, especifica que de acuerdo a las características generales de las estructuras, como es su destino, área de desplante y altura, el análisis sísmico puede elaborarse mediante alguno de éstos métodos:*

*METODO ESTÁTICO. Para sistemas estructurales de mediano tamaño, con una altura no mayor a 60.00 m. sin cambios bruscos en la distribución de sus masas y rigidez.*

*METODO DINÁMICO. Para estructuras grandes ( $h > 60$  m) o de mayor importancia (hospitales, centrales eléctricas, estaciones de bomberos, escuelas, entre otros). Los métodos dinámicos aceptados en el reglamento mencionado son: el análisis modal y el cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos.*

*De aplicar el análisis modal, se debe incluir el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual que 0.4 seg., pero en ningún caso tomar en consideración menos de 3 modos.*

*En el caso de usar el método de cálculo paso a paso, podrán emplearse acelerogramas de temblores reales o simulados, incluso la combinación de éstos. Se especifica que se deben considerar cuando menos cuatro movimientos representativos independientes entre sí, cuyas intensidades sean compatibles con los otros criterios. Además se debe considerar el comportamiento no lineal de la estructura.*

*Se menciona también, al método simplificado de análisis para utilizarse en estructuras pequeñas con una altura no mayor a 13.00 m. y que cumplan con una serie de requisitos, especificados en el reglamento, que garanticen la resistencia de la construcción al esfuerzo cortante al que se verá sometida en caso de ocurrir un sismo, sin considerar momentos de volteo y torsión, como se exige para el método estático.*

*Una vez analizados los daños padecidos por el sismo del 85, es evidente la necesidad de seguir investigando los efectos de éstos fenómenos en las estructuras. Por otra parte se ha visto que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (vigente) permite la realización de análisis dinámicos por el método paso a paso, por lo que se concluye que la utilización del método B de Newmark para el análisis sísmico de retículas es apropiado.*

## II. DESCRIPCIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL.

### **II.1 ASPECTOS BÁSICOS DE UNA RETÍCULA.**

Las retículas planas, que es el tipo de estructuras a las que se orienta éste estudio, son sistemas que comprenden a un grupo de traveses o vigas interconectadas en sus intersecciones o nodos (los cuales pueden considerarse rígidos o articulados) y se caracterizan por estar ubicados en un plano único, generalmente horizontal, y por que todas las fuerzas aplicadas a ésta son normales al plano de la estructura; todos los pares tienen sus vectores en el plano de la retícula. Esta orientación de las cargas puede dar como resultado efectos de torsión y de flexión en algunos de los miembros. Se considera que cada miembro tiene dos ejes de simetría en su sección transversal, de modo que la flexión y la torsión son independientes una de la otra (figura. II. 1).

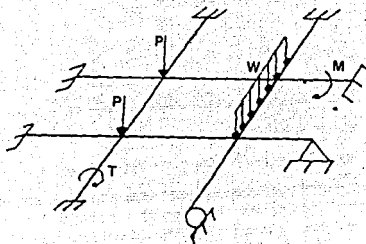


fig.II.1 Modelo de una retícula.



*En este tipo de estructuras las deformaciones por flexión siempre son importantes, pero las propiedades de las secciones transversales de los miembros y la forma de fabricar las conexiones determinan si se deben o no tomar en consideración las deformaciones por torsión. Y dado que no existen fuerzas axiales en una retícula, debido a que las fuerzas que soporta son normales a su plano, no existen deformaciones axiales y por lo tanto no se incluyen en el análisis.*

*Por último debe aclararse que todas las trabes que conforman a una retícula, se suponen continuas en todos los nodos excepto en los extremos, y para su análisis presentan un alto grado de indeterminación.*

## **II.2 OBTENCION DE LAS MATRICES DE RIGIDEZ Y MASA DE UNA BARRA.**

*En el análisis dinámico de estructuras es de gran utilidad apoyarse en un modelo sencillo que refleje adecuadamente las propiedades mecánicas y geométricas de la estructura de interés. Por otra parte, no es posible analizar un modelo con un solo grado de libertad si se toma en cuenta que la estructura real está formada por un número infinito de partículas de masa no despreciable (modelo continuo). A pesar de ello, muchas estructuras pueden considerarse como un medio continuo discreto con un número finito de grados de libertad.*

*Por lo tanto, si se considera un segmento elemental de viga como el que se muestra en la figura II.2. resulta que dicho elemento puede tener hasta 12 grados de libertad, sin embargo, como previamente se estableció para el análisis de retículas, los grados de libertad que aparecen en la figura II.2 marcados por los números 1, 3, 5, 7, 9 y 11 no son considerados. Y entonces se tiene que el*

segmento de barra tiene 6 grados de libertad, 3 en cada extremo.

Los grados de libertad 2 y 8 se relacionan con los efectos cortantes del elemento, los grados 6 y 12 involucran a la flexión, y los grados 4 y 10 se relacionan con la torsión del segmento.

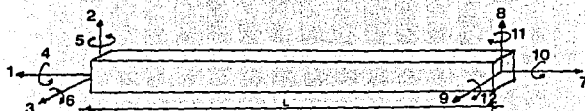


Fig.II.2 Sistemas de coordenadas, para los 12 grados de libertad, de una barra.



Fig.II.3 Sistemas de coordenadas, para 6 grados de libertad, de una barra.

Al incluir éstos efectos (cortante, flexión y torsión) en el análisis, se requiere de la determinación de los correspondientes coeficientes de rigidez para definir la respectiva matriz del segmento de barra.

Ahora bien, con el objeto de describir las configuraciones de todo el sistema reticular (es decir, sus desplazamientos y rotaciones) se requieren tantas cantidades linealmente independientes como grados de libertad. A tales cantidades se les conoce como desplazamientos generalizados o en coordenadas globales. Sin embargo, para analizar el segmento de viga de la figura II.3 se hace uso de un

sistema de coordenadas locales. En lo sucesivo las coordenadas generalizadas se denotaran con una barra en la parte superior del parámetro y otra en la parte inferior esto es:  $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Z}$ . Mientras que las coordenadas locales se escribirán solamente con la barra inferior:  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . (Ver fig. 11.4).

Para determinar los coeficientes de rigidez del segmento se supondrá que el plano  $\bar{x}\bar{y}$  es de simetría, que las cargas actúan en éste mismo plano, y en consecuencia las deformaciones o desplazamientos ocurrirán también en él (además de la torsión en el plano  $\bar{y}\bar{z}$ ).

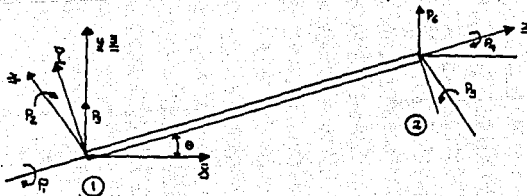


Fig. 11.4 Sistema de coordenadas local ( $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ,  $\bar{Z}$ ) y sistema de coordenadas generalizado o global ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Y componentes de los momentos nodales.

La ecuación que define los desplazamientos transversales del segmento es :

$$EI_c d^4 y/dx^4 = p(x)$$

2.1

donde :  $E$  = Módulo de elasticidad de la viga  
 $I_z$  = Momento de inercia en  $z$   
 $y$  = Desplazamiento en  $y$   
 $p(x)$  = Carga en la viga por unidad de longitud.

y dado que

$$\frac{dM(x)}{dx} = V(x) \quad 2.2$$

y

$$\frac{dV(x)}{dx} = p(x) \quad 2.3$$

donde  $p(x)$  = Carga en la viga por unidad de longitud  
 $V(x)$  = Esfuerzo cortante.

Por otra parte si se supone un desplazamiento unitario en la coordenada nodal  $j$ , y se mantiene simultáneamente todos los demás desplazamientos iguales a cero, entonces surge en la  $i$ -ésima coordenada una fuerza elástica designada por  $k_{ij}$  y recibe el nombre de coeficiente de rigidez  $j$ -ésimo correspondiente al grado de libertad  $i$ -ésimo.

En la figura 11.5 Se observan los desplazamientos unitarios correspondientes a cada uno de los seis grados de libertad y su respectivo coeficiente de rigidez del segmento de viga.

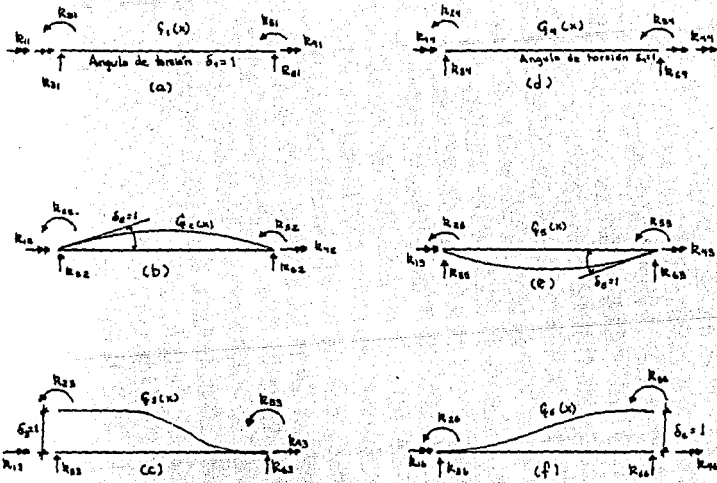


Fig. 11.5 Curvas de los desplazamientos unitarios.

Si se considera que el segmento de la figura 11.3 está libre de cargas, entonces de la ecuación 2.1 se tiene:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = 0 \quad 2.4$$

al integrar sucesivamente resulta:

$$\frac{d^3y}{dx^3} = C_1 \quad 2.5$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = C_1x + C_2 \quad 2.6$$

$$\frac{dy}{dx} = 1/2 C_1x^2 + C_2x + C_3 \quad 2.7$$

$$y = 1/6 C_1x^3 + 1/2 C_2x^2 + C_3x + C_4 \quad 2.8$$

donde  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$  son constantes de integración y dependen de las condiciones de frontera.

Al suponer que para la curva (c) de la figura II.5 se tienen las siguientes condiciones de frontera:

$$\text{para } x = 0 \quad y(0) = 1 \quad \text{y} \quad \frac{dy(0)}{dx} = 0 \quad 2.9$$

$$\text{para } x = L \quad y(L) = 0 \quad \text{y} \quad \frac{dy(L)}{dx} = 0 \quad 2.10$$

los cuales se sustituyen en las ecuaciones 2.4 a 2.7 para obtener los valores de

las constantes, con los que al aplicarse en la expresión 2.8 se determina la función de dicha curva:

$$C_3(x) = 1 - 3(x/L)^2 + 2(x/L)^3 \quad 2.11$$

De manera análoga se obtienen las ecuaciones de las curvas de los demás casos de la figura II.5.

$$C_1(x) = (1 - x/L) \quad 2.12$$

$$C_2(x) = x(1 - x/L)^2 \quad 2.13$$

$$C_4(x) = x/L \quad 2.14$$

$$C_5(x) = x^2/L (x/L - 1) \quad 2.15$$

$$C_6(x) = 3(x/L)^2 - 2(x/L)^3 \quad 2.16$$

Sin embargo debido a que  $C_3(x)$  es la flecha correspondiente a un desplazamiento unitario ( $d_3 = 1$ ); la flecha correspondiente a un desplazamiento cualquiera  $d_3$  es igual a  $C_3(x)d_3$ . Y de la misma manera  $C_1(x)d_1$ ;  $C_2(x)d_2$ ;  $C_4(x)d_4$ ;  $C_5(x)d_5$  y  $C_6(x)d_6$ . Por lo que, la flecha  $y(x)$  en la coordenada  $x$  debida a desplazamientos arbitrarios en las coordenadas nodales del segmento de viga resulta de la superposición:

$$y(x) = C_1(x)d_1 + C_2(x)d_2 + C_3(x)d_3 + C_4(x)d_4 + C_5(x)d_5 + C_6(x)d_6 \quad (2.17)$$

Las expresiones anteriores son de utilidad para la obtención de los coeficientes de rigidez. Si se considera que la viga (b) de la figura II.5 se encuentra en equilibrio

con las fuerzas que producen el desplazamiento virtual igual a la curva de deformación mostrada en la figura II.5 (c). Se tiene que el trabajo hecho por las fuerzas externas es:

$$W_E = k_{32} \delta_3 = k_{32} \quad 2.18$$

durante el desplazamiento virtual, es igual al trabajo realizado por las cargas elásticas internas:

$$W_I = \int_0^L M(x) d\theta \quad 2.19$$

donde  $M(x)$  = Momento flector

$d\theta$  = Es el desplazamiento angular relativo de la sección.

La deformación transversal de la viga está dada por la ecuación 2.13

y puesto que:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x) \quad 2.20$$

Al sustituir la segunda derivada de 2.12 en 2.20 se tiene:

$$EI \zeta''_2(x) = M(x) \quad 2.21$$

y la deformación angular  $d\theta$  resulta:

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2 \zeta_3(x)}{dx^2} = \zeta''_3(x) \quad 2.22$$



$$d\theta = \zeta''_3(x) dx \quad 2.23$$

Al igualar las expresiones 2.18 y 2.19

$$k_{32} = \int_0^L M(x) d\theta \quad 2.24$$

se sustituyen las ecuaciones 2.21 y 2.23 en 2.24, y se tiene el coeficiente de rigidez:

$$k_{32} = \int_0^L EI \zeta''_3(x) \zeta''_2(x) dx \quad 2.25$$

Y en forma general para el caso de la flexión en una viga:

$$k_{ij} = \int_0^L EI \zeta''_i(x) \zeta''_j(x) dx \quad 2.26$$

De la expresión 2.11 se tiene:

$$\zeta''_3(x) = \frac{-6}{L^2} + \frac{12x}{L^3} \quad 2.27$$

y de la ecuación 2.13 se deduce

$$\zeta''_2(x) = \frac{-4}{L} + \frac{6x}{L^2} \quad 2.28$$

al sustituir 2.27 y 2.28 en 2.25 se obtiene

$$k_{32} = \int_0^L \left[ \frac{-6}{L^2} + \frac{12x}{L^3} \right] \left[ \frac{-4}{L} + \frac{6x}{L^2} \right] dx \quad 2.29$$

y luego de integrar la ecuación 2.29 :

$$k_{32} = \frac{6EI}{L^2} \quad 2.30$$

En la expresión 2.26 se puede observar que  $k_{ij} = k_{ji}$ , ya que el intercambio de subíndices requiere exclusivamente el intercambio de factores  $C''_{ij}(x)$  y  $C''_{ji}(x)$ .

Análogamente con la ecuación 2.26 los coeficientes de rigidez para efectos de torsión pueden calcularse mediante:

$$k_{ij} = \int_0^L JG \theta'_{ij}(x) \theta'_{ji}(x) dx \quad 2.31$$

donde  $J$  = Constante torsional de la sección transversal  
 $G$  = Módulo de elasticidad al esfuerzo cortante.

Mediante las expresiones 2.26 y 2.31 se obtienen los coeficientes de la matriz de rigidez en coordenadas locales, que para un segmento de viga uniforme resulta:

$$[K] = \begin{bmatrix} JG/L & & & & & \\ 0 & 4EI/L & & & & \\ & 6EI/L^2 & 12EI/L^3 & & & \\ -JG/L & 0 & 0 & JG/L & & \\ 0 & 2EI/L & 6EI/L^2 & 0 & 4EI/L & \\ 0 & -6EI/L^2 & -12EI/L^3 & 0 & -6EI/L^2 & 12EI/L^3 \end{bmatrix} \quad (SIMETRICA) \quad 2.32$$

donde :  $J$  = Constante torsional de la sección transversal  
 $G$  = Módulo de elasticidad por cortante  
 $L$  = Longitud del elemento  
 $E$  = Módulo de elasticidad por flexión  
 $I$  = Momento de inercia.

De manera similar es posible determinar los coeficientes de masa en coordenadas locales de un elemento de viga. Se definirá como coeficiente de masa  $m_j$  a la fuerza en la coordenada  $i$  producida por una aceleración unitaria en la coordenada  $j$ , mientras que todas las otras coordenadas se mantienen con una aceleración igual a cero.

Al considerar el elemento de viga de la figura II.3 se supone que tiene una masa uniformemente repartida. Y si el segmento de viga está sometido a una aceleración unitaria (fig. II.6) en una de las coordenadas locales  $z_2 = 1$ , resulta entonces que la aceleración transversal se define por la segunda derivada de la ecuación 2.8

respecto del tiempo. Por lo tanto se tiene que  $\delta''_1 = \delta''_3 = \delta''_4 = \delta''_5 = \delta''_6 = 0$ .

$$\ddot{u}_2(x) = \zeta_2(x) \delta''_2 \quad 2.33$$

Y la fuerza inercial, por unidad de longitud producida por esta aceleración es:

$$f_i(x) = \bar{m}(x) \ddot{u}_2(x) \quad 2.34$$

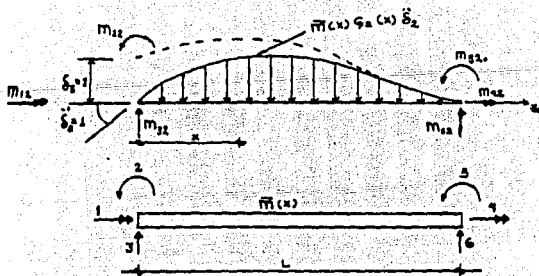


Fig. II.6 Elemento con masa distribuida con seis coordenadas nodales.

Al sustituir 2.33 en 2.34:

$$f_i(x) = \bar{m}(x) \zeta_2(x) \delta''_2 \quad 2.35$$

y como  $\delta''_2 = 1$ , se tiene:

$$f_i(x) = \bar{m}(x) \zeta_2(x) \quad 2.36$$

Si se supone, además un desplazamiento virtual correspondiente a una deformación unitaria en la coordenada 3:  $\delta_3 = 1$ , se tiene que el trabajo externo es:

$$W_E = m_{32} \delta_3 = m_{32} \quad 2.37$$

Mientras que el trabajo interno por unidad de longitud es:

$$dW_I = f_i(x) C_3(x) \quad 2.38$$

si se sustituye 2.36 en 2.38:

$$dW_I = \bar{m}(x) C_2(x) C_3(x) \quad 2.39$$

y para toda la viga:

$$W_I = \int_0^L \bar{m}(x) C_2(x) C_3(x) dx \quad 2.40$$

Si se igualan los trabajos internos y externos resulta:

$$m_{32} = \int_0^L \bar{m}(x) C_3(x) C_2(x) dx \quad 2.41$$

expresión que permite calcular el coeficiente de masa  $m_{32}$ .

En forma general se tiene:

$$m_{ij} = \int_0^L \bar{m}(x) C_i(x) C_j(x) dx \quad 2.42$$

Al aplicar esta ecuación con las condiciones de frontera correspondientes a un elemento reticular, se obtienen los siguientes coeficientes de la matriz de masa en coordenadas locales:

$$[M] = \frac{\bar{m}L}{420} \begin{bmatrix} 140I_{\bar{m}}/\bar{m} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4L^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 22L & 156 & 0 & 0 & 0 \\ 70I_{\bar{m}}/\bar{m} & 0 & 0 & 140I_{\bar{m}}/\bar{m} & 0 & 0 \\ 0 & -3L^2 & -13L & 0 & 4L^2 & 0 \\ 0 & 13L & 54 & 0 & -22L & 156 \end{bmatrix} \quad (SIMETRICA) \quad 2.43$$

donde  $\bar{m}$  = Masa distribuida por unidad de longitud

$L$  = Longitud del elemento

$I_{\bar{m}}$  = Momento polar de inercia de masa por unidad de longitud.

### II.3 OBTENCIÓN DE LAS MATRICES [K] Y [M] DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.

Las expresiones matriciales anteriores 2.32 y 2.34 representan las matrices de rigidez y mas respectivamente, de un segmento de viga. El objetivo ahora es definir las matrices de un sistema estructural completo. Esto se hará mediante la superposición de las matrices de los elementos que constituyan a la estructura. Sin embargo no se debe olvidar que las ecuaciones citadas están referidas a un sistema de coordenadas locales, y es necesario transformar estas matrices a un sistema global de coordenadas antes de realizar la superposición.

Por lo tanto, si se considera nuevamente la figura II.4, se observa que dado que la coordenada local  $\underline{x}$  y la coordenada global  $\bar{\underline{z}}$  coinciden, entonces se tiene que únicamente se deben transformar las coordenadas  $\underline{y}$  y  $\underline{z}$ .

Al relacionar las componentes de los momentos nodales entre los dos sistemas coordenados se tiene:

$$P_1 = \bar{P}_1 \text{ Cos} + \bar{P}_2 \text{ Sen} \quad 2.44$$

$$P_2 = \bar{P}_3 \quad 2.45$$

$$P_3 = \bar{P}_1 \text{ Sen} - \bar{P}_2 \text{ Cos} \quad 2.46$$

$$P_4 = \bar{P}_4 \text{ Cos} + \bar{P}_5 \text{ Sen} \quad 2.47$$

$$P_5 = \bar{P}_6 \quad 2.48$$

$$P_6 = \bar{P}_4 \text{ Sen} - \bar{P}_5 \text{ Cos} \quad 2.49$$

Con dichos valores se establece la matriz de transformación que permite convertir las matrices  $[K]$  y  $[M]$  de coordenadas locales a coordenadas globales.

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Cos} & \text{Sen} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \text{Sen} & -\text{Cos} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{Cos} & \text{Sen} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \text{Sen} & -\text{Cos} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{P}_1 \\ \bar{P}_2 \\ \bar{P}_3 \\ \bar{P}_4 \\ \bar{P}_5 \\ \bar{P}_6 \end{bmatrix} \quad 2.50$$

es decir:

$$\{P\} = [T] \{\bar{P}\} \quad 2.51$$

para el caso de los desplazamientos se tiene:

$$\{\xi\} = [T] \{\bar{\xi}\} \quad 2.52$$

Y, debido a que :

$$\{P\} = [K] \{\xi\} \quad 2.53$$

se sustituye 2.51 en 2.53 y resulta:

$$[T] \{\bar{P}\} = [K] \{\xi\} \quad 2.54$$

y al aplicar 2.52 en 2.54:

$$[T] \{\bar{P}\} = [K] [T] \{\bar{\xi}\} \quad 2.55$$

si se despeja  $\{\bar{P}\}$  se obtiene:

$$\{\bar{P}\} = [T]^{-1} [K] [T] \{\bar{\xi}\} \quad 2.56$$

y como:

$$\{\bar{P}\} = [\bar{K}] \{\bar{\xi}\} \quad 2.57$$

se deduce que:

$$[\bar{K}] = [T]^{-1} [K] [T] \quad 2.58$$

Con ésta expresión se logra transformar la matriz de rigidez de un elemento reticular de coordenadas locales a coordenadas globales. De igual forma ocurre



para el caso de la matriz de masa  $[M]$ :

$$[\tilde{M}] = [T]^T [M] [T] \quad 2.59$$

Una vez definidas las matrices elementales de rigidez y masa en coordenadas globales se tienen las condiciones para proceder a calcular las matrices correspondientes a todo el sistema estructural, mediante la superposición de las matrices de elementos reticulares.

Para comprender mejor el procedimiento de ensamble de las matrices elementales se hará uso de un ejemplo explicativo (retícula de la figura II.7).

Para el caso de la matriz de rigidez: El primer paso para obtener la matriz del sistema es dividir la estructura en cuatro elementos numerados consecutivamente para su identificación. El segundo paso es numerar los nodos (extremos o uniones) entre los elementos y numerar también las coordenadas nodales que puedan experimentar desplazamientos (grados de libertad). En la retícula del ejemplo se tienen tres coordenadas libres y un total de doce coordenadas fijas designadas todas con el número 4.

El tercer paso es obtener la matriz de rigidez de cada uno de los elementos del sistema y sumar apropiadamente los coeficientes de rigidez para determinar la matriz del sistema. Para ello se aplica la ecuación 2.32.

Para las cuatro barras del ejemplo, como todas tienen las mismas características geométricas y físicas, se obtiene la siguiente matriz de rigidez en coordenadas locales que es igual para cada barra:

PROPIEDADES MECANICAS

$E = 2000000 \text{ Kg/cm}^2$

$M = 0.20$

$Pv = 1.2$

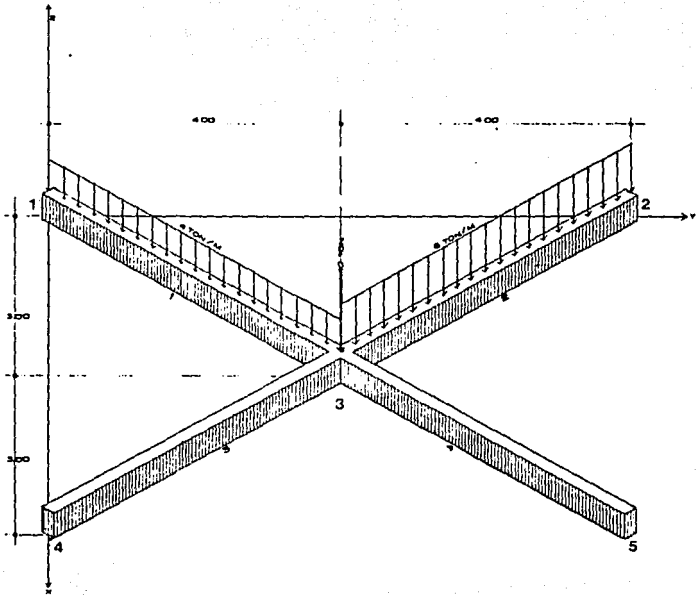


Fig.II.7 Estructura reticular, de ejemplo.

$$[K] = \begin{bmatrix}
 128E+6 & & & & & \\
 0 & 201.10E+2 & & & & \\
 0 & 502.74E+4 & 1684.85E+6 & & & \\
 -128E+6 & 0 & 0 & 128E+6 & & \\
 0 & -201.10E+2 & -502.74E+4 & 0 & 201.10E+2 & \\
 0 & 502.74E+4 & 828.85E+6 & 0 & -502.74E+4 & 1684.85E+6
 \end{bmatrix} \quad (SIMETRICA)$$

2.60

El paso número cuatro consiste en transformar las matrices elementales de coordenadas locales a coordenadas globales. Para lo cual se aplica la ecuación 2.59. En donde la matriz de transformación para las barras 1 y 4 es:

$$[T]_{1,4} = \begin{bmatrix}
 0.60 & 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\
 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\
 0.80 & -0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.60 & 0.80 & 0.00 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.80 & -0.60 & 0.00
 \end{bmatrix} \quad 2.61$$

y para las barras 2 y 3 se tiene:

$$[T]_{2,3} = \begin{bmatrix}
 -0.60 & 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\
 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\
 0.80 & 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & -0.60 & 0.80 & 0.00 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.80 & 0.60 & 0.00
 \end{bmatrix} \quad 2.62$$

Por lo que de acuerdo a la expresión 2.59 se premultiplica la matriz de transformación transpuesta con la matriz de rigidez correspondiente, dicho producto se multiplica por la matriz de transformación original y se obtiene la matriz de rigidez en coordenadas globales. Los resultados obtenidos en el ejemplo son:

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 & 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\
 \bar{[K]}_{1,4} = 10E+6 & \begin{bmatrix} 1124.38 & 747.28 & 4.0219 & 484.38 & 459.29 & -4.0219 \\ 747.28 & 688.47 & 3.0164 & 459.29 & 216.47 & -3.0164 \\ 4.0219 & 3.0164 & .02011 & 4.0219 & 3.0164 & -.02011 \\ 484.38 & 459.29 & 4.0219 & 1124.38 & 747.29 & -4.0219 \\ 459.29 & 216.47 & 3.0164 & 747.29 & 688.47 & -3.0164 \\ -4.0219 & -3.0164 & -.02011 & -4.0219 & -3.0164 & .02011 \end{bmatrix} & \begin{matrix} 4 & 1 \\ 4 & 2 \\ 4 & 3 \\ 1 & 4 \\ 2 & 4 \\ 3 & 4 \end{matrix}
 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} & & & & (2.63) \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 2 & 3 \\ & 4 & 4 & 4 & 1 & 4 & 4 \end{matrix} \\
 \bar{[K]}_{2,3} = 10E+6 & \begin{bmatrix} 1124.38 & -747.29 & 4.0219 & 484.38 & -459.29 & -4.0219 \\ -747.29 & 688.47 & -3.0164 & -459.29 & 216.47 & 3.0164 \\ 4.0219 & -3.0164 & .02011 & 4.0219 & -3.0164 & .02011 \\ 484.38 & -459.29 & 4.0219 & 1124.38 & -747.29 & -4.0219 \\ -459.29 & 216.47 & -3.0164 & -747.29 & 688.47 & 3.0164 \\ -4.0219 & 3.0164 & .02011 & -4.0219 & 3.0164 & .02011 \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 & 4 \\ 2 & 4 \\ 3 & 4 \\ 4 & 1 \\ 4 & 2 \\ 4 & 3 \end{matrix}
 \end{matrix}$$

(2.64)

Para las barras número 1 y 3, las coordenadas nodales son 4, 4, 4, 1, 2, 3, debido a que sus nodos iniciales no presentan grados de libertad. Mientras en el caso de las barras 2 y 4 las coordenadas nodales son 1, 2, 3, 4, 4, 4.

Se procede entonces, a ensamblar la matriz de rigidez del sistema reticular.

Se traslada cada coeficiente de las matrices de las barras (expresiones 2.63 y 2.64) a la posición apropiada de la matriz del sistema. Por ejemplo el coeficiente de rigidez de la barra uno:  $k_1(4,4) = 1124.38E + 6$ , debe ser trasladado a la posición renglón 1; columna 1, ya que éstas son las coordenadas indicadas a la derecha y arriba de la matriz 2.63 para dicho coeficiente.

De manera semejante cada coeficiente de rigidez de las matrices elementales, se traslada a su posición correspondiente en la matriz del sistema y se acumula con los otros coeficientes con esa posición. Los coeficientes de rigidez ubicados en renglones o columnas asignados a coordenadas fijas (coordenadas número 4 en el ejemplo) son eliminados puesto que las coordenadas fijas no corresponden a desplazamientos desconocidos.

De acuerdo con lo descrito la matriz de rigidez del sistema reticular resulta un arreglo matricial de 3 x 3:

$$[\bar{K}]_s = \begin{bmatrix} 4.49752E+9 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 2.75388E+9 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 8.0437E+4 \end{bmatrix} \quad 2.65$$

#### II.4 ECUACION DE EQUILIBRIO DINAMICO DE UNA RETICULA.

Como ya se comentó anteriormente, en el análisis de estructuras es conveniente apoyarse en modelos que permitan simplificar dicha tarea. 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 II.8. Sin embargo éste tipo de modelación tiene un solo grado de libertad. Y para comprender mejor la respuesta de una estructura ante un sismo es conveniente estudiarla suponiendo un modelo discreto con un número finito de grados de libertad.

En las siguientes líneas se plantean las ecuaciones de un sistema de varios grados de libertad como el que se aprecia en la figura II.9.

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

a) Fuerzas Restauradoras Lineales,  $F_R$ , que dependen de los desplazamientos de los puntos del modelo y se expresan como:

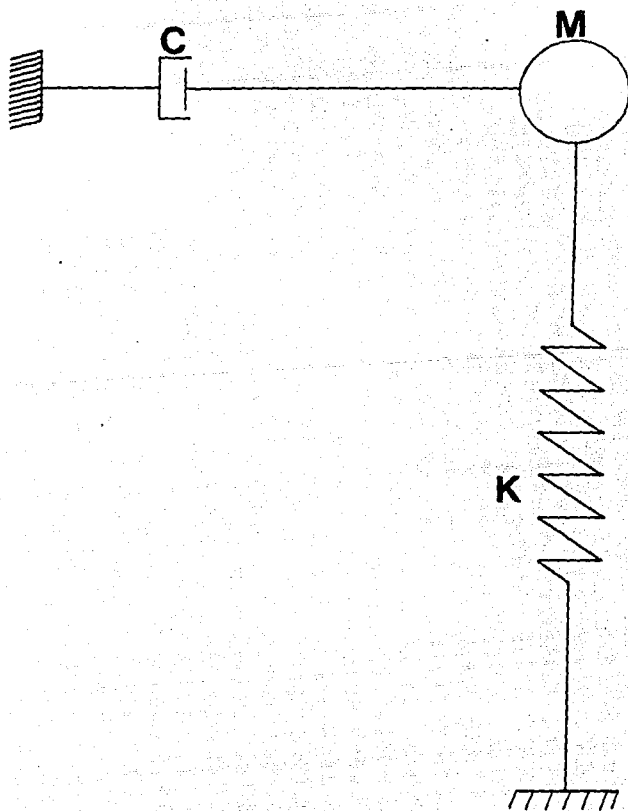
$$\{F_R\} = [K]\{u\} \quad 2.66$$

donde  $\{u\}$  = Vector de desplazamientos de los puntos de la estructura  
 $[K]$  = Matriz de rigidez de la estructura.

b) Fuerzas Disipadoras Viscosas Elásticas,  $F_D$ , las cuales son función de las velocidades de los puntos de la estructura y se representan por:

$$\{F_D\} = [C]\{\dot{u}\} \quad 2.67$$

donde  $\{\dot{u}\}$  = Vector de velocidades  
 $[C]$  = Matriz de amortiguamiento del sistema.



