

130
28



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“PROGRAMAS DE MICROCOMPUTADORAS
PARA ANALISIS SISMICO EN EDIFICIOS”**

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
GONZALO RAMIREZ TORRES

México, D. F.

1987



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.

CONTENIDO

CAPITULO I	INTRODUCCION	1
	Preambulo Histórico	2
CAPITULO II	ANALISIS SISMICO ESTATICO	6
	Diagrama de Bloques	12
	Programa	13
CAPITULO III	OBTENCION DE RIGIDECES EN ENTREPISOS	14
	Método de las rigideces	16
	Método de Cholesky	20
	Diagrama de Bloques	30
	Programa	32
CAPITULO IV	ANALISIS SISMICO DINAMICO MODAL	36
	Método de Newmark	44
	Método de Holzer	48
	Espectro de diseño	50
	Diagrama de Bloques	59
	Programa	60
CAPITULO V	DISTRIBUCION POR TORSION	63
	Obtención de los nuevos ejes de rigidez	68

	Obtención del centro de torsión	69
	Obtención del centro de cortante y excentricidades	70
	Obtención de Cortantes	71
	Diagrama de Bloques	74
	Programa	75
CAPITULO VI	EJEMPLOS DE APLICACION	78
	Ejemplo uno	79
	Ejemplo dos	89
CAPITULO VII	CONCLUSIONES	121
	AGRADECIMIENTOS	128
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	129

CAPITULO I

INTRODUCCION

Dentro del campo de acción de las ingenierías como profesiones de aplicación matemática, el uso de programas y paquetes de computadora resultan ser sin duda de gran utilidad, debido principalmente a la rápida ejecución de los cálculos que se requieren hacer para resolver un problema, en consecuencia al ser menor el tiempo de proceso de cálculo, trae consigo una considerable disminución en costos de operación.

Otra gran ventaja con la que se cuenta al hacer uso de programas y paquetes es la seguridad de los resultados que se obtienen del programa que utilizamos. Esto conduce a poner atención en proporcionar correctamente los datos que el programa requiere para ser ejecutado.

En el ámbito de la Ingeniería Civil uno de los problemas que con gran frecuencia se enfrenta el Ingeniero, es el de diseño sísmico para edificios, este problema resulta ser ideal para programar por computadora, con lo que hacemos más rápida la determinación de las fuerzas actuantes en una estructura producidas por movimientos sísmicos.

Bajo estas circunstancias, el presente trabajo fue realizado para dar solución a este problema, describiéndose las diferentes teorías en las que se basa cada programa de computadora para resolver el problema de análisis sísmico.

Aunque en la actualidad hay ya programas de computadora para análisis sísmico dinámico, los programas realizados en el presente trabajo requieren en general poca memoria en comparación con los programas existentes, por ejemplo ETABS y sus versiones.

También la mayoría de estos programas sólo han sido acondicionados para ser utilizados en las computadoras personales, ya que originalmente fueron concebidos teniendo en mente las características de los grandes sistemas, con lo que se dejaron de aprovechar algunas de las ventajas que poseen las microcomputadoras, tales como excelentes pantallas, interacción con el usuario etc.

Otro punto que es conveniente señalar es que para realizar los programas de este trabajo, se siguen criterios y normas planteadas por el Departamento del Distrito Federal y métodos desarrollados por un Ingeniero Mexicano el Ingeniero Julio Damy Rios, lo cual hace original el presente trabajo.

Por último se trata de motivar al lector a continuar desarrollando métodos y paquetes de uso común, con lo que dependeremos menos del consumo de programas de producción extranjera.

En cada capítulo es desarrollado paso a paso la forma de obtener todos los parámetros que se requieren calcular para poder realizar el análisis dinámico de una estructura propuesta. Al final del capítulo está listado un programa con el diagrama de bloques correspondiente que da la solución al problema citado, este programa fue codificado en lenguaje BASIC y probado en una microcomputadora personal (PC).

En el capítulo II se expone el método estático, que servirá para obtener las fuerzas previas con las que calcularemos la rigidez de cada marco de la estructura.

En el capítulo III se presenta un método de análisis estructural que obtiene elementos mecánicos y principalmente los desplazamientos producidos por las fuerzas sísmicas, para posteriormente determinar todas las rigideces de la estructura.

En el capítulo IV está expuesto el análisis dinámico modal, con el cual obtendremos modos de vibrar, frecuencias, periodos naturales de la estructura y el cortante en los entrepisos, utilizando el espectro sísmico de diseño propuesto por el reglamento 1987.

En el capítulo V se trata el problema de la distribución por torsión obteniéndose centros de cortante, centros de torsión, excentricidades y por último el cortante actuante en cada eje de rigidez para cada planta.

En el capítulo VI existen dos ejemplos de estructuras para diseñar por sismo, en los cuales se resuelve por medio de los programas propuestos en cada capítulo.

En el capítulo VII se presentan las conclusiones a las cuales se llegó.

Esperando que sea de utilidad el presente trabajo para el lector, el autor agradece de antemano la atención prestada.

PREAMBULO HISTORICO

Desde la antigüedad el hombre ha usado su ingenio con la finalidad de crear diferentes tipos de herramientas, máquinas y aparatos, que le permitan dar solución a la gran cantidad de problemas con los que a diario se enfrenta, así como para disminuir el esfuerzo físico que representa realizar una determinada labor, por ejemplo, el labrado de piedras con las cuales el hombre de las cavernas fabricaba las armas para cazar y poder subsistir, la invención de la polea con la cual fue posible levantar grandes pesos, y otros inventos más sofisticados como fueron la maquinaria Industrial utilizada para la elaboración de telas, las máquinas de vapor para producir fuerza e impulso o los trenes, automóviles y aeroplanos que son de uso común y de gran ayuda en nuestros días.

Sin duda uno de los inventos más poderosos creados por el hombre es la computadora, que en la actualidad es ya de fácil acceso para cualquier persona. La computadora actual tiene como antecesor lejano el ábaco de arena, que consistía en un tablero rectangular con bordes a su alrededor, donde se colocaba una capa fina de arena y el operador podía realizar sus cuentas con piedrecillas que acompañaban al tablero.

El ábaco chino (SWAN PAN), es quizá el instrumento aritmético que más se haya utilizado en el mundo. Con él es posible efectuar las cuatro operaciones fundamentales.

La primera calculadora mecánica fue construida por Blaise Pascal en 1642, cuando sólo tenía 19 años de edad basada en ruedas dentadas del 0 al 9, de tal manera que el acarreo se efectuará automáticamente.

El siguiente innovador fue G. W. Leibnitz, que en su máquina calculadora perfeccionó el acarreo automático de Pascal y consigue la realización de multiplicaciones y divisiones por el método de sumas y restas repetidas.

Otros inovadores desarrollaron algunas máquinas para resolver ecuaciones. Los más notables fueron L. Boys, Lord Kelvin y Torres Quevedo. Estas máquinas empleaban sistemas mecánicos a base de poleas y balanzas, muy ingeniosos y no menos complejos.

En Estados Unidos, W. S. Burroughs diseñó en 1892 una máquina sumadora de palanca que alcanza una gran popularidad por lo práctico y confiable de su funcionamiento.

A mediados del año 1887 no se habían terminado los cálculos del censo americano realizado en 1880, que elaboraban manualmente centenares de empleados. Para evitar que sucediera lo mismo con el censo de 1890, el experto en

estadística, Herman Hollerith, inventó un sistema con el cual se podía representar el nombre, la edad, el sexo, la dirección y otros datos de cada persona mediante agujeros hechos en una tarjeta de cartón, que después se podían contar eléctricamente.

El gobierno de Estados Unidos aprovechó esta idea y obtuvo los resultados del nuevo censo en sólo dos años y medio, lapso en el que la población había crecido de 50 a 63 millones de personas.

El éxito del censo estadounidense hizo que las máquinas de Hollerith fueran empleadas inmediatamente para los censos austriacos y en el primer censo de la historia de Rusia, en 1896.

En 1943, la Universidad de Pensilvania propuso al ejército de Estados Unidos, la fabricación de una máquina capaz de resolver a gran velocidad los problemas balísticos de artillería.

El calculador propuesto al ejército y diseñado por J. Presper Eckert, John W. Mauchly y Herman H. Goldstine ya empezó a funcionar en febrero de este año (1946) con el nombre de ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) y ejecutaba, además de los cálculos balísticos para los dispositivos de tiro, otros trabajos científicos que iban desde el estudio de los rayos cósmicos hasta la investigación sobre la energía atómica.

En el ENIAC se eliminaron todas las partes mecánicas en movimiento que representaban los números con contadores a rueda y se substituyeron por tubos al vacío que eran activados mediante impulsos eléctricos que indicaban distintas cifras de acuerdo al estado de conducción, mayor o menor en los bulbos.

La ENIAC estaba en condiciones de efectuar 300 multiplicaciones por segundo, empleaba 18,000 bulbos electrónicos, pesaba 30 toneladas y ocupaba una superficie de 180 metros cuadrados.

Simultáneamente J. von Neumann, de la Universidad de Princeton, desarrolla el concepto de programación almacenada, en el cual, tanto los datos como las instrucciones para manipulación se alimentan a la máquina en forma de dígitos binarios (bits) que pasan a su memoria interna; con esta innovación, se completan todos los conceptos indispensables con que se diseñan las computadoras modernas, de las cuales la UNIVAC, es el principal prototipo en cuanto a su "arquitectura".

A partir de la UNIVAC, el progreso en las computadoras ha sido consecuencia de la miniaturización en su electrónica;

el primer paso fue dado al utilizar el circuito impreso que simplificó el alambrado de los circuitos electrónicos y disminuyó su costo notablemente. El empleo del transistor que sustituyó al bulbo en 1958, origina la "segunda generación" de computadoras con una reducción aproximada de volumen de 100 a 1.

El siguiente gran adelanto lo constituye el circuito integrado; éste consiste en la fabricación simultánea de 8 o 10 transistores en el mismo sustrato, en lugar de uno sólo. Así nace el microcircuito (chip) y se logra una nueva reducción en el volumen y en el costo unitario. Este proceso de miniaturización sigue adelante, y cuando se llega a una densidad de cientos de transistores por microcircuito surge un nuevo concepto de diseño. Este nuevo concepto origina el "dispositivo lógico programable".

En 1970, INTEL produce comercialmente el primer circuito lógico programable, poco después el segundo y de ahí se desarrolla la microcomputadora que lo usa como su unidad procesadora central (CPU).

De 1970 a la actualidad la microcomputadora a llegado a ser de uso común no sólo en el campo de las Ingenierías, también a tomado gran auge en otras áreas como la medicina o la educación en todos sus niveles, desde educación primaria hasta profesional, en industrias oficinas y fábricas también alcanza un alto nivel de uso y cada día va aumentando la demanda de usuarios de las microcomputadoras.

Con lo anterior podemos concluir que la microcomputadora es en la actualidad una de las herramientas de más ayuda para el hombre.

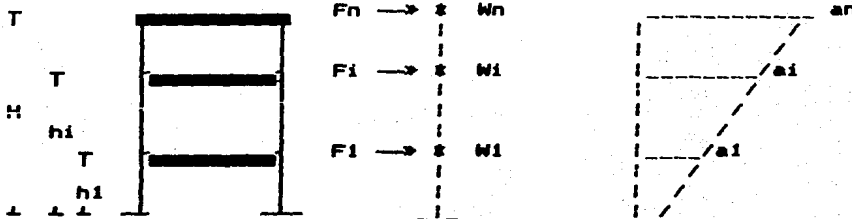
CAPITULO II

ANALISIS SISMICO ESTATICO

La forma de obtener la rigidez de cada marco, que son necesarias para determinar la total del entrepiso, es utilizando el concepto de rigidez de entrepiso, esto es el cociente de la fuerza cortante entre el desplazamiento relativo. En este capítulo se presenta como solución para calcular dichas fuerzas, el método estático en su primer etapa, llamándolo así por no efectuar la reducción de las fuerzas sísmicas, las cuales están en función del periodo natural de la estructura y rigidez total de entrepiso, que en un principio no tenemos como datos.

El método estático se basa principalmente en las siguientes hipótesis:

- a) Masas concentradas en los entrepisos.
- b) Una distribución lineal de aceleraciones.
- c) La segunda ley de Newton.



$$F_i = W_i \times a_i$$

$$F_i = \frac{W_T \times a_n}{H} \times h_i$$

$$V = \sum F_i = \frac{a_n}{H} \sum W_i \times h_i$$

$$a = \frac{V}{\sum W_i \times h_i}$$

$$F_i = \frac{V \times W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i}$$

El reglamento del D. F. establece como método Estático lo siguiente:

Para calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supondrá un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supongan concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde multiplicado por un coeficiente proporcional a h, siendo h la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables). El coeficiente se tomará de tal manera que la relación V_0/W_0 sea igual a c/Q , siendo V_0 la fuerza cortante basal, y W_0 el peso de la construcción.

La manera de proceder para realizar el análisis Estático es la siguiente:

a) CLASIFICAR LA CONSTRUCCION SEGUN SU USO

GRUPO A.- Construcciones cuyo funcionamiento sea especialmente importante a raíz de un sismo o que en caso de falla, causaría pérdidas directas o indirectas excepcionalmente altas en comparación con el costo necesario para aumentar su seguridad. Tal es el caso de subestaciones eléctricas, centrales telefónicas, estaciones de bomberos, archivos y registros públicos, hospitales, escuelas, estadios, salas de espectáculos, estaciones terminales de transporte, monumentos, museos y locales que alojen equipo especialmente costoso en relación con la estructura, así como instalaciones industriales cuya falla pueda ocasionar la difusión en la atmósfera de gases tóxicos que puedan causar daños materiales importantes en bienes o servicios.

GRUPO B.- Construcciones cuya falla ocasionaría pérdidas de magnitud intermedia, tales como otras plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolineras, comercios, bancos, centros

de reunión, edificios de habitación, hoteles, edificios de oficinas, bardas cuya altura exceda de 2.5 m. y todas aquellas estructuras cuya falla por movimientos sísmicos pueda poner en peligro otras construcciones de este grupo o del A.

GRUPO C.- Construcciones cuya falla por sismo implicaría un costo pequeño y no causaría normalmente daño a construcciones de los primeros grupos. Se incluyen en el presente grupo bardas con altura no mayor de 2.5 m. y bodegas provisionales para la construcción de obras pequeñas. Estas construcciones no requieren diseño sísmico.

b) OBTENER EL FACTOR DE COMPORTAMIENTO SISMICO Q BAJO EL SIGUIENTE CRITERIO.

I.- Se usará $Q=4$ cuando se cumplan los requisitos siguientes:

1.- La resistencia en todos los niveles es suministrada exclusivamente por marcos no contraventeados de concreto, madera o acero, así como por marcos contraventeados o con muros de concreto o mampostería en los que la capacidad resistente de los marcos sin contar muros ni contraventeos es cuando menos 50 por ciento del total.

2.- Si hay muros de mampostería que contribuyan a resistir fuerzas laterales, se deben tener en cuenta en el análisis, pero los marcos (sean o no contraventeados) y muros de concreto deben ser capaces de resistir al menos 80 por ciento de las fuerzas laterales totales sin la contribución de los muros de mampostería.

3.- El mínimo cociente, de la capacidad resistente de un entrepiso entre la acción de diseño, difiera en más del 20 por ciento del promedio de dichos cocientes para todos los entrepisos. Para verificar el cumplimiento de este requisito se calculará la capacidad resistente de cada entrepiso teniendo en cuenta todos los elementos que puedan contribuir a la resistencia, y en particular los muros que se hallen en el caso I.

4.- Los marcos y muros de concreto cumplen con los requisitos que fijan las normas complementarias correspondientes para marcos y muros dúctiles.

5.- Los marcos rígidos de acero satisfacen los requisitos para marcos dúctiles que fijan las normas complementarias correspondientes.

II.- Se usará $Q=3$ cuando se cumplan los requisitos siguientes:

Se satisfacen las condiciones 2,4 y 5 del caso I y en

cualquier entrepiso dejan de satisfacerse las condiciones 1 ó 3 específicas para el caso I, pero en toda la estructura se cumplen los requisitos siguientes:

1.-La resistencia de todos los entrepisos es suministrada por columnas de concreto con losas planas, por marcos rígidos de acero, por marcos de concreto, por muros de este material, por combinaciones de estos o por estructura de madera.

2.- Los elementos resistentes de acero o concreto y sus conexiones cumplen con los requisitos que para elementos estructurales dúctiles y para marcos dúctiles fijan las correspondientes normas complementarias.

III.-Se usará $Q=2$ cuando se cumplan los siguientes requisitos:

La resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas con columnas de concreto reforzado, por marcos de concreto reforzado, madera o acero contraventeados o no, o muros o columnas de concreto, que no cumplen en algún entrepiso con lo especificado por los casos para $Q=4$ ó $Q=3$, o por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dadas, columnas o trabes de concreto reforzado o de acero que satisfacen los requisitos de las normas complementarias.

IV.- Se usará $Q= 1.5$ cuando se cumplan los requisitos siguientes:

La resistencia a fuerzas laterales es suministrada en todos los entrepisos por muros de mampostería de piezas huecas, confinados o con refuerzo interior, que satisfacen los requisitos de las normas complementarias, o por combinación de dichos muros con elementos como los descritos para los casos para $Q=3$ ó $Q=2$.

V.-Se usará $Q=1$ en estructuras cuya resistencia a fuerzas laterales es suministrada, al menos parcialmente, por elementos o materiales diferentes de los antes descritos, a menos que se haga un estudio que demuestre, a satisfacción del Departamento, que se puede emplear un valor más alto que el que aquí se especifica.

El reglamento hace mención a regularidad en las estructuras, y plantea los siguientes puntos para considerar regular una estructura:

CONDICIONES DE REGULARIDAD

- 1.- Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que respecta a masa, a muros y otros elementos resistentes.
- 2.-La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
- 3.- La relación de largo-ancho de la base no excede de 2.5.
- 4.-En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente.
- 5.-En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
- 6.-No tiene aberturas en su sistema de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la dimensión que se considera de la abertura, y el área total de abertura no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.
- 7.- El peso de cada nivel incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que el del piso inmediato inferior ni es menor que 70 por ciento de dicho peso, excepción hecha para el último nivel de la construcción.
- 8.-Ningún piso tiene un área delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de éste. Se exige de este último requisito únicamente al último piso de la construcción.
- 9.- Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones ortogonales.

c) OBTENER EL COEFICIENTE SISMICO C DE LA TABLA SIGUIENTE.

ZONA	GRUPO DE CONS.	
	A	B
I	0.24	0.16
II	0.48	0.32
III	0.60	0.40

d) OBTENER EL CORTANTE TOTAL EN LA BASE

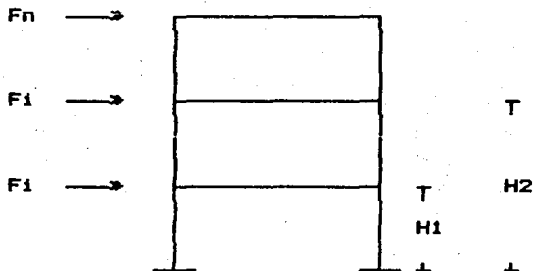
$$V_T = \frac{C \times W_T}{Q}$$

V.- Cortante en la base.
 C.- Coeficiente sísmico.
 Q.- Factor de comportamiento sísmico.
 W_T.- Peso total de la estructura.

e) OBTENER LA FUERZA EN LOS ENTREPIOS

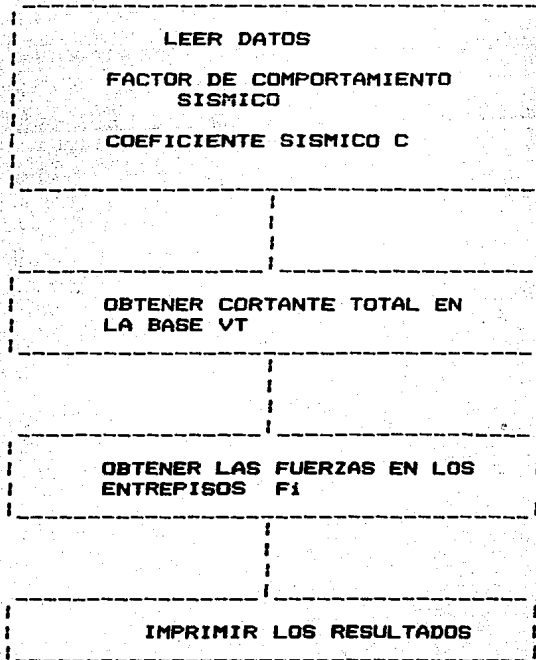
$$F_i = \frac{V_T \times W_i \times H_i}{\sum W_i \times H_i}$$

W_i.- Peso del nivel i
 H_i.- Altura del nivel i desde la base.



A continuación se expone el diagrama de bloques y el listado del programa que da solución al problema de Análisis Estático en su primera etapa.

DIAGRAMA DE BLOQUES




```

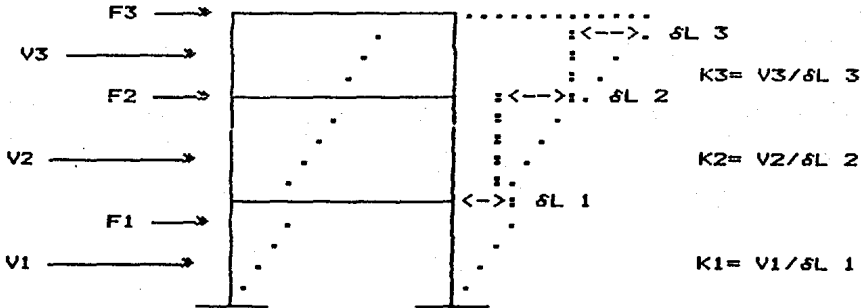
5 CLEAR:CLS:KEY OFF
10 REM *** METODO ESTATICO ***
20 READ N: DIM H(N),W(N),F(N),CO(N+1)
25 READ C,Q
30 FOR I= 1 TO N: READ G,H(I),W(I):NEXT I
50 FOR I=1 TO N:H(I)=H(I)+H(I-1): NEXT I
60 FOR I=1 TO N:SW=SW+W(I)*H(I):WT=WT+W(I):NEXT I
70 V=C/Q*WT
80 FOR I=1 TO N : F(I)=V*W(I)*H(I)/SW:NEXT I
90 PRINT " Metodo estatico en su primera
etapa":PRINT:PRINT
100 PRINT " Factor de comportamiento
sismico Q=";Q:PRINT:PRINT
110 PRINT " Coeficiente sismico
C=";C:PRINT:PRINT
120 PRINT " Nivel Alturas Peso
Fuerza Cortante ":PRINT":PRINT
125 FOR I= N TO 1 STEP -1: CO(I)=CO(I+1)+F(I):NEXT I
130 FOR I=1 TO N :PRINT USING " ###"; I;PRINT USING "
##,###,###.###";H(I);W(I);F(I);CO(I):NEXT I
140 REM
150 REM Modo de uso del Programa
160 REM 1.-Numero de niveles
170 REM 2.-Coeficiente sismico C
180 REM 3.-Factor de comportamiento sismico Q
190 REM 4.-Nivel,Altura del Nivel,Peso del Nivel
200 DATA 3,.40,3,1,3,106.370,2,3,99.230,3,3,42.4

```

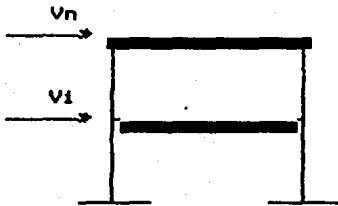
CAPITULO III

OBTENCION DE RIGIDECES EN ENTREPISOS

Después de haber calculado las Fuerzas en los entrepisos por medio de un análisis estático en su primera etapa, en este capítulo se expone la solución para obtener la rigidez de cada marco siguiendo el concepto de rigidez de entrepiso, esto es, el cociente de la fuerza cortante entre el desplazamiento relativo.



La consideración que se toma para el cálculo de la rigidez de cada marco es la siguiente: La fuerza que se encuentra actuando en todo el entrepiso es la misma fuerza que actuará en cada marco de la estructura.



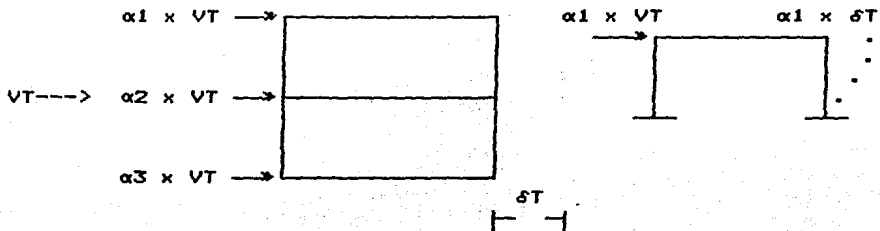
ESTRUCTURA EN ELEVACION

ENTREPISO i

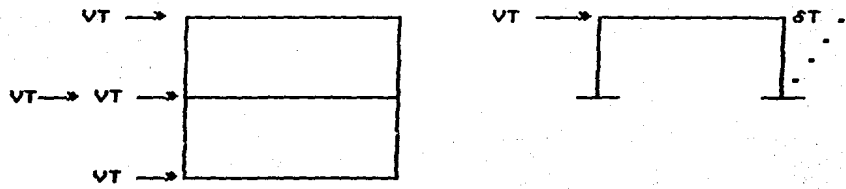


ESTRUCTURA EN PLANTA

Aunque la fuerza que actúa en el eje es una parte de la fuerza total que se encuentra en el entrepiso, también el desplazamiento que produce es proporcional a dicha fuerza, esquematisando lo planteado.



$$K = \frac{\alpha_1 \times VT}{\alpha_1 \times \delta T} = \frac{VT}{\delta T}$$



$$K = \frac{VT}{\delta T}$$

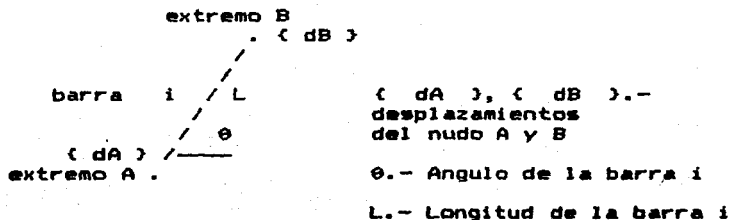
Lo siguiente a determinar será el desplazamiento que produce la fuerza aplicada en el marco, obteniendo este desplazamiento y con la fuerza encontrada del Análisis Estático podremos calcular la rigidez como el cociente de la fuerza cortante entre el desplazamiento relativo.

La solución que se plantea para obtener los desplazamientos es utilizando el Método de las Rigideces, en el cual conociendo el vector de fuerzas y la matriz de rigideces de la estructura, podemos calcular los desplazamientos.

$$\{ F \} = [K] \{ d \}$$

METODO DE LAS RIGIDECES UTILIZANDO MATRICES DE RIGIDEZ DIGONALES PARA CADA BARRA

La matriz $[K]$ de toda la estructura, estará formada de la siguiente manera:



$$[K] = \sum_{i=1}^{nb} \begin{bmatrix} [R_{AA}] & [R_{AB}] \\ [R_{BA}] & [R_{BB}] \end{bmatrix} \begin{matrix} A \\ B \end{matrix}$$

La matriz de rigidez $[K]$ será de orden igual al número de nudos por tres, esto se debe a los tres grados de libertad que tiene el nudo, y son el desplazamiento en y, el desplazamiento en x, y el giro del nudo. A y B representan el

número de nudo origen y número de nudo destino [R AA], [R AB], [R BA] y [R BB] representan la matriz de rigidez de cada barra y están en función de las características de cada barra y se calculan de la siguiente manera.