*Fig. II.9 Modelo de un solo grado de libertad con amortiguamiento.*

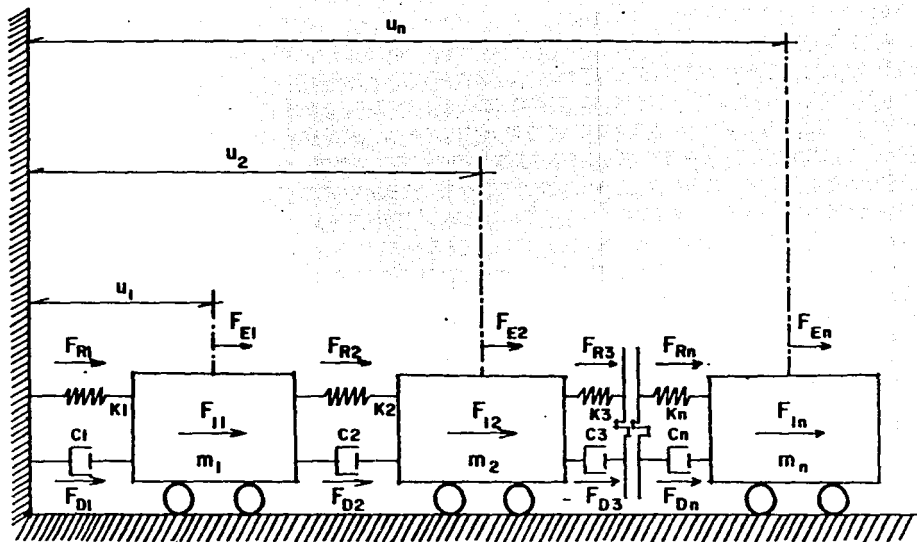


FIG.II.9 SISTEMA DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD



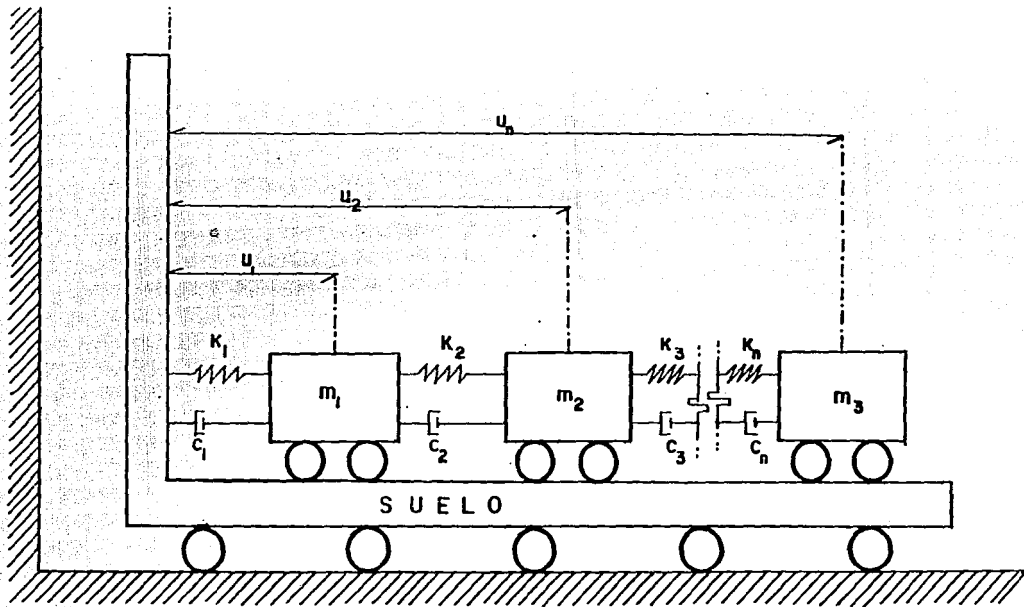


FIG.10 REPRESENTACION ESQUEMATICA DEL MOVIMIENTO DE LA ESTRUCTURA SUELO EN UN TEMBLOR

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

$$\Sigma \{F\} = [M] \{\ddot{u}\} \quad 2.68$$

o

$$\Sigma \{F\} = \{F_e\} - \{F_d\} - \{F_o\} = \{F_e\} - [K]\{u\} - [C]\{\dot{u}\} \quad 2.69$$

donde  $\{\ddot{u}\}$  = Vector de aceleraciones del sistema

$\{F_e\}$  = Vector de fuerzas externas

$[M]$  = Matriz de masas.

Al sustituir las ecuaciones 2.66 a 2.68 en 2.69 resulta:

$$\{F_e\} = [M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} \quad 2.70$$

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 II.10.

De acuerdo con las ecuaciones 2.66 a 2.68 los elementos de la ecuación de movimiento del sistema mostrado en la figura II.10 resultan:

$$\{F_e\} = [M]\{\ddot{u}\} = [M] \{ \ddot{U} \} - \{\ddot{u}_g\} \quad 2.71$$

$$\{F_o\} = [C]\{\dot{u}\} = [C]\{\dot{U}\} \quad 2.72$$

$$\{F_R\} = [K]\{u\} = [K]\{U\} \quad 2.73$$

$$\{F\} = 0 \quad 2.74$$

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

Al sustituir las ecuaciones 2.71 a 2.74 en la ecuación de movimiento se obtiene:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = -[M]\{J\}\{\ddot{u}_g\} \quad 2.75$$

Esta última expresión representa al sistema de ecuaciones diferenciales de interés. Son ecuaciones de segundo orden, lineales, ordinarias, no homogéneas de coeficientes constantes y acoplados.

### III. SOLUCIÓN DE LA ECUACION DE EQUILIBRIO DINAMICO.

#### **III.1 METODOS DE SOLUCION.**

*El propósito de este capítulo es el de conocer las diferentes formas de resolver la ecuación de equilibrio deducida en el capítulo anterior.*

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -MJ\ddot{U}_g \quad 3.1$$

*Como se ha visto, esta expresión corresponde a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias en  $t$ , de segundo orden, lineales no homogéneas de coeficientes constantes y acoplados.*

*La solución al sistema debe considerar los valores iniciales, esto es, debe buscar una función  $\underline{U}(t)$  que satisfaga la ecuación 3.1 para todo  $t \in [0, t_{max}]$ ,  $t_{max} > 0$  con las condiciones iniciales:*

$$\underline{U} = \left. \begin{array}{l} u \\ \vdots \\ v \end{array} \right|_{t=0} \quad \dot{\underline{U}} = \left. \begin{array}{l} \dot{u} \\ \vdots \\ \dot{v} \end{array} \right|_{t=0} \quad 3.2$$

*Debido a que los procedimientos clásicos de solución para ecuaciones diferenciales de coeficientes constantes han resultado ineficientes para el análisis estructural, se han creado métodos especiales que involucran las características de los coeficientes  $[K]$ ,  $[C]$  y  $[M]$  dándoles mayor eficacia.*

*Estas técnicas especiales de solución, se dividen en dos grupos:*

*- Métodos de Superposición Modal.*

*- Métodos de Integración Directa.*

*En los métodos de superposición modal, las ecuaciones de movimiento para  $n$  grados de libertad se convierten en  $n$  ecuaciones independientes con un sólo grado de libertad, por lo que la solución de un sistema de  $n$  grados de libertad, es equivalente a resolver  $n$  sistemas independientes con un solo grado de libertad, en vibraciones libres, para posteriormente combinarlas de acuerdo con su participación.*

*Este proceso de conversión se denomina desacoplamiento de las ecuaciones.*

*Uno de los métodos que pertenece a éste grupo, es el llamado **análisis modal de historia en el tiempo**, en el cual primeramente se obtienen las historias en el tiempo, de la respuesta de cada modo característico de vibración, para después sumarlos y obtener una respuesta estructural de la historia en el tiempo.*

*Sin embargo, a menudo sólo se requieren los valores máximos de la respuesta para el diseño sísmico, por lo que en éstos casos, los valores máximos de respuesta para cada modo se determinan mediante los espectros de diseño y se suman para obtener la respuesta máxima del sistema. Esta técnica se conoce como **análisis modal del espectro de respuesta**.*

*Los métodos directos son métodos numéricos aproximados que buscan dar solución al sistema de ecuaciones de equilibrio dinámico, con mayor rapidez y facilidad que los métodos de superposición modal, pues éstos resultan ser extremadamente complejos, aún con la ayuda de las computadoras.*

Estos métodos de integración directa, parten de los siguientes principios:

- De la ecuación del movimiento (3.1) se satisface el equilibrio únicamente en puntos discretos a intervalos  $\delta t$  denominados pasos de integración.
- Se supone que los desplazamientos, velocidades y aceleraciones en cada intervalo  $\delta t$  son conocidos.

Algunos de los métodos directos son:

- Diferencias Centrales.
- Houbolt.
- $\Theta$  de Wilson.
- $\beta$  de Newmark.
- Hilber.
- Argyris.
- Clough y Penzien.
- Runge y Kutta.

La aproximación, estabilidad y costo de cada método depende de la variación elegida.

### III.2 METODO $\beta$ DE NEWMARK.

El método  $\beta$  de Newmark, es un método de integración directa, se basa en una generalización de la variación de la aceleración relativa, mediante la introducción de un par de parámetros adimensionales, los cuales le dan por definición mayor eficacia al método.

La suposición de la variación de la aceleración relativa, para cada grado de libertad, se considera como una función lineal en  $\delta t$ , lo que conduce a:

$$\underline{\dot{U}}_1 = \underline{\dot{U}}_0 + \tau/\delta t (\underline{\dot{U}}_1 - \underline{\dot{U}}_0) \quad 3.3$$

$$\underline{\ddot{U}}_1 = \underline{\ddot{U}}_0 + \tau \underline{\ddot{U}}_0 + \tau^2/(2\delta t) (\underline{\ddot{U}}_1 - \underline{\ddot{U}}_0) \quad 3.4$$

$$\underline{U}_r = \underline{U}_0 + r \dot{\underline{U}}_0 + r^2/2 \ddot{\underline{U}}_0 - r^3/(6\delta t) (\dot{\underline{U}}_1 - \dot{\underline{U}}_0) \quad 3.5$$

donde  $t_0 < r < t_1$ ,

$$\dot{\underline{U}}(t_0) = \dot{\underline{U}}_0 \text{ y } \underline{U}(t_0) = \underline{U}_0 \text{ como valores iniciales.}$$

Estas ecuaciones se conocen como ecuaciones predictoras implícitas en  $\underline{U}_1$ .

Para  $t = \delta t$ , las ecuaciones 3.3 a 3.5 en función de  $t_1$  son:

$$\dot{\underline{U}}_1 = \dot{\underline{U}}_1 \quad 3.6$$

$$\dot{\underline{U}}_1 = \dot{\underline{U}}_0 + \delta t/2 (\ddot{\underline{U}}_0 + \ddot{\underline{U}}_1) \quad 3.7$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_0 + \delta t \dot{\underline{U}}_0 + \delta t^2/6 (\ddot{\underline{U}}_0 + 2\ddot{\underline{U}}_1) \quad 3.8$$

Esta 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 3.1 para  $t = t_1$ .

Al sustituir las ecuaciones 3.6, 3.7 y 3.8 en 3.1

$$E_{E1} = M \ddot{\underline{U}}_1 + C \left[ \dot{\underline{U}}_0 + \delta t/2 (\ddot{\underline{U}}_0 + \ddot{\underline{U}}_1) \right] + K \left[ \underline{U}_0 + \delta t \dot{\underline{U}}_0 + \delta t^2/6 (\ddot{\underline{U}}_0 + 2\ddot{\underline{U}}_1) \right] \quad (3.9)$$

si se despeja  $\ddot{\underline{U}}_1$ ,

$$\ddot{\underline{U}}_1 = E / (C a + K b + E_{E1}) \quad 3.10$$

donde :

$$E = [M + \delta t/2 C + \delta t^2/6 K]^{-1} \quad 3.11$$

$$\underline{a} = \dot{U}_0 + \delta t/2 \ddot{U}_0 \quad 3.12$$

$$\underline{b} = U_0 + \delta t \dot{U}_0 + \delta t^2/3 \ddot{U}_0 \quad 3.13$$

Definida la aceleración al final del paso por la ecuación 3.10 las ecuaciones 3.7 y 3.8 se pueden escribir de la siguiente manera:

$$\underline{U}_1 = \underline{a} + \delta t/2 \ddot{U}_1 \quad 3.14$$

$$\underline{U}_1 = \underline{b} + \delta t^2/6 \ddot{U}_1 \quad 3.15$$

Al aplicar el criterio de Rayleigh para definir la matriz de amortiguamiento  $C$  obtenemos:

$$C = \alpha M + \mu K \quad 3.16$$

se transforman las ecuaciones 3.9 y 3.10 en:

$$\ddot{U}_1 = G \left[ -\alpha M \underline{a} - K(\mu \underline{a} + \underline{b}) + E_{E1} \right] \quad 3.17$$

donde

$$G = \left[ (1 + \delta t/2 \alpha) M + (\delta t/2 \mu + \delta t^2/6) K \right]^{-1} \quad 3.18$$

Se generalizan las ecuaciones predictoras mediante la introducción de los parámetros  $\beta$  y  $\mathcal{L}$ , y se llega a las siguientes expresiones:

$$\ddot{U}_1 = \ddot{U}_1 \quad 3.19$$



$$\dot{\underline{U}}_1 = \dot{\underline{U}}_0 + \delta t [1 - E] \dot{\underline{U}}_0 + \delta t E \dot{\underline{U}}_1 \quad 3.20$$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_0 + \delta t \dot{\underline{U}}_0 + [1/2 - \beta] \delta t^2 \ddot{\underline{U}}_0 + \beta \delta t^2 \ddot{\underline{U}}_1 \quad 3.21$$

$\beta$  está involucrado con la estabilidad del método, mientras que  $E$  se relaciona con lo que se conoce como amortiguamiento matemático.

En el caso de  $\beta = 1/6$  y  $E = 1/2$  se tiene la condición de la variación lineal de la aceleración.

Al sustituir estas tres últimas expresiones en la ecuación del movimiento al final del paso, se tiene:

$$\ddot{\underline{U}}_1 = E [C \underline{a} - K \underline{b} + E \underline{f}] \quad 3.22$$

donde

$$E = [M + E \delta t C + \beta \delta t^2 K]^{-1} \quad 3.23$$

$$\underline{a} = \underline{U}_0 + [1 - E] \delta t \dot{\underline{U}}_0 \quad 3.24$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \delta t \dot{\underline{U}}_0 + [1/2 - \beta] \delta t^2 \ddot{\underline{U}}_0 \quad 3.25$$

Si se sustituye 3.16 en 3.22 y 3.23 se obtiene

$$\bar{K} \ddot{\underline{U}}_1 = \underline{r} \quad 3.26$$

donde

$$\bar{K} = (1 + E\delta t\alpha)M + (E\delta t\mu + \beta\delta t^2)K \quad 3.27$$

y

$$C = -\alpha M a - K (\mu a + b) + E_{e1} \quad 3.28$$

al resolver la ecuación 3.26, la velocidad y desplazamiento al final del paso son:

$$\dot{U}_1 = a + E \delta t \ddot{U}_1 \quad 3.29$$

$$U_1 = b + \beta \delta t^2 \ddot{U}_1 \quad 3.30$$

Del análisis anterior se deduce el algoritmo numérico para el método  $\beta$  de Newmark, y el cual consiste de los siguientes pasos:

1.- Determinar las constantes:

$$E0 = E \delta t \quad 3.31$$

$$E1 = \beta \delta t \delta t \quad 3.32$$

$$EK1 = 1 + E0 \alpha \quad 3.33$$

$$EK2 = E0 \mu + E1 \quad 3.34$$

$$EA1 = \delta t - E0 \quad 3.35$$

$$EB1 = (1/2 - \beta) \delta t \delta t \quad 3.36$$

2.- Calcular la matriz  $\bar{K}$

$$\bar{K} = EK1 M + EK2 K \quad 3.37$$

3.- Triangular la matriz  $\bar{K}$

Y para cada paso de integración:

4.- Determinar los vectores

$$\underline{a} = \underline{\dot{U}}_0 + EA1 \underline{\ddot{U}}_1 \quad 3.38$$

$$\underline{b} = \underline{U}_0 + \delta t \underline{\dot{U}}_0 + EB1 \underline{\ddot{U}}_0 \quad 3.39$$

$$\underline{c} = -\underline{\ddot{U}}_0 \underline{J} \underline{M} - \alpha \underline{M} \underline{a} - \underline{K} (\mu \underline{a} + \underline{b}) \quad 3.40$$

5.- Resolver el sistema de ecuaciones:

$$\underline{\bar{K}} \underline{\ddot{U}}_1 = \underline{c} \quad 3.41$$

6.- Determinar los vectores:

$$\underline{\dot{U}}_1 = \underline{a} + E0 \underline{\ddot{U}}_1 \quad 3.42$$

$$\underline{U}_1 = \underline{b} + E1 \underline{\ddot{U}}_1 \quad 3.43$$

En la expresión 3.40  $\underline{\ddot{U}}_0$  representa a los puntos de un acelerograma, necesario para la utilización del método, el cual puede ser el registro de un sismo real o bien se puede obtener mediante la simulación de uno de éstos fenómenos.

### III.3 ACELEROGRAMAS.

En el primer capítulo, se habló sobre el alto riesgo sísmico que existe en nuestro país incluyendo a nuestra ciudad, hecho que se evidenció con el terremoto que sufrimos el día 19 de Septiembre de 1985, con catastróficas consecuencias.

Ante esta realidad existen algunos organismos como: la Fundación de Ingenieros Civiles Asociados (FICA), el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico A.C. (CIRES A.C.) de la

*Fundación Javier Barros Sierra, A.C., que se han dado a la tarea de registrar los movimientos telúricos en el D.F. con la finalidad de realizar estudios que nos permitan saber más sobre estos fenómenos naturales y evitar en lo posible tragedias como la de 1985.*

*En las siguientes líneas se describen las características de los aparatos de la Red Básica del CIREs para el registro de las aceleraciones del terreno, la manera de almacenar estos registros en los medios magnéticos y como es que podemos hacer uso de ellos para el análisis de retículas a través de nuestro programa.*

### **III.3.1 RED ACELEROMETRICA DEL CIREs.**

*La red básica acelerográfica del CIREs, se constituye por cuarenta estaciones de superficie y tres de pozo profundo. La configuración instrumental está formada por acelerógrafos digitales con registro magnético en cassette, capaces de captar en escala completa aceleraciones de hasta 10.5 veces gravedad, y tomar 100 muestras por segundo de tres sensores ortogonales (vertical, norte-sur y este-oeste) utilizados para evaluar las aceleraciones del terreno.*

*Junto con el registro de las aceleraciones, son grabadas una señal de tiempo propia y una señal de tiempo externa, lo que permite haya una sincronización automática entre las diferentes estaciones, auxiliándose de una señal de radio. Esto hace posible saber con aceptable precisión el tiempo de ocurrencia de los eventos.*

*El sistema de tiempo externo utiliza como estándar de referencia la señal de un sistema de navegación de alta precisión, el cual consta de ocho trasmisores de radio distribuidos en los*

distintos continentes y su señal cubre cíclicamente todo el mundo. Gracias a esto, puede determinarse el epicentro de los sismos, conociendo la velocidad de propagación de las ondas sísmicas.

Con la ayuda de un microprocesador, éstos acelerógrafos inician su operación cuando se detectan aceleraciones del terreno que superan a un nivel preestablecido, y se da comienzo a la grabación del evento. Así también el microprocesador está programado para detener la cinta 15 segundos después de que las aceleraciones producidas por el sismo son menores que el nivel preseleccionado.

Las estaciones de pozo profundo, a diferencia de los de superficie, son sistemas formados por arreglo de 2 o 3 sensores triaxiales colocados a profundidades entre 10 y 60 metros, y el nivel de arranque se compara con el promedio de las señales ortogonales del sensor seleccionado para activar el arreglo.

Es importante señalar, que con el fin de evitar que el ruido sísmico local llene la cinta magnética con eventos falsos, el umbral de disparo es diferente para cada estación.

Una muestra esquemática de una estación de campo del CIRES, en donde se observa un acelerómetro de superficie y sus sistemas de soporte se pueden apreciar en la figura III.1. En la figura III.2 se describe la interconexión entre dichos sistemas.

Hoy en día, se ha generalizado el uso de transductores sensibles a la aceleración, llamados comúnmente acelerómetros, debido a su reducido tamaño y su amplia gama de frecuencias disponibles (ancho de banda de 0 a 50 Hz) que cumplen los requerimientos de medición de la Ingeniería Sísmica.

Estos modernos dispositivos hacen posible considerar una medición puntual, y su señal de

salida se puede integrar mediante la electrónica para obtener la velocidad y el desplazamiento correspondientes.

La grabación de información en cassette se realiza en bloques de 48 bits distribuidos en 8 palabras de 6 bits. En cada bloque se registra: una señal de la aceleración detectada en cada una de las tres direcciones ortogonales, fecha y hora del reloj interno, número de serie del aparato y tiempo del reloj externo.

Dado que cada bloque representa una muestra, se necesitan 100 de ellos para integrar un segundo del registro de aceleración.

Por otra parte, cada cassette contiene 300 pies de cinta magnética lo que significa que puede gravarse en ellos hasta 14 minutos de información.

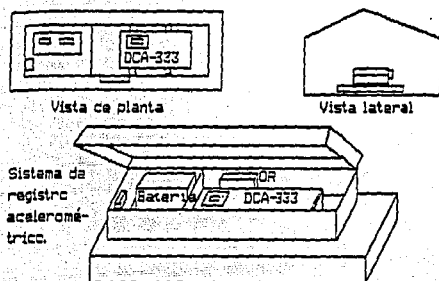


Fig. III.1 Estación de campo de la red.

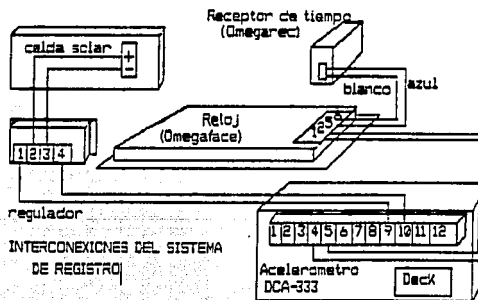


Fig. III.2 Interconexión del Sistema de registro.

La fuente de energía que alimenta a los acelerómetros consiste en una batería plomo-ácido de 12 volts que se recarga con una celda solar, en aquellos lugares donde no existe suministro de energía eléctrica.

### III.3.2 REGISTROS ACCELEROMETRICOS.

El análisis acelerométrico se realiza gracias a un conjunto de paquetes de software con que cuenta el CIRES, pues estos proporcionan al usuario de los acelerómetros un forma sencilla de leer y graficar los registros acelerométricos mediante el uso de una computadora personal.

*Para poder hacer uso de éstos archivos acelerométricos, hubo necesidad de desarrollar un procedimiento capaz de acceder tales ficheros, separar sus componentes ortogonales y pasar sus datos de formato ASCII a formato de números reales, para poder operarlos eficazmente, de acuerdo a nuestras necesidades de cálculo.*

#### **III.4 PROCESO DE SOLUCION.**

*El análisis dinámico de una retícula, se inicia con la determinación de las propiedades físico-geométricas de los elementos reticulares (paso A), con los que se calculan las matrices de rigidez y masa, en base a un dimensionamiento previo, y las características físicas propias del material estructural, como el módulo elástico, la relación de Poisson y el factor de cortante.*

*Para lograrlo, se aplican las ecuaciones 2.32 y 2.43 (paso B).*

*Una vez definidas las matrices  $[K]$  y  $[M]$  se está en condiciones de plantear la ecuación de equilibrio dinámico, y para su solución se aplica el método  $\beta$  de Newmark (paso C), que como se vió en la sección III.2, en primer término se calculan una serie de constantes auxiliares (ecuaciones 3.31 a 3.36). El segundo paso del método consiste en obtener la matriz de apoyo  $[K]$  con la aplicación de la expresión 3.37.*

*En el tercer paso, se trianguliza la matriz de apoyo  $[K]$ , lo que representa la primer fase del método de solución del sistema de ecuaciones lineales que se define en 3.41.*

*En ésta parte del proceso, cobra importancia y se deslumbra, la necesidad del registro de las aceleraciones de un temblor real o simulado (paso D).*

*De dicho acelerograma se selecciona el período a considerar en el análisis, que bien puede ser todo el registro, y que al igual que el tamaño de los pasos de integración, son factores de*



*gran importancia para el volumen de datos a procesar (entre más grande sea el número de pasos, mayor será el consumo de recursos, memoria y tiempo de proceso).*

*Así mismo, es importante subrayar que actualmente no se cuenta con una metodología para la selección del periodo del acelerograma a considerar, de modo tal que, dicha decisión debe fundamentarse en la intuición y experiencia profesional.*

*Posteriormente, en el paso cuatro, se discretiza la sección del acelerograma a estudiar y se define el tamaño de los pasos de integración (algunos investigadores recomiendan que éste sea igual a 0.10 del periodo natural de oscilación de la estructura). No debe olvidarse que cada paso de integración, está ligado a una aceleración del terreno, y para cada uno de éstos valores se deben obtener los vectores auxiliares  $\underline{a}$ ,  $\underline{b}$  y  $\underline{c}$  mediante las expresiones 3.38, 3.39 y 3.40 respectivamente. En éstas ecuaciones los valores de  $U_n$ ,  $\dot{U}_n$  y  $\ddot{U}_n$  representan el desplazamiento, la velocidad y la aceleración calculadas en el paso anterior, y  $\ddot{U}_g$  es el valor de la aceleración del terreno, que se obtiene del acelerograma.*

*Los vectores  $\underline{a}$  y  $\underline{b}$  son necesarios para el cálculo del vector  $\underline{c}$ , el cual forma parte, junto con la matriz auxiliar  $[K]$  y el vector  $\ddot{U}_g$ , del sistema de ecuaciones lineales que se representa en la expresión 3.41.*

*El paso número cinco, consiste en la solución de dicho sistema, con la aplicación de un método numérico que se conoce como método de Cholesky, el cual se detalla en el capítulo IV. La solución del sistema da por resultado los componentes del vector  $\ddot{U}_n$ , es decir, las aceleraciones relativas a las que se vé sujeta la estructura debido a la aceleración del terreno en el punto del acelerograma en turno.*

La última etapa del método B de Newmark, corresponde al paso seis, en el que se calculan los vectores  $\dot{U}$ , y  $U$ , mediante las expresiones 3.42 y 3.43. Estos dos vectores corresponden a la velocidad y al desplazamiento relativos de la estructura, respectivamente.

Luego de repetir los pasos cuatro, cinco y seis para cada punto del acelerograma se tiene, entonces, ya resuelta la ecuación del equilibrio dinámico, y el siguiente paso es la obtención de los desplazamientos promedio de la estructura, para posteriormente determinar las fuerzas de inercia relacionadas con éstos (paso E). Para ello se plantea el siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$E = [K] \underline{U}_1 \quad 3.44$$

donde  $[K]$  = matriz de rigidez del sistema

$\underline{U}_1$  = vector de los desplazamientos más significativos.

La expresión anterior también se resuelve por el método de Cholesky, y su solución representa las cargas sísmicas que soporta la estructura, como efecto del fenómeno.

En seguida se combinan las cargas sísmicas calculadas, con las cargas gravitacionales, según lo especifica el Reglamento de construcción (se suman las cargas vivas, las cargas muertas y las cargas accidentales, y se multiplica la adición por un factor de carga igual a 1.1 -paso F). Posteriormente se aplica una vez más la ecuación 3.44, pero despejando ésta vez el vector  $\underline{U}_1$ , con lo que se obtienen los desplazamientos totales de la estructura (paso G), los cuales deben compararse con los desplazamientos permisibles.

Finalmente se calculan los elementos mecánicos de la estructura mediante la ecuación 3.44,

para lo cual se toman como datos los desplazamientos totales y la matriz de rigidez del sistema (paso H).

Dos puntos de suma importancia resaltan del método  $\beta$  de Newmark, el primero es la inclusión de la aceleración del terreno de desplante en el proceso de solución (ecuación 3.40) aspecto que se satisface con el aprovechamiento de los datos proporcionados por el CIRES.

El segundo, es la selección del método a utilizar en la solución al sistema de ecuaciones lineales planteado en la expresión 3.41. El método elegido fue el de Cholesky, las razones de tal decisión así como los fundamentos teóricos que lo sustentan se exponen en el siguiente capítulo.

#### IV. SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES.

En los capítulos anteriores se plantea la necesidad de idealizar a las estructuras mediante modelos matemáticos, los cuales en general consisten en el establecimiento de las ecuaciones de equilibrio que se sintetizan en sistemas de ecuaciones lineales, como el representado por la expresión 3.33.

Para la solución de éstos arreglos numéricos existen diversos métodos, los más conocidos se agrupan en iterativos y directos. Estos últimos se basan en la eliminación gaussiana y los que mejor se adecúan para ser desarrollados en computadora se denominan compactos.

Dentro de éste grupo cada método está en función de las características de la matriz de coeficientes del sistema. Por lo tanto, para resolver la ecuación 3.33; se seleccionó el método de Cholesky debido al carácter simétrico y cuadrado de la matriz  $\underline{K}$  y porque resulta ser un método muy eficiente, pues utiliza un mínimo de memoria en la computadora y su procesamiento es muy ágil.

##### **IV.1 METODO DE CHOLESKY.**

La notación del sistema de  $n$  ecuaciones lineales de la expresión 3.33 es:

$$K_{11}\hat{U}_1 + K_{12}\hat{U}_2 + K_{13}\hat{U}_3 + \dots + K_{1n}\hat{U}_n = r_1 \quad 4.1$$

$$K_{21}\hat{U}_1 + K_{22}\hat{U}_2 + K_{23}\hat{U}_3 + \dots + K_{2n}\hat{U}_n = r_2 \quad 4.2$$

$$K_{31}\hat{U}_1 + K_{32}\hat{U}_2 + K_{33}\hat{U}_3 + \dots + K_{3n}\hat{U}_n = r_3 \quad 4.3$$

$$\begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix} \quad \begin{matrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{matrix}$$
$$K_{n1}\hat{U}_1 + K_{n2}\hat{U}_2 + K_{n3}\hat{U}_3 + \dots + K_{nn}\hat{U}_n = r_n \quad 4.4$$

En forma matricial se tiene :

$$\begin{bmatrix}
 K_{11} & K_{12} & K_{13} & \dots & K_{1n} \\
 K_{21} & K_{22} & K_{23} & \dots & K_{2n} \\
 K_{31} & K_{32} & K_{33} & \dots & K_{3n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 K_{n1} & K_{n2} & K_{n3} & \dots & K_{nn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \hat{U}_1 \\
 \hat{U}_2 \\
 \hat{U}_3 \\
 \vdots \\
 \hat{U}_n
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 r_1 \\
 r_2 \\
 r_3 \\
 \vdots \\
 r_n
 \end{bmatrix}
 \quad 4.5$$

En donde como se ha visto  $[K]$  es una matriz (de coeficiente) cuadrada de  $n \times n$ ,  $\hat{U}$  es el vector cuyos elementos son las incógnitas del sistema y  $r$  es el vector formado por los coeficientes independientes del sistema.

Al aplicar uno de los teoremas fundamentales del álgebra lineal que expresa:

"Dada una matriz  $K$  de orden  $n \times n$  y  $K_l$  es la matriz principal correspondiente a los  $l$ -ésimos renglones y columnas de  $K$ , si el determinante de  $|K_l|$  es diferente de cero,  $l = 1, 2, \dots, n-1$ . Lo que implica que  $K$  es no singular, existe una matriz triangular inferior única  $L$  y una matriz triangular superior  $S$  tal que el producto de las dos matrices triangulares es igual a la matriz  $K$ , con la condición que una cualesquiera de las matrices triangulares debe estar normalizadas (es decir, que los elementos de la diagonal principal sean iguales a la unidad)"<sup>(2)</sup>.

Se puede escribir la siguiente expresión :

$$K = L S \quad 4.6$$

Al sustituir esta ecuación en 3.33 se tiene

$$\underline{L} \underline{S} \underline{Q} = \underline{c} \quad 4.7$$

Si se toma de base esta expresión, se puede realizar la siguiente transformación :

$$\underline{S} \underline{Q} = \underline{y} \quad 4.8$$

Donde  $\underline{y}$  es un vector de  $n$  elementos. Si se sustituye 4.8 en 4.7 se obtiene :

$$\underline{L} \underline{y} = \underline{c} \quad 4.9$$

Se denomina triangulación, al proceso de obtener los valores de  $\underline{L}$  y  $\underline{S}$  que de acuerdo con la ecuación 4.7 es un proceso independiente al vector  $\underline{c}$ .

En la expresión 4.9 son conocidas la matriz  $\underline{L}$  y el vector  $\underline{c}$  por lo que al resolver dicho sistema se obtiene el vector  $\underline{y}$ .

Dado que  $\underline{L}$  es la matriz triangular inferior de  $\underline{K}$ , la solución de la ecuación 4.9 se conoce como sustitución hacia adelante.

Conocido el vector  $\underline{y}$  se procede a resolver la ecuación 4.8 para obtener el valor de  $\underline{Q}$ . Por ser  $\underline{S}$  la matriz triangular superior de  $\underline{K}$ , a éste proceso se le denomina sustitución hacia atrás.

En resumen se puede decir que para resolver un sistema de ecuaciones algebraicas lineales, por éste método deben seguir los siguientes pasos:

- I. Obtener las matrices triangulares  $\underline{L}$  y  $\underline{S}$  (triangulación), ecuación 4.6.
- II. Obtener el vector auxiliar  $\underline{y}$  (sustitución hacia adelante) ecuación 4.9.
- III. Determinar el vector incógnita  $\underline{U}$  (sustitución hacia atrás) ecuación 4.8.