Para cada barra tendremos:

$$\begin{bmatrix} [R AA] & [R AB] \\ \dots & \dots \\ [R BA] & [R BB] \end{bmatrix} = [a]^T \times [k] \times [a]$$

La matriz [a] para cada barra, será de la siguiente forma:

$$[a] = \begin{bmatrix} dx A & dy A & \theta A & dx B & dy B & \theta B \\ -\cos \theta & -\text{sen } \theta & 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta & 0 \\ \frac{-\text{sen } \theta}{L} & \frac{\cos \theta}{L} & 1 & \frac{\text{sen } \theta}{L} & \frac{-\cos \theta}{L} & 0 \\ \frac{-2\text{sen } \theta}{L} & \frac{2\cos \theta}{L} & 1 & \frac{2\text{sen } \theta}{L} & \frac{-2\cos \theta}{L} & 1 \\ \frac{-\text{sen } \theta}{L} & \frac{\cos \theta}{L} & 0 & \frac{\text{sen } \theta}{L} & \frac{-\cos \theta}{L} & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz diagonal [k] para cada barra será:

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2EI}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2EI(1-2C)}{L(1+4C)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{2EI}{L} \end{bmatrix}$$

E = Módulo de Elasticidad
 I = Inercia
 A = Area
 L = Longitud de la barra
 C = Coeficiente de cortante

$$C = \frac{6(1+\nu)I}{AcL^2}$$

$$Ac = \frac{A}{f}$$

ν = Relación de Poisson

Ac = Área de cortante

f = Factor de forma, que está en función de la sección

Para una sección en forma de:

circunferencia $f = 1.14$
 rectángulo $f = 1.2$
 perfil I $f = \text{área del alma}$
 circunferencia y
 hueca $f = 1.11$

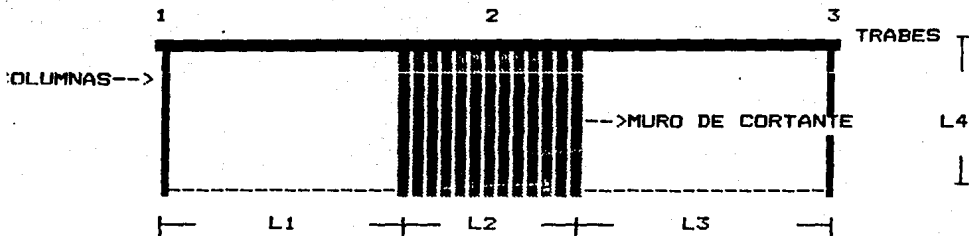
El coeficiente de cortante C, generalmente se asume igual a 0, solamente cuando la relación:

$$\frac{L}{h} < 5$$

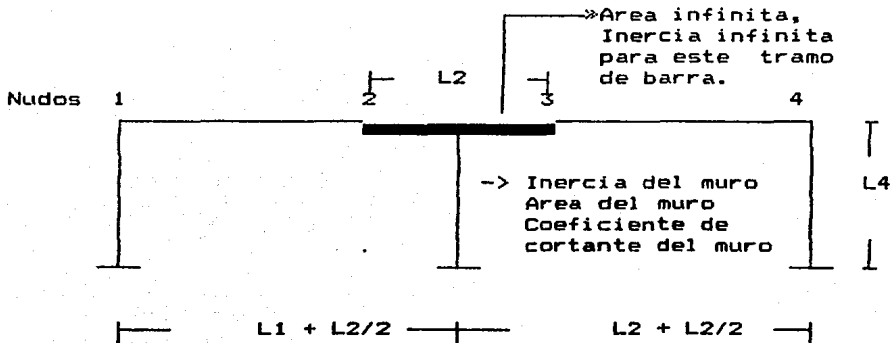
h.- dimensión mayor de la sección

L.- Longitud de sección

se recomienda calcular C, éste es el caso de un muro de cortante, que para poderlo analizar se puede idealizar de la siguiente manera.



FORMA DE IDEALIZAR UN MURO DE CORTANTE



Como podemos ver una manera de resolver el problema cuando se encuentra un muro de cortante en una estructura (sistema muro-marco) es considerando cada muro como una columna ancha con sus propiedades concentradas en su eje centroidal y se supone que las zonas de las vigas que se encuentran dentro de los muros son infinitamente rígidas a flexión, para esto basta dar como datos inercias y áreas bastante grandes comparadas con las de columnas y traveses de la estructura. Este método se conoce como el Método de la columna ancha.

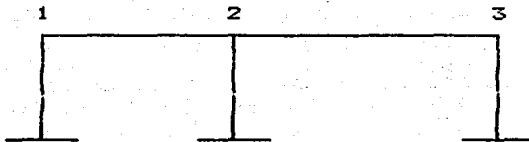
Siguiendo con el método de rigideces, después de haber calculado la matriz $[K]$ de la estructura, y con las fuerzas obtenidas con el Método Estático resolvemos el sistema:

$$\{F\} = [K] \{d\}.$$

Para resolver el sistema proponemos como solución el método de Cholesky, el cual tiene gran ventaja sobre otros, como el de Gauss, debido principalmente a que el método de Cholesky no es un método iterativo lo cual nos conduce a realizar un número determinado de cálculos, contrario al método de Gauss por que en este método el número de iteraciones depende de la precisión que deseamos tener, otra gran ventaja con la que cuenta el método de Cholesky es que la matriz de rigideces que obtenemos de la estructura es simétrica, lo cual el método de Cholesky toma en cuenta y por lo tanto no resulta necesario almacenar toda la matriz $[K]$, simplemente la parte triangular superior o inferior, y si aparte tomamos en cuenta el ancho de banda la reducción será mayor y existirá rapidez a la hora de resolver el sistema.

Para que el ancho de banda sea pequeño, debemos enumerar los nudos de tal forma que la diferencia entre dos nudos que formen la estructura de los extremos de una barra sea mínima, por ser el ancho de banda igual a la mayor diferencia entre dos nudos más uno multiplicado por tres.

Por ejemplo, para la siguiente estructura, si se enumeran los nudos de ésta forma:



El ancho de banda será igual a $[(2-1)+1] \times 3 = 6$
 Para el otro extremo será $[(3-2)+1] \times 3 = 6$

Si en vez de la forma enumerada o sea 1 2 y 3 enumeramos 3, 1, 2 el ancho de banda sería el siguiente:

Para el primer extremo $[(3-1)+1] \times 3 = 9$
 Para el siguiente extremo $[(2-1)+1] \times 3 = 6$

Con lo que el ancho de banda final sería el mayor de los dos calculados esto es 9. En estructuras grandes el ahorro de memoria es mayor por lo que es conveniente tomar siempre en cuenta la forma de enumerar los nudos de la estructura.

METODO DE CHOLESKY

		ancho de banda				
		←-----→				
Matriz [K] =	k11	k12	k13	0	. . .	0
	k21	k22	k23	0	. . .	0
	k31	k32	k33	k34	. . .	0
	0	k42	k43	k44	. . .	0
	knn

Para almacenar esta matriz lo hacemos de la siguiente forma:

$$\begin{array}{c} \text{T} \\ \text{número de} \\ \text{nudos x 3} \end{array}
 \begin{array}{c} \text{[Ancho de banda >]} \\ \left[\begin{array}{ccc} k_{11} & k_{21} & k_{31} \\ k_{22} & k_{32} & k_{42} \\ k_{33} & k_{43} & 0 \\ k_{44} & 0 & 0 \\ k_{55} & 0 & 0 \end{array} \right] \end{array}$$

$$[K] = [L] [L]^T$$

$$\begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} k_{11} & . & . & . \\ k_{21} & k_{22} & . & . \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & . \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{array} \right] = \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} L_{11} & 0 & 0 & 0 \\ L_{21} & L_{22} & 0 & 0 \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} & 0 \\ L_{41} & L_{42} & L_{43} & L_{44} \end{array} \right] \times \end{array}
 \end{array}$$

$$\times \begin{array}{c} \left[\begin{array}{cccc} L_{11} & L_{12} & L_{13} & L_{14} \\ 0 & L_{22} & L_{23} & L_{24} \\ 0 & 0 & L_{33} & L_{34} \\ 0 & 0 & 0 & L_{44} \end{array} \right]
 \end{array}$$

Desarrollando tenemos:

$$k_{11} = L_{11} \times L_{11} \quad \rightarrow \quad L_{11} = \sqrt{k_{11}}$$

$$k_{21} = L_{21} \times L_{11} \quad \rightarrow \quad L_{21} = k_{21}/L_{11}$$

$$k_{31} = L_{31} \times L_{11} \quad \rightarrow \quad L_{31} = k_{31}/L_{11}$$

$$k_{41} = L_{41} \times L_{11} \quad \rightarrow \quad L_{41} = k_{41}/L_{11}$$

Para la segunda columna:

$$k_{22} = L_{21} \times L_{12} + L_{22} \times L_{22} \quad \rightarrow \quad L_{22} = \frac{k_{22} - L_{21} \times L_{12}}{L_{22}}$$

$$k_{32} = L_{31} \times L_{12} + L_{32} \times L_{22} \rightarrow L_{32} = (k_{32} - L_{31} \times L_{12}) / L_{22}$$

$$k_{42} = L_{41} \times L_{12} + L_{42} \times L_{22} \rightarrow L_{42} = (k_{42} - L_{41} \times L_{12}) / L_{22}$$

Continuando el desarrollo se llegan a las siguientes expresiones:

$$L_{ii} = \sqrt{k_{ii} - \sum_{k=i}^{i-1} L_{ik} \times L_{ki}} = \sqrt{k_{ii} - \sum_{k=i}^{i-1} L_{ik}^2}$$

$$L_{ij} = \frac{k_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} L_{ik} \times L_{kj}}{L_{ji}} \quad \text{para } i > j$$

$$\{Z\} = [L]^T \{d\}$$

$$\{F\} = [L] [L]^T \{d\}$$

$$\{F\} = [L] \{Z\}$$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{11} & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ L_{21} & L_{22} & 0 & 0 & \dots & \dots \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} & 0 & \dots & \dots \\ L_{41} & L_{42} & L_{43} & L_{44} & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \\ \vdots \\ Z_n \end{bmatrix}$$

$$F_1 = L_{11} \times Z_{11} \rightarrow$$

$$Z_1 = F_1 / L_{11}$$

$$F_2 = L_{21} \times Z_1 + L_{22} \times Z_2 \rightarrow Z_2 = (F_2 - L_{21} \times Z_1) / L_{22}$$

$$F3 = L31 \times Z1 + L32 \times Z2 + L33 \times Z3 \rightarrow$$

$$Z3 = (F3 - L31 \times Z1 - L32 \times Z2) / L33$$

Continuando el desarrollo llegamos a las siguientes expresiones:

$$Z_i = \frac{F_i - \sum_{j=i}^{i-1} L_{ij} \times Z_j}{L_{ii}} \quad \text{para } i > 1$$

$$Z_i = \frac{F_i}{L_{ii}} \quad \text{para } i = 1$$

$$\{ Z \} = [L]^T \{ d \}$$

Desarrollando la multiplicación obtenemos por último los elementos del vector $\{ d \}$, que estarán en forma explícita.

$$d_i = \frac{Z_i - \sum_{j=i+1}^n L_{ji} \times d_j}{L_{ii}} \quad \text{para } i < n$$

$$d_i = \frac{Z_i}{L_{ii}} \quad \text{para } i = n$$

Después de haber obtenido los desplazamientos por medio del método de Cholesky ya descrito, es posible obtener los elementos mecánicos de las barras por medio del procedimiento siguiente:

El vector de deformaciones (e) será igual a :

$$\begin{bmatrix} \delta \\ \theta 1 \\ \theta 2 \\ \theta 3 \end{bmatrix} = [a] \begin{bmatrix} \{dA\} \\ \{dB\} \end{bmatrix}$$

El vector de fuerzas en los nodos será:

$$\begin{bmatrix} N \\ M 1 \\ M 2 \\ M 3 \end{bmatrix} = [K] (e)$$

$$\begin{aligned} MA &= M 1 + M 2 \\ MB &= M 2 + M 3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MA &= \text{Momento en el extremo A} \\ MB &= \text{Momento en el extremo B} \end{aligned}$$

$$V = \frac{MA + MB}{L}$$

$$V = \text{Cortante en la barra}$$

Con la finalidad de entender el procedimiento que se sigue para obtener la matriz [K], se presenta a continuación un ejemplo:

$$\text{Inercia Trabe} = 1.067 \times 10^{-3} \text{ M}^4$$

Columnas:

$$\text{Area de Trabe} = 0.08 \text{ M}^2$$

30 x 30 cm.

$$\text{Area de columnas} = 0.09 \text{ M}^2$$

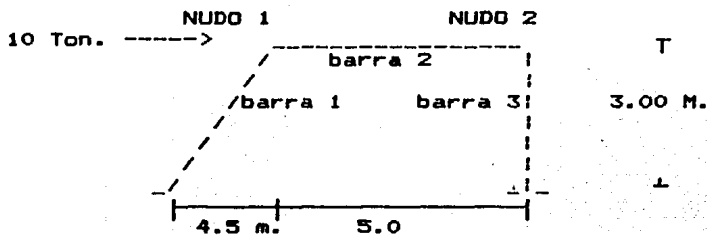
Trabe:

$$\text{Inercia de columnas} = 6.75 \times 10^{-4} \text{ M}^4$$

20 x 40 cm.

$$f'c = 200 \text{ kg./cm.}^2$$

$$E = 1'414,213.50 \text{ T./m.}^2$$



Lo primero que debemos hacer, es enumerar los nudos y barras, así como direccionar las barras, nudo origen, nudo destino.

La matriz [K] será de orden 3 veces el número de nudos.

$$\text{Orden} = 3 \times 2 = 6$$

En la matriz [K], la columna 1, 2 y 3 representan el desplazamiento en X del nudo uno, desplazamiento en Y del nudo uno, y giro del nudo uno respectivamente. La columna 4, 5, y 6 representan el desplazamiento en X, Y y giro del nudo dos.

Barra 1 L = 5.408 M. Angulo $\theta = 33.69$

Matriz [a] de la barra 1.

extremo A	extremo B			número de columna de la barra 1
	1	2	3	matriz diagonal [k]
0	0.832	0.555	0	23,535.36
0	0.103	-0.154	0	353.03
0	0.205	-0.308	1	353.03
0	0.103	-0.1540	1	353.03

Barra 2 L=3.00 M. Angulo $\theta = 0$

Matriz [a] de la barra 2
extremo extremo

A		B		matriz diagonal [k]		
1	2	3	4	5	6	
-1	0	0	1	0	0	22,627.42
0	.2	1	0	-.2	0	603.59
0	.4	1	0	-.4	1	603.59
0	.2	0	0	-.2	1	603.59

Barra 3 L= 5.00 M. Angulo $\theta = 90$

Matriz [a] de la barra 3

extremo A			extremo B			matriz diagonal [k]	
1	2	3	4	5	6		
0	0	0	0	1	0	42,426.41	
0	0	0	0.333	0	0	636.40	
0	0	0	0.667	0	1	636.40	
0	0	0	0.333	0	1	636.40	

La forma de ensamblar la matriz [K] será de la siguiente manera:

La matriz [a] de la barra uno representa la contribución en las casillas $K(1,1)$, $K(1,2)$, $K(1,3)$, $K(2,2)$, $K(2,3)$, y $K(3,3)$ de la matriz [K], esta barra se encuentra formada por los extremos A(0,0,0) y B(1,2,3).

$K(1,1)$ = columna 1 x columna 1 x columna de la matriz diagonal [k] = 16,342.18

$K(1,2)$ = columna 1 x columna 2 x columna de la matriz diagonal [k] = 10,845.64

$K(3,3)$ = columna 3 x columna 3 x columna de la matriz diagonal [k] = 707.106

La matriz [a] de la barra dos esta formada por los extremos A(1,2,3) y B(4,5,6) y la contribución a la matriz [K] será $K(1,1)$, $K(1,2)$, $K(1,3)$, $K(1,4)$, $K(1,5)$, $K(1,6)$, $K(2,2)$, $K(2,3)$ hasta $K(6,6)$.

$K(1,1)$ = columna 1 x columna 1 por columna de la matriz diagonal [k] = 22,627.42

$K(1,2) =$ columna 1 x columna 2 por columna de la matriz diagonal [k] = 0.00

$K(4,4) =$ columna 4 x columna 4 por columna de la matriz diagonal [k] = 22,627.42

$K(4,6) =$ columna 4 x columna 6 por columna de la matriz diagonal [k] = 0

Por último la barra tres representa el extremo A(0,0,0) y B(4,5,6), la contribución a la matriz [K] serán los casilleros $K(4,4)$, $K(4,5)$, $K(4,6)$, $K(5,5)$, $K(5,6)$ y $K(6,6)$.

$K(4,4) =$ columna 4 x columna 4 por columna de la matriz diagonal [k] = 424.26

$K(4,6) =$ columna 4 x columna 6 por columna de la matriz diagonal [k] = 636.3961

Entonces los valores finales de la matriz [K] serán las sumas de todas las contribuciones a sus casillas por ejemplo.

$$K(1,1) = 16,342.18 + 22,627.42 = 38,969.60$$

$$K(1,2) = 10,845.64 + 0 = 10,845.64$$

$$K(3,3) = 707.106 + 1,207.17 = 1,914.28$$

$$K(4,4) = 22,627.42 + 424.26 = 23,051.68$$

$$K(4,6) = 0 + 636.391 = 636.391$$

Matriz [K] para la estructura propuesta
(Resultados de computadora)

38,945.360	10,829.690	108.630	-22,627.420	0.000	0.000
10,829.690	7,436.654	199.193	0.000	-144.861	362.152
108.630	199.193	1,913.233	0.000	-362.152	603.586
-22,627.420	0.000	0.000	23,051.680	0.000	636.396
0.000	-144.861	-362.152	0.000	42,571.270	-362.152
0.000	362.16	603.59	636.396	-362.152	2,479.965

El vector de fuerzas que representa la fuerza en X en el nudo uno, fuerza en Y y giro para el nudo uno, fuerza en X en Y y giro en el nudo dos, para el ejemplo será:

$$F = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Resolviendo el sistema de 6 x 6 utilizando el método de Cholesky, encontraremos los desplazamientos en los nudos de la estructura.

$$\begin{bmatrix} 0.0106956 \\ -0.0155743 \\ 0.0012364 \\ 0.0105198 \\ -0.0000487 \\ -0.0007332 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{---> } \delta x \ 1 \\ \text{---> } \delta y \ 1 \\ \text{---> } \theta \ 1 \\ \text{---> } \delta x \ 2 \\ \text{---> } \delta y \ 2 \\ \text{---> } \theta \ 2 \end{array}$$

El vector de deformaciones y los elementos mecánicos serán:

Para la barra uno.

$$\langle e \rangle = \begin{bmatrix} 0.0002604 \\ 0.0034932 \\ 0.0082226 \\ 0.0047294 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{l} N = 6.129608 \\ MA = 4.136026 \\ MB = 4.572453 \end{array}$$

Para la barra dos:

$$\langle e \rangle = \begin{bmatrix} -0.00017661 \\ -0.00186881 \\ -0.00570690 \\ -0.00383808 \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{l} N = -3.9963 \\ MA = -4.5726 \end{array}$$

$$MB = -5.7612$$

Para la barra tres:

$$\{ e \} = \begin{bmatrix} -0.0000487146 \\ 0.0035063280 \\ 0.006279090 \\ 0.0027732820 \end{bmatrix}$$

$$N = -2.066783$$

$$MA = 6.227732$$

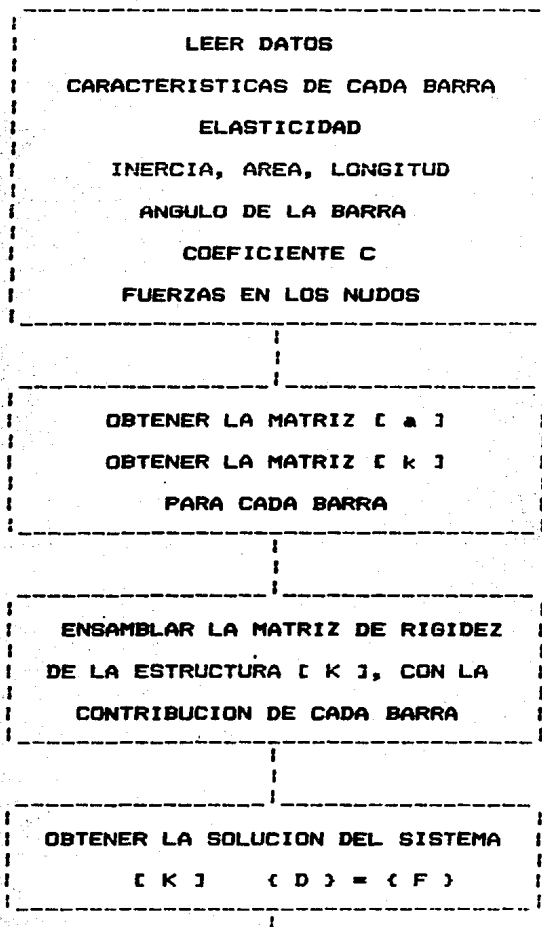
$$MB = 5.761224$$

Con el vector de desplazamientos que obtuvimos de la solución del sistema, podremos calcular la rigidez del marco del ejemplo propuesto. Así obtendremos que la rigidez del marco será:

$$K = \frac{10,000 \text{ kg.}}{1.069 \text{ cm.}} = 9,354.54 \text{ kg./cm}$$

A continuación es presentado el diagrama de bloques y el listado del programa que soluciona el problema de la determinación de rigideces de entrepiso.

DIAGRAMA DE BLOQUES



||
|
|-----|
OBTENER ELEMENTOS MECANICOS

||
|
|-----|
IMPRIMIR RESULTADOS

```

10 CLEAR
20 READ X,Y
30 LPRINT "NUMERO DE NUDDOS";X
40 LPRINT"NUMERO DE BARRAS";Y:LPRINT " "
50
MA(3*X,3*X+1),A1(6),A(4,6),B(4),L(22),D(6),E(6),EX(3*X) DIM
60 LPRINT " ":LPRINT" ": LPRINT "CARACTERISTICAS DE LOS
NUDDOS"
70 LPRINT" NUDDO DX DY GIRO"
80 FOR I=1 TO X: READ G : LPRINT " ";I:LPRINT " ";
90 FOR J=1 TO 3
100 READ EX((I-1)*3+J) : LPRINT EX((I-1)*3+J) ; : LPRINT "
";
110 NEXT J:LPRINT "":LPRINT"":NEXT I
120 F=0
130 F=F+1
140 LPRINT " CARACTERISTICAS DE LA BARRA NUMERO";F:
LPRINT"":LPRINT""
150 READ EA,EB,E,MI,AR,L,T,C
160 LPRINT" EXTREMO A";EA
170 LPRINT" EXTREMO B";EB
180 LPRINT" MODULO DE ELASTICIDAD";E
190 LPRINT" INERCIA";MI
200 LPRINT" AREA DE LA BARRA ";AR
210 LPRINT" LONGITUD";L
220 LPRINT" ANGULO TETA DE LA BARRA";T
230 LPRINT" CONSTANTE C";C:LPRINT" ":LPRINT ""
240 INPUT "PARA CONTINUAR OPRIME RETURN";G
250 EA=(EA-1)*3+1;EB=(EB-1)*3+1
260
A1(1)=EA;A1(2)=EA+1;A1(3)=EA+2;A1(4)=EB;A1(5)=EB+1;A1(6)=EB+2
270 IF (EA>0) THEN 300
280 IN=4;FI=6;W1=15
290 GOTO 340
300 IF(EB>0) THEN 330
310 IN=1;FI=3;W1=1
320 GOTO 340
330 IN=1;FI=6;W1=0
340 T=T/57.29577951#
350
A(1,1)=-COS(T);A(1,2)=-
SIN(T);A(1,3)=0;A(1,4)=COS(T);A(1,5)=SIN(T);A(1,6)=0
360 A(2,1)=A(1,2)/L;A(2,2)=A(1,4)/L;A(2,3)=1;A(2,4)=-
A(2,1);A(2,5)=-A(2,2)
370
A(2,6)=0;A(3,1)=2*A(2,1);A(3,2)=2*A(2,2);A(3,3)=1;A(3,4)=2*A(2,4)
380
A(3,5)=2*A(2,5);A(3,6)=1;A(4,1)=A(2,1);A(4,2)=A(2,2);A(4,3)=0
;A(4,4)=A(2,4)
390 A(4,5)=A(2,5);A(4,6)=1
400 B(1)=E*AR/L;B(2)=2*E*MI/L;B(3)=2*E*MI*(1-
2*C)/((L*1+4*C));B(4)=2*E*MI/L
410 FOR U=1 TO 2:IF(U=1) THEN 430
420 GO=EB;U1=4;U2=6;GOTO 440
430 GO=EA;U1=1;U2=3

```



```

960 MA(K,L)=MA(K,L)-MA(I,L)*C:NEXT L:NEXT K
970 NEXT I
980 FOR K=N TO 1 STEP-1:S=0:FOR M=K+1 TO N: IF(M>N) THEN
1000
990 S= S+MA(K,M)*MA(M,M)
1000 NEXT M:MA(K,K)=MA(K,N+1)-S:NEXT K
1010 LPRINT "":LPRINT"VECTOR DE
DESPLAZAMIENTOS":LPRINT"":LPRINT""
1020 FOR I=1 TO N :LPRINT"D(";I;")=";MA(I,I):NEXT I
1030 INPUT"PARA CONTINUAR OPRIMA RETURN";G
1040 RESTORE
1050 READ X,Y:FOR I=1 TO X:READ G
1060 FOR J=1 TO 3
1070 READ EX((I-1)*3+J):NEXT J:NEXT I
1080 F=0
1090 F=F+1
1100 READ EA,EB,E,MI,AR,L,T,C
1110 EA=(EA-1)*3+1:EB=(EB-1)*3+1
1120 IF(EA>0) THEN 1140:D(1)=0:D(2)=0:D(3)=0
1130
D(4)=MA(EB,EB):D(5)=MA(EB+1,EB+1):D(6)=MA(EB+2,EB+2):GOTO
1180
1140 IF(EB>0) THEN 1160:D(4)=0:D(5)=0:D(6)=0
1150
D(1)=MA(EA,EA):D(2)=MA(EA+1,EA+1):D(3)=MA(EA+2,EA+2):GOTO
1180
1160 D(1)=MA(EA,EA):D(2)=MA(EA+1,EA+1):D(3)=MA(EA+2,EA+2)
1170 D(4)=MA(EB,EB):D(5)=MA(EB+1,EB+1):D(6)=MA(EB+2,EB+2)
1180 T=T/57.29577951#
1190 A(1,1)=-COS(T):A(1,2)=-
SIN(T):A(1,3)=0:A(1,4)=COS(T):A(1,5)=SIN(T):A(1,6)=0
1200 A(2,1)=A(1,2)/L:A(2,2)=A(1,4)/L:A(2,3)=1:A(2,4)=-
A(2,1):A(2,5)=-A(2,2)
1210
A(2,6)=0:A(3,1)=2*A(2,1):A(3,2)=2*A(2,2):A(3,3)=1:A(3,4)=2*A(2,4)
1220
A(3,5)=2*A(2,5):A(3,6)=1:A(4,1)=A(2,1):A(4,2)=A(2,2):A(4,3)=0
:A(4,4)=A(2,4)
1230 A(4,5)=A(2,5):A(4,6)=1
1240 B(1)=E*AR/L:B(2)=2*E*MI/L:B(3)=2*E*MI*(1-
2*C)/((L*1+4*C)):B(4)=2*E*MI/L
1250 LPRINT" EL VECTOR DE DESPLAZAMIENTOS DE LA BARRA ";F
1260 FOR I=1 TO 6 : LPRINT"D(";I;")=";D(I):E(I)=0:NEXT I
1270 FOR U=1 TO 2 :IF(U=1) THEN 1290
1280 GO=EB:U1=4:U2=6:GOTO 1300
1290 GO=EA:U1=1:U2=3
1300 IF(GO<0) THEN 1340
1310 FOR J=U1 TO U2
1320 IF (EX(GO)<>0) THEN 1330:FOR I=1 TO 4 :A(I,J)=0:NEXT I
1330 GO=GO+1:NEXT J:GOTO 1350
1340 FOR I=1 TO 4:FOR J=U1 TO U2 :A(I,J)=0:NEXT J:NEXT I
1350 NEXT U
1360 FOR M1=1 TO 4:FOR M2=1 TO 6:LPRINT A(M1,M2):NEXT
M2:LPRINT"":NEXT M1

```

```

1370 FOR M1=1 TO 6 :LPRINT "d(";M1;")=";D(M1) :NEXT M1
1380 FOR I=1 TO 4: FOR J=1 TO 6:E(I)=E(I)+A(I,J)*D(J):NEXT J
1390 LPRINT"DEFORMACION E(";I;")=";E(I):NEXT I
1400 LPRINT"":LPRINT""
1410 FOR I=1 TO 4 :E(I)=E(I)*B(I):NEXT I
1420 LPRINT"ELEMENTOS MECANICOS SEGUNDA ETAPA"
1430 LPRINT"DE LA BARRA ";F:LPRINT"":LPRINT""
1440 LPRINT"N=";E(1):LPRINT""
1450 LPRINT"MA=";E(2)+E(3)
1460 LPRINT"MB=";E(3)+E(4):LPRINT"":LPRINT""
1470 INPUT"PARA CONTINUAR OPRIME RETURN";G
1480 IF (F<Y) THEN 1090
1490 REM FORMA DE USO DEL PROGRAMA
1500 REM NUM. DE NUDDOS,NUM. DE BARRAS
1510 REM CARACTERISTICAS DE CADA NUDDO
1520 REM NUDDO, DX,DY,GIRO
1530 REM 1 SI TIENE DESPLAZAMIENTO O SI NO LO TIENE
1540 REM ORIENTACION DE LA BARRA EXTREMO A, EXTREMO B
1550 REM MODULO DE ELASTICIDAD, INERCIA, AREA, LONGITUD, ANGULO
"ETA"
1560 REM CONSTANTE C PARA CADA BARRA
1570 REM VECTOR DE FUERZAS EQUIVALENTE
1580 DATA 2,3,1,1,1,1,2,1,1,1
1590 DATA 0,1,1414213.5,6.75E-4,.09,5.408,33.69,0
1600 DATA 1,2,1414213.5,1.067E-3,.08,5,0,0
1610 DATA 0,2,1414213.5,6.75E-4,.09,3.000,90,0
1620 DATA 10,0,0,0,0,0,0
1630 DATA 3,0,1,1.5,7.5,8,0,0

```

CAPITULO III

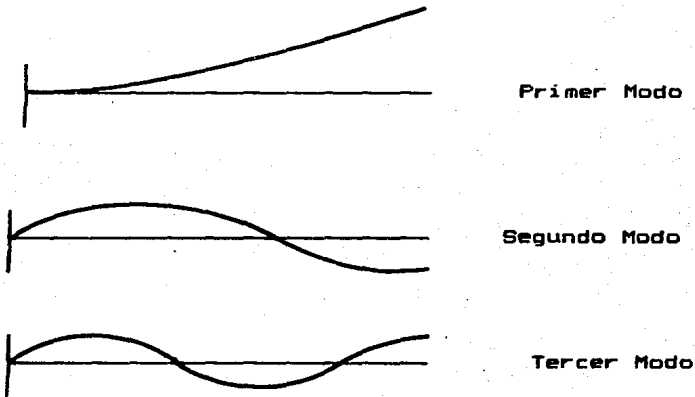
ANALISIS SISMICO DINAMICO MODAL

En los capitulos anteriores se vió la forma de proceder para determinar las rigideces de entrepiso, parámetros necesarios con los que efectuaremos un análisis dinámico.