## IV.2 ARREGLOS CUADRADOS.

La matriz  $\underline{K}$  de la ecuación 3.33, inicialmente se forma por arreglos cuadrados bidimensionales, y aunque existen otros tipos de arreglos que buscan aprovechar la simetría y la disposición de los coeficientes de  $\underline{K}$  emplearemos los arreglos cuadrados.

En los siguientes párrafos se desarrollan los algoritmos correspondientes al método de Cholesky en su versión para arreglos cuadrados.

### IV.2.1 TRIANGULACION.

La condición de simetría para la matriz cuadrada  $\underline{K}$  es

$$\underline{K} = \underline{K}^T \quad 4.10$$

y la condición de triangulación se puede escribir como :

$$\underline{K} = \underline{L} \underline{D}' \underline{D} \underline{S} \quad 4.11$$

o bien

$$K = L D D' S \quad 4.12$$

Donde  $D$  es una matriz diagonal formada con las diagonales no normalizadas de  $L$  o de  $S$ , y por lo tanto también simétrica:

$$D = D^T \quad 4.13$$

Se normaliza  $L$ , y se llega a:

$$\bar{L} = L D^{-1} \quad 4.14$$

se sustituye en 4.11

$$K = \bar{L} D S \quad 4.15$$

al considerar el carácter simétrico de la matriz  $K$  se tiene

$$\bar{L} D S = (\bar{L} D S)^T \quad 4.16$$

que de acuerdo al álgebra lineal se obtiene

$$\bar{L} D S = S^T D^T \bar{L}^T \quad 4.17$$

se sustituye 4.13 en 4.17

$$\bar{L} D S = S^T D \bar{L}^T \quad 4.18$$



se concluye que

$$\bar{L} = S^T \quad 4.19$$

En estas condiciones, la ecuación 4.15 puede escribirse de la siguiente manera :

$$K = S^T D S \quad 4.20$$

$$\text{para } S_{11} = 1$$

o bien

$$K = S^T D_1/2 D_1/2 S \quad 4.21$$

Donde la matriz triangular superior  $S$  está normalizada, por lo que, si se define la matriz triangular superior no normalizada como:

$$\bar{S} = D_1/2 S \quad 4.22$$

entonces la transpuesta resulta

$$\bar{S}^T = S^T D_1/2 \quad 4.23$$

y si se sustituye 4.22 y 4.23 en 4.21

$$\bar{K} = \bar{S}^T S \quad 4.24$$

Esta ecuación representa el proceso de triangulación para el método de Cholesky.

Al analizar los elementos por columna de  $K$  y si se considera el producto  $S^T S$  para cada miembro de  $K$ , se obtienen los siguientes algoritmos para la triangulación  $K$ :

1.- La primer columna de la matriz  $K$  resulta:

$$S_{11} = [K_{11}]^{1/2} \quad 4.25$$

2.- Segunda columna de  $K$  es:

$$S_{12} = K_{12} / S_{11} \quad 4.26$$

$$S_{22} = [K_{22} - S_{12}^2]^{1/2} \quad 4.27$$

3.- La tercera columna se determina mediante:

$$S_{13} = K_{13} / S_{11} \quad 4.28$$

$$S_{23} = [K_{23} - S_{12} S_{13}] / S_{22} \quad 4.29$$

$$S_{33} = [K_{33} - S_{13}^2 - S_{23}^2]^{1/2} \quad 4.30$$

4.- Para la enésima columna:

$$S_{1n} = K_{1n} / S_{11} \quad 4.31$$

$$S_{2n} = [K_{2n} - S_{12} S_{1n}] / S_{22} \quad 4.32$$

$$S_{3n} = [K_{3n} - S_{13} S_{1n} - S_{23} S_{2n}] / S_{33} \quad 4.33$$

$$S_{nn} = [K_{nn} - S_{1n}^2 - S_{2n}^2 - S_{3n}^2]^{1/2} \quad 4.34$$

En resumen el proceso de triangulación se define por:

$$S_{11} = (K_{11})^{1/2} \quad 4.35$$

$$S_{ii} = K_{ii} / S_{11} \quad i = 2, n \quad 4.36$$

$$S_{ij} = (K_{ij} - \sum_{m=1}^{i-1} S_{mi} S_{mj}) / S_{ii} \quad j = 3, n \quad 4.37$$

$$S_{ii} = (K_{ii} - \sum_{m=1}^{i-1} S_{mi}^2)^{1/2} \quad i = 2, n \quad 4.38$$

#### IV.2.2 SUSTITUCION HACIA ADELANTE.

De la expresión 4.24 la sustitución hacia adelante se puede escribir como:

$$S^T y = b \quad 4.39$$

es decir:

$$\begin{bmatrix} S_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ S_{12} & S_{22} & 0 & \dots & 0 \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{1n} & S_{2n} & S_{3n} & \dots & S_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad 4.40$$

de la primer ecuación se obtiene:

$$y_1 = b_1 / S_{11} \quad 4.41$$

y del resto de las ecuaciones se llega a

$$y_i = (b_i - \sum_{m=1}^{i-1} S_{mi} y_m) / S_{ii} \quad i = 2, n \quad 4.42$$

#### IV.2.3 SUSTITUCION HACIA ATRAS.

De la ecuación 4.8 se define la sustitución hacia atrás como:

$$S \hat{U} = y \quad 4.43$$

o bien

$$\begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1n} \\ 0 & S_{22} & S_{23} & \dots & S_{2n} \\ 0 & 0 & S_{33} & \dots & S_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & S_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{U}_1 \\ \hat{U}_2 \\ \hat{U}_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{U}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} \quad 4.44$$

De acuerdo a la enésima ecuación se tiene

$$\hat{U}_n = y_n / S_{nn} \quad 4.45$$

Y de la i-ésima ecuación de atrás hacia adelante, se llega a la siguiente expresión general:

$$\ddot{U}_i = (y_i - \sum_{m=i+1}^n S_{im} \ddot{U}_m) / S_{ii} \quad i = n-1, 1 \quad 4.46$$

*De acuerdo al algoritmo del método paso a paso descrito en el capítulo anterior (ecuaciones 3.31 a 3.43), existen otras ventajas al emplear el método de Cholesky en la solución de la expresión 3.33. En el proceso de triangulación únicamente se necesita la matriz  $\underline{K}$ , la cual es independiente del vector  $\underline{L}$ , lo que significa que para el análisis de una estructura, una sola vez se debe hacer el proceso de triangulación (paso 3 del método de Newmark) y con ésta se pueden realizar tantas sustituciones hacia atrás y hacia adelante como puntos marque el acelerograma a considerar (paso 5 del M. de Newmark), lo que se refleja en el tiempo de proceso.*

## V. ORGANIZACION DEL PROGRAMA.

### **V.1 DESCRIPCION DEL SOFTWARE.**

*El programa que se elaboró para el análisis dinámico de retículas por el método B de Newmark y que se presenta en éste trabajo, consta de tres grandes módulos como se puede apreciar en la figura V.1.*

#### **V.1.1 PRE-PROCESADOR.**

*El primer módulo titulado PRE-PROCESADOR, tiene la función de capturar toda la información necesaria para la realización del análisis. Es un programa elaborado en lenguaje C, y se forma de diversas rutinas cada una de las cuales realiza una tarea específica, como se verá a continuación.*

*Para la programación de éste primer módulo se seleccionó el lenguaje arriba mencionado para su desarrollo, debido a que es un lenguaje que ofrece comandos que permiten la realización de programas interactivos, con un carácter amistoso y agradable para los usuarios, con lo que se facilita la tarea de captura de datos.*

*Las rutinas que conforman al programa PRE-PROCESADOR se observan en la figura V.2, en donde también se puede apreciar el flujo de las mismas, y sus funciones se describen en las siguientes líneas.*

*La rutina TES000.C, despliega en la pantalla las carátulas de presentación del programa.  
TES002.C, solicita el "drive" y nombre del archivo de datos iniciales.*

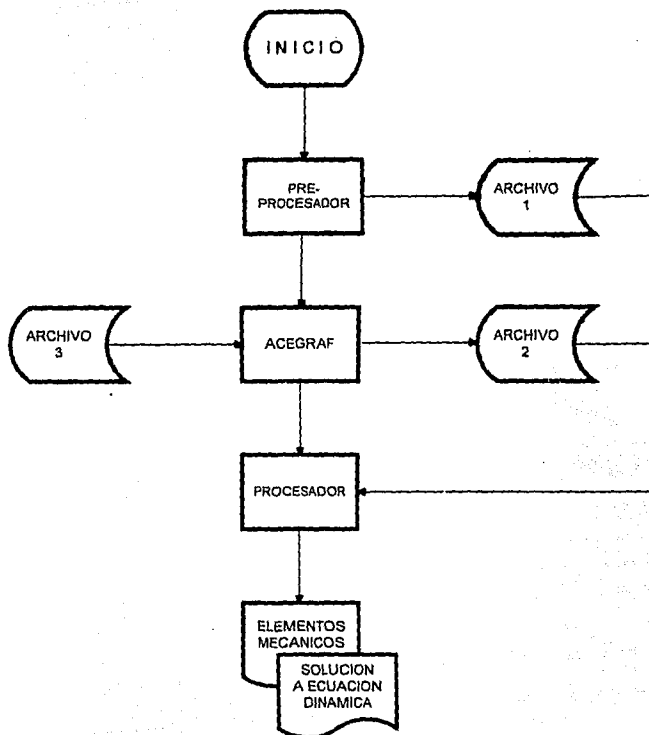


Fig. V.1 Diagrama General del Sistema.

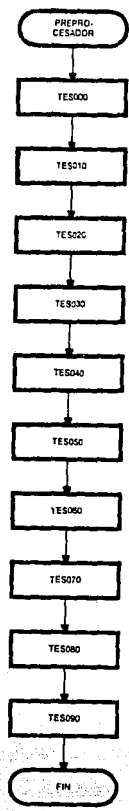


Fig. V.2 Diagrama de flujo del Módulo PRE-PROCESADOR.



*La captura de los datos iniciales, tales como:*

- *Nombre de la estructura.*
- *Número de nodos.*
- *Número de condiciones de frontera.*
- *Número de barras.*
- *Número de materiales estructurales.*
- *Número de secciones.*
- *Número de barras cargadas.*
- *Número de nodos cargados.*

*se llevan a cabo en la rutina TESO10.C.*

*En TESO20.C, se realiza la captura de las coordenadas de cada uno de los nodos, ubicados en el espacio.*

*TESO30.C, en ésta rutina se registran las condiciones de frontera en los nodos correspondientes.*

*En la función TESO40.C se dan de alta los datos de las secciones de las barras, es decir, sus propiedades geométricas (áreas y momentos de inercia).*

*TESO50.C, solicita los datos referentes a los materiales estructurales especificados para cada barra, como son el módulo elástico, el módulo de Poisson y la densidad.*

*En TESO60.C, se capturan los números nodales de los extremos de las barras, así como el material y la sección de cada una de las barras.*

*TESO70.C, permite la captura de las cargas que afectan a las barras de la retícula, la magnitud, la dirección, el sentido y el tipo de carga actuante.*

*En TESO80.C, se registran las cargas aplicadas en los nodos de la retícula (magnitud, dirección y sentido).*

*Con todos los datos capturados mediante las rutinas anteriores se genera un archivo*

*secuencial, con el que se dá inicio a la segunda parte del programa, tal y como se indica en la figura V.1.*

#### **V.1.2 ACEGRAF.**

*El programa ACEGRAF tiene la función de producir gráficas con los registros de un acelerógrafo, y crea un archivo con éstos datos el cual representará la acción dinámica a la que se someterá la estructura por analizar.*

*Este programa se desarrolló en lenguaje PASCAL, por las siguientes razones: en primer término, por que éste lenguaje de programación permite elaborar gráficos que son indispensables para la presentación en pantalla de los acelerogramas, y por otra parte, su elección, obedece también a que permite empacar de manera sencilla la información de los archivos, ahorrando considerablemente el espacio en los dispositivos magnéticos. Esta segunda característica es de suma importancia debido a que, como el programa reproduce gráficamente el registro de un sismo captado por un acelerógrafo debe manejar archivos de gran magnitud, pues se debe recordar que para integrar un segundo en el registro de un sismo se requiere de 100 muestras (ver sección III.3).*

*El CIRES cuenta con un programa llamado DCA333, el cual genera un archivo en disco del registro de un evento, conteniendo las tres componentes ortogonales de éste. Dicho archivo se crea en código ASCII y sus registros se forman de tres columnas de datos, que representan las componentes ortogonales; vertical, norte-sur y este-oeste; tal y como se aprecia en la figura V.3.*

---

**Horario Internacional**  
**Hora:minutos:segundos Greenwich Meridian Time (GMT)**

<b>Componente norte-sur</b>			
	<b>14:29:50 GMT</b>		
	-0.06943	-0.00239	0.00958
	-0.06943	-0.00239	0.00958
	-0.07183	-0.00239	0.00718
	-0.07183	-0.00479	0.00718
<b>Componente vertical</b>	-0.07422	-0.00479	0.00718
	-0.07422	-0.00239	0.00718
	-0.07422	-0.00479	0.00718
	-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

**Componente  
este-oeste**

---

*Fig.V.3 Contenido del archivo de un acelerograma en código ASCII.*

*Cada renglón de éste archivo, contiene una cadena de caracteres numéricos que corresponden al valor registrado por acelerómetro para cada muestra. Esta cadena de caracteres es leída y convertida a formato de números reales, por ACEGRAF. Una vez realizada la conversión, el programa ofrece la posibilidad de graficar el evento en la pantalla para un mejor análisis del fenómeno.*

*Otra posibilidad que brinda ACEGRAF es que como se ha visto, los registros sísmicos están formados por un gran número de muestras por lo que es necesario eliminar (diezmar) algunas muestras bajo un criterio conveniente. El programa realiza el diezmo de los registros de una componente, tomando las muestras más significativas y no la totalidad de los registros del acelerograma.*

Por ejemplo, si se tiene un registro sísmico con las siguientes amplitudes:

<u>Número de muestras</u>	<u>Valor de la amplitud.</u>
1	0.05331
2	0.05452
3	0.06771
4	0.06571
5	0.05987
6	0.05230
7	0.04999
8	0.04999
9	0.04878
10	0.05000
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

ACEGRAF selecciona las muestras 1, 3, 5, 7 y 9. Y elimina el resto de las muestra, quedando un nuevo registro con un tamaño igual a la mitad del tamaño original, con las siguientes muestras:

<u>Número de muestras</u>	<u>Valor de la amplitud.</u>
1	0.05331
2	0.06571
3	0.05987
4	0.04999
5	0.04878
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>

El diezmo se realiza con la opción **Agranda** del menú principal de ACEGRAF. Su funcionamiento se detalla en el Manual de Operación (sección V.2).

### **V.1.3 PROCESADOR.**

*La tercera parte del programa, denominada PROCESADOR, se constituye por un conjunto de rutinas elaboradas en lenguaje FORTRAN (lenguaje que fué elegido para el desarrollo de ésta etapa por su carácter algebraico y por su exitosa aplicación en el área científico-técnica). El objetivo de ésta fase es la de realizar todos los cálculos involucrados en el análisis dinámico de una retícula, el cual se fundamenta en la teoría expuesta en el capítulo II.*

*Dichas rutinas son las que figuran en la gráfica V.3 y la función de cada una de ellas se describe en las siguientes líneas.*

*En el inicio de ésta fase se abren de entrada los archivos generados por el PRE-PROCESADOR y por ACEGRAF, y de salida se abre un archivo en donde habrán de registrarse los resultados obtenidos.*

*Del primero de éstos archivos, son leídos todos los datos iniciales, y aplicando el concepto de memoria dinámica que nos ofrece el FORTRAN, se calcula el espacio necesario en la memoria de la computadora para la realización del proceso. De no haber espacio suficiente en la memoria del equipo, se cancela el programa y se envía a la pantalla el mensaje correspondiente.*

*Posteriormente, con éstos datos iniciales se ejecuta la rutina PROP.FOR en la cual, se calculan las propiedades geométricas de cada una de las barras del sistema, como es el área y los momentos de inercia en coordenadas locales.*

*La rutina siguiente es la titulada SEC2.FOR, cuya función es la de grabar en el archivo de salida las propiedades geométricas de las barras calculadas en PROP.FOR.*

*En la función INDICAM.FOR, se determina el número de ecuaciones a resolver, el cual es*

*función del número de grados de libertad que se indicó en los datos de inicio. Y una vez más se verifica la capacidad de almacenamiento de datos, tomando en cuenta el espacio de memoria que se requerirá para resolver el número de ecuaciones que se estimó.*

*La siguiente rutina es CALXML.FOR, en la cual se calcula la longitud y los cosenos directores de cada barra, de acuerdo con las coordenadas nodales.*

*En MATK.FOR, que es la rutina en turno según el flujo del programa, se determina la matriz de rigidez de cada barra, primeramente en coordenadas locales y luego al emplear los cosenos directores de la barra en cuestión, se obtiene la matriz de rigidez en coordenadas globales (aplicación de las ecuaciones 2.32 y 2.43).*

*En seguida se procesa la rutina MATM.FOR, la cual es muy semejante a la función anterior, sólo que aquí se determina la matriz de masa, en coordenadas locales y globales.*

*Posteriormente en la rutina IEDM.FOR se genera un vector indicador de ecuación que nos permitirá realizar el ensamble de las matrices elementales de rigidez y masa, y formar las propias del sistema estructural.*

*ENSAMBLK.FOR, es la función en la que se realiza el ensamble de las matrices de rigidez de las barras que forman a la retícula, y se genera la matriz de rigidez del sistema.*

*Según el flujo lógico del programa, entra en acción la rutina ENSAMBLM.FOR, en donde se lleva a cabo el ensamble y la creación de las matrices elementales de masa, para armar la matriz de masa de la retícula.*

*En las instrucciones posteriores del programa son leídos, del archivo generado en ACEGRAF, los puntos del acelerograma a considerar en el análisis y se almacenan en la memoria del computador para su posterior utilización.*

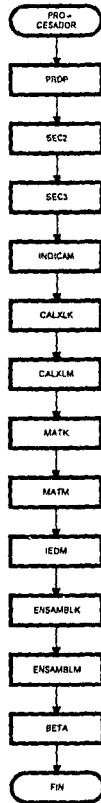


Fig. V.4 Diagrama de flujo del Módulo PROCESADOR.

Finalmente se procesa la rutina BETA.FOR, en la cual se desarrolla propiamente dicho, el algoritmo del método  $\beta$  de Newmark (ecuaciones 3.31 a 3.43), de donde se obtienen como resultado los valores de la aceleración, velocidad y desplazamientos, relativos, para cada punto del acelerograma y de cada grado de libertad del sistema reticular, que nos permiten determinar los elementos mecánicos de la estructura. Con lo anterior, se cumple el objetivo esencial del "software" que aquí se presenta.

En el anexo A, se listan todos los programas fuentes que forman el sistema descrito.

## **V.2 MANUAL DE OPERACION.**

En ésta sección se describe la forma de operar del programa que se desarrolló, es decir, se comenta e indica la manera como funciona, sus alcances y limitantes.

Para que el programa entre en funcionamiento debe digitarse la palabra RETICULA seguida de un <intro>, entonces, automáticamente aparece en la pantalla la carátula de presentación del programa (figura V.5) en donde se pueden apreciar los datos generales del software, para continuar se debe pulsar <intro>.

Posteriormente aparece el menú general del programa con cuatro opciones (figura V.6) que son:

- 1.- Pre-procesador
- 2.- Acelerogramas
- 3.- Procesador
- 4.- Fin de sesión

para acceder cualquiera de las opciones basta con pulsar el número de la opción deseada e <intro>.



### **V.2.1 PRE-PROCESADOR.**

*Opción número uno ( Pre-procesador ). Cuando se elige ésta opción aparece en la pantalla un submenú con diez opciones (como se indicó en el capítulo anterior. Este módulo permite la captura de todos los datos de la estructura). Para entrar a cualquiera de las diez opciones de este submenú, se debe desplazar el cursor con la barra espaciadora hasta la opción deseada y pulsar <Intro>, o bien digitar la letra mayúscula indicada en cada una de las opciones, es decir, si se pulsa la letra "a" o "A" se accesará la opción de Archivo, pero si se oprime la letra "n" o "N" se dará inicio a la opción de datos nodales.*

*La opción Archivo permite especificar el nombre del archivo donde se registrarán los datos de la estructura, el cual no debe exceder de 6 caracteres; debe indicarse también el drive donde se localiza dicho archivo. De no existir el fichero éste será creado. Esta función la realiza enviando al monitor el siguiente texto:*

*NOMBRE DEL ARCHIVO (máx. 6 carac.)*

*DIRECCION DEL DRIVE (A, B, C...)*

*Una vez indicado el nombre del archivo y el drive al pié dela pantalla, se despliega un mensaje para confirmar o modificar los datos especificados:*

*DESEA CAMBIAR LOS DATOS <S/N>*

si se opta por modificar la información, es decir si se oprime la tecla correspondiente a la letra S, se vuelve a solicitar el nombre y drive del fichero, de ésta manera se puede corregir la respuesta dada anteriormente. Como ésta ha sido capturada nuevamente, se pedirá una vez más la confirmación o modificación de los datos. Si la información indicada es correcta, entonces el archivo que se especificó se accesa, y en la parte inferior de la pantalla se podrá leer el nombre de dicho fichero.

La opción **Inicia** permite la captura de los datos iniciales; en primer término se pide el nombre de la estructura mediante la leyenda:

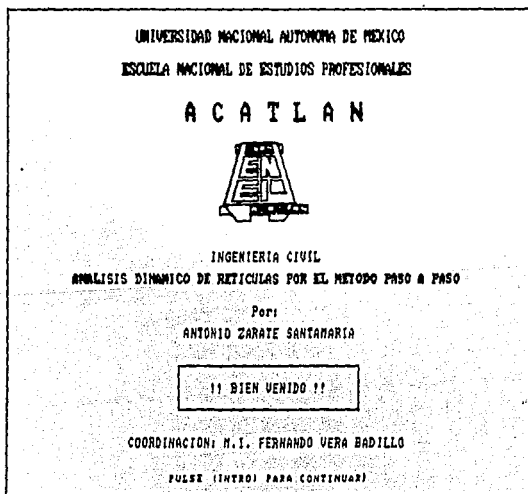
#### 1.- NOMBRE DE LA ESTRUCTURA

a lo que debe digitarse el dato que se solicita seguido de un <intro>. De manera similar se demandan los siguientes datos:

- 1.- NOMBRE DE LA ESTRUCTURA
- 2.- No. DE NODOS
- 3.- No. DE PUNTOS CON C.F.
- 4.- No. DE BARRAS
- 5.- No. DE SECCIONES TRANS.
- 6.- No. DE MATERIALES
- 7.- No. DE BARRAS CARGADAS
- 8.- No. DE NODOS CARGADOS

Una vez, que se concluye la introducción de los datos aparece al pié de la pantalla, el mensaje siguiente:

DESEA CAMBIAR LOS DATOS <S/N>



*Fig.V.5 Pantalla de presentación*

*De contestar N se puede continuar, en caso de responder afirmativamente (S), entonces se envía a la pantalla el siguiente texto:*

**No. DE DATO A MODIFICAR**

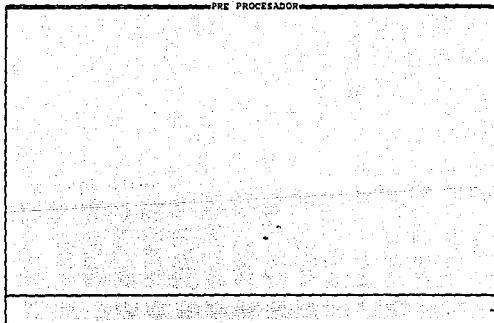
*el cual espera que se indique el número de dato a modificar. Se especifica éste, y se borra de la pantalla el dato de interés para luego solicitar la captura del dato correcto.*

*Al corregir la información, nuevamente aparece la leyenda de confirmación de datos para que pueda realizarse alguna otra modificación (operación que se repite tantas veces como se requiera) o para confirmar la información que se digitó y poder proseguir.*

*La opción Nodos es para la captura de los puntos nodales, es decir, las coordenadas de todos los nodos incluidos en la retícula, y del mismo modo que en la captura anterior, una vez que se concluye la introducción de los datos, se envía un mensaje para confirmar o en su defecto para modificar la información que se registra.*

*En la opción Fronter se lleva a cabo la captura de las condiciones de frontera. En ésta pantalla se solicita primeramente el No. de nodo con condición de frontera (nodos con alguna restricción de desplazamiento o con menos de 3 grados de libertad, como se vió en el análisis).*

*Al lado del No. de nodo, se captura un dígito que puede ser 1 ó 0 en cada una de las coordenadas con posible desplazamiento, es decir en la dirección perpendicular al plano de la retícula y las rotaciones que se pueden presentar alrededor de dicho plano. Es importante señalar que en caso de que se desee restringir un desplazamiento en una dirección dada, debe digitarse para dicha dirección un 1 y en caso de dejar libre el nodo en la dirección en cuestión, deberá oprimirse un 0, como el caso del nodo que se muestra en la figura V.7 marcado con la letra A.*



Selecc. opción con barra espaciadora y center. 6 pulse letra may. salir <0>

Fig.V.6 Submenú del pre-procesador.

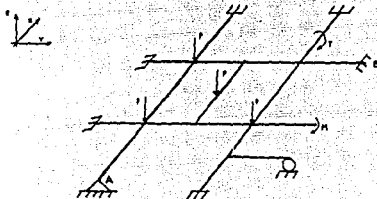


Fig.V.7 Diversas condiciones de frontera.

Vemos que no puede desplazarse en el sentido z, pero sí puede permitir rotaciones al rededor de los ejes y y x. Por lo tanto, la captura de las condiciones de frontera para éste nodo es:

No. Nodo	Gx	Dz	Gy
A	1	0	0

Pero si se desea capturar las condiciones de frontera para el nodo B, la forma correcta es

No. Nodo	Gx	Dz	Gy
B	1	1	1

Ya que, como se ve en la figura V.6, se trata de un empotramiento y por lo tanto, no puede existir ningún tipo de desplazamiento en dicho nodo.

Al finalizar la captura de las condiciones de frontera, se envía el mensaje correspondiente para modificar o confirmar los datos registrados.

La opción **Sección** permite la captura de los datos referentes a las secciones transversales de las barras. En éste punto del programa, se despliega en la pantalla el siguiente formato:

No. Secc.	-----D1-----	-----D2-----	-----D3-----	-----D4-----
1 1	-	-	-	-

En la primera columna aparece un número consecutivo para numerar las secciones; el primer dato a capturar es el de la columna **Secc.** y corresponde al tipo de sección.

Los valores posibles para éste campo son:

- 1.- para una sección rectangular
- 2.- para una sección "T"
- 3.- para una sección "I"
- 4.- para cualquier otra sección.

Los demás datos ( de D1 a D4 ) se deberán capturar de acuerdo al tipo de sección señalada en Secc.

Es decir, si la sección que se Indicó en Secc. corresponde a una sección rectangular, entonces los datos que conciernen a las demás columnas son:

- D1 : Ancho o base de la sección
- D2 : Peralte de la sección.

D3 y D4 se deben capturar con ceros, pues son variables que utilizará el programa internamente.

Ahora bien, si se trata de una sección "T" (Secc. = 2) entonces los datos a capturar son:

- D1 : Ancho del patín
- D2 : Peralte de la sección
- D3 : Espesor del alma
- D4 : Espesor del patín

Si la sección a capturar es una sección "I", es decir Secc = 3, los datos a registrar son similares a los del caso anterior:

- D1 : Ancho de patines
- D2 : Peralte de la sección
- D3 : Espesor del alma
- D4 : Espesor de los patines

*En su defecto, si la sección por capturar no corresponden a ninguno de los casos antes vistos (Secc = 4), entonces la información a registrar debe ser de acuerdo a:*

**D1 : Area de la sección**

**D2 : Momento de inercia respecto al eje longitudinal de la sección**

**D3 : Factor de cortante**

**D4 : Momento polar de inercia de la sección**

*Esta demanda de información se repite las veces que se especificó en los datos iniciales, en el número de secciones.*

*Al finalizar aparece una vez más el mensaje de confirmación o modificación de los datos capturados.*

*La opción Materia, corresponde a la captura de los datos de los materiales estructurales, los cuales se solicitan mediante los siguientes mensajes en pantalla:*

<b>No.</b>	<b>-----E-----</b>	<b>REL/POISSON</b>	<b>Densidad</b>
<b>1</b>	<b>99999</b>	<b>9,9999</b>	<b>9999,9999</b>

*En la primer columna aparece el número del material a registrar, en la segunda columna se debe digitar el módulo elástico del material que se consideró para la retícula. En la siguiente posición se captura la relación de Poisson del material de interés, y finalmente la última columna es para introducir el peso por unidad de volumen del material que se especificó. Estos pasos se repiten tantas veces como el número de materiales que se haya indicó en los datos iniciales.*

*Y al igual que en la captura de los datos anteriores, en ésta se da la opción para corregir o*



confirmar la información.

En la opción **Barras**, se lleva a cabo el registro de los datos de barras:

No.	ORIGEN	DESTINO	SECCION	MATERIAL
1	i	j	1	1

en donde se deben capturar tantas líneas como número de barras. En la primer columna se despliega un número consecutivo que indica el número de la barra en proceso. La segunda posición es la correspondiente al número del nodo en el origen de la barra, y el número de nodo destino se captura en la columna tres. En la columna cuatro se debe indicar el número de sección de la barra, y por último en la quinta columna se registra el material del elemento en cuestión.

Una vez más, al finalizar la captura se cuestiona sobre la veracidad de la información.

La opción **Carga\_b**, corresponde a la captura de las acciones aplicadas en las barras. Para ello, se despliega en la pantalla la leyenda:

No.	BARRA	TIPO DE CARGA	----D1----	-----D2-----
-----	-------	---------------	------------	--------------

Análogamente a los casos anteriores, ésta rutina se ejecuta tantas veces como el número de barras cargadas que se indicó en los datos iniciales.

En la primer columna, se imprime la secuencia del número de barras cargadas. La siguiente posición es la correspondiente al número de barra que soporta la carga.

La columna número tres se refiere al tipo de carga a capturar. Los valores posibles para esta posición son:

- 1** : para una carga uniformemente distribuida
- 2** : para una carga aplicada en un solo punto.

Las restantes dos columnas, **D1** y **D2** son función del tipo de acción especificado. Es decir, si el tipo de carga es uniformemente distribuida ( **1** ) tenemos que:

- D1** : dimensión de la carga
- D2** : longitud de aplicación de la carga

si el tipo de acción es igual a dos (carga puntual) entonces:

- D1** : dimensión de la carga
- D2** : distancia del punto de aplicación de la carga medida desde el nodo origen.

Es importante señalar que las columnas correspondientes a los datos **TIPO DE CARGA**, **D1** y **D2** se repiten en los dos renglones siguientes (al momento de capturar) debido a que para cada barra se permiten hasta tres cargas aplicadas simultáneamente. Al finalizar la rutina se pide confirmar los datos registrados.

La opción **caRg\_n**, es la correspondiente a las cargas nodales, la cual se inicia con el despliegue en pantalla del siguiente mensaje:

No.	Nodo	Mx	My	Fz
-----	------	----	----	----

En la columna número uno, aparece un número secuencial que controla el número de veces

que habrá de repetirse la rutina, y que debe ser igual al número de nodos cargados según los datos iniciales. En la segunda columna se debe digitar el número de nodo en el cual se aplica la carga.

En las siguientes tres columnas se capturan la dimensión y el sentido de la acción aplicada en el nodo que se especificó. En primer lugar, se ubica el momento flector; después, el momento de torsión y la carga perpendicular al plano de la retícula. Al final del subprograma, tal y como sucede en cada una de las rutinas precesoras, se debe confirmar la veracidad de los datos que se introdujeron.

Para salir de la opción de pre-procesador se debe posicionar el cursor hasta la opción **Quit** y oprimir la tecla <intro>, o pulsar la letra "q"; de ésta manera, el programa regresará al menú principal.

### **V.2.2 ACEGRAF.**

En la opción de acelerogramas, el programa tiene un submenú, el cual se encuentra en la parte superior de la pantalla y consta de cinco 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 (fig.V. 7).

El programa tiene varios submenús los cuales contienen opciones más específicas, y se presentan en forma de ventanas, como se puede ver en la figura V.8, donde se tiene la ventana colgante de la opción **Archivo** con su submenú.

Para ordenar al programa que lleve a cabo la ejecución de una rutina u opción específica,

lo único que debe hacerse es colocar el cursor sobre la opción deseada y presionar <intro>. O bien, puede ser oprimiendo la primer 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).

Para salir de un determinado submenú, y pasar al siguiente menú en jerarquía, basta con pulsar la tecla <ESC>.

Como ya se ha mencionado, éste programa utiliza los datos aportados por el CIRES, captados en su red de estaciones sismológicas. Maneja los archivos en formato ASCII, con el contenido del registro sísmico. Mediante la opción Empaca, estos datos son convertidos a formato de tipo real y se genera un nuevo archivo con la misma información pero reduciendo considerablemente el tamaño de dicho fichero, para posteriormente poder graficarse.



Fig. V.8 Pantalla principal de la opción ACCELEROGRAMAS.

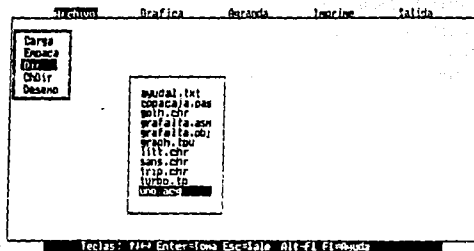


Fig. V.9 Pantalla mostrando ventana de opción Archivo y submenú.

Estos archivos reformateados o empaçados llevan por extensión .ACG y se cargan a la memoria principal mediante la opción Carga. En ambos casos, aparecen ventanas con mensajes al usuario, indicándole si el desarrollo del proceso es correcto.

La opción Desemp realiza la operación inversa a Empaca, es decir, convierte los archivos en formato tipo real a formato ASCII. Las opciones Dir y ChDir son comandos propios para la administración de archivos.

En la opción Gráfica, del menú principal, se presentan 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.*

*Las cuatro alternativas que se tienen para la graficación son: 3-Comp, Vert, N-S y E-O. La primera de ellas, produce en la pantalla los acelerogramas correspondientes a las tres componentes del movimiento, y las tres opciones restantes, reproducen por separado el acelerograma de la componente correspondiente (fig. VI.2).*

*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.*

*La opción **Agranda** del menú principal, despliega en pantalla los acelerogramas de cada componente, pero además, hace un escalamiento en eje Y, o de aceleración y permite ajustar el rango de graficación en el eje X con un incremento definido por el usuario. Este comando sirve para visualizar con detalle alguna parte del evento, de especial interés para el usuario (por ejemplo donde se registraron las aceleraciones más violentas) proporcionándole una ampliación de la gráfica correspondiente.*

*Otra opción del menú principal es el comando **Imprime**, el cual produce una copia por impresora, del acelerograma que está en ese momento en la pantalla. Es importante asegurarse que la impresora esté lista antes de ejecutar la impresión.*

*Finalmente, para dar término a la sesión del módulo II, se tiene la opción de **Salida**. Al ejecutar éste comando aparece una ventana de diálogo que permite confirmar la finalización.*

*En la figura V.9 se muestra el diagrama general de éste segundo módulo.*

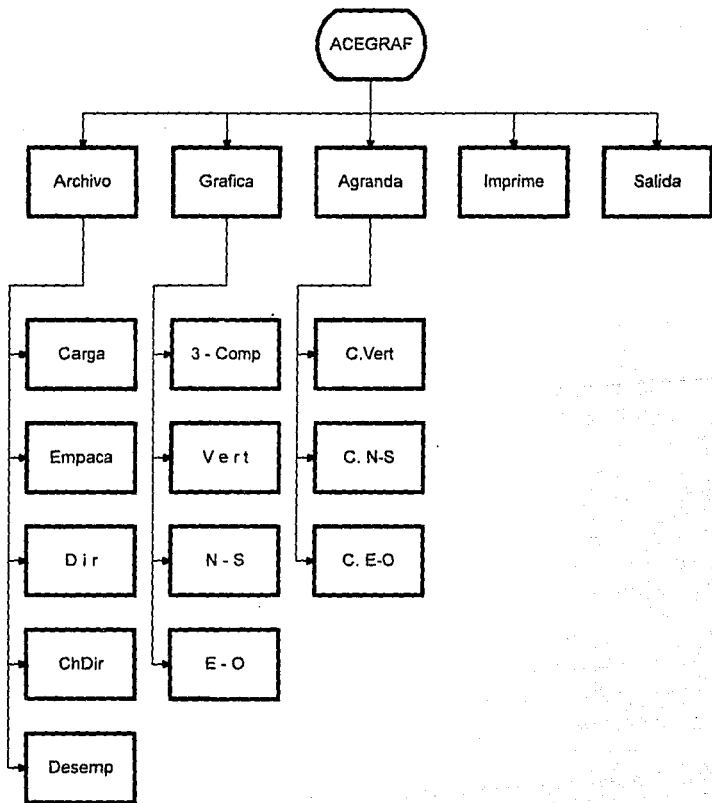


Fig.V.10 Diagrama general de la opción Acelerogramas.

### V.2.3 PROCESADOR.

La opción tres (Procesador) es de muy sencilla operación. Una vez que ésta es seleccionada, solicita el nombre y unidad de drive del archivo con el registro acelerométrico a utilizar, mediante los siguientes mensajes:

DIGITE NOMBRE DEL ARCHIVO DEL ACELEROGRAMA (máx. 6 caract.) \_\_\_\_\_

DIRECCION DEL DRIVE (A/C): \_

Con el archivo de datos iniciales (el cual se accesa automáticamente) y el número de puntos del acelerograma proporcionados por el archivo del acelerograma, se calcula la memoria necesaria para el proceso. Si ésta no fuera suficiente, se cancela el programa con el mensaje respectivo.

En caso contrario, aparece en pantalla la siguiente leyenda:

No. DE ECUACIONES A RESOLVER \_\_\_\_\_ XXX  
DIMENSIONAMIENTO DEL PROGRAMA \_\_\_\_\_ XXX  
DIMENSIONAMIENTO CALCULADO \_\_\_\_\_ XXX

EFFECTUA EL CALCULO 0=SI 1=NO

En donde el programa esperará la respuesta. Si se digita 1 se suspende el proceso con el mensaje correspondiente. De responder afirmativamente, al digitar 0, el programa solicita en



*la pantalla los parámetros necesarios para el análisis paso a paso de la estructura, tales datos son:*

*$\alpha$  : constante alfa*

*$\beta$  : constante beta*

*$\mu$  : constante mu*

*y se procede a realiza el análisis paso a paso, el cual al terminar dará aviso mediante la leyenda:*

**PROCESO SATISFACTORIO.**

*Para terminar la sesión de uso del programa y regresar al sistema operativo debe seleccionarse la opción 4 del menú principal.*

## VI. EJEMPLO DE APLICACION.

*En éste capítulo se realiza un ejemplo de la aplicación del "software" que se desarrolló. Con la finalidad de mostrar su funcionalidad, presentar resultados y conocer sus alcances.*

### **VI.1 MODELO ESTRUCTURAL.**

*El ejemplo se refiere a una retícula como la que se aprecia en la figura VI. 1 y que consiste en cuatro vigas de igual longitud unidas entre sí en uno de sus extremos y empotrados en sus extremos opuestos. Todas con las mismas propiedades geométricas, pero soportando distintas acciones.*

*La barra número uno soporta una carga uniformemente distribuida de 4 ton/m; la barra número dos está sujeta a una carga también uniformemente distribuida de magnitud 6 ton/m; las vigas 3 y 4 no soportan carga alguna. Finalmente tenemos una carga puntual de 10 ton. en el nodo de unión de los cuatros elementos reticulares.*

*En el ejemplo, la estructura descrita se somete a la acción dinámica del sismo ocurrido el 25 de abril de 1989, a las 12:26 horas tiempo de Greenwich, que tuvo una magnitud de 6.9 Ms y su epicentro se localizó al suroeste de Acapulco, en las coordenadas 16.53 latitud Norte y 99.55 longitud Oeste (figura VI.2).*

*El evento fué registrado por la red del CIREs. La figura VI.3 muestra la distribución de las estaciones sismológicas en el D.F., y se indican aquellos que registraron el sismo.*

PROPIEDADES MECANICAS

$E = 21000000 \text{ Kg/cm}^2$

$M = 0.80$

$PV = 1.0$

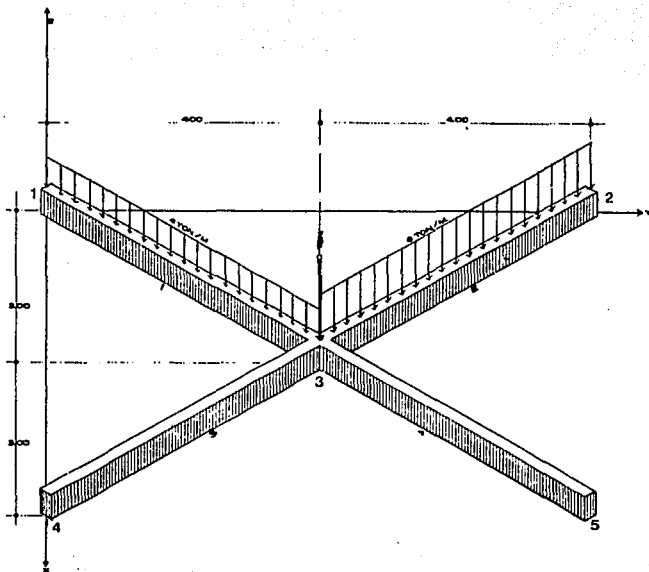
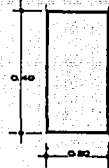


Fig. VI.1 Redcula por analizar.

Para el ejemplo de aplicación se utilizó la información captada por la estación No. D30 con los siguientes datos de identificación:

Número de estación	: D30
Nombre de la estación	: Jardín Esparza Oteo
Ubicación de la estación	: Pensylvania y Giorgia, Nápoles
Zona (RCDF)	: II
Condición de operación	: En servicio
Identificación de registro	: 300901-2
Hora de registro (GMT)	: 14:29:52
Duración del registro (seg)	: 132
Aceleración máxima y dirección	: 17.1 (E-W)

Y según las indicaciones señaladas en el manual de operación, se reproduce el acelerograma correspondiente en sus tres direcciones ortogonales:

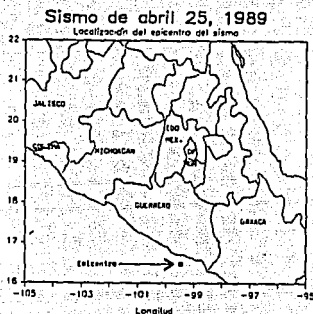


Fig. VI.2 Localización del epicentro del sismo del 25 de Abril de 1989.

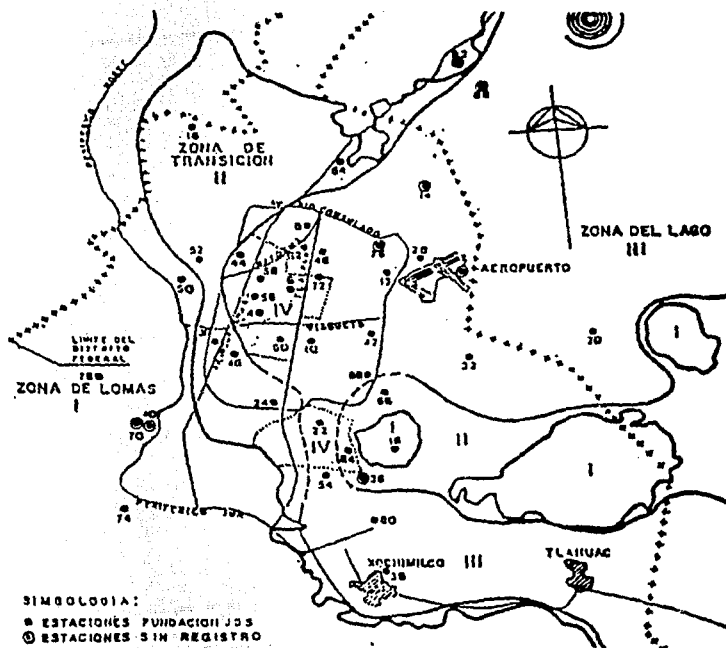


Fig. VI.3 Estaciones de la Red Básica de Acelerógrafos del D.F.

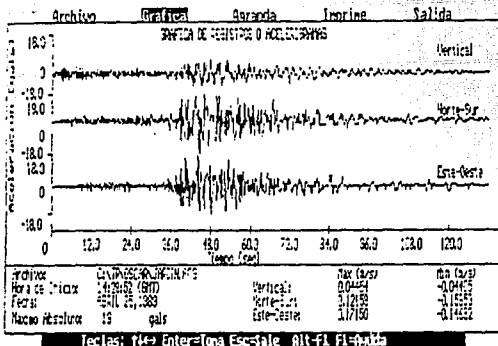


Fig. VI.4 Componentes de la aceleración registrada en la estación Jardín Esparza Oteo del sismo del 25 de abril de 1989.

Los datos iniciales a capturar se muestran en las formas para codificar que a continuación aparecen.

<b>DATOS INICIALES</b>	
<b>DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA : EJEMPLO DE APLICACION</b>	
Número de Nodos : <u>  5  </u>	No. de Nodos c/condición de front.: <u>  4  </u>
Número de Barra : <u>  4  </u>	Número de secciones : <u>  1  </u>
Número de Materiales : <u>  1  </u>	Número de barras cargadas : <u>  2  </u>
Número de Nodos cargados : <u>  1  </u>	

FORMA CAP-1

El resto de los datos por capturar son; los datos nodales, los datos de barra y los datos de secciones y materiales. (Para facilitar la tarea de captura, además de seguir cuidadosamente las instrucciones del manual de operación, es conveniente auxiliarse en los formatos de codificación correspondientes, los cuales pueden ser llenados en la modelación de la estructura).

Para éste ejemplo, las hojas de codificación para los distintos tipos de datos, ya debidamente codificadas (de acuerdo al modelo estructural, figura VI.1) se muestran en las páginas siguientes. Al terminar la captura se procedió a ejecutar la opción de procesador, en donde se introdujo la siguiente información:

$\delta t = 0.02$ (seg)	Paso de integración
$\xi = 0.25$	Amortiguamiento matemático
$\beta = 0.20$	Coefficiente de estabilidad del método.
$\alpha = 0.10$	Coefficiente de Rayleigh
$\mu = 0.30$	Coefficiente de Rayleigh

Estos datos son solicitados por el método  $\beta$  de Newmark, y representan la última información de captura, el resto del proceso es automático.

Los resultados que se obtuvieron por el sistema (resultados parciales y finales) aparecen a partir el figura VI.5, donde se puede ver las matrices de rigidez y masa de la retícula del ejemplo, y la solución a la ecuación de equilibrio dinámico, en términos de desplazamientos, velocidades, y aceleraciones. Los elementos mecánicos desarrollados por la retícula debido a la acción dinámica y a las cargas estáticas se aprecian en la figura VI.6.

FORMATO DE CAPTURA PARA DATOS NODALES								
No. nodos	COORDENADAS		COND.FRONTERA			CARGAS NODALES		
	X cm	Y cm	Gx	Gy	Gz	Fz kg	Mx kg-cm	My kg-cm
1	0	0	1	1	1	0	0	0
2	0	800	1	1	1	0	0	0
3	300	400	0	0	0	-10,000	0	0
4	600	0	1	1	1	0	0	0
5	600	800	1	1	1	0	0	0



FORMATO DE CAPTURA DATOS DE BARRAS								
No. BARRA	NODO ORIGEN	NODO DESTINO	SEC.	MAT.	CARGAS			
					TIPO	D1 kg/cm	D2	D3
1	1	3	1	1	1	-40.00	0.00	0.00
2	3	2	1	1	1	-60.00	0.00	0.00
3	4	3	1					
4	3	5	1					

FORMA CAP-3.

FORMATO DE CAPTURA SECCION Y MATERIAL									
No. SEC.	D1 cm	D2 cm	D3	D4	D5	No. Mat.	E kg/cm <sup>2</sup>	mu	d kg/cm <sup>3</sup>
1	40.00	20.00				1	$2 \times 10^6$	0.20	0.0076

FORMA CAP-4.

**VI.2 RESULTADOS OBTENIDOS.**

$$\bar{K} = \begin{bmatrix} 4.494082E+09 & 0.000000E+00 & 0.000000E+00 \\ 0.000000E+00 & 2.751921E+09 & 0.000000E+00 \\ 0.000000E+00 & 0.000000E+00 & 8.043738E+04 \end{bmatrix}$$

$$\bar{M} = \begin{bmatrix} 1.843216E+07 & 0.000000E+00 & 0.000000E+00 \\ 0.000000E+00 & 3.276828E+07 & 0.000000E+00 \\ 0.000000E+00 & 0.000000E+00 & 2.951313E+04 \end{bmatrix}$$

*Fig.VI.5 Matrices de Rigidez y Masa de la retcula.*

**RESULTADOS CASO ESTATICO**

**DESPLAZAMIENTOS**

NO. DE NODO	GX	DZ	GY
1	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
2	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
3	-.741718E-04	-.454228E-03	-.435121E+00
4	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00
5	.000000E+00	.000000E+00	.000000E+00

DEPLAZAMIENTOS RELATIVOS

PASO	GRAD-LIB	DESPLAZAMIENTOS	VELOCIDADES	ACELERACIONES
1	1	-.173137E-04	-.216421E-03	-.865683E-02
	2	-.319165E-04	-.398956E-03	-.159582E-01
	3	-.558736E-04	-.698420E-03	-.279368E-01
2	1	-.633429E-04	-.845891E-03	.791659E-03
	2	-.148785E-03	-.195955E-02	-.145491E-01
	3	-.352420E-03	-.457985E-02	-.714468E-01
3	1	-.122640E-03	-.500055E-03	.114585E-01
	2	-.327605E-03	-.229096E-02	.303911E-01
	3	-.110868E-02	-.109875E-01	-.419657E-01
4	1	-.132374E-03	.433028E-03	.294791E-02
	2	-.419114E-03	.568547E-03	.232067E-01
	3	-.229108E-02	.136069E-01	.211206E-01
5	1	-.987530E-04	.422557E-03	-.926259E-02
	2	-.332876E-03	.180609E-02	-.201185E-01
	3	-.355259E-02	-.115750E-01	.179142E-01
6	1	-.483482E-04	.177073E-03	.179684E-01
	2	-.179864E-03	.706694E-03	.163798E-01
	3	-.457616E-02	-.922917E-02	.400913E-01
7	1	-.258139E-04	.911226E-03	-.245391E-01
	2	-.689373E-04	.182415E-02	-.444125E-02

DEPLAZAMIENTOS RELATIVOS

PASO	GRAD-LIB	DESPLAZAMIENTOS	VELOCIDADES	ACELERACIONES
	3	.526935E-02	.485417E-02	.547259E-01
8	1	.743279E-04	.103751E-03	.413183E-01
	2	.123387E-03	.178147E-02	.116166E-01
	3	-.542924E-02	.126713E-02	.806745E-01
9	1	.611625E-04	.135893E-02	-.737477E-01
	2	.275674E-03	.189384E-02	-.303550E-01
	3	-.496759E-02	.847917E-02	.464582E-01
10	1	.167852E-03	-.177165E-02	.960198E-01
	2	.357833E-03	-.584777E-03	-.807971E-02
	3	-.396659E-02	.121349E-01	.685532E-02
11	1	-.188377E-05	.192196E-02	-.140315E+00
	2	.282909E-03	-.109335E-02	.389643E-02
	3	-.274062E-02	.125479E-01	-.404503E-02
12	1	.187260E-03	-.337801E-02	.208946E+00
	2	.198467E-03	-.636074E-03	.660158E-02
	3	-.149791E-02	.122452E-01	.257862E-04
13	1	-.144958E-03	.452727E-02	-.310628E+00
	2	.128232E-03	-.471362E-03	-.132163E-01
	3	-.321666E-03	.116427E-01	-.241772E-01
14	1	.290315E-03	-.733944E-02	.457215E+00

DEPLAZAMIENTOS RELATIVOS

PASO	GRAD-LIB	DESPLAZAMIENTOS	VELOCIDADES	ACELERACIONES
	2	.680358E-04	-.113022E-02	.132945E-01
	3	.729819E-03	.932625E-02	-.201273E-01
15	1	-.402315E-03	.103225E-01	-.665166E+00
	2	-.886193E-05	-.180124E-03	-.187963E+02
	3	.156566E-02	.736164E-02	-.182025E-01
16	1	.581483E-03	-.152269E-01	.973521E+00
	2	-.204571E-04	-.170395E-03	.602806E-02
	3	.222460E-02	.571379E-02	-.113063E-01
17	1	-.856430E-03	.223398E-01	-.141789E+01
	2	-.148748E-04	.338430E-03	.226882E-02
	3	.275737E-02	.480716E-02	-.234640E-02
18	1	.126010E-02	-.322993E-01	.206812E+01
	2	.197212E-04	.432923E-03	-.302674E-02
	3	.322428E-02	.454668E-02	-.337994E-02
19	1	-.182291E-02	.470915E-01	-.302872E+01
	2	.165200E-04	-.261748E-03	-.187066E-01
	3	.359515E-02	.337236E-02	-.368331E-01
20	1	.263449E-02	-.686322E-01	.441720E+01
	2	-.560732E-04	-.156848E-02	.385073E-02
	3	.372138E-02	-.646362E-03	-.502494E-01

Fig. VI.6 Solución a la ecuación de equilibrio dinámico.

ELEMENTOS MECANICOS

REFERENCIA LOCAL

BARRA	NODO	REFERENCIA LOCAL			LONGITUD
		MOMENTO (kg-cm)	FUERZA (kg)	MOMENTO (kg-cm)	
1	1.	.246775E-01	.110000E+05	.916667E+06	.500000E+03
	3.	-.246775E-01	-.126305E+05	-.916667E+06	
2	3.	-.880000E+06	.275000E+05	.163167E+07	.500000E+03
	2.	.880000E+06	.850357E+04	-.163167E+07	
3	4.	-.880000E+06	.275000E+05	.163167E+07	.500000E+03
	3.	.880000E+06	-.266202E+05	-.163167E+07	
4	3.	.132000E+07	.275000E+05	.130167E+07	.500000E+03
	5.	-.132000E+07	-.500676E+04	-.130167E+07	

Fig. VI. 7 Elementos Mecánicos de la estructura.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo al ejemplo de aplicación desarrollado en el capítulo seis, se puede apreciar que en el nodo número tres de la estructura se tienen precisamente tres grados de libertad (una traslación en dirección del eje  $\bar{Z}$  y dos rotaciones, una alrededor del eje  $\bar{X}$  y otra alrededor del eje  $\bar{Y}$ ). El efecto producido en dicha estructura por las cargas estáticas son los desplazamientos que se muestran en la figura VI.5. Mientras que los efectos producidos por la acción sísmica en cada paso de integración se observan en la figura VI.6.

Con los desplazamientos calculados paso a paso y según el reglamento de construcciones para el Distrito Federal se determinó la respuesta total de cada grado de libertad, aplicando la expresión:  $(S = (\Sigma S^2)^{1/2})$ , éstos valores se combinaron con los efectos estáticos tal como lo especifica el reglamento citado, y finalmente se determinaron los esfuerzos en la retícula, los cuales se pueden observar en la figura no. VI.7.

Los elementos mecánicos calculados a partir de las cargas estáticas difieren de los valores correspondientes al análisis dinámico de la siguiente manera:

BARRA	NODO	MOMENTO DE TORSION		CORTANTE		MOMENTO DE FLEXION	
		ESTATICO	DINAMICO	ESTATICO	DINAMICO	ESTATICO	DINAMICO
		ton-m	ton-m	ton	ton	ton-m	ton-m
1	1	0.5221	2.468E-07	19.8218	11	31.9782	9.17
	3	-0.5221	-2.468E-07	0.1782	-12.63	17.1309	-9.17
2	3	-0.4082	-8.8	4.5816	27.5	-14.9621	16.32
	2	0.4082	8.8	25.4184	8.5	-37.1301	-16.32
3	4	0.4082	-8.8	7.0186	27.5	19.1199	16.32
	3	-0.4082	8.8	-7.0816	-26.62	16.2879	-16.32
4	3	-0.5221	13.2	-7.6782	27.5	-18.2858	13.02
	5	0.5221	-13.2	7.6782	-5	-20.1051	-13.02



*De la comparación anterior sobresale el incremento en los esfuerzos por torsión en las barras 2, 3 y 4 mientras que en la barra 1 éstos disminuyen hasta prácticamente desaparecer, así como el cambio de signo en los esfuerzos por flexión en las cuatro barras justamente en el nodo de unión. Respecto a los esfuerzos cortantes se observa toda una divergencia en la magnitud de éstos y en algunos casos incluso, en su dirección, como en la barra 1 en el extremo del nodo 3 y en la barra 4 en todo su largo.*

*En conclusión, se puede afirmar que es insoslayable la utilidad del programa, pues es evidente el ahorro en tiempo y esfuerzo que representa su aplicación.*

*Por otra parte es innegable que estamos viviendo la era de las computadoras, por lo que todo el quehacer humano debe aprovechar la gama de dispositivos automatizados y las técnicas más sofisticadas que hoy en día existen.*

*El trabajo que se presentó en ésta tesis representa un peldaño más de la automatización que se lleva a cabo en la formación, investigación y práctica de la ingeniería civil.*

*Y aunque se cuenta ya con paquetería de "software" especializada para esta profesión, es aún insuficiente para satisfacer la demanda existente en los diversos perfiles de la ingeniería civil. Por tanto el presente sistema es una aportación a éste nuevo enfoque profesional.*

*Así también, se sugiere que los planes de estudio para la carrera se actualicen para que incluyan el aprendizaje, además del FORTRAN, de otros lenguajes de programación modernos, como son el PASCAL y el lenguaje C. De igual modo, que se atienda la capacitación en el uso de paquetes como lotus 123, EXCEL, FRAMEWORK, WORKS y otros especializados como son los programas de precios unitarios (OPUS, MASTER, OMEGA, CONSTRUPLAN entre otros), los que tratan el diseño arquitectónico (AUTOCAD, ARRIS, etc.), los orientados a la topografía (COGO) y los orientados al análisis y diseño de*

estructuras (STRESS,SAFE 2000, EO-IMCYC, SPACE, etc.).

De ésta manera los agresados tendrán las bases para explotar el software que ofrece el mercado para aplicaciones en ingeniería, o bien, desarrollar los propios de acuerdo a los requerimientos y necesidades particulares. Lo anterior permitirá un desarrollo importante de la ingeniería en México, lo cual es ahora inaplazable debido a la apertura comercial que en nuestro país se está llevando a cabo.

Ahora bien, desde el punto de vista del análisis estructural, se debe aprovechar al máximo la información y experiencias que ofreció el temblor que padecimos en Septiembre de 1985. Por ejemplo, tener en cuenta que la Ciudad de México es una caja de resonancia y que cualquier sismo cercano a ésta será amplificado en tanto sus ondas lleguen a la zona blanda. Que las demandas reales de ductilidad sean menores a la ductilidad disponible en las estructuras. Prestar mayor atención al comportamiento sísmico del suelo y sus efectos sobre las cimentaciones, además de considerar cimentación-estructura como una sola entidad y no fragmentarla.

Referente al cálculo de la respuesta estructural ante un temblor, se sabe del alto grado de complejidad, por lo que sin caer en teorías simplistas, como las que fundamentan el método estático, ni en laboriosos y tediosos procedimientos (en ocasiones injustificados) como el análisis modal, los métodos paso a paso ofrecen una alternativa bastante viable por su relativa facilidad, su razonable base teórica y su rápido procesamiento, dentro de los cuales destaca el método  $\beta$  de Newmark por su alto grado de aproximación, su estabilidad y eficiente convergencia. No con ésto se pretende deshechar los métodos estático y de análisis modal, por lo contrario se propone contar con una alternativa más, pues considero que el costo de éste método es bastante accesible y se puede aprovechar la red acelerométrica que actualmente existe en el país.

Es recomendable continuar los trabajos de investigación de la aplicación de los métodos

*paso a paso, analizar por ejemplo la respuesta estructural en función de las características de un sismo, o bien qué parte de un acelerograma es conveniente utilizar en un análisis, ya que de emplear todo se requieren de muchos más recursos. También es de interés analizar cómo influye en la respuesta estructural la distancia epicentral de un registro acelerométrico.*

*Otro aspecto importante por considerar, es el referente a la aplicación del método de Cholesky en la solución de sistemas de ecuaciones lineales, pues, al emplearse en la computadora, ofrece menor consumo de recursos y tiempos de proceso, en comparación a métodos de uso tradicional. Es recomendable su estudio y difusión.*

*Sin embargo, no se debe olvidar que la computadora, no es más que una herramienta de trabajo y, que para el caso particular, permite realizar la modelación matemática del análisis sísmico de estructuras, simplificando las labores de cálculo del ingeniero. Por lo que, para hacer un buen uso de ésta sofisticada herramienta, se debe tomar como regla lo siguiente: " Nunca se haga un cálculo numérico, si no se tiene una idea por lo menos vaga del resultado y se tenga plena conciencia de lo que se está realizando".*

*Tampoco se debe perder de vista el hecho de que los números calculados representan sólo una guía y que nunca deben tratarse como una realidad, ya que resulta utópico manejar éstos resultados como algo exacto. Lo recomendable es entonces, aplicar la experiencia profesional para la comprensión y evaluación del problema dinámico de las estructuras.*

*Finalmente, se recomienda el uso de las formas CAP-1, CAP-2, CAP-3 y CAP-4, que se analizaron en el capítulo seis, para que en ellas se codifique fácilmente la información por capturar cuando se modele la estructura de interés.*

*Del mismo modo, se aconseja que la nominación de archivos se rija bajo ciertos estándares convencionales, para que se logre una buena administración del sistema.*

## BIBLIOGRAFIA.

- 1.- MINORU, Wakabayashi. y Martínez, Romero Enrique. Diseño de Estructuras Sísmorresistentes. Tr; Pavón Rodríguez Víctor M. México. Ed. Mc Graw Hill. 1988.
- (\* ) 2.- FUNDACION ICA, A.C. Experiencias Derivadas de los Sismos de Septiembre de 1985. Ed. Diana. 1988.
- 3.- KISELIOV, V.A. Mecánica de Construcción, Curso Especial de la Dinámica y Estabilidad de las Estructuras (Obras). Tr; Mirchevski B.A. URSS. Ed. Mir. 1988.
- 4.- CEBALLOS BLANCO, J. Integración de la Ecuaciones de Equilibrio Dinámico de las Estructuras Sometidas a Temblores. México, 1980. Tesis (Ingeniería) Universidad La Salle.
- 5.- LOPEZ ARCIGA, Gerardo de Jesús. Análisis Comparativo De los Métodos de Superposición Modal y Generalizado de Newmark. México, 1990. Tesis (Maestría en Ingeniería Civil - Estructuras -) Universidad Popular Autónoma de Puebla.
- 6.- GARCIA, M. Próspero. y De la Lanza, E. Carlos. Ecuaciones Diferenciales y en Diferencias. Ed. Dirección General de Publicaciones de la UNAM. México 1984.
- (\* ) 7.- VERA Badillo, Fernando. Solución de ecuaciones algebraicas en el análisis estructural. México, D.F., 1980. Tesis (Ingeniería) Universidad La Salle.

- 8.- BARQUERO Díaz Barriga, Ma. de la Gracia. Solución de los estados planos de la elasticidad lineal mediante el método del elemento finito. México, D.F., 1987. Tesis (Ingeniería) Universidad La Salle.
- 9.- PAZ Mario. Dinámica estructural. Ed. Reverté, Barcelona España 1992.
- 10.- BETANCOURT Suárez, Arnal Simón Luis. Reglamento de construcciones para el Distrito Federal, ilustrado y comentado. México, D.F. Ed. Trillas, 1991.

(\*) Nota :

La cita textual número (1) página 19 de ésta tesis pertenece a la bibliografía número 2.

La cita textual número (2) página 70 de ésta tesis pertenece a la bibliografía número 7.

## INDICE DE ILUSTRACIONES.

I.1	<i>Teoría de la Tectónica de placas.....</i>	<i>4</i>
	<i>Fuente: MINORU, Wakabayashi, y Martínez, Romero Enrique. <u>Diseño de Estructuras Sismorresistentes</u>. Tr: Pavón Rodríguez Victor M. México. Ed. Mc Graw Hill. 1988. Capítulo 1, pág. 2.</i>	
I.2	<i>Regionalización sísmica de México.....</i>	<i>5</i>
	<i>Fuente: FUNDACION ICA, A.C. <u>Experiencias Derivadas de los Sismos de Septiembre de 1985</u>. Ed. Diana. 1988. Capítulo 2, pág. 22.</i>	
I.3	<i>Aceleraciones medidas en el D.F.....</i>	<i>7</i>
	<i>Fuente: ibidem. Capítulo 5, pág. 75.</i>	
I.4	<i>Zonificación de la Ciudad, para la evaluación de daños.....</i>	<i>10</i>
	<i>Fuente: MINORU, op.cit. Capítulo 7, pág. 336.</i>	
I.5	<i>Zona de alta densidad de daños.....</i>	<i>11</i>
	<i>Fuente: ibidem. Capítulo 7, pág. 337.</i>	
I.6	<i>Comparación de daños en los sismos de 1957, 1979 y 1985.....</i>	<i>12</i>
	<i>Fuente: ibidem. Capítulo 7, pág. 338.</i>	
I.7	<i>Resumen estadístico de daños en edificios.....</i>	<i>14</i>
	<i>Fuente: ibidem. Capítulo 7, pág. 344.</i>	
II.1	<i>Modelo de una retícula.....</i>	<i>25</i>
	<i>Fuente: Antonio Zárate Santamaría.</i>	
II.2	<i>Sistemas de coordenadas, para los 12 grados de libertad de una barra.....</i>	<i>27</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	

II.3	Sistemas de coordenadas, para 6 grados de libertad de una barra.....	26
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
II.4	Sistemas de coordenadas local $(X, Y, Z)$ y sistema de coordenadas generalizado o global $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$ y componentes de los momentos nodales.....	27
	Fuente: PAZ Mario: <i>Dinámica estructural</i> , Ed. Reverté, Barcelona España 1992. Capítulo 16, pág. 416.	
II.5	Curvas de los desplazamientos unitarios.....	28
	Fuente: <i>ibidem</i> . Capítulo 14, pág. 342.	
II.6	Elemento con masa distribuida con seis coordenadas nodales.....	34
	Fuente: Antonio Zárate Santamaría.	
II.7	Estructura reticular de ejemplo.....	40
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
II.8	Modelo de un solo grado de libertad con amortiguamiento.....	44
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
II.9	Sistema de varios grados de libertad.....	45
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
II.10	Representación esquemática del movimiento de la estructura suelo en un temblor.....	46
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
III.1	Estación de campo de la red.....	59
	Fuente: CIRES.	
III.2	Interconexión del Sistema de registro.....	59
	Fuente: CIRES	
V.1	Diagrama General del Sistema.....	74
	Fuente: Antonio Zárate Santamaría.	