En este capítulo se expone la forma de idealizar una estructura y la solución que se le da para resolver el problema que se presenta cuando existe un movimiento sísmico.

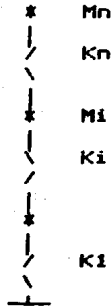
El problema de análisis dinámico resulta ser muy complejo cuando se consideran las masas uniformemente distribuidas de las barras que forman una estructura, lo más usual consiste en considerar las masas concentradas en ciertos puntos, obteniéndose así un sistema con un número finito de modos de vibrar.

Un modo de vibrar es la forma como se encuentra la posición de la masa durante la vibración producida por una fuerza externa al sistema.



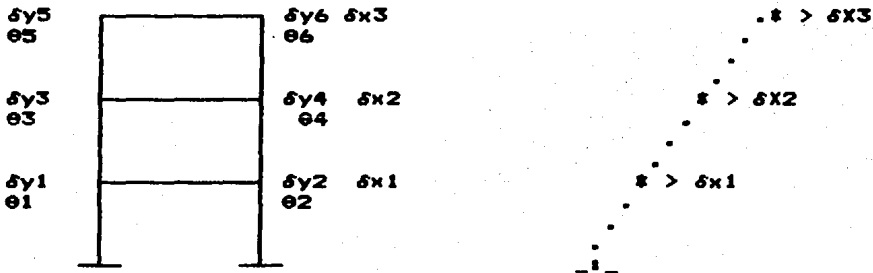
Así pues, por razones de reducir el proceso de operación, no se analizan estructuras reales sino estructuras idealizadas. La idealización consiste en discretizar las masas.

Para una estructura de n niveles, la forma de idealizarla sería considerar la masa de un entrepiso concentrada en la altura de cada nivel, y unida a cada nivel por las rigideces de entrepiso.



ESTRUCTURA IDEALIZADA

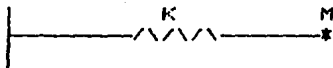
Una vez discretizada la masa, estamos en un sistema de un número finito de grados de libertad, entendiendo como grado de libertad, la posibilidad que tiene un nudo de moverse en forma independiente en cierta dirección. En marcos, los movimientos son giros y desplazamientos en los nudos.



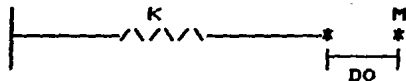
La figura anterior tendría 15 grados de libertad si se ignoran las deformaciones axiales de las vigas, sin embargo si las fuerzas de inercia importantes son solamente las que generan las masas M_1 , M_2 y M_3 , se habla de un sistema de tres grados de libertad, que son los desplazamientos DX_1 , DX_2 y

DX3 esto no implica que los demás grados de libertad se anulen, además la matriz de rigidez que sería de 15×15 , se puede transformar a una de 3×3 expresada en función de los grados de libertad 1, 2 y 3. Dicha matriz se denomina matriz de rigideces lineal.

Analicemos el caso más sencillo, en donde existe sólo un grado de libertad, nuestra estructura idealizada será la siguiente.



Tiremos de la masa M una distancia D_0 y luego soltémola, la masa por lo tanto vibrará, esta vibración sería una vibración libre sin amortiguamiento, nuestro problema será entonces encontrar el desplazamiento D_0 para un tiempo t .



Haciendo un diagrama de cuerpo libre para ver las fuerzas que actúan tendremos.

$$F_r \leftarrow \begin{array}{c} M \\ * \end{array} \rightarrow \ddot{D}(t), D(t) \quad \ddot{D}(t). \text{ aceleración}$$

Aplicando la segunda ley de Newton.

$$F = M A$$

Si F_r es la fuerza restauradora y es igual a $K \times D$ tendremos que.

$$-K D(t) = M \ddot{D}(t)$$

La ecuación final será.

$$M \ddot{D}(t) + K D(t) = 0$$

Dividiendo entre M .

$$\ddot{D}(t) + K/M D(t) = 0 \quad \text{si } \omega^2 = K/M$$

$$\ddot{D}(t) + W^2 D(t) = 0$$

Que es una ecuación diferencial, lineal homogénea de segundo orden, y cuya solución será.

$$D(t) = A_1 \operatorname{sen} Wt + A_2 \operatorname{cos} Wt$$

Condiciones iniciales.

$$D(t=0) = D_0$$

$$\dot{D}(t=0) = \dot{D}_0$$

Sustituyendo.

$$D(0) = A_1 \operatorname{sen} W(0) + A_2 \operatorname{cos} W(0)$$

Por lo tanto.

$$A_2 = D(0)$$

Derivando la ecuación.

$$\dot{D}(t) = A_1 W \operatorname{cos} Wt - A_2 W \operatorname{sen} Wt$$

$$\dot{D}(0) = A_1 W \operatorname{cos} W(0) - A_2 W \operatorname{sen} W(0)$$

$$WA_1 = \dot{D}_0$$

$$A_1 = \dot{D}_0 / W$$

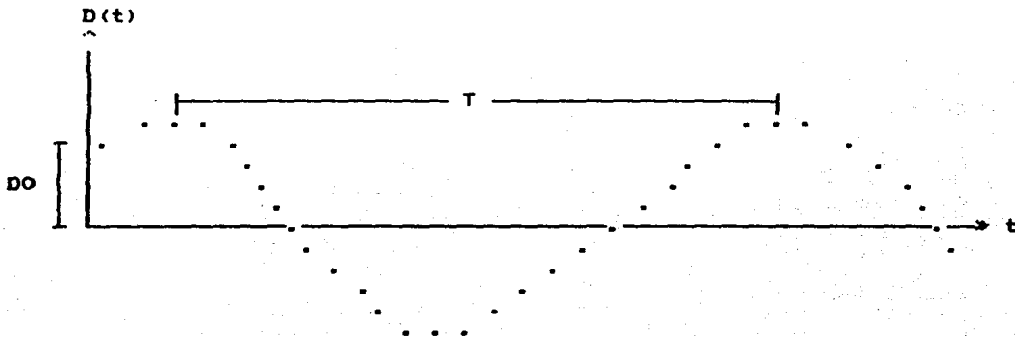
Quedando la ecuación final.

$$D(t) = \dot{D}_0 / W \operatorname{sen} Wt + D_0 \operatorname{cos} Wt$$

Si para las condiciones iniciales la velocidad es cero, entonces el desplazamiento será función únicamente del desplazamiento inicial D_0 .

$$D(t) = D_0 \operatorname{cos} Wt$$

Como podemos observar la función es cosenoidal que depende del tiempo y de la condición inicial D_0 . La gráfica del desplazamiento en función del tiempo será.

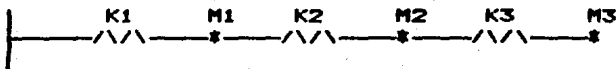


Se observa que la posición de la masa al cabo de un cierto tiempo es la misma. El movimiento entonces es periódico, siendo este intervalo.

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

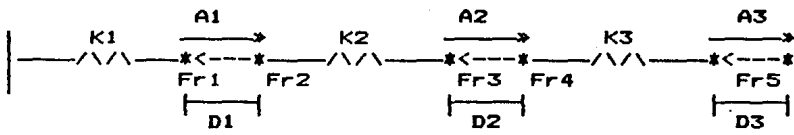
Este parámetro T es llamado periodo natural de vibración.

Analicemos el caso siguiente en que intervienen más de una masa en una estructura, que sería el caso general.



Considerando que las masas se desplazan una distancia D_1 , D_2 y D_3 a partir de su posición original de equilibrio y que a partir de ahí se sueltan, se presentará entonces un sistema vibratorio.

Para un instante t consideremos que el sistema tiene la siguiente configuración.



Fr1 y Fr2 son las fuerzas que ejercen sobre la masa 1 los resortes K1 y K2 .

Fr3 y Fr4 son las fuerzas que sobre la masa M2 ejercen los resortes K2 y K3.

Fr5 es la fuerza del resorte K3 sobre la masa M3.

A1,A2,A3 son las aceleraciones de las masas 1 ,2 y 3 respectivamente.

D1, D2 y D3 son las posiciones de las masas 1,2 y 3 respecto a la posición de equilibrio.

Para que los sentidos de las fuerzas Fr sean correctas consideremos $D1 > D2 > D3$.

Al estar desplazada la masa M1 una distancia D1, el resorte de rigidez K1, y el resorte K2 tratarán de ponerla en su posición de equilibrio con una fuerza Fr1 + Fr2 (fuerzas restauradoras). Donde Fr será igual a la rigidez K, multiplicada por el desplazamiento D1, esto es:

$$Fr1 = -K1 D1$$

y Fr2 será igual a la rigidez K2 multiplicada por el desplazamiento D1, pero como en ese momento la masa M2 está fuera de su posición de equilibrio, produce una descompresión en el resorte de la rigidez K2, entonces tendremos que restarle al desplazamiento D1 el D2.

$$Fr2 = -K2 (D1-D2)$$

Entonces la fuerza restauradora sobre la masa M1, será:

$$Fr1 + Fr2 = -K1D1 - K2 (D1-D2) = K2D2 -D1 (K1+K2)$$

Aplicando la segunda ley de Newton:

$$F = M \ddot{D}$$

$$K2D2 - D1 (K1 + K2) = M1\ddot{D1}$$

$$M1\ddot{D1} + D1 (K1 + K2) - D2K2 = 0$$

Razonando de la misma forma para la masa M2 tenemos:

$$M2\ddot{D2} - D1K2 + D2 \times (K2 + K3) - D3K3 = 0$$

Y para la masa M3:

$$M3\ddot{D3} - D2K3 + D3K3 = 0$$

Tenemos entonces tres ecuaciones diferenciales homogéneas lineales de segundo orden. Escribiéndolas Matricialmente:

$$\begin{bmatrix} M1 & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 \\ 0 & 0 & M3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \ddot{D1} \\ \ddot{D2} \\ \ddot{D3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (K1 + K2) & -K2 & 0 \\ -K2 & (K2+K3) & -K3 \\ 0 & -K3 & K3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix} = 0$$

$$\times \begin{bmatrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{bmatrix} = 0$$

Simbólicamente

$$[M] (\ddot{D}) + [K] (D) = 0$$

Como sabemos los desplazamientos serán:

$$D1 = X1 (\cos Wt)$$

$$D2 = X2 (\cos Wt)$$

$$D3 = X3 (\cos Wt)$$

Donde X1, X2 y X3 son los desplazamientos iniciales. Escribiendo los desplazamientos en forma matricial tendremos.

$$(D) = (X) \cos Wt$$

Derivando la ecuación anterior para obtener velocidades y aceleraciones.

$$\{ \ddot{D} \} = -\{ X \} W \text{ sen } Wt$$

$$\{ \ddot{D} \} = -\{ X \} W^2 \text{ cos } Wt$$

Substituyendo en la ecuación dinámica.

$$- [M] \{ X \} W^2 \text{ cos } Wt + [K] \{ X \} \text{ cos } Wt = 0$$

Dividiendo entre cos Wt.

$$[K] \{ X \} - W^2 [M] \{ X \} = 0$$

Factorizando $\{ X \}$.

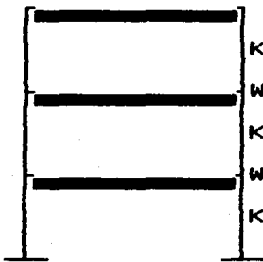
$$[[K] - W^2 [M]] \{X\} = 0$$

El problema ahora es determinar el vector $\{X\}$ que representa para una W^2 dada el modo de vibrar de la estructura, teniendo como datos la matriz de masas y rigideces, entonces para una estructura de 10 niveles tendremos 10 diferentes modos de vibrar. Una forma de resolver este problema es por medio de vectores característicos, en este trabajo se plantean como solución dos métodos, el primero de ellos es el propuesto por Newmark con el que es posible determinar el primer modo de vibrar de la estructura, el segundo método propuesto es el de Holzer con lo que determinaremos los siguientes modos de vibrar de la estructura, los dos métodos son iterativos lo cual hace ideal programar por computadora.

METODO DE NEWMARK

Este método está basado en el proceso de iteración de Stodola-Vianello, y es aplicable a estructuras cercanamente acopladas. En estas estructuras la masa de los pisos intermedios está ligada sólo a la del piso superior e inferior mediante resortes que representan las rigideces de entrepiso correspondientes.

Para entender el procedimiento del método de Newmark como el de Holzer proponemos la siguiente estructura de tres niveles, de la cual se pide determinar los modos de vibrar, el primero con el método de Newmark y el segundo con el método de Holzer



A continuación se presenta una tabla con la secuencia que se sigue para determinar el primer modo de vibrar

Nivel		1	2	3
RIGIDEZ K(T./M.)		840	1840	165.511
Masa M(T.-S ² /M.)		2.5484	2.5484	2.0387
1	X	1	2	3
2	F/W ²	2.5484	5.0968	6.1161
3	V/W ²	13.7613	11.2129	6.1161
4	DY/W ²	0.0164	0.0133	0.0370
5	Y/W ²	0.0164	0.0297	0.0667
6	W ²	60.9756	67.340	44.9775
1	X	1.00	1.8110	4.0670
2	F/W ²	2.5484	4.6151	8.2914
3	V/W ²	15.4545	12.9065	8.2914
4	DY/W ²	0.0184	0.0154	0.0500
5	Y/W ²	0.01840	0.0338	0.0838
6	W ²	54.3478	53.579	48.5322
1	X	1.0	1.8369	4.5543

Si siguiendo con dos iteraciones más llegamos a obtener los resultados siguientes para el primer modo de vibrar:

$$\{X\} = \begin{bmatrix} 1.0000 \\ 1.8496 \\ 4.7498 \end{bmatrix}$$

$$W^2 = 49.5709$$

$$T = 2 \pi / W = 0.892 \text{ Seg.}$$

Modo de proceder

A) Para el renglón uno, se supone un modo de vibrar, que es igual de preferencia al número del nivel.