V.2	<i>Diagrama de flujo del PRE-PROCESADOR.....</i>	<i>75</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
V.3	<i>Contenido del archivo de un acelerograma en código ASCII.....</i>	<i>78</i>
	<i>Fuente: CIRES.</i>	
V.4	<i>Diagrama de flujo del PROCESADOR.....</i>	<i>82</i>
	<i>Fuente: Antonio Zárate Santamaría.</i>	
V.5	<i>Pantalla de presentación.....</i>	<i>86</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
V.6	<i>Submenú del pre-procesador.....</i>	<i>88</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
V.7	<i>Diversas condiciones de frontera.....</i>	<i>88</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
V.8	<i>Pantalla principal de la opción Acelerogramas.....</i>	<i>95</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
V.9	<i>Pantalla mostrando ventana de opción Archivo y Submenú.....</i>	<i>96</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
V.10	<i>Diagrama general de la opción Acelerogramas.....</i>	<i>98</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
VI.1	<i>Reticula por analizar.....</i>	<i>102</i>
	<i>Fuente: ibidem.</i>	
VI.2	<i>Localización del epicentro del sismo del 25 de Abril de 1989.....</i>	<i>103</i>
	<i>Fuente: CIRES.</i>	



VI.3	<i>Estaciones de la Red Básica de Acelerógrafos del D.F.</i> .....	104
	Fuente: CIRES.	
VI.4	<i>Componentes de la aceleración registrada en la estación Jardín Esparza Oteo del sismo del 25 de Abril de 1989.</i> .....	104
	Fuente: Antonio Zárate Santamaría.	
VI.5	<i>Matrices de Rigidez y Masa de la retícula.</i> .....	109
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
VI.6	<i>Solución a la ecuación de equilibrio dinámico.</i> .....	109
	Fuente: <i>ibidem</i> .	
VI.7	<i>Elementos Mecánicos de la estructura.</i> .....	110
	Fuente: <i>ibidem</i> .	

# ***ANEXO***

```

/*-----+
| TESO00|
| Despliega pantallas de presentación. |
+-----*/
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <graphics.h>

int mx,my,modo;
main()
{
    int controlador,op,mx,my,tam,c = 0,i;
    char pul;
    void *buf;
    unsigned Tam;
    void *Boof;
    detectgraph(&controlador,&modo);
    initgraph(&controlador,&modo,"\\BGI");
    mx = getmaxx();
    my = getmaxy();
    cleardevice();
    setlinestyle(0,0,3);
    rectangle(0,0,mx,my);
    setlinestyle(0,0,1);
    settextstyle(3,0,1);
    outtextxy(mx/4,5,my/30,
"UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO");
    settextstyle(3,0,3);
    outtextxy(mx/8,my/10,
"ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES");
    settextstyle(1,0,4);
    outtextxy(mx/2.72,my/5.3,"ACATLAN");
    line(mx/2.3,my/3,mx/2.09,my/3); /*recuadro del logo*/
    line(mx/2.3,my/3,mx/2.53,my/2.12);
    line(mx/2.09,my/3,mx/1.95,my/2.12);
    line(mx/2.51,my/2.12,mx/1.95,my/2.12);
    settextstyle(2,0,4);
    outtextxy(mx/2.27,my/2.92,"UNAM");
    line(mx/2.44,my/2.9,mx/2.32,my/2.9); /* oreja izq */
    line(mx/2.44,my/2.9,mx/2.44,my/2.72);
    line(mx/2.44,my/2.72,mx/2.36,my/2.72);
    line(mx/2.07,my/2.9,mx/1.98,my/2.9); /* oreja der */
    line(mx/1.98,my/2.9,mx/1.98,my/2.72);
    line(mx/2.05,my/2.72,mx/1.98,my/2.72);
    line(mx/2.30,my/2.67,mx/2.21,my/2.67); /* enep - E */
    line(mx/2.33,my/2.48,mx/2.21,my/2.48);
    line(mx/2.30,my/2.67,mx/2.33,my/2.48);
    line(mx/2.32,my/2.57,mx/2.24,my/2.57);
    line(mx/2.19,my/2.67,mx/2.19,my/2.48); /* enep - N */
    line(mx/2.19,my/2.67,mx/2.08,my/2.48);
    line(mx/2.10,my/2.67,mx/2.08,my/2.48);
}

```

```

line(mx/2.36,my/2.41,mx/2.21,my/2.41); /* enep - e */
line(mx/2.41,my/2.21,mx/2.21,my/2.21);
line(mx/2.36,my/2.41,mx/2.41,my/2.21);
line(mx/2.38,my/2.31,mx/2.26,my/2.31);
line(mx/2.19,my/2.41,mx/2.19,my/2.21); /* enep - p */
line(mx/2.19,my/2.41,mx/2.07,my/2.41);
line(mx/2.19,my/2.31,mx/2.05,my/2.31);
line(mx/2.07,my/2.41,mx/2.05,my/2.31);
line(mx/2.53,my/2.12,mx/2.45,my/1.97); /* base del logo */
line(mx/2.45,my/1.97,mx/2.30,my/1.97);
line(mx/2.01,my/1.97,mx/1.98,my/2.01);
line(mx/2.12,my/1.97,mx/2.01,my/1.97);
line(mx/2.30,my/2.00,mx/2.30,my/1.97);
line(mx/2.12,my/2.00,mx/2.12,my/1.97);
line(mx/2.30,my/2.00,mx/2.12,my/2.00);
setttextstyle(2,0,4);
outtextxy(mx/2.16,my/2.12,"ACATLAN");
line(mx/2.62,my/2.09,mx/2.52,my/2.09); /* oreja inf */
line(mx/2.62,my/2.09,mx/2.62,my/1.99);
line(mx/2.62,my/1.99,mx/2.47,my/1.99); /* termina logo */
setttextstyle(2,0,5);
outtextxy(mx/2.67,my/1.84,"INGENIERIA CIVIL");
setttextstyle(3,0,1);
outtextxy(mx/4.5,my/1.59,
"ANALISIS DINAMICO DE RETICULAS, PASO A PASO");
setttextstyle(2,0,4);
outtextxy(mx/2.25,my/1.40,"POR :");
setttextstyle(2,0,5);
outtextxy(mx/3,my/1.29,"ANTONIO ZARATE SANTAMARIA");
outtextxy(mx/3.6,my/1.11,"COORDINACION: M. I. FERNANDO VERA BADILLO");
outtextxy(mx/3,my/1.06,"pulse [ENTRE] para continuar");

/* Cálculo de espacio pre-ventana */
Tam = imagesize(mx/3,my/1.22,mx/1.65,my/1.13);
Boof = malloc(Tam);

/* Aloja area de pre-ventana */
getimage(mx/3,my/1.22,mx/1.65,my/1.13,Boof);
setviewport(mx/3,my/1.22,mx/1.65,my/1.13,1);
clearviewport();
rectangle(0,0,mx/3.67,my/15.32);
outtextxy(mx/25,my/75," !! BIEN VENIDO !!");
while(pul = 13) pul = getch();
putimage(0,0,Boof,0);
cleardevice();
closegraph();
}

```

```

*/===== TES001() <===== */
#include <conio.h>
#include <dos.h>
#include <stdio.h>
#include <process.h>
#include <errno.h>
#include <graphics.h>
#include <fcntl.h>
#include <sysstat.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
main(){ int MOD0 = 1,res,OPCION;
extern int erro;
char pul,pull,wbuff[80],prog1[75] = {"unc.exe"};
char prog2[12] = {"acegraf.exe"},prog3[22] = {"reticula.exe"};
char *envp[1] = {NULL};
/* Pantalla 80x25 en b/n */
OPCION=0;
while(OPCION != 4){
modopan(&MOD0);
escrib(1,1,
"-----");
escrib(1,41,
"-----");
escrib(2,1," UNIVERSIDAD NACIONAL A");
escrib(2,41,"UTONOMA DE MEXICO ||");
escrib(3,1," A C A T L");
escrib(3,41," A N ||");
escrib(4,1," ||");
escrib(4,79," ||");
escrib(5,1," ANALISIS DINAMICO DE RET");
escrib(5,41,"ICULAS, PASO A PASO ||");
escrib(6,1," ||");
escrib(6,79," ||");
escrib(7,1," ||");
escrib(7,79," ||");
escrib(8,1," ||");
escrib(8,79," ||");
escrib(9,1," M E N U P R I");
escrib(9,41," N C I P A L ||");
escrib(10,1," ||");
escrib(10,79," ||");
escrib(11,1," ||");
escrib(11,79," ||");
escrib(12,1," || 1) PRE-PRO");
escrib(12,41,"CESADOR. ||");
escrib(13,1," ||");
escrib(13,79," ||");
escrib(14,1," || 2) ACELERO");
escrib(14,41,"GRAMAS. ||");
escrib(15,1," ||");
escrib(15,79," ||");

```

```

escribe(16,1," ||
escribe(16,41,"DOR.
escribe(17,1," || ");
escribe(17,79," || ");
escribe(18,1," ||
escribe(18,41,"SESION.
escribe(19,1," || ");
escribe(19,79," || ");
escribe(20,1," || ");
escribe(20,79," || ");
escribe(21,1,
"_____");
escribe(21,41,
"_____");
escribe(22,1," || ");
escribe(22,79," || ");
escribe(23,1,
"_____");
escribe(23,41,
"_____");
escribe(22,8,"seleccione su opción");
escribe(22,35," ");
scanf("%d",&OPCION);
switch(OPCION){

    case 1 : res = system("cd preproc");
             res = spawnle(P_WAIT,"i.exe",NULL,envp);
             res = system("unc tes002");
             res = system("cd..");
             break;

    case 2 : res = spawnle(P_WAIT,prog2,NULL,envp);
             break;

    case 3 : res = spawnle(P_WAIT,prog3,NULL,envp);
             break;

    case 4 : clrscr();
             printf("fin de sesión ");
             break;

    default : escribe(22,4,"opción no válida, p/continuar ... <intro>");
             getch();
}

if (res == -1)
{
    printf("%s no se ha podido ejecutar \n",prog1);
    printf("Error : %d \n",errno);}}

```

```
/* RUTINA QUE FIJA MODO TEXTO EN PANTALLA */
```

```
modopan (int *ind) {  
    union REGS rin,rout;  
  
    switch(*ind){  
        case 1:  
            /* Pantalla en modo texto b/n */  
            rin.h.ah = 0;          /* Función */  
            rin.h.al = 2;        /* Modo b/n */  
            int86(0x10,&rin,&rout);  
            break;  
  
        case 2:  
            /* Pantalla grafica en b/n */  
            rin.h.ah = 1;        /* Función */  
            int86(0x10,&rin,&rout);  
            break;  
  
        default :  
            /* Pantalla en modo texto b/n */  
            rin.h.ah = 0;        /* Función */  
            rin.h.al = 2;        /* Modo b/n */  
            int86(0x10,&rin,&rout);  
    }  
}
```

```
/* RUTINA PARA UBICAR AL CURSOR */
```

```
ubica(int *x,int *y) {  
    int linea = *x,columna = *y;  
    union REGS rin, rout;  
    /* Posicionamiento del cursor */  
    rin.h.dh = linea;          /* renglón */  
    rin.h.dl = columna;        /* columna */  
    rin.h.bh = 0;              /* página */  
    rin.h.ah = 2;              /* función */  
    int86(0x10,&rin,&rout);  
}
```

```
/* RUTINA PARA ESCRIBIR EN PANTALLA UN TEXTO */
```

```
escribe(int x,int y,char BUF[]){  
    union REGS rin, rout;  
    int color,ll = 0,pos;  
  
    while(BUF[ll] != '\0'){  
        /* Posicionamiento del cursor */  
        pos = y + ll;  
        ubica(&x,&pos) ;  
  
        /* Impresión del carácter especificado */  
        rin.h.bh = 0;          /* página */  
        rin.x.cx = 1;          /* veces a imprimir */  
    }  
}
```

```
rin.h.al = BUF[li]; /* carácter a imprimir */
rin.h.bl = 0x67; /* atributo color */
rin.h.ah = 9; /* función */
int86(0x10,&rin,&rout);
+ +li;
+ +pos;
ubica(&x,&pos);
} }
```



```

*/===== > TES004() <===== */
#include <conio.h>
#include <stdio.h>
#include <alloc.h>
#include <dos.h>
#include <fcntl.h>
#include <sysstat.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#define NUMV 8
#define NUMM 4
#define NMOPC 9
FILE *fp;
int negro = 0, blanco = 15, rojo = 4, amarillo = 14, INDICA = 0;
int MODO = 1, XS = 0, YS = 0, i = 0, ND = 0, CF = 0, NB = 0, NS = 0, NM = 0, BC = 0, NC = 0,
    VI, VF, OPC, jj, nr;
long despla;
unsigned long reg;
char pul, ARCH[9], DRIVE[2], RUTA, wbuf[41], REGISTRO[112];
#include <ventanas.h>
#include <menus.h>
#include "MISRUTIN.C"

main() {
    modopan(&MODO);      /* Pantalla modo texto en b/n */

    escribe(1,0,"=====");
    escribe(1,32,"PRE PROCESADOR");
    escribe(2,0," |");
    escribe(2,79," |");
    escribe(3,0," |");
    escribe(3,79," |");
    escribe(4,0," |");
    escribe(4,79," |");
    escribe(5,0," |");
    escribe(5,79," |");
    escribe(6,0," |");
    escribe(6,79," |");
    escribe(7,0," |");
    escribe(7,79," |");
    escribe(8,0," |");
    escribe(8,79," |");
    escribe(9,0," |");
    escribe(9,79," |");
    escribe(10,0," |");
    escribe(10,79," |");
    escribe(11,0," |");
    escribe(11,79," |");
    escribe(12,0," |");
    escribe(12,79," |");
    escribe(13,0," |");
    escribe(13,79," |");
}

```

```

escribe(14,0," | ");
escribe(14,79," | ");
escribe(15,0," | ");
escribe(15,79," | ");
escribe(16,0," | ");
escribe(16,79," | ");
escribe(17,0," | ");
escribe(17,79," | ");
escribe(18,0," | ");
escribe(18,79," | ");
escribe(19,0," | ");
escribe(19,79," | ");
escribe(20,0," | ");
escribe(20,79," | ");
escribe(21,0,
" |-----| ");
escribe(22,0," | ");
escribe(24,1,
"seleccione su opción : <- ó -> y <enter> salir : <ESC> ");
escribe(22,79," | ");
escribe(23,0," |-----| ");
OPC = 0;
while(OPC != 27){
    OPC = crea_opcion(OPC);

    switch(OPC){
        case 0 : tes002();
            break;
        case 1 : tes010();
            break;
        case 2 : tes020();
            break;
        case 3 : tes030();
            break;
        case 4 : tes040();
            break;
        case 5 : tes050();
            break; /*
        case 6 : tes060();
            break;
        case 7 : tes070();
            break;
        case 8 : tes080();
            break; */
        case 27 : cierra_v(0);
            clrscr();
            break;
    }
}
close(fp);
modopan(&MOD0);

```

```

/* -----> FUNCION DE ARCHIVOS <----- */
tes002()
{
  char R_TIT[41],
        R_NODOS[6],
        R_NFRON[6],
        R_NBARR[6],
        R_NSECC[6],
        R_NMAT[6],
        R_NBARC[6],
        R_NNODC[6];

  if (INDICA == 1)
    fclose(fp);
  INDICA = 1;
  pul = ' ';
  while(pul != 'N' && pul != 'n'){
    escribe(10,13,"NOMBRE DEL ARCHIVO (máx. 6 carac. )");
    XS = 10; YS = 48;
    ubica(&XS,&YS);
    gets(ARCH);
    escribe(12,13,"DIRECCION DEL DRIVE (A,B,C...)");
    XS = 12; YS = 44;
    ubica(&XS,&YS);
    gets(DRIVE);
    escribe(22,5," DESEA CAMBIAR LOS DATOS <S/N> ");
    XS = 22;
    ubica(&XS,&YS);
    while((pul=getch()) != 'S' && pul != 'N' && pul != 's' && pul != 'n');
    escribe(10,13,"");
    escribe(12,13,"");
    escribe(12,5,"");
  }
  strcpy(RUTA,DRIVE);
  strcat(RUTA,".");
  strcat(RUTA,"\\");
  strcat(RUTA,ARCH);
  strcat(RUTA,".AZS");
  abre(RUTA,1);
  if (fp != -1){
    escribe(20,35,RUTA);
    despla = 0;
    lseek(fp,despla,0);
    long_reg = read(fp,&REGISTRO,80);
    if (long_reg > 0){
      for(i = 0; i < 80; i += 1){
        if (i < 40)
          R_TIT[i] = REGISTRO[i];
        else{
          if (i < 45)
            R_NODOS[i-40] = REGISTRO[i];
          else{

```



```

        escribe(10,13,"
        escribe(12,13,"
        escribe(12,5,"
        escribe(22,1,"
    );
    );
    );
}

```

```

/*-----+
| FUNCION DE DATOS INICIALES |
+-----*/

```

```

tes020()
{
    int sw = 0, ind = 0;
    char R_TIT[41],
        R_NODOS[6],
        R_NFRON[6],
        R_NBARR[6],
        R_NSECC[6],
        R_NMAT[6],
        R_NBARC[6],
        R_NNODC[6],
        filler[37] = "";

    int letras;
    if ((INDICA == 0) {
        sound(880);
        delay(200);
        nosound();
        escribe(22,1,"ARCHIVO NO ESPECIFICADO... PULSE UNA TECLA PARA CONTINUAR");
        getch();
        escribe(22,1,"
    );
    }
    else{
        despla = 0;
        lseek(fp,despla,0);
        long_reg = read(fp,&REGISTRO,80);
        if (long_reg > 0){
            for(i = 0 ; i < 80 ; + +){
                if (i < 40)
                    R_TIT[i] = REGISTRO[i];
                else{
                    if (i < 45)
                        R_NODOS[i-40] = REGISTRO[i];
                    else{
                        if (i < 50)
                            R_NFRON[i-45] = REGISTRO[i];
                        else{
                            if (i < 55)

```



```

printf("%5d",NB);
XS = 12;
ubica(&XS,&YS);
printf("%5d",NS);
XS = 13;
ubica(&XS,&YS);
printf("%5d",NM);
XS = 14;
ubica(&XS,&YS);
printf("%5d",BC);
XS = 15;
ubica(&XS,&YS);
printf("%5d",NC);}

pul = ' ';
while(pul != 'N' && pul != 'n'){
while(j < B){
  XS = i + B; YS = 38;
  ubica(&XS,&YS);
  switch(i){
    case 0: letras = captura(8,37,40,wbuf);
      if (letras > 0){
        sw = 1;
        *REGISTRO = '0';
        strcpy(R_TIT,wbuf);
        for(ind = 0 ; ind < 40 ; ++ind){
          REGISTRO[ind] = R_TIT[ind];}
        escribe(8,38,wbuf);
        if (pul == 'S' || pul == 's')
          i = 9;
        break;
      }
    case 1: letras = capturm(9,37,5,wbuf);
      if (letras > 0){
        sw = 1;
        R_NODOS[8] = '0';
        strcpy(R_NODOS, " ");
        strcpy(R_NODOS,wbuf);
        just_xzq(8,0,R_NODOS);
        for (ind = 0 ; ind < 5 ; ++ind){
          REGISTRO[40 + ind] = R_NODOS[ind];}
        ND = atoi(wbuf);}
      else{
        strcpy(R_NODOS, " 0");
        ND = 0;}
        XS = 9; YS = 38;
        ubica(&XS,&YS);
        printf("%5d",ND);
        if (pul == 'S' || pul == 's')
          i = 9;
        break;
      }
    case 2: letras = capturm(10,37,5,wbuf);
      if (letras > 0){
        sw = 1;

```

```

strcpy(R_NFRON, " ");
strcpy(R_NFRON,wbuf);
just_lzq(5,0,R_NFRON);
for (ind=0 ; ind<5 ; ++ind){
    REGISTRO[45+ind]=R_NFRON[ind];
    CF=atoi(wbuf);}
else{
    strcpy(R_NFRON, " 0");
    CF=0;}
XS=10;YS=38;
ubica(&XS,&YS);
printf("%5d",CF);
if (pul == 'S' || pul == 's')
    i=9;
break;
case 3: letras = captur(11,37,5,wbuf);
if (letras > 0 ){
    sw=1;
    strcpy(R_NBARR, " ");
    strcpy(R_NBARR,wbuf);
    just_lzq(5,0,R_NBARR);
    for (ind=0 ; ind<5 ; ++ind){
        REGISTRO[50+ind]=R_NBARR[ind];
        NB=atoi(wbuf);}
    else{
        strcpy(R_NBARR, " 0");
        NB=0;}
    XS=11;YS=38;
    ubica(&XS,&YS);
    printf("%5d",NB);
    if (pul == 'S' || pul == 's')
        i=9;
    break;
case 4: letras = captur(12,37,5,wbuf);
if (letras > 0 ){
    sw=1;
    strcpy(R_NSECC, " ");
    strcpy(R_NSECC,wbuf);
    just_lzq(5,0,R_NSECC);
    for (ind=0 ; ind<5 ; ++ind){
        REGISTRO[55+ind]=R_NSECC[ind];
        NS=atoi(wbuf);}
    else{
        strcpy(R_NSECC, " 0");
        NS=0;}
    XS=12;YS=38;
    ubica(&XS,&YS);
    printf("%5d",NS);
    if (pul == 'S' || pul == 's')
        i=9;
    break;
case 5: letras = captur(13,37,5,wbuf);

```



```

if (letras > 0){
    sw = 1;
    strcpy(R_NMAT, " ");
    strcpy(R_NMAT,wbuf);
    just_izq(5,0,R_NMAT);
    for (ind=0 ; ind<5 ; ++ind){
        REGISTRO(60+ind)=R_NMAT(ind);
        NM = atoi(wbuf);
    }
    else{
        strcpy(R_NMAT, " 0");
        NM = 0;}
    XS = 13;YS = 38;
    ubica(&XS,&YS);
    printf("%5d",NM);
    if (pul == 'S' || pul == 's')
        i = 9;
    break;
case 6: letras = capturm(14,37,5,wbuf);
if (letras > 0){
    sw = 1;
    strcpy(R_NBARC, " ");
    strcpy(R_NBARC,wbuf);
    just_izq(5,0,R_NBARC);
    for (ind=0 ; ind<5 ; ++ind){
        REGISTRO(65+ind)=R_NBARC(ind);
        BC = atoi(wbuf);
    }
    else{
        strcpy(R_NBARC, " 0");
        BC = 0;}
    XS = 14;YS = 38;
    ubica(&XS,&YS);
    printf("%5d",BC);
    if (pul == 'S' || pul == 's')
        i = 9;
    break;
case 7: letras = capturm(15,37,5,wbuf);
if (letras > 0){
    sw = 1;
    strcpy(R_NNODC, " ");
    strcpy(R_NNODC,wbuf);
    just_izq(5,0,R_NNODC);
    for (ind=0 ; ind<5 ; ++ind){
        REGISTRO(70+ind)=R_NNODC(ind);
        NC = atoi(wbuf);
    }
    else{
        strcpy(R_NNODC, " 0");
        NC = 0;}
    XS = 15,YS = 38;
    ubica(&XS,&YS);
    printf("%5d",NC);
    if (pul == 'S' || pul == 's')
        i = 9;
}

```

```

                break;
            default: break;
        }
        strcpy(wbuf, " ");
        ++i;
    }
    escribe(22,1," DESEA CAMBIAR ALGUN DATO <S/N> ");
    XS = 22;YS = 38;
    ubica(&XS,&YS);
    while((pul = getch()) != 'S' && pul != 'N' && pul != 's' && pul != 'n');
    escribe(22,1,"          ");
    if (pul == 'S' || pul == 's'){
        escribe(22,1," No. de Dato ");
        XS = 22;YS = 18;ubica(&XS,&YS);
        gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&i);
        i--;
        strcpy(wbuf, " ");
        switch(i){
            case 0: strcpy(wbuf,R_TIT);
                    break;
            case 1: escribe(9,38," ");
                    break;
            case 2: escribe(10,38," ");
                    break;
            case 3: escribe(11,38," ");
                    break;
            case 4: escribe(12,38," ");
                    break;
            case 5: escribe(13,38," ");
                    break;
            case 6: escribe(14,38," ");
                    break;
            case 7: escribe(15,38," ");
                    break;
            default: break;
        }
    }
}
i=0;
while(i < 8){
    XS = i+8;
    escribe(XS,10,"          ");
    ++i;
}
if (sw == 1){
    strcat(REGISTRO[75],filler);
    despla = 0;
    lseek(fp,despla,0);
    long_reg = write(fp,&REGISTRO,80);
    escribe(22,1,"          ");
    escribe(5,25,"          ");
}
}

```

```

/*-----+
| FUNCION DE DATOS NODALES |
+-----*/
tes030()
{
    int sw = 0, ind = 0, jnd = 0;
    unsigned AUX;
    char R_TIPO[2],
        R_X[10][12],
        R_Y[10][12],
        RECORD[112];
    int XX, letras = 0;
    unsigned long_rej;
    float ABCISXA = 0, ORDENADA = 0;

    if (ND == 0) {
        sound(880);
        delay(200);
        nosound();
        escribe(22, 1, "NUMERO DE NODOS NO ESPECIFICADO...PULSE UNA TECLA PARA
CONTINUAR");
        getch();
        escribe(22, 1, " ");
    }
    else {
        despla = 80;
        lseek(fp, despla, 0);
        escribe(5, 20, "C O O R D E N A D A S   N O D A L E S");
        escribe(8, 18, "No.      X      Y");
        pul = ' ';
        for(i = 0; i < ND; i = i + 10) {
            Vi = i + 1;
            VF = i + 10;
            XX = 8;
            AUX = VF;
            if (VF > ND)
                VF = ND;
            long_rej = read(fp, &REGISTRO, 112);
            if (long_rej > 0) {
                for(ind = 1; ind < 112; ++ind) {
                    jnd = ind - 1;
                    if (ind < 12)
                        R_X[0][jnd] = REGISTRO[ind];
                    else {
                        if (ind < 23)
                            R_X[1][jnd - 12] = REGISTRO[ind];
                        else {
                            if (ind < 34)
                                R_X[2][jnd - 23] = REGISTRO[ind];
                            else {
                                if (ind < 45)
                                    R_X[3][jnd - 34] = REGISTRO[ind];

```





```

ubica(&XX,&YS);
printf("%3d ",ij);
strcpy(wbuf," ");
YS = 31;
ubica(&XX,&YS);
letras = capturm(XX,29,11,wbuf);
if (letras > 0){
    if (ij == V1)
        *REGISTRO = '\0';
    sw = 1;
    strcpy(R_X[ind]," ");
    strcpy(R_X[ind],wbuf);
    printf("valor capturado = %s",R_X[ind]);
    getch();
    just_izq(11,4,R_X[ind]);
    printf("valor justificado es = %s",R_X[ind]);
    getch();
    REGISTRO[0] = '1';
    for(jnd = 0 ; jnd < 11 ; + + jnd){
        REGISTRO[ind*10 + jnd + 1] = R_X[ind][jnd];
    }
    ABSCISA = atof(wbuf);}
else{
    strcpy(R_X[ind]," 0.0000");
    ABSCISA = 0.0;}
YS = 31;
ubica(&XX,&YS);
printf("%-11.4f",ABSCISA);
strcpy(wbuf," ");
YS = 54;
ubica(&XX,&YS);
letras = capturm(XX,53,11,wbuf);
if (letras > 0){
    if (ij == V1)
        *RECORD = '\0';
    sw = 1;
    strcpy(R_Y[ind]," ");
    strcpy(R_Y[ind],wbuf);
    just_izq(11,4,R_Y[ind]);
    RECORD[0] = '1';
    for(jnd = 0 ; jnd < 11 ; + + jnd){
        RECORD[ind*10 + jnd + 1] = R_Y[ind][jnd];
    }
    ORDENADA = atof(wbuf);}
else{
    strcpy(R_Y[ind]," 0.0000");
    ORDENADA = 0.0;}
YS = 54;
ubica(&XX,&YS);
printf("%-11.4f",ORDENADA);
+ + ind;}
while(pul != 'N' && pul != 'n'){
    escribe(22,1," DESEA CAMBIAR ALGUN DATO <S/N> ");
    XS = 22;

```

```

YS = 38;
ubica(&XS,&YS);
while((pul=getch()) != 'N' && pul != 'S' && pul != 's' && pul != 'n');
if (pul == 'S' || pul == 's'){
    escribe(22,1," No. de punto a cambiar ");
    XS = 22;
    YS = 36;
    ubica(&XS,&YS);
    nr = -1;
    while(nr < VI || nr > VF){
        gets(wbuf);
        sscanf(wbuf,"%d",&nr);
        strcpy(wbuf,"");
        XX = nr - VI + 8;
        ind = nr - VI - 1;
        escribe(XX,20," ");
        YS = 21;
        ubica(&XX,&YS);
        printf("%3d ",nr);
        strcpy(wbuf,"");
        YS = 25;
        ubica(&XX,&YS);
        letras = captarn(XX,27,11,wbuf);
        if (letras > 0){
            sw = 1;
            strcpy(R_X[ind]," ");
            strcpy(R_X[ind],wbuf);
            just_lzq(1,4,R_X[ind]);
            REGISTRO[0] = '1';
            for(jnd = 0 ; jnd < 11 ; ++jnd){
                REGISTRO[ind*10 + jnd + 1] = R_X[ind][jnd];
                ABCISIA = atof(wbuf);
            }
        }
        else{
            strcpy(R_X[ind]," 0.0000");
            ABCISIA = 0.0;
        }
        YS = 25;
        ubica(&XX,&YS);
        printf("%-11.4f",ABCISIA);
        strcpy(wbuf,"");
        YS = 37;
        ubica(&XX,&YS);
        letras = captarn(XX,47,11,wbuf);
        if (letras > 0){
            sw = 1;
            strcpy(R_Y[ind]," ");
            strcpy(R_Y[ind],wbuf);
            just_lzq(1,4,R_Y[ind]);
            RECORD[0] = '1';
            for(jnd = 0 ; jnd < 11 ; ++jnd){
                RECORD[ind*10 + jnd + 1] = R_Y[ind][jnd];
                ORDENADA = atof(wbuf);
            }
        }
        else{

```

```

                strcpy(R_Y[ind], " 0.0000");
                ORDENADA = 0.0;
                YS = 37;
                ubicat(&XX, &YS);
                printf("%-11.4f", ORDENADA);
            }
        }
        if (sw == 1){
            lseek(fp, despla, 0);
            if (AUX > ND){
                for(ind = ND ; ind < AUX ; ++ind){
                    strcpy(R_X[ind], " 0.0000");
                    strcpy(R_Y[ind], " 0.0000");
                    for(jnd = 0 ; jnd < 11 ; ++jnd){
                        REGISTRO[ind * 10 + jnd + 1] = R_X[ind][jnd];
                        RECORD[ind * 10 + jnd + 1] = R_Y[ind][jnd];
                    }
                }
                long_reg = write(fp, &REGISTRO, 112);
                despla = long_reg + despla;
                long_rej = write(fp, &RECORD, 112);
                despla = despla + long_rej;
            }
            VI = i;
            VF = i + 9;
            if (VF > ND)
                VF = ND;
            for (jj = VI; jj < VF; ++jj){
                XS = jj + 9;
                escribe(XS, 20, "                ");
            }
            escribe(5, 20, "                ");
            escribe(8, 25, "                ");
            escribe(22, 1, "                ");
        }
    }
}

```

/\* =====> FUNCION DE CONDICIONES DE FRONTERA -<===== \*/

```

tes040()
{
    int ID[3][4], No_nudo, XX;
    pul = "";
    for (i = 0 ; i < CF ; i = i + 10)
    {
        escribe(5, 18, "CONDICIONES DE FRONTERA");
        escribe(8, 22, "No.   Nodo   Gx   Oz   Gy");
        VI = i; VF = i + 9; XX = 8;
        if (VF > CF) VF = CF;
        for (jj = VI; jj < VF; ++jj){

```



```

+ + XX;YS = 21;ubica(&XX,&YS);
printf("%3d ",j + 1);
YS = 33;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&No_nudo);
strcpy(wbuf," ");
YS = 43;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&ID[0][No_nudo - 1]);
strcpy(wbuf," ");
YS = 52;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&ID[1][No_nudo - 1]);
strcpy(wbuf," ");
YS = 61;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&ID[2][No_nudo - 1]);
}
while(pul != 'N' && pul != 'n')
{
    escribe(22,1," DESEA CAMBIAR ALGUN DATO <S/N>          ");
    XS = 22;YS = 38;ubica(&XS,&YS);
    while(pul = getch() != 'N' && pul != 'S' && pul != 's' && pul != 'n');
    if(pul == 'S' || pul == 's')
    {
        escribe(22,1," No. de punto a cambiar          ");
        XS = 22;YS = 38;ubica(&XS,&YS);nr = -1;
        while(nr < V1 || nr > V2)
        {
            gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&nr);
            strcpy(wbuf," ");
        }
        XX = nr - V1 + 8;
        escribe(XX,20,"          ");
        YS = 21;ubica(&XX,&YS);printf("%3d ",nr);
        YS = 33;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&No_nudo);
        strcpy(wbuf," ");
        YS = 43;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&ID[0][No_nudo - 1]);
        strcpy(wbuf," ");
        YS = 52;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&ID[1][No_nudo - 1]);
        strcpy(wbuf," ");
        YS = 61;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);sscanf(wbuf,"%d",&ID[2][No_nudo - 1]);
        strcpy(wbuf," ");
    }
}
}
i = 0;
while(i < 10){
    XS = i + 8;
    escribe(XS,12,"          ");
    + + i;
}
escribe(22,1,"          ");
escribe(5,18,"          ");
}

```

```
/* =====> FUNCION DE SECCIONES TRANSVERSALES <===== */
```

```
tes050()
{ float SEC[5][9];
  int XX;
  pul = ' ';
  for (i=0 ; i < NS ; i=i+10)
  {
    escribe(5,17,"SECCIONES TRANSVERSALES");
    escribe(8,16,"No. D1 D2 D3 D4 D5");
    VI = i; VF = i+9; XX = 8;
    if(VF > CF) VF = NS;
    for (jj = VI; jj < VF; ++jj) {
      ++XX; YS = 15; ubica(&XX, &YS);
      printf("%3d ", jj + 1);
      YS = 26; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[jj][0]);
      strcpy(wbuf, " ");
      YS = 35; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[jj][1]);
      strcpy(wbuf, " ");
      YS = 45; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[jj][2]);
      strcpy(wbuf, " ");
      YS = 55; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[jj][3]);
      strcpy(wbuf, " ");
      YS = 65; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[jj][4]);
    }
    while(pul != 'N' && pul != 'n')
    {
      escribe(22,1," DESEA CAMBIAR ALGUN DATO <S/N> ");
      XS = 22; YS = 38; ubica(&XS, &YS);
      while((pul = getch()) != 'N' && pul != 'S' && pul != 's' && pul != 'n')
      if(pul == 'S' || pul == 's')
      {
        escribe(22,1," No. de sección a cambiar ");
        XS = 22; YS = 36; ubica(&XS, &YS); nr = -1;
        while(nr < VI || nr > VF)
        {
          gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%d", &nr);
          strcpy(wbuf, " ");
        }
        XX = nr - VI + 8;
        escribe(XX,20," ");
        YS = 15; ubica(&XX, &YS); printf("%3d ", nr);
        YS = 26; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[nr-1][0]);
        strcpy(wbuf, " ");
        YS = 35; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[nr-1][1]);
        strcpy(wbuf, " ");
        YS = 45; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[nr-1][2]);
        strcpy(wbuf, " ");
        YS = 55; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[nr-1][3]);
        strcpy(wbuf, " ");
        YS = 65; ubica(&XX, &YS); gets(wbuf); sscanf(wbuf, "%f", &SEC[nr-1][4]);
        strcpy(wbuf, " ");
      }
    }
  }
}
```

```

    }
}
i=0;
while(i < 10){
    XS=i+8;
    escribe(XS,12,"
    + i;
}
escribe(22,1,"
escribe(5,17,"
}

```

/\* ==> FUNCION DE MATERIALES ESTRUCTURALES <===== \*/

```

tes060()
{ float EI[9],NU[9],DEN[9];
  int XX;
  pul = ' ';
  for (i=0; i < NM; i=i+10)
  {
    escribe(5,17,"MATERIALES ESTRUCTURALES");
    escribe(8,23,"No. E μ U");
    VI=i;VF=i+9;XX=8;
    if(VF > CF) VF=NM;
    for (j=VI; j<VF; j++){
      + XX;YS=22;ubica(&XX,&YS);
      printf("%3d ",j+1);
      YS=26;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);scanf(wbuf,"%f",&E[j]);
      strcpy(wbuf," ");
      YS=43;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);scanf(wbuf,"%f",&NU[j]);
      strcpy(wbuf," ");
      YS=53;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);scanf(wbuf,"%f",&DEN[j]);
    }
    while(pul != 'N' && pul != 'n')
    {
      escribe(22,1," DESEA CAMBIAR ALGUN DATO <S/N> ");
      XS=22;YS=38;ubica(&XS,&YS);
      while((pul=getch()) != 'N' && pul != 'S' && pul != 's' && pul != 'n');
      if(pul == 'S' || pul == 's')
      {
        escribe(22,1," No. de material a cambiar ");
        XS=22;YS=36;ubica(&XS,&YS);nr=-1;
        while(nr<VI || nr>VF)
        {
          gets(wbuf);scanf(wbuf,"%d",&nr);
          strcpy(wbuf," ");
        }
      }
    }
  }
}

```

```

    }
    XX = nr - VI + 8;
    escribe(XX,20,"");
    YS = 23;ubica(&XX,&YS);printf("%3d ",nr);
    YS = 26;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);scanf(wbuf,"%f",&E(nr-1));
    strcpy(wbuf,"");
    YS = 43;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);scanf(wbuf,"%f",&NU(nr-1));
    strcpy(wbuf,"");
    YS = 53;ubica(&XX,&YS);gets(wbuf);scanf(wbuf,"%f",&DEN(nr-1));
    strcpy(wbuf,"");
}
}
i=0;
while(i < 10){
    XS=i+8;
    escribe(XS,12,"");
    ++i;
}
escribe(22,1,"");
escribe(5,17,"");
}

```

/\* =====> FUNCION CREA OPCION <===== \*/

```

crea_opcion(int opc)
{
    char c=' ';
    int ii,opc_ant,xx[9]={1,10,18,25,33,43,53,62,71};
    char TEXTO[9][8]={"Archivo",
                    "Inicia",
                    "Nodos",
                    "Fronter",
                    "Sección",
                    "Materia",
                    "Barras",
                    "Carga_B",
                    "Carga_N"};
    tm_crsr(-1,-1);
    textbackground( negro );
    textcolor( blanco );
    for ( ii=0; ii<9; ++ii )
        {gotoxy ( xx[ii],1);
         cputs( TEXTO[ii]);}
    while (c != 27 )

```

```

{ textbackground( blanco );
  textcolor( negro );
  gotoxy( xx(opc), 1 );
  cputs( TEXTO(opc));
  opc_ant = opc;
  c=getch();
  if ( c == 0 ){
    switch( c=getch() )
    {
      case 72: opc = opc + 1; break;
      case 80: opc = opc - 1; break;
      case 75: opc = opc - 1; break;
      case 77: opc = opc + 1; break;
    }

    if (opc > 8)
      opc = 0;
    else
      if (opc < 0)
        opc = 8;
    textbackground( negro );
    textcolor( blanco);
    gotoxy( xx(opc_ant), 1 );
    cputs( TEXTO(opc_ant));

    textbackground( blanco);
    textcolor( negro );
    gotoxy( xx(opc), 1 );
    cputs( TEXTO(opc));
  }
}
else
  if ( c == 13 )
    {
      tm_csr( 6, 7 );
      return( opc );
    }
}
}

```

```

Program Acelerogramas;
{.....:}
{ : A C E G R A F :}
{ : Sistema de graficacion de Acelerogramas :}
{ : Escrito por: Antonio Zárate Santamaría :}
{.....:}
Uses
  Crt,
  Graph,
  UtilGraf; (* Unidad usada como utileria del programa *)

Const
  Titulo = 'GRAFICA DE REGISTROS O ACELEROGRAMAS';
  EjeX = 'Tiempo [seg]';
  EjeY = 'Aceleracion [gals]';

Type
  u = Record
    a,b,c : Integer;
  End;
  Int10 = Array[1..12000] Of Integer;
  Max_Abs = Array[0..6] Of Real;

Var
  a : u ;
  f : file Of u;
  MaxAbs : Max_Abs ;
  car : Char ;
  Driver,Mode,Err,Charsize: Integer ;
  x,x1,y1,x2,y2,loop : Integer ;
  W,TamArch,Xrango : Integer ;
  p1,p2 : Pointer ;
  Unidad : Char ;
  Direc,Arch1,Res,AuxDir : Str80 ;
  Num,Arch1,Hora,Fecha : Str80 ;
  Herc,Carga : Boolean ;
  i,j,k : LongInt ;
  MaxA,MinA,MaxB,MinB,
  MaxC,MinC,YrangoA,
  YRangoB,YrangoC,Raux,
  MaximoY,Xmin,Xmax : Real ;
  v : Array[1..3] Of *Int10;

Const
  Nu : Array[1..12] Of Word = (8,8,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0);

{
(*$L Grafalta.obj *)
}

Procedure GrafAlta; External;
}

```

```

{:.....PROCEDIMIENTO EXTERNO GRAFALTA.....:}
{: PROPOSITO: LEE LA PANTALLA DE ALTA RESOLUCION Y LA MANDA A LA IMPRESORA. :}
{: Este es un programa en ensamblador. ;}
{:.....:}

{:.....PROCEDIMIENTO INICIALIZA.....:}
{: PROPOSITO: INICIALIZA VARIABLES GLOBALES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA. :}
{:.....:}
Procedure Inicializa;
Begin
  Archi := "";
  Archi1 := "";
  HORA := "";
  FECHA := "";
  GetDir(0, Direc);
  Unidad := Direc[1];
End;

{:.....FUNCIONES DE CONVERSION DE RESOLUCION.....:}
{: Funciones para obtener las cordenadas en resolucio CGA de acuerdo a los :}
{: modos de alta y baja resolucio y al tipo de targeta utilizada por dicho :}
{: modo. Convierte a 639 x 199 pixeles otros modos de resolucio :}
{:.....:}
Function eX(escX:integer):integer;
begin
  eX := trunc(escX/639) * GetMaxX();
end;

Function eY(escY:integer):integer;
begin
  eY := trunc(escY/199) * GetMaxY();
end;

{:.....PROCEDIMIENTO VENTANITA_DE_PRESENTACION.....:}
{: PROPOSITO: COLOCA UNA VENTANITA DE PRESENTACION EN LA PANTALLA PRINCIPAL :}
{:.....:}
Procedure Ventanita_de_Presentacion;
Begin
  Rectangle(eX(180), eY(60), eX(480), eY(140));
  Rectangle(eX(182), eY(62), eX(478), eY(138));
  OutTextXY(eX(280), eY(70), 'ACEGRAF');
  OutTextXY(eX(210), eY(85), 'Sistema De Graficacion de');
  OutTextXY(eX(220), eY(95), ' Acelerogramas');
  OutTextXY(eX(195), eY(110), '(c) 1993 enep ACATLAN UNAM');
  OutTextXY(eX(195), eY(130), 'Pulse F1 =Ayuda otra para continuar');
End; { Ventanita_de_Presentacion }

{:.....PROCEDIMIENTO BARRA_COMANDOS.....:}
{: PROPOSITO: COLOCA LA BARRA DE TECLAS RAPIDAS EN LA PARTE INFERIOR DE LA :}
{: PANTALLA Y LOS COMANDOS PRINCIPALES EN LA PARTE SUPERIOR. :}
{:.....:}
Procedure Barra_Comandos;
Begin
  SetGraphMode(Mode);

```

```

SetBkColor(LightBlue);
Bar(eX(50),eY(191),eX(590),eY(199)); {Barra Inferior de Teclas Rapidas}
SetColor(0);
OutTextXY(eX(100),eY(191),'Teclas: ' + Chr(24) + Chr(25) + Chr(27) + Chr(26) + ' Enter = TomaEsc = Sale
Alt-F1 F1 = Ayuda');
SetColor(1);
Rectangle(eX(11),eY(8),eX(639),eY(190)); {Rectangulo del Area principal de Trabajo}
SetTextStyle(0,Horizdir,1);
OutTextXY( eX(60),eY(11),'Archivo');
OutTextXY(eX(176),eY(11),'Grafica');
OutTextXY(eX(292),eY(11),'Agranda');
OutTextXY(eX(408),eY(11),'Salida');
End; { Barra }
{.....PROCEDIMIENTO DE SALIDA.....}
{: PROPOSITO: CONCLUYE EL PROGRAMA Y NOS REGRESA AL OS-SHELL.           :}
{.....}
Procedure salida;
(* Termina la ejecucion del programa *)
Begin
  RestoreCrtMode;
  CloseGraph;
  Halt(1);
End; (* Salida *)

{.....PROCEDIMIENTO LEE_VENTANA.....}
{: PROPOSITO: ABRE UNA VENTANA QUE PERMITE LEER VARIAS CADENAS DE CARACTERES :}
{: PARAMENTROS:                               :}
{: Anuncio: Escribe un lettero para indentificar el dato a leer           :}
{: Sale : Cadena de caracteres leida                                       :}
{: Longi : Longitud maxima de la ventana                                   :}
{: x1,y1,x2,y2 : Coordenadas de la ventana                                 :}
{.....}
Procedure Lee_Ventana(x1,y1,x2,y2 : Integer; Anuncio:Str80;
                    Var Sale : Str80;Longi:Byte);

Var
  Apn : Pointer;
  Tam,Xc,
  Yd : Integer;
  Aux : Str80 Absolute Sale;

Begin
  Tam := ImageSize(x1,y1,x2,y2);
  GetMem(Apn,Tam);
  GetImage(x1,y1,x2,y2,Apn*);
  Limpia(x1,y1,x2,y2);
  Rectangle(x1,y1,x2,y2);
  Rectangle(x1+1,y1+1,x2-1,y2-1);
  Anuncio := Anuncio + ':' + Sale;
  Yd := Y1 + 4;
  OutTextXY(X1 + 6,Yd,Anuncio);
  Xc := X1 + 6 + Length(anuncio) * 8;
  repeat

```



```

Repeat
  PuTImage(Xc,Yd,Nu,4);
  Delay(20);
  PuTImage(Xc,Yd,Nu,0);
Until KeyPressed;
Car := ReadKey;
Case Car Of
  ' ','-' : begin
    OutTextXY(Xc,Yd,Car);
    Inc(Xc,8);
    aux:=aux+car;
  end;
  : If length(aux) >= 1 then
    begin
      Dec(Xc,8);
      delete(aux,length(aux),1);
    end;
End;
Until (Car = #13) or (length(aux) >= Longi);
PutImage(X1,Y1,Apn^,0);
FreeMem(Apn,Tam);
End; { Lee_Ventana }
{:.....PROCEDIMIENTO LEE_LINEA.....:}
{: PROPOSITO: ABRE UNA VENTANA QUE PERMITE LA LECTURA DE UNA CADENA DE CARACTERES :}
{: PARAMETROS:                               :}
{: Anuncio: Escribe un letrero para indentificar el dato a leer           :}
{: Sale : Cadena de caracteres leida                                       :}
{: Longi : Longitud maxima de la ventana                                   :}
{:.....:}
Procedure Lee_Linea(Anuncio:Str80;Var Sale : Str80;Longi:Byte);
Var
  Apn : Pointer;
  Tam,Xd,Xi;
  Xc : Word;
  Aux : Str80 Absolute Sale;
Const
  Yy1 = 100 ; Yy2 = 112 ; Yd = 102;
Begin
  Xc := (Length(Anuncio) + 3 + Longi) * 8;
  Xd := Xc + (640 - Xc) Shr 1;
  Xi := (640 - Xc) Shr 1;
  Tam := ImageSize(Xi,Yy1,Xd,Yy2);
  GetMem(Apn,Tam);
  GetImage(Xi,Yy1,Xd,Yy2,Apn^);
  Limpia(Xi,Yy1,Xd,Yy2);
  Rectangle(Xi,Yy1,Xd,Yy2);
  Anuncio := Anuncio + ' ' + Sale;
  OutTextXY(Xi+4,Yd,Anuncio);
  Xc := Xi+4 + Length(anuncio)*8;
  repeat
    Repeat
      PuTImage(Xc,Yd,Nu,4);

```

```

Delay(20);
PuTImage(Xc,Yd,Nu,0);
Until KeyPressed;
Car := ReadKey;
Case Car Of
  '0'..'9' : begin
    OutTextXY(Xc,Yd,Car);
    Inc(Xc,8);
    aux := aux + car;
  end;
  : If length(aux) >= 1 then
    begin
      Dec(Xc,8);
      delete(aux,length(aux),1);
    end;
End;
Until (Car = #13) or (length(aux) >= Longil);
PutImage(Xi,Yy1,Apn*,0);

FreeMem(Apn,Tam);
End; { Lee_Linea }

```

```

{:.....PROCEDIMIENTO NUMEROS.....:}
{: PROPOSITO: VALIDA DATOS REALES QUE SE TOMAN DEL TECLADO :}
{: PARAMETROS: :}
{: X,Y : Coordenadas donde se escriben los numeros a leer :}
{: a : Variable donde regresa el valor real leido :}
{: k : Numero maximo de caracteres alfanumericos a leer :}
{: Aux : Variable que contiene el equivalente en cadena de caracteres :}
{: de la variable "a" :}
{:.....:}

```

```

Procedure numeros(x,y:integer;var a:real;k:byte;Var Aux:String);
Var xc,i,Auxe : Integer;
    Car : Char;

```

```

begin
  Xc := X;
  For i:=1 To K+1 Do
    Begin
      PuTImage(Xc,Y,Nu,0);
      Inc(Xc,8);
    End;
  Xc := X;
  aux := "";
  repeat
    Repeat
      PuTImage(Xc,y,Nu,4);
      PuTImage(Xc,y,Nu,0);
    Until KeyPressed;
    Car := ReadKey;
  Case Car Of
    '0'..'9','+','.',',': begin
      OutTextXY(Xc,y,Car);

```

```

Inc(Xc,8);
aux:=aux+car;
end;
: if length(aux) >= 1 then
begin
Dect(Xc,8);
delete(aux,length(aux),1);
end;
: Ayuda(121);
#59
End;
Until (Car = #13) or (length(aux)=k);
If Copy(Aux,1,1) = '.' Then Insert('0',Aux,1);
If Copy(Aux,1,2) = '-.' Then Insert('0',Aux,2);
val(aux,a,auxel);
if auxel <> 0 then
Begin
Write(^G,^G);
MarcoErrorGraf('*** No se vale este numero ***',');
numeros(x,y,a,k,aux);
End;
end: (* Numeros *)

```

```

{:.....PROCEDIMIENTO EMPACA.....:}
{: PROPOSITO: EMPACA EL ARCHIVO CON LOS REGISTROS DE LOS ACELEROGRAMAS EN CODIGO :}
{: ASCII A NUMEROS ENTEROS. DONDE ARCHI ES LA VARIABLE DEL ARCHIVO DE TIPO TEXTO :}
{: Y ARCHI ES LA DEL ARCHIVO DE TIPO INTEGER. :}
{:.....:}

```

```

Procedure Empaca;

```

```

Var
G : Text ;
r,s,t : Real ;
w : Integer;
Fuente, Destino : Str80 ;

```

```

Begin

```

```

Fuente := '';
Destino := '';
OutTextXY(eX(255),eY(87),'Nombres de Archivos');
Lea_Ventana(eX(200),eY(100),eX(600),eY(115),'Archivo Fuente <DAT> ',Fuente,50);
If Copy(Fuente,Length(Fuente)-3,1) <> '.' Then Fuente := Fuente + '.DAT';
Lea_Ventana(eX(200),eY(100),eX(600),eY(115),'Archivo Destino <ACG> ',Destino,50);
If Copy(Destino,Length(Destino)-3,1) <> '.' Then Destino := Destino + '.ACG';
Assign(Fuente);
{$I-}
Reset(g);
{$I+}
if IoResult <> 0 Then MarcoErrorGraf(' *** Este Archivo no Existe *** ',Archi1)
Else If Length(Fuente) <> 0 Then
Begin
Limpia(eX(75),eY(80),eX(590),eY(150));
Rectangle(eX(69),eY(85),eX(500),eY(135));

```

```

Rectangle(eX(70),eY(86),eX(499),eY(134));
OutTextXY(eX(70),eY(105),'Empaquetando registros de : ');
OutTextXY(eX(280),eY(105),'<' + Fuente + '> ');
OutTextXY(eX(70),eY(115),'Hacia el archivo : ');
OutTextXY(eX(240),eY(115),'<' + Destino + '> ');
OutTextXY(eX(100),eY(125),'...Favor de esperar');
Assign(f, Destino);
Rewrite(f);
ReadLn(g);
W := 1;
While Not Eof(g) Do
Begin
  ($i-) ReadLn(g,r,s,t); {$i+}
  If IoResult < > 0 Then
  Begin
    Close(f);
    Halt;
  End;
  a.a := Round(r*100000.0);
  a.b := Round(s*100000.0);
  a.c := Round(t*100000.0);
  Write(f,a);
  Inc(W);
End; { While Not Eof }
Close(f);
Close(g);
End; { Else If }

```

```
Limpia(eX(69),eY(85),eX(600),eY(180));
```

```
End; { Empaca }
```

```
Procedure Grafica_Unpakefile;
```

```
type
```

```

  u = Record
    a : Integer;
  end;

```

```
var
```

```

  a : u ;
  f : file of u;
  r,Xmin,Xmax,Delta,Op : Real ;
  i,Xinc,CO,Xzoom : Integer ;

```

```
Begin
```

```
End;
```

```

{:.....PROCEDIMIENTO UNPAKEFILE.....:}
{: PROPOSITO: DESEMPACA UN ARCHIVO DE REGISTROS DE ACELEROGRAMAS QUE ESTAN EN :}
{: NUMEROS ENTEROS PERO SOLO UNA COMPONENTE, Y LA CONVIERTE A CODIGO ASCII, SE :}
{: LE DA EL RANGO LIMITE INFERIOR Y SUPERIOR Y UN INCREMENTO. :}
{:.....:}

```

```

Procedure Unpackfile;

```

```

Type

```

```

  u = Record
    a : Integer;
  end;

```

```

Var

```

```

  a          : u ;
  fcomp     : file of u;
  r,Xmin,Xmax, : Real ;
  Delta,Op  : Real ;
  I,Xinc,CO,Xzoom : Integer ;
  TeX      : Text ;
  Target,Target2 : Str80 ;
  St,Strn  : String ;
  Car     : Char ;

```

```

Procedure DatUnpack;

```

```

Begin

```

```

  Rectangle(eX(200),eY(80),eX(550),eY(145));
  Rectangle(eX(200),eY(81),eX(549),eY(144));
  Limpia(eX(270),eX(75),eX(270) + LengthI' Desempaca '*8,eY(83)); { Limpia rectangulo para titulo }
  OutTextXY(eX(275),eY( 75),' Desempaca ');
  OutTextXY(eX(215),eY( 85),'Elija una opcion');
  OutTextXY(eX(215),eY( 95),'<1> .....Componente Vertical');
  OutTextXY(eX(215),eY(105),'<2> .....Componente Norte-Sur');
  OutTextXY(eX(215),eY(115),'<3> .....Componente Este-Oeste');
  OutTextXY(eX(215),eY(128),'Opcion.....');

```

```

  Repeat

```

```

    Numeros(eX(350),eY(128),Op,1,St);
    Co := Trunc(Op);
    If Co = 1 Then Strn := 'Vertical'

```

```

  Else If Co = 2 Then Strn := 'Norte-Sur'
  Else Strn := 'Este-Oeste';

```

```

  Until((Co >= 1) and (Co <= 3));

```

```

  Limpia(eX(200),eY(70),eX(550),eY(145)); {Limpia ventana }

```

```

  Repeat

```

```

    Rectangle(eX(200),eY(80),eX(550),eY(145));
    Rectangle(eX(200),eY(81),eX(549),eY(144));
    Limpia(eX(270),eX(75),eX(270) + LengthI' Desempaca '*8,eY(83)); { Limpia rectangulo para titulo }
    OutTextXY(eX(275),eY(75),' Desempaca ');
    OutTextXY(eX(215),eY( 90),Strn);
    OutTextXY(eX(215),eY(100),'Dar en Segundos');
    OutTextXY(eX(215),eY(110),'Limite Inferior Xo = ');
    OutTextXY(eX(215),eY(120),'Limite Superior Xf = ');
    OutTextXY(eX(215),eY(130),'Incremento en 0.01 Seg. Dt = ');

```

```

Numeros(eX(380),eY(110),Xmin, 4, St);
Numeros(eX(380),eY(120),Xmax, 4, St);
Numeros(eX(440),eY(130),Delta,4, St);
OutTextXY(eX(205),eY(150),'Pulse <ESC> o <ENTER> para continuar');
Car := ReadKey;
If Car = #0 Then Car:=ReadKey;
Until (Car In [#13,#27]);
Limpia(eX(200),eY(170),eX(550),eY(165)); (Limpia ventana )
Xmin:=Xmin*100;
Xmax:=Xmax*100;
Xinc := Trunc(Delta*100);
End; { DatUnpack }

Begin
DatUnpack;
Target := '';
Target2 := '';
OutTextXY(eX(170),eY(70),'Nombres de Archivos');
Lee_Ventana(eX(90),eY(80),eX(620),eY(95),
  'Archivo Destino .<DAT> ',Target,50);
Target2 := Target;
If Copy(Target,Length(Target)-3,1)<>'.' Then Target:=Target+'.DAT';
Assign(TeX,Target);
Rewrite(TeX);
If Co = 1 Then Target2:= Target2+'.VER'; { Se asigna la extension adecuada a la componente }
If Co = 2 Then Target2:= Target2+'.CNS';
If Co = 3 Then Target2:= Target2+'.CEO';
Assign(fcomp,Target2);
Rewrite(fcomp);
i := Trunc(Xmin);
Xinc := Trunc(Delta*100);
Xzoom := Trunc(Xmax-Xmin);
WriteLn(TeX,Trunc(Xmin),' ',Trunc(Xmax),' ',Xzoom div Xinc,' ',Xinc,' ',Co,' ',
'datos: <Xo,Xf,No.Registros,Incremento,' + Strn + '> ');
While i < Xmax Do
Begin
r := Round(v(CO)^[i])/1e5;
If r < 0.0 Then
WriteLn(TeX,r:7:5)
Else WriteLn(TeX,' ',r:7:5);
a.a := Round(r*100000.0);
Write(fcomp,a);
Inc(i,Xinc);
End; { While i }
Close(TeX);
Close(fcomp);
Limpia(eX(160),eY(65),eX(620),eY(180));
End; { UnPekefile }

```

```
{:.....PROCEDIMIENTO QUE OBTIENE EL MAXIMO ABSOLUTO.....:}
{: PROPOSITO: OBTIENE EL NUMERO MAXIMO ABSOLUTO DE TODOS LOS COMPONENTES DE :}
{: ACELEROGRAMAS PARA EL EJE Y .....:}
{:.....:}
```

```
Procedure MaxiMoAbs(Var MaximoY:Real; Var MaxAbs:Max_Abs; MaxA,MinA,MaxB,
MinB,MaxC,MinC : Real);
```

```
var j : ShortInt;
```

```
Begin
```

```
MaxAbs[0] := 0.0;
MaxAbs[1] := Abs(MaxA); MaxAbs[2] := Abs(MinA);
MaxAbs[3] := Abs(MaxB); MaxAbs[4] := Abs(MinB);
MaxAbs[5] := Abs(MaxA); MaxAbs[6] := Abs(MinA);
```

```
For j := 1 to 6 do
```

```
Begin
```

```
If MaxAbs[j] > MaxAbs[j-1] Then
```

```
MaximoY := MaxAbs[j];
```

```
End;
```

```
MaximoY := Round(MaximoY*100) + 1;
```

```
End;(MaxiMoAbs)
```

```
{:.....PROCEDIMIENTO MAXMIN.....:}
{: PROPOSITO: OBTIENE EL NUMERO MAXIMO Y MINIMO DE CADA COMPONENTE DEL REGIS-:}
{: TRO DE DATOS DEL ACELEROGRAMA .....:}
{:.....:}
```

```
Procedure MaxMin(Var N:Integer;Var Maxa,MinA,Maxb,
Minb,Maxc,MinC : Real);
```

```
Begin
```

```
for i := 1 To TamArch Do
```

```
Begin
```

```
If Round(v[1]*i) > Maxa Then Maxa := Round(v[1]*i);
```

```
If Round(v[1]*i) < MinA Then MinA := Round(v[1]*i);
```

```
If Round(v[2]*i) > Maxb Then Maxb := Round(v[2]*i);
```

```
If Round(v[2]*i) < Minb Then Minb := Round(v[2]*i);
```

```
If Round(v[3]*i) > Maxc Then Maxc := Round(v[3]*i);
```

```
If Round(v[3]*i) < MinC Then MinC := Round(v[3]*i);
```

```
End;
```

```
MaxA := MaxA/1e5;
```

```
MinA := MinA/1e5;
```

```
MaxB := MaxB/1e5;
```

```
MinB := MinB/1e5;
```

```
MaxC := MaxC/1e5;
```

```
MinC := MinC/1e5;
```

```
N := TamArch;
```

```
End;(MaxMin)
```

```
{:.....PROCEDIMIENTO DE MANEJO DE ARCHIVOS.....:}
{: PROPOSITO: INTERACCIONA CON EL DISCO,ABRE UNA VENTANA DONDE SE SELECCIONA, CARGA :}
{: :}
{: A MEMORIA, EMPACA, CONSULTA DE DIRECTORIO, CAMBIA DE SUBDIRECTORIO O UNIDAD Y :}
```

```

{: CARGA UN NUEVO ARCHIVO A LA MEMORIA Y DESEMPACA. }
{:.....:}
Procedure Archivo;
Var
  I1 : Pointer;
  s : Word ;
  Carga : Boolean;
  y : Byte ;
  St : String ;
  Xverdad : Integer;
Begin
  S:= ImageSize(3,18,80,74);
  GetMem(I1,S);
  GetImage(3,18,80,74,I1*);
  Limpia(3,18,80,74);
  Rectangle(3,18,80,74);
  Rectangle(5,19,78,73);
  OutTextXY(18,23,'Carga');
  OutTextXY(18,33,'Empaca');
  OutTextXY(18,43,'Dir ');
  OutTextXY(18,53,'ChDir');
  OutTextXY(18,63,'Desemp');
  y:=22;
  Carga:=False;
Repeat
  GetImage(14,y,62,y+8,P2*);
  PutImage(14,y,P2*,4);
  Car:=ReadKey;
  If Car=#0 Then Car:=ReadKey;
  If Car=#13 Then
  Case Y Of
    22 : Begin (* CARGA *)
      HORA := '';
      FECHA := '';
      Lee_Linear('Archivo ',Archi,50);
      If Copy(Archi,Length(Archi)-3,1) < >'.' Then Archi:=Archi+'.ACG';
      Lee_Ventana(eX(90),eY(80),eX(620),eY(95),
        'Proporcione la Fecha (MES DIA,ANO)',FECHA,100);
      Lee_Ventana(eX(90),eY(80),eX(620),eY(95),
        'Proporcione la Hora (HRS:MIN:SEG GMT)',HORA,100);
      Assign(f,Archi);
      {$I} Reset(f); {$I+}
      If IoResult < > 0 Then MarcoErrorGraf(' *** Este Archivo no Existe *** ',Archi)
      Else If Length(Archi) < > 0
      Then
        Begin
          Rectangle(eX(140),eY( 90),eX(500),eY(130));
          OutTextXY(eX(150),eY( 95),'Cargandose a Memoria el Archivo:');
          OutTextXY(eX(150),eY(105),' <' + Archi + '> ');
          OutTextXY(eX(150),eY(115),'....Favor de esperar');
        End;
      I:=1;
    End;
  End;
End;

```



```

While Not Eof(f) Do
  Begin (* CICLO PARA CARGAR A MEMORIA LOS REGISTROS *)
    Read(f,a);
    v[1]*i:=a.a;
    v[2]*i:=a.b;
    v[3]*i:=a.c;
    Inc(i);
  End;
TamArch:=i;

Limpia(eX(139),eY( 90),eX(621),eY(150));
OutTextXY(eX(75),eY( 95),'Lectura terminada.');
```

eje X ]

```

XVerdad:=Round(TamArch/100.0); { Calculo aproximado de Segundos para escala para el

  Str(XVerdad,St);
  OutTextXY(eX( 75),eY(105),'Se tiene aproximadamente ');
  OutTextXY(eX(280),eY(105),St+' segs de datos');
  OutTextXY(eX( 75),eY(115),'Realizando calculos de Maximos y Minimos');
  FillChar(MaxA,64,0);
  MaxMin(W,MaxA,MinA,MaxB,MinB,MaxC,MinC);
  MaxiMoAbs(MaximoY,MaxAbs,MaxA,MinA,MaxB,MinB,MaxC,MinC);
  YrangoA:=MaxA-MinA;
  YrangoB:=MaxB-MinB;
  YrangoC:=MaxC-MinC;
  Xrango:=W;
  Limpia(eX(70),eY( 89),eX(620),eY(150));
  End;
End; { Carga Case 22 }

32 : Empaca; (* EMPACA *)

42 : DirectorioGraf(20,7,Unidad,'*',Archi); (* DIRECTORIO *)

52 : Begin (* CAMBIA DIRECTORIO *)
  AuxDir:=Direc;
  Lee_Linea('Directorio ',AuxDir,50);
  {$I-} ChDir(AuxDir); {$I+}
  If IoResult<>0 Then
    Begin
      MarcoErrorGraf' *** No existe esta Ruta *** ',AuxDir;
      AuxDir:=Direc;
    End
  Else
    Unidad=AuxDir[1];
  End;

62 : UnPakefile; (* Desemp *)

End; { Case Y }
PutImage(14,y,P2^,0);
Case Car Of
#72 : If y<=22 Then y:=62 Else Dec(y,10);

```

```

#80 : If y >= 62 Then y: = 22 Else incl y, 10);
#59 : Case y Of
      22 : Ayuda(40); { Carga }
      32 : Ayuda(49); { Empaca }
      42 : Ayuda(62); { Dir }
      52 : Ayuda(67); { ChDir }
      62 : Ayuda(73); { Desemp }
End; { Case Y }
#104 : Ayuda(0); { Alt - F1 }
End; { Case Car }
Until (Car In [#27, #75, #77]) Or ((Car = #13) And (Y = 22));
PutImage(3, 18, 11, 0);
FreeMem(1, S);
End; { Archivo }