B) Obtenemos la fuerza restauradora que será igual al renglón uno multiplicado por la masa correspondiente, lo que formará el renglón dos.

C) Posteriormente calcularemos los cortantes de entrepiso que se obtienen sumando las fuerzas restauradoras empezando por el último nivel. Y las colocamos en el renglón cuatro.

D) Para obtener la deformación de entrepiso dividimos el cortante de cada nivel entre la rigidez de entrepiso, esto es el renglón tres entre la rigidez que le corresponde a cada nivel y obtenemos el renglón cuatro.

E) Para encontrar la nueva configuración del sistema, sumamos las deformaciones de entrepiso de izquierda a derecha que será el renglón cinco.

F) El último renglón lo obtenemos dividiendo el quinto renglón entre el primero, lo que nos dará la nueva W^2 , si el modo está bien supuesto, todas las W^2 serán iguales, si esto no sucede debemos iterar una vez más con otro modo de vibrar, este siguiente modo lo debemos suponer multiplicando la W^2 del desplazamiento uno por la quinta columna, obteniendo entonces otro modo más cercano.

Para obtener los siguientes modos de vibrar de la estructura utilizaremos el método de Holzer, es un procedimiento iterativo como el de Newmark.

A continuación se presenta una tabla de cálculo para ilustrar el procedimiento a seguir.

	K		840		840		165.511	
2	M.	2.5484		2.5484		2.03870		R
190	X		1.00		1.4236		-0.591	E
	DX	1.00		0.4236		-2.015		S
	V	840		355.804		-333.49		I
	F		484.196		689.301		-228.93	D
								U
200	X		1.00		1.393		-.902	G
	DX	1.00		0.393		-2.295		
	V	840		330.32		-379.79		
	F		509.68		710.10		-367.78	-12
201.30	X		1.00		1.389		-0.941	
	DX	1.00		0.389		-2.330		
	V	840		327.007		-385.69		
	F		512.993		712.698		-386.17	.409

Podemos continuar con otras iteraciones, hasta que el residuo esté dentro de la tolerancia que hallamos establecido. La manera de obtener la última W^2 , fué interpolando linealmente entre un residuo positivo y otro negativo el cual nos dió como resultado $W^2=201.3$.

Segundo modo de vibrar para el ejemplo propuesto:

$$(X) = \begin{bmatrix} 1.000 \\ 1.38945 \\ -0.93949 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} W^2 = 201.25 \\ T^2 = 0.443 \end{matrix}$$

METODO DE HOLZER

Modo de proceder

A) Suponer un valor de W^2 mayor que el del modo anterior calculado, para lo que es conveniente hacer uso de la gráfica de error.

B) Suponer el primer movimiento de X_1 , que se supone casi siempre 1.

C) Calcular el primer desplazamiento $DX_1 = X_1$

D) Obtener la fuerza cortante $V_1 = K_1 \times DX_1$

E) Lo siguiente será determinar $F_1 = M_1 \times W^2 \times X_1$

F) Calcular el cortante $V_2 = V_1 - F_1$

G) Calcular la deformación $DX_2 = V_2 / K_2$

H) Obtener el segundo movimiento $X_2 = X_1 + DX_2$

I) Para los siguientes pasos comenzamos en E y obtenemos los demás valores de la tabla:

E) $F_2 = M_2 \times W^2 \times X_1$

F) $V_3 = V_2 - F_2$

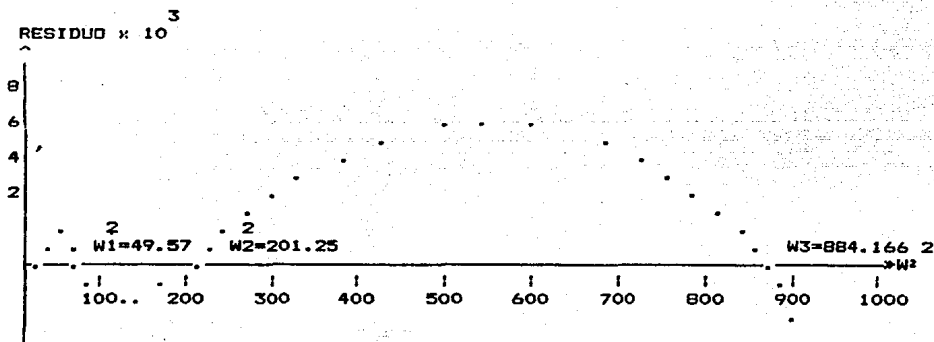
G) $DX_3 = V_3 / K_3$

H) $X_3 = X_2 + DX_3$

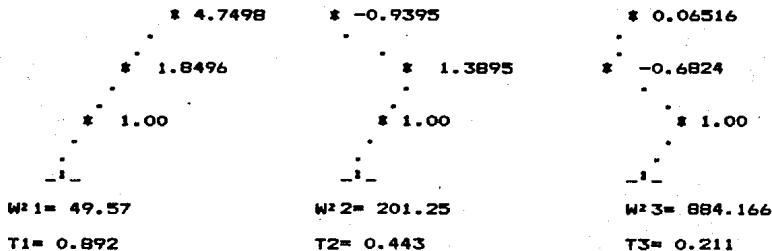
E) $F_3 = M_3 \times W^2 \times X_3$

J) Como último paso para terminar la primera iteración calculamos el residuo igual en este caso a $V_3 - F_3$, si el residuo se encuentra dentro de la tolerancia habremos encontrado el siguiente modo de vibrar, para cuando no suceda esto como en el ejemplo propuesto iteramos otra vez, y posteriormente interpolamos linealmente.

Para dar valores aproximados de W^2 es recomendable hacer uso de la gráfica de error, que para el ejemplo descrito es presentada a continuación.



Representando los modos de vibrar de la estructura propuesta serían de la siguiente forma:



Espectros de diseño

Los espectros de temblores reales tienen forma irregular y presentan variaciones bruscas en la respuesta máxima en función del periodo natural. Por lo tanto, es posible que dos estructuras que tengan casi las mismas características dinámicas, queden de manera bastante distinta a un sismo.

En la práctica este hecho tiene menos importancia de la que se le podría dar a primera vista, gracias a la influencia del amortiguamiento que hace menos bruscas las variaciones de los espectros, a que no se conoce con certeza el periodo natural por las incertidumbres que existen en el cálculo de masas y rigideces, ya que las inclusiones de la estructura en el intervalo inelástico así como la interacción suelo-estructura, modifican el periodo fundamental de vibración.

Por lo expuesto, para fines de diseño se emplean espectros en forma suavizada, estos espectros toman en cuenta las incertidumbres en la valuación de periodos, los efectos de temblores de distintos orígenes, la influencia del amortiguamiento y de los distintos tipos de suelo.

El reglamento estipula como método dinámico los siguientes puntos:

Deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a .4 seg. , pero en ningún caso podrán considerarse menos que los tres primeros modos de translación en cada dirección de análisis. Puede despreciarse el efecto dinámico torsional de excentricidades estáticas. En tal caso, el efecto de dichas excentricidades y de la excentricidad accidental se calculará como lo especifica el artículo correspondiente al análisis estático.

Para calcular la participación de cada modo natural en las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura, se supondrá la ordenada del espectro de aceleraciones para diseño sísmico, a , expresada como fracción de la aceleración de la gravedad de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} a &= (1 + 3T/T_a)c/4 && \text{si } T < T_a \\ a &= c && \text{si } T_a > T > T_b \\ a &= (T_b/T)^r c && \text{si } T > T_b \end{aligned}$$

T es el periodo natural de interés; T , T_a , T_b están expresados en segundos; c es el coeficiente sísmico, y r un exponente que depende de la zona en que se halla la estructura. Los valores del coeficiente c , están referidos al capítulo del Método Estático, del presente trabajo.

Valores de T_a , T_b , y r

Zona	T_a	T_b	r
I	0.2	0.6	1/2
II	0.3	1.5	2/3
III	0.6	3.9	1

Con fines de diseño, las fuerzas sísmicas para análisis dinámico se podrán reducir dividiéndolas entre el factor reductor Q' . Siempre y cuando la estructura cumpla con los requisitos de regularidad. Q' se calculará como sigue:

$$Q' = Q \quad \text{si } T \geq T_a$$

$$Q' = 1 + (T/T_a)(Q-1), \text{ si } T \text{ es menor que } T_a$$

T representa el periodo natural de vibración del modo que se considera.

Cortantes de diseño

Como los modos de vibración constituyen un conjunto completo, en un instante dado el desplazamiento de cualquiera de las masas puede expresarse como la suma de los desplazamientos debidos a la participación de cada uno de los modos naturales, esto es:

$$U_i(t) = \sum_j \xi_j(t) C_j Z_{ij} \quad (i)$$

En esta expresión:

$U_i(t)$ = Desplazamiento relativo a la base de la masa i en el instante t .

$\xi_j(t)$ = Función que expresa la variación con respecto al tiempo de la participación del modo j . El valor máximo de $\xi_j(t)$ para cada modo puede obtenerse del espectro de desplazamientos como la ordenada que corresponda a una estructura de un grado de libertad de igual periodo que el modo j ; $\xi_j(t)$ tiene unidades de longitud.

C_j = Coeficiente de participación que define la escala a la que interviene el modo j en el movimiento.

Z_{ij} = Amplitud del desplazamiento de la masa M_i en el modo j .

El símbolo Σ , representa la suma sobre todos los modos de vibrar.

Para determinar el valor del coeficiente de participación de un modo cualquiera n , considérese que la base sufre una variación en su velocidad igual a \dot{S}_0 . Todas las masas tendrán entonces una velocidad relativa a la base.

$$\dot{U}_i = -\dot{S}_0$$

de acuerdo con la ecuación 1, puede expresarse:

$$\sum_j \ddot{x}_j(0) C_j Z_{ij} = -\dot{S}_0$$

Teniendo en cuenta que $\dot{x}_j(0) = -\dot{S}_0$, queda

$$\sum_j C_j Z_{ij} = 1$$

Multiplicando por $M_i Z_{in}$ resulta

$$\sum_j C_j M_i Z_{ij} Z_{in} = M_i Z_{in}$$

Formando términos análogos al interior para los diversos valores de i y sumando, se obtiene

$$\sum_i \sum_j C_j M_i Z_{ij} Z_{in} = \sum_i M_i Z_{in}$$

Invirtiendo el orden de las sumas y aprovechando la propiedad de ortogonalidad de los modos;

$$\sum_i M_i Z_{ij} Z_{in} = 0 \quad \text{para } j \neq n$$

Se llega finalmente a

$$C_n \sum_i M_i Z_{in}^2 = \sum_i M_i Z_{in}$$

de donde

$$C_n = \frac{\sum_i M_i Z_{in}}{\sum_i M_i Z_{in}^2}$$

Sustituyendo en la ec. 6.1 y escribiendo j en vez de n:

$$U_i(t) = \frac{\sum_1^{M_i} Z_{ij} \sum_1^{C_j} \ddot{x}_j(t) Z_{ji}}{\sum_1^{M_i} Z_{ji}^2} \quad (4)$$

Esta ecuación indica que el desplazamiento relativo en un instante t de la masa i, debido a la contribución del modo j, se obtiene como el producto de la amplitud de dicha masa en el modo j, a una escala arbitraria, por un coeficiente de participación, C_j, y por una función del tiempo, $\ddot{x}_j(t)$, que es la misma que proporciona el desplazamiento relativo de la masa de una estructura de un grado de libertad y de igual período que el modo en cuestión. Nótese que el valor de U_i(t) es independiente de la escala que se adopte para los Z_{ij}, puesto que si estos valores se multiplican por un factor arbitrario cualquiera α, aparecerá α² en el numerador y en el denominador, sin alterar el cociente.

Conocidos los desplazamientos correspondientes a un modo, el cálculo de otras cantidades de interés para diseño, como las fuerzas cortantes y momentos flexionantes se reduce a un problema estático.

En el reglamento se estipulan espectros que se pueden interpretar como pseudoaceleraciones, es decir, que de ellos se puede obtener el valor A_j de la pseudoaceleración máxima (igual a desplazamiento máximo por la frecuencia al cuadrado). Por ello partiendo de la ecuación 1 se llega a:

$$U_{ji} \text{ máx.} = A_j C_j Z_{ij} / W^2_j$$

Teóricamente la ecuación 4 resuelve el problema de análisis sísmico dinámico de estructuras con varios grados de libertad ya que permite obtener su configuración deformada en cualquier instante y, por tanto, los máximos elementos mecánicos en las secciones críticas. El valor máximo $\ddot{x}_j(t)$ se obtendrá a partir de un espectro de desplazamientos adoptado para el diseño. Esto permite conocer cualquier respuesta (fuerza cortante, deformación de entrepiso, momento de volteo, etc) máxima de la estructura R_j, debido al modo j.

Una cota superior a la respuesta de la estructura por la participación de todos los modos es la suma de las respuestas máximas de todos los modos.

$$R = \sum_j R_j$$

Este valor es siempre conservador ya que las respuestas máximas de todos los modos no son simultáneas. Con base en estudios probabilísticos se demuestra que en estructuras elásticas es más realista estimar la respuesta total con la

expresión:

$$R = \sqrt{\sum_j R_j^2}$$

Una de las ventajas del análisis modal reside en que sólo es necesario determinar las respuestas debidas a unos cuantos de los primeros modos, porque en general la parte de la respuesta total de edificios que se debe a modos superiores es muy pequeña. El reglamento especifica que debe considerarse cuando menos tres modos de vibración en cada dirección de análisis y que se tienen que tomar en cuenta todos los modos con periodo mayores que .4 seg.

El reglamento del D.F. hace referencia a los desplazamientos de la estructura y establece que éstos habrán de multiplicarse por Q para calcular efectos de segundo orden así como para verificar que la estructura no alcanza ninguno de los estados límite de servicio.

También establece que si con el método de análisis dinámico que se haya aplicado se encuentra que, en la dirección que se considera, la fuerza cortante basal V_0 es menor que 0.8 a W_0/Q , se incrementarán todas las fuerzas de diseño y desplazamientos laterales correspondientes en una proporción tal que V_0 iguale a este valor.