```

```

{:.....PROCEDIMIENTO AGRANDA.....:}
{: PROPOSITO: AGRANDA UNA PORCION DE LA GRAFICA DE ALGUNA COMPONENTE DEL :}
{: ACELEROGRAMA DE UN LIMITE INFERIOR A UNO SUPERIOR SEGUN LO DESEE EL :}
{: USUARIO. :}
{:.....:}

```

Procedure Agranda;

```

var
i,k,No,X,Ya,Xs,Yas,Yb,Ybs,
Yc,Ycs,Xverdad : Integer;
St : String ;
car : Char ;
t : Byte ;
j4 : Pointer;

```

Procedure Escala\_ZoomX(Xmin,Xzoom : Real);

```

var h : Integer;
Procedure Esc_X;
var P : Integer;
Begin
  SetTextStyle(2,Horizdir,3);
  Raux := 0.0;
  Str(Raux:1:0,St);
  OutTextXY(eX(50),eY(192),St); { escala 0 para el eje X }
  XVerdad := Round(Xrango/100); { escala para el eje X }
  For p := 1 to 10 do
  Begin
    K := eX(60) + p*eX(51);
    Raux := Raux + XVerdad/11;
    Str(Raux:3:1,St);
    OutTextXY(k-eX(10),eY(192),St);
  End;
  SetTextStyle(2,Horizdir,4);
End; { Esc_X }
Begin
  LineX(60),eY(180),eX(635),eY(180)); {Eje X}

```

```

Line(eX(60),eY(177),eX( 60),eY(182));
Line(eX(60),eY( 15),eX( 60),eY(165));      {Eje Y}
Line(eX(55),eY( 15),eX( 60),eY( 15));
Line(eX(55),eY(165),eX( 60),eY(165));

SetTextStyle(2,Vertdir,4);
OutTextXY(eX(2),eY(35),EjeY);
SetTextStyle(2,Horizdir,4);
OutTextXY(eX(540),eY(155),EjeX);
Str(MaximoY:3:1,St);      { escala MaximoY agrandar componentes}
OutTextXY(eX(30),eY( 10), St);
OutTextXY(eX(30),eY(160),'+' + St);

Raux := 0.0;
Str(Raux:1:0,St);
OutTextXY(eX(45),eY( 90),St);      {escala 0 para el eje Y}
SetTextStyle(2,Horizdir,4);
Raux := Xmin/100;
Str(Raux:3:1,St);
OutTextXY(eX(50),eY(183),St);      {escala Xmin para el eje X}
XVerdad := Round(Xzoom/100.0);      {escala para el eje X}
For h := 1 to 10 do
Begin
  K := eX(60) + h*(eX(51));
  Raux := Raux + XVerdad/10;
  Str(Raux:3:1,St);
  OutTextXY(k-eX(10),eY(182),St);
  Line(k,eY(177),k,eY(181));
End;
Esc_X;
End; { Escala_ZoomX }

Procedura Menuses_Agrandar;
Begin
  Limpia(263,18,340,74);
  Rectangle(263,18,340,70);
  Rectangle(265,19,338,69);
  SetTextStyle(0,HorizDir,1);
  OutTextXY(273,23,'C.Vert');
  OutTextXY(273,33,'C.N-S');
  OutTextXY(273,43,'C.E-O');
End; { Menuses_Agrandar }

Procedure MagComp(co:Integer; Yrango,Min:Real; Strn:String);
var
  St      : String ;
  Delta,Xmin,
  XMax,Xzoom : Real ;
  i,Xinc,Y,ys,
  X,Xs      : Integer;
  j,YT,YsT,XT,XsT : Integer;

```

```

Procedure DatMagComp;
Begin
  Rectangle(290,80,620,145);
  Rectangle(292,81,618,144);
  Limpia(380,75,385 + Length(' <' + Strn + '>')*8,83); { Limpia rectangulo para titulo }
  OutTextXY(385,77,'<' + Strn + '>');
  OutTextXY(300,85,'Dar en Segundos');
  OutTextXY(300,95,'Limite inferior Xo = ');
  OutTextXY(300,105,'Limite Superior Xf = ');
  OutTextXY(300,115,'Incremento en 0.01 Seg. Dt = ');
  Numeros(470,95,Xmin,4,St);
  Numeros(470,105,Xmax,4,St);
  Numeros(530,115,Delta,4,St);

  Limpia(285,75,620,150); {Limpia ventana de Numeros }
  Xmin:= Xmin*100;
  Xmax:= Xmax*100;
  Xzoom:= Xmax-Xmin;
  Xinc := Trunc(Delta*100);
  SetBkColor(LightBlue);
  SetColor(0);
  Bar(eX(1),eY(8),eX(639),eY(199));
  OutTextXY(eX(180),eY(10),Strn);
End; { DatMagComp }

```

```

Begin { MagComp }
  DatMagComp;
  Escala_ZoomX(Xmin,Xzoom);

  i:=Trunc(Xmin);
  j:=1;
  X:=60;XT:=60;
  YT:=180-Trunc((Round(v[co]^i))/100000.0-Min)/Yrango*20);
  Y:=165 - Trunc((Round(v[co]^i))/100000.0-Min)/Yrango*155);
  i:=i+Xinc;
  j:=j+Xinc;
  While j <= W do
  Begin
    XsT := 60 + Trunc(j)/Xrango*560);
    YsT := 180 - Trunc((Round(v[co]^j))/100000.0-Min)/Yrango*20);
    If (j>= Xmin) And (j<= Xmax) Then
      Begin
        Rectangle(eX(60 + Trunc((Xmin)/Xrango*560)),eY(157),
          eX(60 + Trunc((Xmax)/Xrango*560)),eY(183));
        Xs := 60 + Trunc((i-Xmin)/Xzoom*560);
        Ys := 165 - Trunc((Round(v[co]^i))/100000.0-Min)/Yrango*155);
        Line(eX(X),eY(Y),eX(Xs),eY(Ys));
        X:=Xs;
        Y:=Ys;
        Inc(i,Xinc);
      End; { * If i<= W * }
      Line(eX(XT),eY(YT),eX(XsT),eY(YsT));
  End;

```

```

        XT: = XsT;
        YT: = YsT;
        Inc(j,Xinc);
    End; { While j < =W }
    Write(#7);
    Repeat Until Keypressed;
    Barra_Comandos;
    SetBkColor(LightBlue);
    SetColor(1);
    Menus_Agrandar;
    LimpiaX(200,eY(70),eX(630),eY(135));
    End; {MagComp}

Begin { Comienza Procedimiento Agranda }
    Menus_Agrandar;
    t:= 22;
    Repeat
        GetImage(275,t,323,t+8,P2*);
        PutImage(275,t,P2*,4);
        Car:= ReadKey;
        If Car = #0 Then Car:= ReadKey;
        If Car = #13 Then
            Case T Of
                22 : MagComp(1,YrangoA,MinA,'Componente Vertical'); { Magnificar C. Vertical }

                32 : MagComp(2,YrangoB,MinB,'Componente Norte-Sur');{ Magnificar C. Norte-Sur }

                42 : MagComp(3,YrangoC,MinC,'Componente Este-Oeste');{ Magnificar C. Este-Oeste }

            End; { Case T }
            PutImage(275,t,P2*,0);
            Case Car Of
                #72 : If t < = 22 Then t:= 42 Else Dec(t,10);
                #80 : If t > = 42 Then t:= 22 Else Inc(t,10);
                #59 : Case t Of
                    22 : Ayuda(92); { Magnificar Componente Vertical }
                    32 : Ayuda(92); { Magnificar Componente N-S }
                    42 : Ayuda(92); { Magnificar Componente E-O }
                End;
                #104 : Ayuda(0); { Alt - F1 }
            End;
            Until (Car In [#27,#75,#77]) Or ((Car = #13) And (T = 22));
        Limpia(263,18,340,74);
    End; { Zoom }

```

```

{:.....PROCEDIMIENTO GRAFICA.....:}
{: PROPOSITO: GRAFICA LAS COMPONENTES O ACELEROGRAMAS VERTICAL, NORTE-SUR Y :}
{: ESTE-OESTE EN UNA SOLA PANTALLA Y TAMBIEN GRAFICA LOS ACELEROGRAMAS DE CADA:}
{: COMPONETE EN UNA SOLA PANTALLA. :}
{:.....:}

```

```

Procedura Grafica;

```

```

var

```

```

k,j,i,Xverdad,
Ya,Yb,Yc,Yas,Ybs,Ycs : Integer ;
St : String ;
z : Byte ;

```

```

Procedure InfoGraf;

```

```

Begin

```

```

SetColor(1); CharSize:=4;
SetTextStyle(2,Horizdir,CharSize);
OutTextXY(eX(110),eY(149),'Archivo: '); {Información de la Gráfica}
OutTextXY(eX(120),eY(149),ArchI);
OutTextXY(eX(110),eY(157),'Hora de inicio:');
OutTextXY(eX(120),eY(157),HORA); {HORA}
OutTextXY(eX(110),eY(165),'Fecha:');
OutTextXY(eX(120),eY(165),FECHA); {FECHA}
Str(MaximoY:3:0,St);
OutTextXY(eX(110),eY(175),'Maximo Absoluto: : gals');
OutTextXY(eX(120),eY(175),St);
OutTextXY(eX(430),eY(149),'Max (m/s)');
OutTextXY(eX(555),eY(149),'Min (m/s)');
OutTextXY(eX(320),eY(157),'Vertical:');
OutTextXY(eX(320),eY(165),'Norte-Sur:');
OutTextXY(eX(320),eY(173),'Este-Oeste:');
Str(MaxAbs[1]:7:5,St);
OutTextXY(eX(430),eY(157),St);
Str(MaxAbs[3]:7:5,St);
OutTextXY(eX(430),eY(165),St);
Str(MaxAbs[5]:7:5,St);
OutTextXY(eX(430),eY(173),St);
Str(MaxAbs[2]:7:5,St);
OutTextXY(eX(555),eY(157),St);
Str(MaxAbs[4]:7:5,St);
OutTextXY(eX(555),eY(165),St);
Str(MaxAbs[6]:7:5,St);
OutTextXY(eX(555),eY(173),St);
SetTextStyle(2,Vertdir,CharSize);
OutTextXY(eX(2),eY(10),EjeY);
SetColor(0);
End; {InfoGraf}

```

```

Procedure Escala_EjeX;

```

```

var h : Integer;

```

```

Begin

```

```

Line(eX(60),eY(130),eX(635),eY(130)); { Eje X }

```

```

Line(eX(60),eY(127),eX( 60),eY(134));
Line(eX(60),eY( 15),eX( 60),eY(120)); { Eje Y }
Line(eX(55),eY( 15),eX( 60),eY( 15));
Line(eX(55),eY(120),eX( 60),eY(120));

SetTextStyle(2,Horizdir,4);
OutTextXY(eX(260),eY(139),EjeX); { Titulo para Eje X }
SetTextStyle(2,Vertdir,4);
OutTextXY(eX(1),eY(15),EjeY); { Titulo para Eje Y }

SetTextStyle(2,Horizdir,4);
Raux := 0.0;
Str(Raux:1:0,St);
OutTextXY(eX(50),eY(135),St); { escala 0 para el eje X }
OutTextXY(eX(45),eY( 63),St); { escala 0 para el eje Y }

XVerdad:=Round(Xrango/100); { escala para el eje X }
For h := 1 to 10 do
Begin
K:=eX(60) + h*(eX(51));
Raux := Raux + XVerdad/11;
Str(Raux:3:1,St);
OutTextXY(k-eX(10),eY(131),St);
Line(k,eY(127),k,eY(130));
End;
Str(MaximoY:3:1,St); { escala MaximoY para c/u de las componentes }
OutTextXY(eX(30),eY( 15),St);
OutTextXY(eX(22),eY(115),',' + St);
End; { Escala_EjeX }

Procedure Menus;
Begin
Limpia(140,18,220,74);
Rectangle(140,18,219,70);

Rectangle(142,19,217,69);
SetTextStyle(0,HorizDir,1);
OutTextXY(152,23,'3-Comp. ');
OutTextXY(152,33,'Vert. ');
OutTextXY(152,43,'N-S');
OutTextXY(152,53,'E-O');
End;

Procedure Comp(ico:ShortInt; Yrango,Min:Real; Strn:String);
var
i,Y,Ys,X,Xs : Integer;

Begin
SetBkColor(LightBlue);
SetColor(0);
Bar(eY(2),eY(9),eX(638),eY(149));
InfoGraf;

```

```

Escala_EjeX;
OutTextXY(eX(350),eY(11),Strn);
i := 1;
X := 60;
Y := 120 - Trunc((Round(v[co]^(i))/100000.0-Min)/Yrango*105);
i := 24;
While i <= W Do
Begin
  Xs := 60 + Trunc(i)/Xrango*560;
  Ys := 120 - Trunc((Round(v[co]^(i))/100000.0-Min)/Yrango*105);
  Line(eX(X),eY(Y),eX(Xs),eY(Ys));
  X := Xs;
  Y := Ys;
  Inc(i,25);
End; (* While i <= W *)
Write(#7);
Repeat Until Keypressed;
Limpiar(eY(2),eY(9),eX(638),eY(189));
SetBkColor(LightBlue);
SetColor(1);
Menus;
End; { Comp }

```

Procedure trescomp;

Var

i,X,Xs : Integer;

Begin

```

SetBkColor(LightBlue);
SetColor(0);
Bar(eY(2),eY(9),eX(638),eY(149));
Line(eX(60),eY(130),eX(635),eY(130)); { Eje X }
Line(eX(60),eY(127),eX(60),eY(133));
Line(eX(60),eY(115),eX(60),eY(120)); { Eje Y }
Line(eX(55),eY(115),eX(60),eY(115));
Line(eX(55),eY(50),eX(60),eY(50));
Line(eX(55),eY(85),eX(60),eY(85));
Line(eX(55),eY(120),eX(60),eY(120));

```

InfoGraf; {Informacion de la grafica}

Charsize := 4;

SetTextStyle(2,Horizdir,Charsize);

OutTextXY(eX(200),eY(9),Titulo); { Titulos }

OutTextXY(eX(555),eY(19),'Vertical');

OutTextXY(eX(555),eY(55),'Norte-Sur');

OutTextXY(eX(555),eY(90),'Este-Oeste');

SetTextStyle(2,Horizdir,4);

OutTextXY(eX(260),eY(140),EjeX); { Titulo para Eje X }

SetTextStyle(2,Vertdir,4);

OutTextXY(eX(1),eY(15),EjeY); { Titulo para Eje Y }



```

      (* Escala ejeX para las 3 componentes *)
SetTextStyle(2,Horizdir,4);
Raux:=0.0;
Str(Raux:1:0,St);
OutTextXY(eX(50),eY(134),St); { Escala 0 para 3 Componentes eje X }
OutTextXY(eX(45),eY( 31),St); { Escala 0 para 3 Componentes ejes Y's }
OutTextXY(eX(45),eY( 68),St);
OutTextXY(eX(45),eY(101),St);

XVerdad:=0;
XVerdad:=Round(Xrango/100); {Escala para 3 Componentes eje X}
For i := 1 to 10 do
Begin
  K:=eX(60) + i*(eX(51));
  Raux := Raux + XVerdad/11;
  Str(Raux:3:1,St);
  OutTextXY(k-eX(10),eY(132),St);
  Line(k,eY(128),k,eY(132));
End;

Str(MaximoY:3:1,St); {Escala MaximoY para las 3 Componentes}
OutTextXY(eX(30),eY( 13),St);
OutTextXY(eX(22),eY( 43),'-'+St);
OutTextXY(eX(30),eY( 52),St);
OutTextXY(eX(22),eY( 78),'-'+St);
OutTextXY(eX(30),eY( 87),St);
OutTextXY(eX(22),eY(120),'-'+St);

i:= 1;
While i <= 560 Do
Begin
  PutPixel(eX(65+i),eY( 50),0);
  PutPixel(eX(65+i),eY( 85),0);
  PutPixel(eX(65+i),eY(120),0);
  Incl(i,5);
End;

i:= 1; { CICLO PARA GRAFICAR LAS 3 COMPONENTES EN UNA SOLA PANTALLA }
X := 60;
Ya:= 50 - Trunc((Round(v[1]^i)/100000.0-MinA)/YrangoA*35);
Yb:= 85 - Trunc((Round(v[2]^i)/100000.0-MinB)/YrangoB*35);
Yc:= 120 - Trunc((Round(v[3]^i)/100000.0-MinC)/YrangoC*35);
i := 25;
While i <= W Do
Begin
  Xs := 60 + Trunc(i)/Xrango*560;
  Yas:= 50 - Trunc((Round(v[1]^i)/100000.0-MinA)/YrangoA*35);
  Ybs:= 85 - Trunc((Round(v[2]^i)/100000.0-MinB)/YrangoB*35);
  Ycs:= 120 - Trunc((Round(v[3]^i)/100000.0-MinC)/YrangoC*35);
  Line(eX(X),eY(Ya),eX(Xs),eY(Yas));
  Line(eX(X),eY(Yb),eX(Xs),eY(Ybs));
  Line(eX(X),eY(Yc),eX(Xs),eY(Ycs));

```

```

X: = Xs;
Ya: = Yas;
Yb: = Ybs;
Yc: = Ycs;
Inc(i,25);
End; { * While i <= W * }
Write(#7);
Repeat Until Keypressed;
Limpia(eY(2),eY(9),eX(638),eY(189));
SetBkColor(LightBlue);
SetColor(1);
Menuses;
End; { TresComp }

Begin { Comienza procedimiento grafica }
Menuses;
z: = 22;
Repeat
  GetImage(149,z,210,z + 8,P2*);
  PutImage(149,z,P2*,4);
  Car: = ReadKey;
  If Car = #0 Then Car: = ReadKey;
  If Car = #13 Then
    Case Z Of
      22 : TresComp; { 3 Componentes }
      32 : Comp(1,YrangoA,MinA,'Componente Vertical'); { Componente Vertical }
      42 : Comp(2,YrangoB,MinB,'Componente Norte-Sur'); { Componente Norte-Sur }
      52 : Comp(3,YrangoC,MinC,'Componente Este-Oeste'); { Componente Este-Oeste }
    End; { Case Z }
  PutImage(149,z,P2*,0);
  Case Car Of
    #72 : If z <= 22 Then z: = 52 Else Dec(z,10);
    #80 : If z >= 52 Then z: = 22 Else Inc(z,10);
    #59 : Case z Of
      22 : Ayuda(80); { 3-Comp }
      32 : Ayuda(88); { Vert }
      42 : Ayuda(88); { N-S }
      52 : Ayuda(88); { E-O }
    End; { Case z }
    #104 : Ayuda(0); { Alt - F1 }
  End; { Case Car }
Until (Car in (#27,#76,#77)) Or ((Car = #13) And (z = 22));
Limpia(135,15,230,75);
End; { Grafica }

```

```

{:.....:}
{:      PROGRAMA PRINCIPAL      :}
{:.....:}

```

```

Begin (* programa principal *)

```

```

  DetectGraph(Driver,Mode);

```

```

  If Driver = 7 Then

```

```

    Begin

```

```

      Herc: = True;

```

```

      Driver: = HercMono;

```

```

      Mode: = HercMonoHi;

```

```

    End

```

```

  Else

```

```

    Begin

```

```

      Herc: = False;

```

```

      Driver: = Cgs;

```

```

      Mode : = CgsHi;

```

```

    End;

```

```

    InitGraph(Driver,Mode, '');

```

```

    Err := GraphResult;

```

```

    If Err < 0 then

```

```

      begin

```

```

        ClrScr;

```

```

        WriteLn('Error en Grafica: ', GraphErrorMsg(Err));

```

```

        Halt(1);

```

```

      end;

```

```

  If Herc Then

```

```

    CharSize: = 12

```

```

    Else CharSize: = 10;

```

```

{: SetBkColor(red); :}

```

```

{: Rectangle(eX(5),eY(5),eX(634),eY(194)); :}

```

```

{: SetTextStyle(1,Horizdir,CharSize); :}

```

```

{: OutTextXY(eX(70),eY(5),'ACEGRAF'); :}

```

```

  If Herc Then

```

```

    CharSize: = 5

```

```

    Else CharSize: = 4;

```

```

  SetTextStyle(2,Horizdir,CharSize);

```

```

  OutTextXY(eX(610),eY(27),' M');

```

```

  Bar(eX(100),eY(150),eX(539),eY(182));

```

```

  SetColor(0);

```

```

  OutTextXY(eX(185),eY(150),'Programa Analisis de Acelerogramas Ver.1.0');

```

```

  OutTextXY(eX(145),eY(160),'Escrito por : ANTONIO ZARATE SANTAMARIA. ');

```

```

  OutTextXY(eX(144),eY(170),'Derechos reservados (c) 1993 ENEP ACATLAN - Mexico');

```

```

  Inicializa;

```

```

  Loop: = 0;

```

```

  Repeat

```

```

    Inc(Loop,1);

```

```

    Delay(10);

```

```

  Until KeyPressed or (Loop > = 300);

```

```

  Barra_Comandos;

```

```

Ventanita_de_Presentacion;
Car:=ReadKey;
If Car=#0 Then Car:=ReadKey;
If Car In [#59] Then
Ayuda(105); { Ayuda inicio }
Limpia(eX(180),eY(60),eX(480),eY(140));
x:=eX(60);
x1:=eX(3);y1:=eY(32);
GetMem(p1,imageSize(eX(12),eY(0),eX(72),eY(7)));
GetMem(p2,imageSize(eX(0),eY(0),eX(200),eY(20)));
GetMem(v[1],SizeOf(Integer));
GetMem(v[2],SizeOf(Integer));
GetMem(v[3],SizeOf(Integer));
Carga:=False;
Repeat
GetImage(x-eX(2),eY(0),eX(56)+x,eY(7),p1);
PutImage(x-eX(2),eY(0),p1^,4);
Car:=ReadKey;
if Car=#0 Then Car:=ReadKey;
if Car In [#13,#80] Then
Case x Of
55..85 : Archivo;
160..220 : Grafica;
260..350 : Agranda;
400..490 : Begin
Res:='S';
Lee_Lineal'. Quiere realmente salir de ACEGRAF ? ... <S/N> ',Res,1);
If Uppcase(Res[1])='S' Then
Begin
ChDir(Direct);
CloseGraph;
Halt(1);
End Else If Uppcase(Res[1])='N' Then
Lee_Lineal' No Quiere salir de ACEGRAF ',Res,1);
End;
End; {Case x}
PutImage(x-eX(2),eY(0),p1^,0);
Case Car Of
#59 : Case x of
55..85 : Ayuda(13); { Archivo }
160..220 : Ayuda(19); { Grafica }
260..350 : Ayuda(28); { Agranda }
400..490 : Ayuda(35); { Salida }
End;
#104 : Ayuda(0); { Alt - F1 }
#75 : if x<=eX(60) Then x:=eX(404) Else dec(x,eX(116));
#77 : if x>=eX(404) Then x:=eX(60) Else inc(x,eX(116));
end; {Case Car}
Until (False=True);
Salida;
end.

```

```

C +-----+
C |PROGRAMA PARA ANALIZAR UNA RETICULA. |
C |ELABORO : AZS |
C +-----+
PROGRAM TES300
EXTERNAL ARCHI,PROP,SEC3,INDICAM,CALXLM,MATK,IMATR,MATM,IEDM
* ,ENSAMBLK,ENSAMBLM,BETANE,MULTMAT,RESUL1,FFIJ,ENCARFIM,VECCARGM
* ,DESPLA,RESUL,SELMAX,DESBARM,ELEMECM,RESUL2
DIMENSION A(10000),AKL(6,6),AKG(6,6),AML(6,6),AMG(6,6),IE(6),
*FL(6),FG(6),F(100),U(6),VC(6)
CHARACTER*51 DEMAS
CHARACTER*23 RUTA
CHARACTER*23 RUTA2
CHARACTER*7 NOMBR2
CHARACTER*1 DDR
CHARACTER*1 S1
CHARACTER*1 S2
CHARACTER*1 S3
CHARACTER*1 S4
CHARACTER*1 S5
CHARACTER*1 S6
CHARACTER*40 TIT
DO I = 1,10000
  A(I) = 0.0
ENDDO
DO I = 1,6
  IE(I) = 0
  DO J = 1,6
    AKL(I,J) = 0.0
    AKG(I,J) = 0.0
    AML(I,J) = 0.0
    AMG(I,J) = 0.0
  ENDDO
ENDDO

C
C ----> APERTURA DE ARCHIVO DE ENTRADA <-----
C
WRITE(*,108)
READ(*,110)NOMBR2
WRITE(*,112)
READ(*,114)DDR
RUTA(1:1) = DDR
RUTA(2:1+1) = CHAR(58)
RUTA(3:2+8) = 'PASO.DAT'
CALL ARCHI(RUTA,5,2,0)

C
C ----> APERTURA DE ARCHIVO DE SALIDA <-----
C
RUTA(3:2+10) = 'RESUL1.DAT'
CALL ARCHI(RUTA,9,2,0)

C
C ----> APERTURA DE ARCHIVO DE ACELEROGRAMA <-----

```

```

C
RUTA2(1:1)=DDR
RUTA2(2:1+1)=CHAR(58)
RUTA2(3:2+6)=NOMBR2
RUTA2(9:8+4)='DAT'
CALL ARCHIR(RUTA2,7,2,0)

C
C ---->   LECTURA DE DATOS INICIALES           <-----
C
READ(5,120)TIT,NODOS,NODCF,NBAR,NSEC,NMAT,NBARC,NODCA

C
C ---->   LECTURA DE DATOS NODALES           <-----
C
PUN = 1
PUN1 = 0
DO 10,I=1,NODOS
  READ(5,140)IAS,IA1,IA2,S1,IA3,IA4,S2
  A(PUN) = IA1 + IA2/1000.00
  IF(S1.EQ.CHAR(125)) A(PUN) = -A(PUN)
  A(NODOS + PUN) = IA3 + IA4/1000.00
  IF(S2.EQ.CHAR(125)) A(NODOS + PUN) = -A(NODOS + PUN)
  PUN1 = PUN1 + 2
10  PUN = PUN + 1
    PUN = 1 + 2*NODOS

C
C ---->   LECTURA DE CONDICIONES DE FRONTERA   <-----
C
DO 15,I=1,NODCF
  READ(5,145)IAS,IA1,IA2,IA3
  IAS = PUN + (IAS-1)*3
  A(IAS) = IA1
  A(IAS + 1) = IA2
  A(IAS + 2) = IA3
15  CONTINUE
    PUN = 1 + 5*NODOS + NBAR*7

C
C ---->   LECTURA DE DATOS DE SECCIONES TRANSVERSALES <-----
C
PUN1 = PUN
DO 30,I=1,NSEC
  READ(5,160)IAS,A(PUN1),A(PUN1 + NSEC),A(PUN1 + NSEC*2),
  • A(PUN1 + NSEC*3),A(PUN1 + NSEC*4)
  A(PUN1 + NSEC) = A(PUN1 + NSEC)/10000.00
  A(PUN1 + NSEC*2) = A(PUN1 + NSEC*2)/10000.00
  A(PUN1 + NSEC*3) = A(PUN1 + NSEC*3)/10000.00
  A(PUN1 + NSEC*4) = A(PUN1 + NSEC*4)/10000.00
30  PUN1 = PUN1 + 1
    PUN = PUN + 9*NSEC

C
C ---->   LECTURA DE DATOS DE MATERIALES       <-----
C
PUN1 = PUN

```

```

DO 40,I=1,NMAT
  READ(5,170)A(PUN1),A(INMAT+PUN1),A(INMAT*2+PUN1),A(INMAT*3+PUN1)
  A(INMAT+PUN1)=A(INMAT+PUN1)/10000.00
  A(INMAT*2+PUN1)=A(INMAT*2+PUN1)/10000.00
  A(INMAT*3+PUN1)=A(INMAT*3+PUN1)/10000.00
40  PUN1=PUN1+1
  PUN=PUN+4*NMAT
C
C ---->      LECTURA DE DATOS DE BARRAS      <-----
C
  PUN=5*NODOS+1
  PUN1=PUN
  DO 20,I=1,NBAR
    READ(5,150)IAS,A(PUN1),A(PUN1+NBAR),A(PUN1+2*NBAR),
    *A(PUN1+3*NBAR)
20  PUN1=PUN1+1
    PUN=PUN+7*NBAR
C
C ---->      LECTURA DE DATOS DE CARGAS EN BARRAS      <-----
C
  PUN=PUN+9*NSEC
  PUN=PUN+4*NMAT
  DO 50,I=1,NBARC
    READ(5,180)IAS,IA1,AU1,S1,AU2,S2,IA2,AU3,S3,AU4,S4,IA3,AU5,S5,
    *AU6,S6
    A(PUN)=IAS
    A(PUN+1)=1.00
    IF(IA2.GT.0) A(PUN+1)=2.00
    IF(IA3.GT.0) A(PUN+1)=3.00
    A(PUN+3)=IA1
    A(PUN+4)=AU1/1000.00
    IF(S1.EQ.CHAR(125)) A(PUN+4)=-A(PUN+4)
    A(PUN+5)=AU2/1000.00
    A(PUN+6)=IA2
    A(PUN+7)=AU3/1000.00
    IF(S3.EQ.CHAR(125)) A(PUN+7)=-A(PUN+7)
    A(PUN+8)=AU4/1000.00
    A(PUN+9)=IA3
    A(PUN+10)=AU5/1000.00
    IF(S5.EQ.CHAR(125)) A(PUN+10)=-A(PUN+10)
    A(PUN+11)=AU6/1000.00
50  PUN=PUN+12
C
C ---->      LECTURA DE DATOS DE CARGAS NODALES      <-----
C
  DO 60,I=1,NODCA
    READ(5,195)A(PUN),A(PUN+1),S1,A(PUN+2),S2,A(PUN+3),S3
    A(PUN+1)=A(PUN+1)/1000.00
    IF(S1.EQ.CHAR(125)) A(PUN+1)=-A(PUN+1)
    A(PUN+2)=A(PUN+2)/1000.00
    IF(S2.EQ.CHAR(125)) A(PUN+2)=-A(PUN+2)
    A(PUN+3)=A(PUN+3)/1000.00

```

```

      IF(S3.EQ.CHAR(125)) A(PUN + 3) = -A(PUN + 3)
80   PUN = PUN + 4
      II = 0
C
C ----> INICIO DE CALCULOS PARA FORMAR (K) Y (M) <-----
C
      PUN2 = 1
      PUN3 = PUN2 + NODOS
      PUN4 = PUN3 + NODOS
      PUN5 = PUN4 + NODOS*3
      PUN6 = PUN5 + NBAR*7
      PUN7 = PUN6 + NSEC*9
      PUN8 = PUN7 + NMAT
      PUN9 = PUN8 + NMAT
      PUN10 = PUN9 + NMAT
      PUN11 = PUN10 + NMAT
      PUN12 = PUN11 + NBARC*12
      PUN13 = PUN12 + NODCA*4
      CALL PROP(NSEC,A(PUN6))
      CALL SEC3(NSEC,A(PUN6),2)
      CALL INDICAM(IEC,NN,NODOS,A(PUN4))
      PUN14 = PUN13 + IEC*IEC
      PUN15 = PUN14 + IEC*IEC
      IF(PUN15.GT.10000) GOTO 80
      IH = 1
      DO 70,I = 1,NBAR
      * CALL CALXLM(A(PUN2),A(PUN3),A(PUN5),A(PUN6),A(PUN8),A(PUN9),
      * A(PUN10),NODOS,NBAR,NSEC,NMAT,EE,ENU,DEN,ZI,AREA,FY,EJ,COSENO,
      * SEN0,XL,I)
      CALL MATK(EE,ENU,ZI,FY,EJ,AREA,XL,COSENO,SEN0,AKL,AKG,FI)
      CALL MATM(DEN,EJ,AREA,XL,COSENO,SEN0,AML,AMG)
      CALL IEDM(IE,A(PUN5),A(PUN4),I,NBAR,NODOS)
      CALL ENSAMBLK(IEC,IE,AKG,A(PUN13))
      CALL ENSAMBLM(IEC,IE,AMG,A(PUN14))
      IF (NBARC.EQ.0) GOTO 70
      IF (IH.GT.NBARC)GOTO 70
      CALL FFIJ(FL,A(PUN11),FG,IH,XL,FI,SEN0,COSENO,I,NBARC)
      CALL ENCFRIM(FG,A(PUN5),F,A(PUN4),I,NBAR,NODOS)
70 CONTINUE
      WRITE (9,6064)
      CALL IMATRIA(PUN13),IEC,IEC)
      WRITE (9,6066)
      CALL IMATRIA(PUN14),IEC,IEC)
      CALL VECCARGM(INODCA,A(PUN4),A(PUN12),F,NODOS)
      CALL DESPLA(A(PUN13),F,IEC,NODOS)
      CALL RESUL(NODOS,F,A(PUN4))
      NA = 10000
C
C -----> LECTURA DEL ACELEROGRAMA <-----
C
      READ(7,210)IXO,IXF,NP,IDT,DEMÁS
      DT = IDT/100.00

```



```

DO KZ=1,NP
  KZS=PUN15+KZ-1
  READ(7,220)A(KZS)
ENDDO
MC=IEC
N1=PUN13
N2=PUN14
N3=PUN15
N4=PUN15-NP
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)NA,N21
READ(*,5010)NSINO
IF(NSINO.EQ.1)GOTO 80
IF(IN21.GT.NA)GOTO 80
GOTO 90
80 WRITE(*,200)
GOTO 9999
90 WRITE(*,6030)
READ(*,5020)ALFA
WRITE(*,6040)
READ(*,5020)ANU
WRITE(*,6050)
READ(*,5020)GAMA
WRITE(*,6060)
READ(*,5020)BETA
C
C -----> METODO GENERALIZADO DE B NEWMARK <-----
C
CALL BETANE (ALFA,ANU,GAMA,BETA,DT,NP,NC,A(1),A(2),A(3),A(4),
*A(5),A(6),A(7),A(8),A(9),A(10),A(11),A(12),A(13),A(14),
*A(15),A(16),A(17))
CALL RESULT(A(15),A(16),A(17),IEC,NP)
CALL SELMAX(A(15),NP,F,NODOS,IEC,A(PUN4))
DO II=1,6
  FG(II)=0.0
ENDDO

```

```

IH = 1
YW = 0
DO 95 I = 1, NBAR
  CALL CALXLM(A(PUN2), A(PUN3), A(PUN5), A(PUN6), A(PUN8), A(PUN9),
  * A(PUN10), NODOS, NBAR, NSEC, NMAT, EE, ENU, DEN, ZI, AREA, FY, EJ, COSENO,
  * SEN0, XL, I)
  CALL MATK(EE, ENU, ZI, FY, EJ, AREA, XL, COSENO, SEN0, AKL, AKG, FI)
  CALL IEDM(IE, A(PUN5), A(PUN4), I, NBAR, NODOS)
  IF (NBARC.EQ.0) GOTO 93
  IF (IH.GT.NBARC) GOTO 93
  CALL FFIJ(IFL, A(PUN11), FG, IH, XL, FI, SEN0, COSENO, I, NBARC)
93  CALL DESBARM(IE, F, U, NODOS)
  CALL ELEMECM(VC, FG, AKG, U, FL, COSENO, SEN0)
  CALL RESUL2(FL, A(PUN5), I, NBAR)
95  CONTINUE
  WRITE(*, 6070)
108  FORMAT(////, ' DIGITE NOMBRE DEL ARCHIVO DEL ACELEROGRAMA (max.6
  * caract. _____ )')
110  FORMAT(A6)
112  FORMAT(////, ' DIRECCION DEL DRIVE (A/C): _ ')
114  FORMAT(A1)
120  FORMAT(4X, A40, 1X, 7I5)
121  FORMAT(/, A10)
122  FORMAT(/, 2X, F15.4)
140  FORMAT(I5, I8, I3, 1A, I8, I3, 1A)
145  FORMAT(I5, 3I1)
150  FORMAT(I5, 4F5.0)
160  FORMAT(I5, F5.0, 4F12.0)
170  FORMAT(F5.0, 3F12.0)
180  FORMAT(I5, I1, F11.0, A1, F11.0, A1, I1, F11.0, A1, F11.0, A1, I1, F11.0,
  * A1, F11.0, A1)
195  FORMAT(F5.0, F11.0, A1, F11.0, A1, F11.0, A1)
200  FORMAT(//, 10X, 'MEMORIA INSUFICIENTE...')
210  FORMAT(I4, 1X, I4, 1X, I2, 1X, I2, A51)
220  FORMAT(F8.5)
5000  FORMAT(A)
5010  FORMAT(I1)
5020  FORMAT(F10.2)
6000  FORMAT(3X, /, ' Nombre del ARCHIVO de la matriz de rigidez y masas')
6020  FORMAT(I, 3X, ' DIMENSIONAMIENTO DEL PROGRAMA', I10,
  * /, 2X, ' DIMENSIONAMIENTO CALCULADO', I10,
  * /, 2X, ' EFECTUA EL CALCULO 0 = SI, 1 = NO')
6010  FORMAT(3X, /, ' Nombre del ARCHIVO del acelerograma ')
6030  FORMAT(3X, ' DAR LA CONSTANTE ALFA = ')
6040  FORMAT(I, 3X, ' DAR LACONSTANTE NU = ')
6050  FORMAT(I, 3X, ' DAR LA CONSTANTE GAMA = ')
6060  FORMAT(I, 3X, ' DAR LA CONSTANTE BETA = ')
6064  FORMAT(////, 6X, ' MATRIZ [K] ')
6066  FORMAT(////, 6X, ' MATRIZ [M] ')
6070  FORMAT(////, 3X, ' * * * PROCESO SATISFACTORIO * * * ')
9999  STOP
      END

```

C SUBROUTINA DE APERTURA Y CIERRE DE ARCHIVOS.

C  
C  
C

ELABORO : AZS

SUBROUTINE ARCH(NOMBRE,N1,N2,IND)

CHARACTER \*23 NOMBRE

\*(IND,EQ.1) GOTO 40

GOTO(10,20,30)N2

10 OPEN(N1,FILE=NOMBRE,ACCESS='SEQUENTIAL',FORM='FORMATTED',  
\*STATUS='NEW')

GOTO 40

20 OPEN(N1,FILE=NOMBRE,ACCESS='SEQUENTIAL',STATUS='OLD')

GOTO 40

30 CLOSE (N1)

40 RETURN

END

C SUBROUTINA QUE CALCULA LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS  
C SECCIONES TRANSVERSALES.

C  
C

ELABORO : AZS

SUBROUTINE PROP (NS, SEC)

DIMENSION SEC (NS,9)

CHARACTER \*40 TS

DO 90 I = 1, NS

ISEC = INT(SEC(I,1))

GOTO (10,20,30,35) ISEC

10 TS = 'SECCION RECTANGULAR'

B = SEC(I,2)

H = SEC(I,3)

CT = 1-B\*B\*B\*B/(12\*H\*H\*H\*H)

CT = 1.00/3.00-0.18764\*B\*CT/H

CT = H\*CT\*B\*B\*B

AREA = B\*H

ZI = B\*H\*\*3/12

FY = 1.2

GOTO 40

20 TS = 'SECCION T'

B = SEC(I,2)

H = SEC(I,3)

V = SEC(I,4)

T = SEC(I,5)

CT = SEC(I,6)

AREA = (H-T)\*V + B\*T

BV = B\*V

YM = (V\*H\*H\*0.5 + BV\*T\*T\*0.5)/AREA

YT = YM-T/2

HY = H/2-YM

ZI = BV\*T\*\*3/12 + V\*H\*\*3/12 + T\*BV\*YT\*YT + V\*HY\*\*3

```

D1 = ABS(YM)
D2 = ABS(H-YM)
D3 = ABS(D1-T)
S1 = B*(D1*D1*(5*D3*(-3*D1*D1 + 2*D3*D3) + 8*D1**3) + 3*D3**5)/60
S2 = V*(D2*D2*(5*D3*(3*D2*D2-2*D3*D3) + 8*D2**3) + 3*D3**5)/60
FY = AREA*(S1 + S2)/(ZI*ZI)
CT = 0.3*H*V**3/(1 + (V/H)**2)
GOTO 40
30  TS = 'SECCION I'
    B = SEC(I,2)
    H = SEC(I,3)
    V = SEC(I,4)
    T = SEC(I,5)
    AREA = (H-2*T)*V + 2*B*T
    ZI = ((B*T**3/12)*2 + 2*B*T*(H/2-T/2)**2 + V*(H-2*T)**3)/12
    D1 = H/2
    D2 = D1
    D3 = (H/2-T)
    C1 = B*(D1*D1*(5*D3*(-3*D1*D1 + 2*D3*D3) + 8*D1**3) - 3*D3**5)/60
    S2 = (V*8*D3**5 + 5*B*(D1*D1-D3*D3)*(4*D3*D3 + 3*B*(D1*D1-D3*D3)/V))
    S2 = S2*D3/60
    FY = 2*AREA*(S1 + S2)/(ZI*ZI)
    CT = 0.3*H*V**3/(1 + (V/H)**2)
    GOTO 40
35  AREA = SEC(I,2)
    ZI = SEC(I,3)
    FY = SEC(I,4)
    CT = SEC(I,5)
40  SEC(I,6) = AREA
    SEC(I,7) = ZI
    SEC(I,8) = FY
    SEC(I,9) = CT
90  CONTINUE
RETURN
END

```

```

C  SUBROUTINA QUE GRABA EN ARCHIVO LAS PROPIEDADES GEOMETRICAS
C  DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.
C  ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE SEC3 (NS,SEC,IND)
DIMENSION SECINS(9)
IF (IND - 1) 90,10,10
10  WRITE (9,20)
DO 15 IZZ = 1, NS
15  WRITE (9,30) IZZ, SEC(IZZ,6), SEC(IZZ,7), SEC(IZZ,8), SEC(IZZ,9)
20  FORMAT ('PROPIEDADES DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES',/, 'NO. DE SEC
ACION AREA IZ FY J')
30  FORMAT (6X, I3, 8X, E12.6, 3X, E12.6, 4X, E12.6, 4X, E12.6)
90  RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA PARA DETERMINAR EL INDICADOR DE ECUACION.
C
C   ELABORO : AZS
C
SUBROUTINE INDICAM (IEC,NN,ND,AID)
DIMENSION AID(3,ND)
CHARACTER *1 PUL
IEC = 0
NN = 0
DO 20 I = 1,ND
  DO 20 K = 1,3
    ID = INT(AID(K,I))
    IF (ID-1) 10,5,10
5    NN = NN + 1
    AID (K,I) = 0
    GOTO 20
10   IEC = IEC + 1
    AID (K,I) = IEC
20   CONTINUE
WRITE (*,30)IEC
READ (*,40) PUL
30  FORMAT(//,'NO. DE ECUACIONES A RESOLVER',I3,//,6X,'OPRIMA RETURN')
40  FORMAT(A1)
  RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA PARA CALCULAR LA LONGITUD Y COSENO DIRECTORES
C   DE BARRA.
C   ELABORO : AZS
C
SUBROUTINE CALXLM (X,Y,BA,SEC,E,VNU,VDEN,ND,NB,NS,NM,EE,ENU,DEN,ZI
*,AREA,FY,EJ,COSEN,SENO,XL,I)
DIMENSION X(ND),Y(ND),BA(NB,7),SEC(NS,9),E(NM),VNU(NM),VDEN(NM)
L = BA(I,3)
AREA = SEC(L,6)
ZI = SEC(L,7)
FY = SEC(L,8)
EJ = SEC(L,9)
L = INT(BA(I,4))
EE = E(L)
ENU = VNU(L)
DEN = VDEN(L)
L = INT(BA(I,2))
LI = INT(BA(I,1))
XI = X(L)-X(LI)
YI = Y(L)-Y(LI)
XL = SQRT(XI*XI + YI*YI)
SENO = YI/XL

```

```

COSEN = XI/XL
BA(I, 5) = XL
BA(I, 6) = SENO
BA(I, 7) = COSEN
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINE QUE CALCULA LA MATRIZ DE RIGIDECES EN COORDENADAS
C   LOCALES Y GLOBALES.
C   ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE MATK (EE, ENU, ZI, FY, EJ, AREA, XL, COSEN, SENO, RL, RG, FI)
DIMENSION RL(6,6), RG(6,6)
G = EE/(11 + ENU)*2
FI = (12*EE*ZI*FY)/(AREA*G*XL*XL)
C1 = (EE*ZI)/(11 + FI)*XL
RL(1,1) = G*EJ/XL
RL(2,2) = C1*(12/XL*XL)
RL(3,3) = C1*(4 + FI)
RL(3,6) = C1*(2-FI)
RL(2,3) = C1*(6/XL)
RL(1,4) = -RL(1,1)
RL(2,5) = -RL(2,2)
RL(2,6) = -RL(2,3)
RL(3,5) = -RL(2,6)
RL(4,4) = RL(1,1)
RL(5,5) = RL(2,2)
RL(5,6) = -RL(2,3)
RL(6,6) = RL(3,3)
DO 10 I = 1, 6
  DO 10 JJ = 1, 6
10  RL(JJ,I) = RL(I,JJ)
  RG(1,1) = COSEN*COSEN*RL(1,1) + SENO*SENO*RL(3,3)
  RG(1,2) = COSEN*SENO*(RL(1,1)-RL(3,3))
  RG(2,2) = SENO*SENO*(RL(1,1) + COSEN*COSEN*RL(3,3))
  RG(1,3) = SENO*RL(2,3)
  RG(2,3) = -COSEN*RL(2,3)
  RG(3,3) = RL(2,2)
  RG(1,4) = COSEN*COSEN*RL(1,4) + SENO*SENO*RL(3,6)
  RG(2,4) = SENO*COSEN*(RL(1,4)-RL(3,6))
  RG(3,4) = SENO*RL(2,6)
  RG(4,4) = COSEN*COSEN*RL(4,4) + SENO*SENO*RL(6,6)
  RG(1,5) = COSEN*SENO*(RL(1,4)-RL(3,6))
  RG(2,5) = SENO*SENO*RL(1,4) + COSEN*COSEN*RL(3,6)
  RG(3,5) = -COSEN*RL(2,6)
  RG(4,5) = COSEN*SENO*(RL(4,4)-RL(6,6))
  RG(5,5) = SENO*SENO*RL(4,4) + COSEN*COSEN*RL(6,6)
  RG(1,6) = SENO*RL(3,5)
  RG(2,6) = -COSEN*RL(3,5)
  RG(3,6) = RL(2,5)

```

```

RG(4,6) = SENO*RL(5,6)
RG(5,6) = -COSEN*RL(5,6)
RG(6,6) = RL(5,5)
DO 20 II = 1,6
  DO 20 JJ = 1,6
20   RG(JJ,II) = RG(II,JJ)
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA QUE CALCULA LA MATRIZ DE MASAS EN COORDENADAS
C   LOCALES Y GLOBALES.
C   ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE MATM (DEN,EJ,AREA,XL,COSEN,SENO,AL,AG)
DIMENSION AL(6,6),AG(6,6)
FACT = DEN*AREA*XL/(981*420)
AL(1,1) = FACT*EJ*140/(DEN*AREA/981)
AL(1,4) = AL(1,1)/2
AL(2,2) = 4*XL*XL*FACT
AL(2,3) = 22*XL*FACT
AL(2,5) = -3*XL*XL*FACT
AL(2,6) = 13*XL*FACT
AL(3,3) = 156*FACT
AL(3,5) = -AL(2,6)
AL(3,6) = 54*FACT
AL(4,4) = AL(1,1)
AL(5,5) = AL(2,2)
AL(5,6) = -AL(2,3)
AL(6,6) = AL(3,3)
DO 10 II = 1,6
  DO 10 JJ = 1,6
10   AL(JJ,II) = AL(II,JJ)
AG(1,1) = COSEN*COSEN*AL(1,1) + SENO*SENO*AL(3,3)
AG(1,2) = COSEN*SENO*(AL(1,1)-AL(3,3))
AG(2,2) = SENO*SENO*AL(1,1) + COSEN*COSEN*AL(3,3)
AG(1,3) = SENO*AL(2,3)
AG(2,3) = -COSEN*AL(2,3)
AG(3,3) = AL(2,2)
AG(1,4) = COSEN*COSEN*AL(1,4) + SENO*SENO*AL(3,6)
AG(2,4) = SENO*COSEN*(AL(1,4)-AL(3,6))
AG(3,4) = SENO*AL(2,6)
AG(4,4) = COSEN*COSEN*AL(4,4) + SENO*SENO*AL(6,6)
AG(1,5) = COSEN*SENO*(AL(1,4)-AL(3,6))
AG(2,5) = SENO*SENO*AL(1,4) + COSEN*COSEN*AL(3,6)
AG(3,5) = -COSEN*AL(2,6)

```

```

AG(4,5) = COSEN*SENO*(AL(4,4)-AL(6,6))
AG(5,5) = SENO*SENO*AL(4,4) + COSEN*COSEN*AL(6,6)
AG(1,6) = SENO*AL(3,5)
AG(2,6) = -COSEN*AL(3,5)
AG(3,6) = AL(2,5)
AG(4,6) = SENO*AL(5,6)
AG(5,6) = -COSEN*AL(5,6)
AG(6,6) = AL(5,5)
DO 20 II = 1,6
  DO 20 JJ = 1,6
20   AG(JJ,II) = AG(II,JJ)
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA PARA CALCULAR EL VECTOR DE INDICADORES DE ECUA-
C   CION PARA EL ENSAMBLE.
C   ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE IEDM (IE,BA,AID,I,NB,ND)
DIMENSION IE(6), BA(NB,7), AID(3,ND)
DO 10 IJ = 1,3
  L = BA(I,1)
  IE(IJ) = AID(IJ,L)
  L = BA(I,2)
10  IE(IJ + 3) = AID(IJ,L)
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA QUE ENSAMBLA LA MATRIZ DE RIGIDECES DEL SISTEMA
C   ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE ENSAMBLK (IEC,IE,RG,AK)
DIMENSION IE(6), RG(6,6), AK(IEC,IEC)
DO 20 II = 1,6
  IK = IE(II)
  IF (IK.LE.0) GOTO 20
  DO 10 JJ = 1,6
    JK = IE(JJ)
    IF (JK.LE.0) GOTO 10
    AK(IK,JK) = AK(IK,JK) + RG(II,JJ)
10  CONTINUE
20  CONTINUE
RETURN
END

```



```

C   SUBROUTINA QUE ENSAMBLA LA MATRIZ DE MASAS DEL SISTEMA
C   ELABORO : AZS

```

```

C
SUBROUTINE ENSAMBLM (IEC,IE,AMG,AM)
DIMENSION IE(6),AMG(6,6),AM(IEC,IEC)
DO 20 II=1,6
  IK=IE(II)
  IF (IK.LE.0) GOTO 20
  DO 10 JJ=1,6
    JK=IE(JJ)
    IF (JK.EQ.0) GOTO 10
    AM(IK,JK)=AM(IK,JK)+AMG(II,JJ)
10  CONTINUE
20  CONTINUE
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA PARA IMPRIMIR UNA MATRIZ DE M*N
C   ELABORO : AZS.

```

```

SUBROUTINE IMATRIA, NR, NC)
DIMENSION A(NR, NC)
DO 100 L=1,NC,5
  M = L + 4
  IF (M.GT.NC) M=NC
  WRITE(9,6000)(K,K=L,M)
  DO 100 I=1,NR
    WRITE(9,6010)I,(A(I,J),J=L,M)
100 CONTINUE
RETURN
6000 FORMAT(/,9X,14,4(10X,14))
6010 FORMAT(1X,14,5(1PE14.6))
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA PARA MULTIPLICAR [A] X [B]
C   ELABORO : AZS

```

```

C
SUBROUTINE MULMAT (AMATA,AMATB,AMATC,NRA,NCA,NRB,NCB)
DIMENSION AMATA(NRA,NCA),AMATB(NRB,NCB),AMATC(NRA,NCB)
DO I=1,NRA
  DO J=1,NCB
    XX=0.0
    DO K=1,NCA
      XX=XX+AMATA(I,K)*AMATB(K,J)
    ENDDO
    AMATC(I,J)=XX
  ENDDO
ENDDO
RETURN
END

```

```

C      SUBROUTINA DEL METODO B DE NEWMARK
C      ELABORO : AZS
C
SUBROUTINE BETANE(ALFA,ANU,GAMA,BETA,DT,NPUNT,N,AK,AM,ACEL,AMK,
*DESO,VELO,ACEO,VA,VB,VR,VAUX1,VAUX2,VAUX3,VAUX4,DES,VEL,ACE)
DIMENSION AK(N,N),AM(N,N),ACEL(NPUNT),AMK(N,N),DESO(N),VELO(N),
*ACEO(N),VA(N),VB(N),VR(N),VAUX1(N),VAUX2(N),VAUX3(N),VAUX4(N),
*DES(N,NPUNT),VEL(N,NPUNT),ACE(N,NPUNT)
EO=GAMA*DT
DT2=DT*DT
E1=BETA*DT2
EK1=1+EO*ALFA
EK2=EO*ANU+E1
EA1=DT-EO
EB1=(0.5-BETA)*DT2
DT1=DT
DO I=1,N
  VA(I)=0
  VB(I)=0
  VAUX4(I)=1
ENDDO
DO I=1,N
  DO J=1,N
    AMK(I,J)=EK1*AM(I,J)+EK2*AK(I,J)
  ENDDO
ENDDO
CALL TCGSIM(AMK,N)
DO K=1,NPUNT
  DO I=1,N
    VA(I)=VELO(I)+EA1*ACEO(I)
    VB(I)=DESO(I)+DT*VELO(I)+EB1*ACEO(I)
  ENDDO
  DO I=1,N
    VAUX1(I)=ANU*VA(I)+VB(I)
  ENDDO
  CALL MULMAT (AK,VAUX1,VAUX2,N,N,N,1)
  CALL MULMAT (AM,VA,VAUX1,N,N,N,1)
  CALL MULMAT (AM,VAUX4,VAUX3,N,N,N,1)
  DO I=1,N
    VR(I)=-ACEL(K)*VAUX3(I)-ALFA*VAUX1(I)-VAUX2(I)
  ENDDO
  CALL SCGSIM(AMK,VR,N)
  DO I=1,N
    ACEO(I)=VR(I)
    VELO(I)=VA(I)+EO*ACEO(I)
    DESO(I)=VB(I)+E1*ACEO(I)
  ENDDO
  DO I=1,N
    DES(I,K)=DESO(I)
    VEL(I,K)=VELO(I)
    ACE(I,K)=ACEO(I)
  ENDDO

```

```

C      DT = DT + DT1
      ENDDO
      RETURN
      END

```

```

C      SUBROUTINA PARA TRIANGULIZAR (K)
C      ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE TCGSIM(AKM,N1)
DIMENSION AKM(N1,N1)
AKM(1,1) = SQRT(AKM(1,1))
AKM(1,2) = AKM(1,2)/AKM(1,1)
AKM(2,2) = SQRT(AKM(2,2) - AKM(1,2)**2)
DO J = 3,N1
  AKM(1,J) = AKM(1,J)/AKM(1,1)
  IB = J-1
  DO I = 2,IB
    XX = 0
    KS = I-1
    DO KK = 1,KS
      XX = XX + AKM(KK,J)*AKM(KK,I)
    ENDDO
    AKM(I,J) = (AKM(I,J) - XX)/AKM(I,I)
  ENDDO
  XX = 0
  DO KK = 1,IB
    XX = XX + AKM(KK,J)**2
  ENDDO
  AKM(J,J) = SQRT(AKM(J,J) - XX)
ENDDO
RETURN
END

```

```

C      SUBROUTINA PARA SUSTITUIR HACIA ADELANTE Y HACIA ATRAS
C      SEGUN EL METODO DE CHOLESKY.
C      ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE SCGSIM(AKM,VR,N)
DIMENSION AKM(N,N),VR(N)
VR(1) = VR(1)/AKM(1,1)
DO I = 2,N
  XX = 0
  KS = I-1
  DO KK = 1,KS
    XX = XX + AKM(KK,I)*VR(KK)
  ENDDO

```

```

      VR(I) = (VR(H)-XX)/AKM(I,I)
ENDDO
VR(N) = VR(N)/AKM(N,N)
IB = N-1
DO I = 1, IB
  IA = N-I
  KI = IA + 1
  XX = 0
  DO KK = KI, N
    XX = XX + AKM(IA, KK) * VR(KK)
  ENDDO
  VR(IA) = (VR(IA)-XX)/AKM(IA, IA)
ENDDO
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA QUE GRABA EN ARCHIVO LOS DESPLAZAMIENTOS,
C   VELOCIDADES Y ACELERACIONES RELATIVOS.
C   ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE RESUL1 (DE,VE,AC,IGL,IPI)
DIMENSION DE((IGL,IPI),VE((IGL,IPI),AC((IGL,IPI)
WRITE(9,600)
WRITE(9,610)
WRITE(9,620)
DO 40 IZZ = 1, IPI
  DO 30 JZZ = 1, IGL
    IF(JZZ-1) 20,10,20
10    WRITE(9,630) IZZ, JZZ, DE(JZZ, IZZ), VE(JZZ, IZZ), AC(JZZ, IZZ)
    GOTO 30
20    WRITE(9,640) JZZ, DE(JZZ, IZZ), VE(JZZ, IZZ), AC(JZZ, IZZ)
30    CONTINUE
40  CONTINUE
600  FORMAT(///,23X,'DE PLAZAMIENTOS RELATIVOS')
610  FORMAT(/,25X,' ')
620  FORMAT(/,7X,'PASO GRAD-LIB DESPLAZAMIENTOS VELOCIDADES
* ACELERACIONES',/, '-----')
*-----)
630  FORMAT (/,5X,15,5X,15,5X,E14.6,4X,E14.6,4X,E14.6)
640  FORMAT (/,15X,15,5X,E14.6,4X,E14.6,4X,E14.6)
690  RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA QUE CALCULA LAS FUERZAS DE FIJACION EN REFERENCIA
C   LOCAL Y GLOBAL
C   ELABORO : AZS
C
SUBROUTINE FFIJ(FL,CA,FG,IH,XL,FI,SENO,COSENO,I,NBC)

```

```

DIMENSION FL(6),FG(6),CA(3,4*NBC)
IVI = 1 + 4 * (IH-1)
IVF = 4 * IH
IF (CA(1,IVI),NE,II) GOTO 90
DO IZZ = 1,6
  FL(IZZ) = 0.0
ENDDO
DO 40 IZZ = 1,CA(2,IVI)
  IU = IZZ + IVI
  IF(CA(1,IU)-1)20,10,20
10   W = -CA(2,IU)
     F1 = W/2 * XL
     F2 = F1
     F3 = W * XL * XL/12
     F4 = -F3
     GOTO 30
20   V1 = -CA(2,IU)
     A1 = CA(3,IU)
     AA = XL-A1
     AB = AA * AA
     AC = XL + 2 * A1
     AD = 1 + FI
     YI = ((AB * AC)/(AD * XL * XL) * (-V1) + ((AA/(AD * XL)) * (-V1) * FI)
     YJ = ((A1 * AB)/(AD * XL * XL) * (-V1) + ((A1 * AA)/(2 * AD * XL) * (-V1) * FI)
     XIY = (-V1) * YI
     XJM = YI * XL - YJ + V1 * AA
     F1 = -YI
     F2 = -XIY
     F3 = -YJ
     F4 = -XJM
30   FL(2) = FL(2) + F1
     FL(3) = FL(3) + F3
     FL(5) = FL(5) + F2
     FL(6) = FL(6) + F4
40 CONTINUE
   IH = IH + 1
   CC = FL(1)
   FG(1) = COSENO * FL(1) + SENO * FL(3)
   FG(2) = SENO * CC - COSENO * FL(3)
   CC = FL(4)
   FG(4) = COSENO * CC + SENO * FL(6)
   FG(5) = SENO * CC - COSENO * FL(6)
   FG(3) = FL(2)
   FG(6) = FL(5)
90 RETURN
END

```

```
C SUBROUTINA PARA ENSAMBLE DE LAS CARGAS DE FIJACION
C ELABORO : AZS
```

```
C
SUBROUTINE ENCFIM(FG,BA,F,AID,I,NB,ND)
DIMENSION FG(6),BA(NB,7),F(3*ND),AID(3,ND)
DO IZZ = 1,6
  FG(IZZ) = -FG(IZZ)
ENDDO
DO 40 IZZ = 1,3
  IL = BA(I,1)
  IK = AID(IZZ,IL)
  IL = BA(I,2)
  IJ = AID(IZZ,IL)
  IF(IK.LE.0) GOTO 30
  F(IK) = F(IK) + FG(IZZ)
30 IF(IJ.LE.0) GOTO 40
  F(IJ) = F(IJ) + FG(IZZ + 3)
40 CONTINUE
RETURN
END
```

```
C SUBROUTINA PARA ENSAMBLAR LAS CARGAS NODALES AL VECTOR
C DE CARGAS.
```

```
C ELABORO : AZS
SUBROUTINE VECCARGM(INC,AID,FP,F,ND)
DIMENSION AID(3,ND),FP(INC,4),F(ND*3)
DO 20 I = 1,NC
  DO 10 J = 1,3
    IK = AID(J,FP(I,1))
    IF(IK.LE.0) GOTO 10
    F(IK) = F(IK) + FP(I,J + 1)
10 CONTINUE
20 CONTINUE
RETURN
END
```

```
C SUBROUTINA PARA CALCULAR DESPLAZAMIENTOS CASO ESTADICO
C ELABORO : AZS
```

```
C
SUBROUTINE DESPLA(BK,F,IEC,ND)
DIMENSION BK(IEC,IEC),F(ND*3)
DIMENSION AMK(3,3)
DO I = 1,IEC
  DO J = 1,IEC
    AMK(I,J) = BK(I,J)
  ENDDO
ENDDO
CALL TCGSIM(AMK,IEC)
CALL SCGSIM(AMK,F,IEC)
RETURN
END
```

```
C   SUBROUTINA QUE GRABA DESPLAZAMIENTOS DEL CASO ESTATICO
C   ELABORO : AZS
```

```
C
```

```

SUBROUTINE RESUL(ND,F,AID)
DIMENSION F(ND*3),AID(3,ND)
WRITE(9,10)
WRITE(9,20)
DO IZ = 1,ND
  NX = AID(1,IZ)
  NY = AID(2,IZ)
  NXY = AID(3,IZ)
  F1 = 0.0
  F2 = 0.0
  F3 = 0.0
  IF (NX.GT.0) F1 = F(NX)
  IF (NY.GT.0) F2 = F(NY)
  IF (NXY.GT.0) F3 = F(NXY)
  WRITE(9,30) IZ, F1, F2, F3
ENDDO
10 FORMAT(////,3X,'RESULTADOS CASO ESTATICO')
20 FORMAT(//,25X,'D E S P L A Z A M I E N T O S',/,3X,'NO. DE NODO
  *   GX           DZ           GY')
30 FORMAT(//,8X,/,3,8X,E14.6,4X,E14.6,4X,E14.6)
RETURN
END
```

```
C   SUBRUTINA QUE SELECCIONA EL DESPLAZAMIENTO DINAMICO MAXIMO
C   Y SUPERPONE CON LOS DESPLAZAMIENTOS ESTATICOS.
C   ELABORO : AZS
```

```
C
```

```

SUBROUTINE SELMAX(UU,IPUN,F,ND,IGL,AID)
DIMENSION UU(IGL,IPUN),F(ND*3),AID(3,ND)
DMAX = 0.0
DO 90 IZZ = 1,IGL
  DO 20 JZZ = 1,IPUN
    DMA = UU(IZZ,JZZ)*UU(IZZ,JZZ)
    DMAX = DMAX + DMA
  20  CONTINUE
    DMA = SQRT(DMAX)
    DO 50 I = 1,ND
      DO 40 J = 1,3
        IK = AID(J,I)
        IF(IK-IZZ) 40,30,40
      30  F(IK) = F(IK) + DMA
          DMAX = 0.0
          GOTO 90
    40  CONTINUE
  50  CONTINUE
  90  CONTINUE
RETURN
END
```

```

C   SUBROUTINA QUE PASA LOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES AL VECTOR
C   U(I) EN REFERENCIA GLOBAL.
C   ELABORO : AZS
C

```

```

SUBROUTINE DESBARM(I,E,F,U,ND)
DIMENSION U(6),F(ND*3),IE(6)
DO 20 IJ=1,6
  IK=IE(IJ)
  IF (IK.LE.0) GOTO 10
  U(IJ)=F(IK)
  GOTO 20
10  U(IJ)=0.0
20  CONTINUE
RETURN
END

```

```

C   SUBROUTINA PARA CALCULAR LOS ELEMENTOS MECANICOS, POR BARRA
C   EN COORDENADAS LOCALES.
C   ELABORO : AZS      EM = (K)*U
C

```

```

SUBROUTINE ELEMECM(VC,FG,RG,U,FL,COSENO,SENO)
DIMENSION VC(6),FG(6),RG(6,6),U(6),FL(6)
DO JI=1,6
  XX=0.0
  DO JJ=1,6
    XX=XX+RG(JI,JJ)*U(JJ)
  ENDDO
  VC(6)=XX
ENDDO
DO IJ=1,6
  VC(IJ)=VC(IJ)+FG(IJ)
  FG(IJ)=0.0
ENDDO
FL(1)=1.1*(COSENO*VC(1)+SENO*VC(2))
FL(2)=1.1*VC(3)
FL(3)=1.1*(SENO*VC(1)-COSENO*VC(2))
FL(4)=1.1*(COSENO*VC(4)+SENO*VC(5))
FL(5)=1.1*VC(6)
FL(6)=1.1*(SENO*VC(4)-COSENO*VC(5))
RETURN
END

```



```

C   SUBROUTINA PARA GRABAR EN DISCO LOS ELEMENTOS MECANICOS
C   EN COORDENADAS LOCALES.
C   ELABORO : AZS
C
SUBROUTINE RESUL2(FL,BA,I,NB)
DIMENSION FL(6),BA(NB,7)
IF (I.GT.1) GOTO 5
WRITE(9,10)
WRITE(9,20)
WRITE(9,30)
WRITE(9,40)
WRITE(9,50)
5 WRITE(9,60)I,BA(I,1),FL(1),FL(2),FL(3),BA(I,5)
WRITE(9,70)BA(I,2),FL(4),FL(5),FL(6)
10 FORMAT(////,31X,'ELEMENTOS MECANICOS')
20 FORMAT(/,24X,'R E F E R E N C I A   L O C A L')
30 FORMAT(/,16X,'MOMENTO   FUERZA   MOMENTO')
40 FORMAT(/,1X,'BARRA NODO   TORSIONANTE   CORTANTE   FLEXIONAN
*TE LONGITUD')
50 FORMAT(/,12X,'-----')
*-----')
60 FORMAT(/,2X,I3,3X,F3.0,3X,E14.6,2X,E14.6,2X,E14.6,2X,E14.6)
70 FORMAT(/,8X,F3.0,3X,E14.6,2X,E14.6,2X,E14.6)
RETURN
END

```