Con la finalidad de comprender el procedimiento que se requiere seguir para determinar los cortantes de diseño en una estructura, se propone el siguiente ejemplo.

```

* M=1039 T.
\ K=69.49 T./cm.
/
* M=1831 T.
\ K=182.13 T./cm.
/
* M=1831 T.
\ K=390.17 T./cm.
/
* M=1478 T.
\ K=3568 T./cm.
/

```

Zona I
Factor de comportamiento
Sismico Q=2
Construcción del grupo A

Z1=

1.0
10.03
26.33
48.06

W² 1=29.67
T1=1.15

Z2=

1.0
9.68
16.27
-19.29

W² 2=120.93
T2=0.57

Z3=

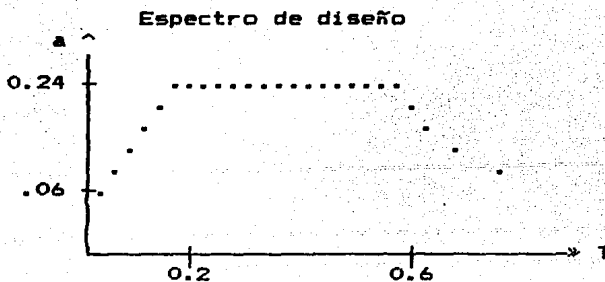
1.0
8.86
-4.56
1.12

W² 3=333.3
T3=.344

Z4=

1.0
8.86
-4.56
1.12

W² 4=2650.31
T=0.122



Para el periodo T1= 1.15 $a = (T_b/T)^r c$

$$a = (0.6/1.15)^{0.5} \times .24 = 0.173$$

$$Q' = Q = 2$$

Para el periodo T2= 0.57

$$a = c = 0.24$$

$$Q' = Q = 2$$

Para el periodo T3= 0.344

$$a = c = 0.24$$

$$Q' = Q = 2$$

Por ser el cuarto periodo menor a 0.4, el reglamento especifica que sólo se tomen periodos mayores a este valor pero considerando por lo menos los tres primeros periodos de vibrar, por lo tanto el cuarto periodo no se tomará en cuenta.

El el espectro de diseño A1 será:

$$A1 = 0.173 \times 981 / 2 = 85.03 \text{ cm./s}^2$$

$$A2 = 0.24 \times 981 / 2 = 117.72 \text{ cm./s}^2$$

$$A3 = 0.24 \times 981 / 2 = 117.72 \text{ cm./s}^2$$

Los coeficientes de participación serán.

$$C1 = \frac{1.506 \times 1 + 1.866 \times 10.03 + 1.866 \times 26.33 + 1.059 \times 48.056}{1.506 \times 1^2 + 1.866 \times 10.03^2 + 1.866 \times 26.33^2 + 1.059 \times 48.05^2}$$

$$C1 = 0.0306$$

$$C2 = \frac{1.506 \times 1 + 1.866 \times 9.677 + 1.866 \times 16.27 - 1.059 \times 19.29}{1.506 \times 1^2 + 1.866 \times 9.677^2 + 1.866 \times 16.27^2 + 1.059 \times 19.29^2}$$

$$C2 = 0.0277$$

$$C3 = \frac{1.506 \times 1 + 1.866 \times 8.86 - 1.866 \times 4.56 + 1.059 \times 1.12}{1.506 \times 1^2 + 1.866 \times 8.86^2 - 1.866 \times 4.56^2 + 1.059 \times 1.12^2}$$

$$C4 = 0.569$$

Los desplazamientos máximos de las masas en el modo j, resultan.

$$U1 = \frac{85.03 \times 0.0306}{29.67} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 10.03 \\ 26.33 \\ 48.06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0877 \\ 0.879 \\ 2.309 \\ 4.2142 \end{bmatrix} ; \delta U1 = \begin{bmatrix} 0.0877 \\ 0.7913 \\ 1.43 \\ 1.905 \end{bmatrix}$$

$$U2 = \frac{117.7 \times 0.0277}{120.93} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 9.67 \\ 16.27 \\ -19.29 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0269 \\ 0.2609 \\ 0.438 \\ -0.52 \end{bmatrix} ; \delta U2 = \begin{bmatrix} 0.0269 \\ 0.234 \\ 0.177 \\ -0.958 \end{bmatrix}$$

$$U3 = \frac{117.7 \times 0.0569}{333.30} \times \begin{bmatrix} 1.00 \\ 8.86 \\ -4.56 \\ 1.12 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.020 \\ 0.178 \\ -0.091 \\ 0.022 \end{bmatrix} ; \delta U3 = \begin{bmatrix} 0.020 \\ 0.158 \\ -0.269 \\ 0.113 \end{bmatrix}$$

Cortantes de entrapiso

$$\begin{aligned} V11 &= 3568 \times 0.0877 = 312.9 \\ V21 &= 390.17 \times 0.7913 = 308.74 \\ V31 &= 182.13 \times 1.43 = 260.45 \\ V41 &= 69.49 \times 1.905 = 132.38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V12 &= 3568 \times 0.0269 = 95.98 \\ V22 &= 390.17 \times 0.234 = 91.29 \\ V32 &= 182.13 \times 0.1771 = 32.26 \\ V42 &= 69.49 \times -0.958 = -66.57 \end{aligned}$$

$$V13 = 3568 \times 0.20 = 71.36$$

$$\begin{aligned}
 V_{23} &= 390.17 \times 0.158 = 61.65 \\
 V_{33} &= 182.13 \times -.269 = -48.99 \\
 V_{43} &= 69.49 \times 0.113 = 7.85
 \end{aligned}$$

Los cortantes finales serán una combinación de los cortantes debidos a cada modo.

$$V_1 = \sqrt{319.9^2 + 95.98^2 + 71.36^2} = 341.52 \text{ T.}$$

$$V_2 = \sqrt{308.7^2 + 91.29^2 + 61.65^2} = 327.80 \text{ T.}$$

$$V_3 = \sqrt{260.45^2 + 32.26^2 + -48.99^2} = 266.97 \text{ T.}$$

$$V_4 = \sqrt{132.38^2 + -66.57^2 + 7.85^2} = 148.38 \text{ T.}$$

Y por último los desplazamientos relativos serán:

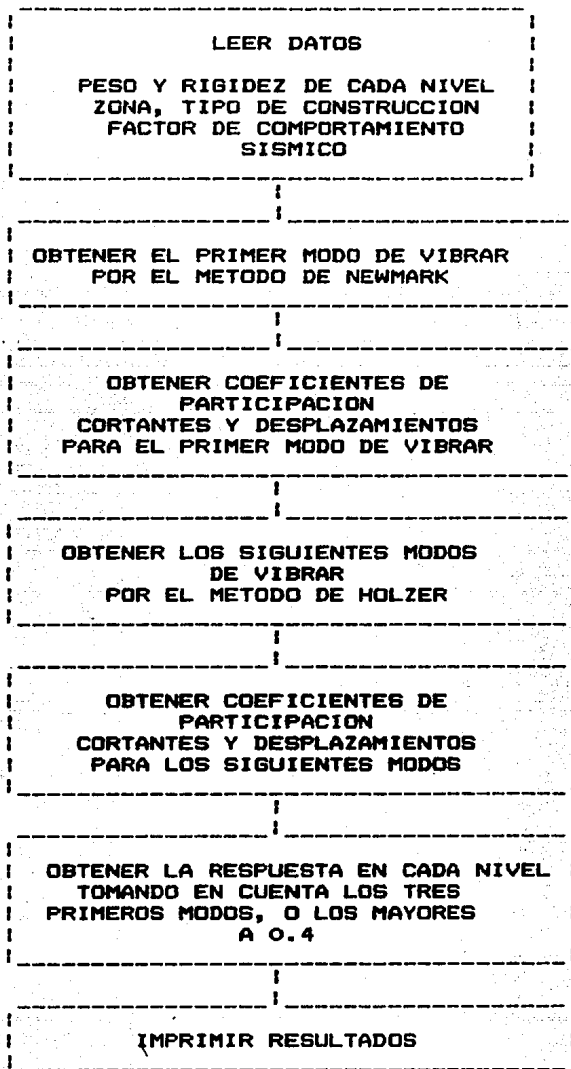
$$\delta_1 = \sqrt{0.0877^2 + .0269^2 + .020^2} = 0.0938 \text{ cm.}$$

$$\delta_2 = \sqrt{0.7913^2 + 0.234^2 + 0.158^2} = 0.840 \text{ cm.}$$

$$\delta_3 = \sqrt{1.43^2 + 0.1771^2 + -.269^2} = 1.465 \text{ cm.}$$

$$\delta_4 = \sqrt{1.905^2 + -0.958^2 + 0.113^2} = 2.135 \text{ cm.}$$

A continuación se presenta el diagrama de bloques y el listado del programa que da solución al problema de Análisis Dinámico.



```

10 REM Modos de Vibrar
20 CLEAR:CLS:KEY OFF
30 READ N
40 DIM M(N),K(N),Y(N),X#(N),OM(N),D(N,N),V1(N,N)
50 TA(1,1)=.16:TA(1,4)=.2:TA(1,5)=.6:TA(1,6)=.5
60 TA(2,1)=.32:TA(2,4)=.3:TA(2,5)=1.5:TA(2,6)=2/3
70 TA(3,1)=.4:TA(3,4)=.6:TA(3,5)=3.9:TA(3,6)=1
80 PRINT "":PRINT ""
90 READ Z:PRINT "                Zona";Z
100 READ Q:PRINT "                Factor de comportamiento
sismico Q=";Q
110 READ CS$:PRINT "                Tipo de construccion
";CS$
120 IF (CS$="A") THEN CE=TA(Z,1)*1.5:GOTO 140
130 IF (CS$="B") THEN CE=TA(Z,1):GOTO 140
140 T1=TA(Z,4):T2=TA(Z,5):AO=CE/4:RE=TA(Z,6)
150 PRINT "":PRINT "                COEFICIENTES
PARA EL ESPECTRO DE DISEÑO":PRINT "":PRINT "
160 PRINT "                a"
170 PRINT "                ^ "
180 PRINT "                |"
190 PRINT "                C | ..... "
200 PRINT "                | . "
210 PRINT "                | . "
220 PRINT "                | . "
230 PRINT "                AO | . "
240 PRINT "                | "
250 PRINT "                | "
260 PRINT "                PRINT "
I-----T"
270 PRINT "                Ta                Tb "
280 PRINT "                C=";CE
290 PRINT "                AO=";AO
300 PRINT "                Ta=";T1,"Tb=";T2
310 PRINT "                R=";RE:PRINT:PRINT
320 INPUT "                Desea cambiar parametros SI/NO
";G$
330 IF (G$="SI") THEN
INPUT "C=";CE:INPUT "AO=";AO:INPUT "Ta=";T1:INPUT "Tb=";T2:INPUT
R=";RE:GOTO 150
340 REM Metodo de Newmark
350 PRINT "":PRINT "":PRINT "":PRINT "                NIVEL
PESO (T.)                RIGIDEZ (T./cm.)"
360 PRINT
370 FOR I=1 TO N:READ G,M(I),K(I):X#(I)=I:PRINT USING"
#,###";G;PRINT
USING"###,###,###,###";M(I),K(I):M(I)=M(I)/981:NEXT
I:PRINT "":PRINT ""
380 FOR I=1 TO N:Y(I)=X#(I)*M(I):NEXT I
390 FOR I=N-1 TO 1 STEP -1:Y(I)=Y(I)+Y(I+1):NEXT I
400 FOR I=1 TO N:Y(I)=Y(I)/K(I):NEXT I
410 FOR I=2 TO N:Y(I)=Y(I)+Y(I-1):NEXT I
420 FOR I=1 TO N:OM(I)=X#(I)/Y(I):NEXT I
430 FOR I=2 TO N:X#(I)=OM(1)*Y(I):NEXT I

```



```

440 R# = ABS(OM(N) - OM(N-1))
450 IF (R# > .001) THEN 380
460 FOR I = 1 TO N: WP = WP + OM(I): NEXT I
470 REM Modos Siguientes de Vibrar
480 PRINT " Modos de vibrar de la
estructura": PRINT "": PRINT ""
490 FOR KA = 2 TO N
500 GOSUB 880
510 IF (R# > 0) THEN VA = 1: A = -1/5/KA*BA: RM# = R#: WM# = WP#: GOTO 530
520 VB = 1: A = 1/5/KA*BA: RN# = R#: WN# = WP#
530 IF (VA = 1 AND VB = 1) THEN 570
540 GOTO 500
550 IF (R# > 0) THEN RM# = R#: WM# = WP#: GOTO 570
560 RN# = R#: WN# = WP#
570 IF (ABS(R#) < .1) THEN 600
580 S# = (WN# - WM#) / (RN# - RM#) * -RM# + WM#: C = 1: A = 0: GOSUB 880
590 GOTO 550
600 PRINT "": PRINT "": PRINT ""
W2": KA: "=": WP#: T = 6.283185307# / WP# ^ .5: PRINT ""
T = "": PRINT "": PRINT ""
610 FOR I = 1 TO N: PRINT ""
X("": I) = "": X#(I): NEXT I
620 PRINT "": PRINT ""
630 IF (T < T1) THEN A = (1 + 3*T/T1)*AO: Q = 1 + (Q-1)*T/T1: GOTO 660
640 Q = Q: IF (T > T2) THEN A = CE*(T2/T)^RE: GOTO 660
650 A = CE
660 FOR I = 1 TO N: AR = AR + M(I)*X#(I): AB = AB + M(I)*X#(I)^2: NEXT I
670 U = AR/AB*A/Q*981/WP#
680 PRINT "": PRINT ""
690 PRINT " Cortantes y desplazamientos
relativos para el Modo numero": KA
700 PRINT "": PRINT ""
710 FOR I = 1 TO N: D(I, KA) = U*X#(I) - U*X#(I-1): V1(I, KA) = D(I, KA)*K(I)
720 PRINT " V("": I, "": KA) = "": PRINT ""
USING "###, ###.## T.": V1(I, KA):
730 PRINT " D("": I, "": KA) = "": PRINT ""
USING "##.##### cm.": D(I, KA): NEXT I
740 AR = 0: AB = 0
750 VA = 0: VB = 0: S# = WP#: SA = BA*-1
760 IF (KA = 1) THEN 560
770 NEXT KA
780 PRINT "": PRINT "" Cortantes y
desplazamientos relativos "
790 PRINT " considerando todos los modos de
vibrar": PRINT "": PRINT ""
800 FOR I = 1 TO N: V = 0: DE = 0
810 FOR J = 1 TO N
820 V = V + V1(I, J)^2: DE = DE + D(I, J)^2
830 NEXT J
840 V = V ^ .5: DE = DE ^ .5
850 PRINT USING " V(#)=###,###.## T.
D(#)=##.##### cm.": I: V: I: DE
860 NEXT I

```

```

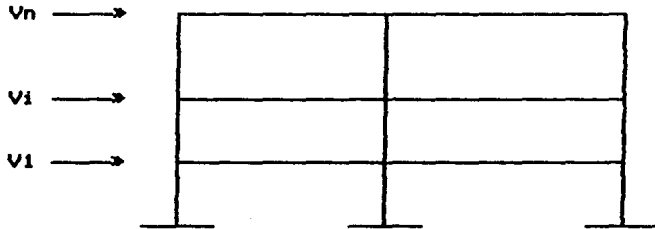
870 END
880 REM Subrutina Holzer
890 FOR I=1 TO N-1
900 F#=M(I)*WP**X#(I):FX#=FX#+F**X#(I)
910 V#=V#-F#
920 DX#=V#/K(I+1):QD#=QD#+DX**V#
930 X#(I+1)=X#(I)+DX#
940 NEXT I
950 F#=M(N)*X#(N)*WP#:FX#=FX#+F**X#(N):QD#=QD#+K(1)
960 RETURN
970 REM
980 REM
990 REM
1000 REM
Sismico Q
1010 REM
1020 REM
FORMA DE USO DEL PROGRAMA
1.- Numero de Niveles
2.- Zona 1,2 3
3.- Factor de comportamiento
4.- Tipo de construccion A,B,C
5.-
Nivel,Peso(Toneladas),Rigidez(T/cm)
1030 REM
Datos para cada nivel
1040 DATA 3,2,2,B,1,1955,836.61,2,1955,360,3,1320,151.6

```

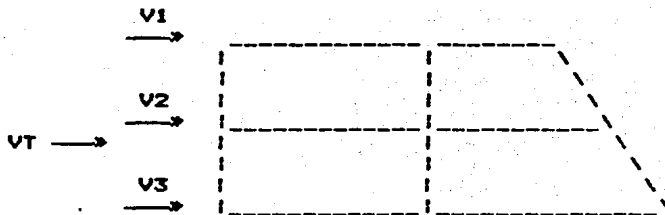
CAPITULO V

DISTRIBUCION POR TORSION

Para concluir el análisis sísmico de una estructura, es necesario distribuir las fuerzas sísmicas calculadas con el análisis dinámico modal, las cuales suponemos se encuentran aplicadas en los centros de masa de cada nivel, toca en este capítulo repartir dichas fuerzas en los ejes de rigidez que forman cada planta, esta repartición se hace en proporción a la rigidez con la que cuenta cada eje rigidizante y también en proporción al momento torsionante producido por la excentricidad en planta, entendiéndose como excentricidad la distancia entre el centro de cortante y centro de torsión.



Marco que contribuye a la rigidez de la estructura



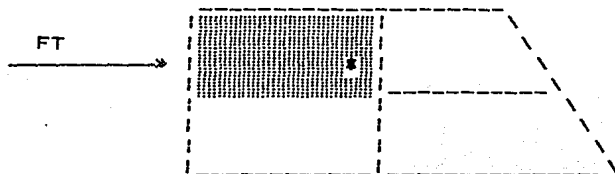
Ejes rigidizantes en planta

Los ejes rigidizantes que constituyen una de las plantas del total que configura una estructura, están formados por marcos de acero y/o concreto, y/o muros de cortante, los cuales contribuyen a dar rigidez al total de la estructura.

Para poder entender la manera en que funciona un eje de rigidez en una de las plantas de la estructura, definiremos

algunos conceptos básicos.

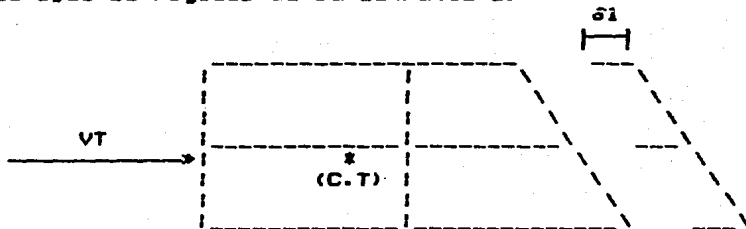
Centro de masa. - Es el punto de aplicación de la fuerza sísmica en un cierto nivel considerado, se encuentra en función de la distribución de la masa en planta.



Si suponemos que el área sombreada de la planta mostrada en la figura, es en relación a los otros tableros más pesada, el centro de masa estará defasado a ese tablero. En la figura 'x' simboliza el centro de masa.

Centro de cortante. - Es el punto de aplicación de la fuerza cortante, se encuentra en función de los centros de masa y cortantes del entrepiso.

Centro de torsión. - Es el punto de aplicación de la resultante de la resistencia de cada entrepiso, en otras palabras, es el punto por el que debe pasar la línea de acción de la fuerza sísmica para que el movimiento relativo de los dos niveles que limitan el entrepiso sea exclusivamente de traslación, en caso contrario existe torsión o rotación. El centro de torsión está en función de los ejes de rigidez de la estructura.



Para hacer el análisis bidimensional, utilizaremos el método expuesto por el ingeniero Julio Dany Rios, este método es una generalización del método de centros de torsión através de rigidez de entrepiso, expuesto por el folleto complementario de diseño sísmico 1962, el método sólo es aplicable a marcos ortogonales, lo que el método bidimensional del Ingeniero Julio Dany generaliza para marcos no ortogonales en planta. La idea de este último trabajo es

Quando se presenta la acción sísmica, la losa del edificio tendrá un desplazamiento de cuerpo rígido cuyos componentes serán D_x , D_y y θ .

Aplicando la ecuación de equilibrio al edificio, se tiene:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{XX} & K_{YY} & K_{X\theta} \\ K_{YX} & K_{YY} & K_{Y\theta} \\ K_{\theta X} & K_{\theta Y} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} D_x \\ D_y \\ \theta \end{bmatrix}$$

Lo que a continuación se busca es diagonalizar la matriz del sistema, que se efectúa en dos etapas.

1.- Rotar los ejes coordenados.

Si se desea que la matriz $[K]$ tenga la forma siguiente:

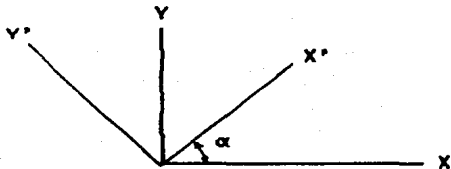
$$[K] = \begin{bmatrix} K_{X'X'} & 0 & K_{X'\theta} \\ 0 & K_{Y'Y'} & K_{Y'\theta} \\ K_{\theta X'} & K_{Y'\theta} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix}$$

Será necesario rotar los ejes coordenados a los nuevos ejes, llamados ejes principales de rigidez, de lo cual se obtienen las siguientes expresiones.

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{-K_{XY}}{K_{YY} - K_{X'X'}} \right]$$

$$K_{X'X'} = \frac{K_{XX} + K_{YY}}{2} + \sqrt{\left[\frac{K_{XX} - K_{YY}}{2} \right]^2 + K_{XY}^2}$$

$$K_{Y'Y'} = \frac{K_{XX} + K_{YY}}{2} - \sqrt{\left[\frac{K_{XX} - K_{YY}}{2} \right]^2 + K_{XY}^2}$$



Si se desea que la matriz [K] tenga la forma siguiente:

$$[K] = \begin{bmatrix} \text{---} & & \text{---} \\ | & K_{XX} & 0 & 0 & | \\ | & 0 & K_{YY} & 0 & | \\ | & 0 & 0 & K_{\theta\theta} & | \\ \text{---} & & \text{---} \end{bmatrix}$$

Será necesario trasladar los ejes coordenados moviendo el origen a un punto C.T. que será el centro de torsión, sus coordenadas están dadas por las fórmulas:

$$X_T' = \frac{\sum x'_{j'} k_j \sin^2 \beta'_{j'} - \sum y'_{j'} k_j \cos \beta'_{j'} \sin \beta'_{j'}}{\sum k_j \sin^2 \beta'_{j'}}$$

$$Y_T' = \frac{\sum y'_{j'} k_j \cos^2 \beta'_{j'} - \sum x'_{j'} k_j \cos \beta'_{j'} \sin \beta'_{j'}}{\sum k_j \cos^2 \beta'_{j'}}$$

Resumiendo, si se usa un sistema principal con origen en el centro de torsión, se logra que la ecuación del sistema tenga la forma siguiente:

$$\begin{aligned} V_X &= K_{XX} D_X \\ V_Y &= K_{YY} D_Y \\ M &= K_{\theta\theta} \theta \end{aligned}$$

A continuación se presenta, la forma de proceder para determinar los cortantes en cada eje rigidizante.

1.- Obtener los nuevos ejes principales de rigidez

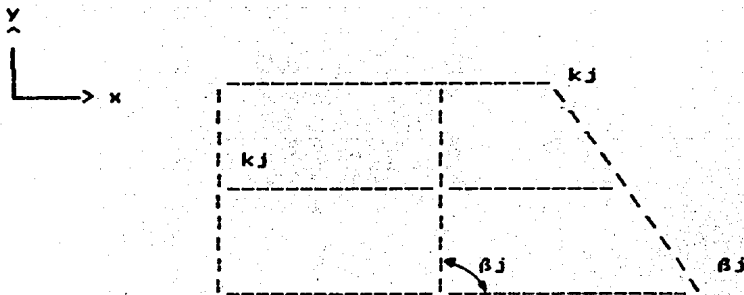
$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{-KXY}{KYY - KX^2 X^2} \right]$$

$$KX^2 X^2 = \frac{KXX + KYY}{2} + \sqrt{\left[\frac{KXX - KYY}{2} \right]^2 + KXY^2}$$

$$KXX = \sum k_j \cos^2 \beta_j$$

$$KYY = \sum k_j \sin^2 \beta_j$$

$$KXY = \sum k_j \cos \beta_j \sin \beta_j$$



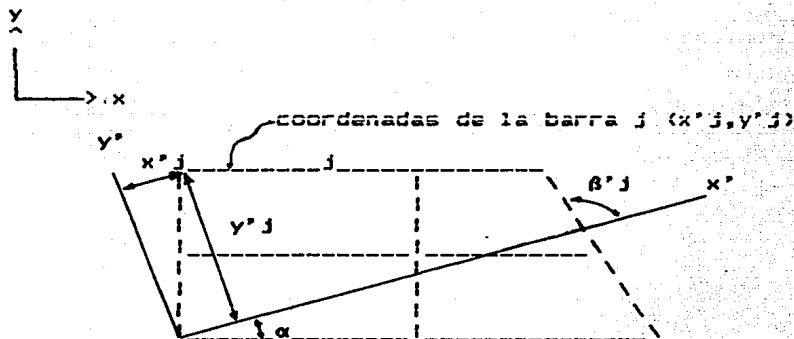
k_j = Rigidez de la barra j

β_j = Angulo del marco j respecto al eje x , positivo en el sentido antihorario.

2.- Calcular el centro de torsión referido a los nuevos ejes de rigidez.

$$X'T = \frac{\sum x^j k_j \operatorname{sen}^2 \beta^j - \sum y^j k_j \operatorname{cos} \beta^j \operatorname{sen} \beta^j}{\sum k_j \operatorname{sen}^2 \beta^j}$$

$$Y'T = \frac{\sum y^j k_j \operatorname{cos}^2 \beta^j - \sum x^j k_j \operatorname{cos} \beta^j \operatorname{sen} \beta^j}{\sum k_j \operatorname{cos}^2 \beta^j}$$



$$x^j = x \operatorname{cos} \alpha + y \operatorname{sen} \alpha$$

$$y^j = y \operatorname{cos} \alpha - x \operatorname{sen} \alpha$$

$$\beta^j = \beta_j - \alpha$$

x^j, y^j .- Coordenadas de la barra j respecto a los nuevos ejes de rigidez x', y' .

β^j .- Angulo que forma la barra j respecto a los nuevos ejes de rigidez x', y' .

α .- Representa el ángulo que forman los ejes principales con respecto a los nuevos ejes de rigidez.

3.- Calcular las coordenadas del centro de cortante

$$X_{co} = \frac{\sum_{i=k}^{nN} X_{Mi} F_i}{\sum V_k}$$

$$Y_{co} = \frac{\sum_{i=k}^{nN} Y_{Mi} F_i}{k} \quad V_k$$

X_{co}, Y_{co} . - Coordenadas del centro de cortante respecto a x, y en el entrepiso k .

X_{Mi}, Y_{Mi} . - Coordenadas del centro de masa del nivel i respecto a los ejes x, y .

nN . - Número de Niveles.

4.- Calcular las excentricidades de diseño

$$X_c = X'_{co} - X'T$$

$$Y_c = Y'_{co} - Y'T$$

$$X'_{co} = X_{co} \cos \alpha + Y_{co} \sen \alpha$$

$$Y'_{co} = Y_{co} \cos \alpha - X_{co} \sen \alpha$$

$$(ex)_i = X_c \sen \xi - Y_c \cos \xi \quad \xi = -\alpha$$

$$(ey)_i = X_c \cos \xi - Y_c \sen \xi \quad \xi = 90 - \alpha$$

$$(Exi)1 = 1.5 ex_i + 0.1 Ly_i S(ex_i)$$

$$(Exi)2 = ex_i - 0.1 Ly_i S(ex_i)$$

$$(Eyi)1 = 1.5 ey_i + 0.1 Lx_i S(ey_i)$$

$$(Eyi)2 = ey_i - 0.1 Lx_i S(ey_i)$$

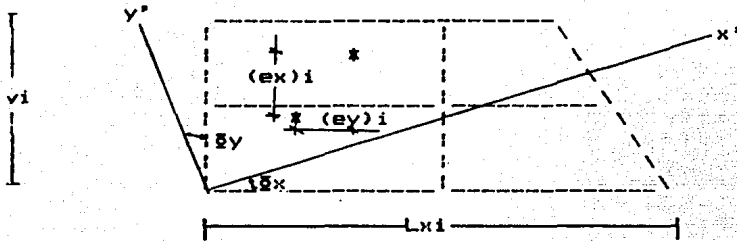
X_c, Y_c . - Distancias entre el C.T. y el C.C. paralelas a los eje x' y' .

$(ex)_i$ y $(ey)_i$. - distancias entre el centro de cortante y centro de torsión en el nivel i , paralelas a $x-y$.

$(Exi)1, (Exi)2, (Eyi)1, (Eyi)2$. - Representan las excentricidades de diseño que establece el Reglamento 1986.

Ly_i, Lx_i . - Es la distancia mayor en x , y la distancia mayor en y , de la planta i .

$S(ex_i)$, $S(ey_i)$. - Son los signos de las excentricidades ex_i , ey_i , de la planta i .



5.- Calcular los cortantes correspondientes para cada marco

$$= k_j V_j \left[\left(\frac{\cos \beta}{K_{XX}} - \frac{Y_j t E_i}{K_{\theta\theta}} \right) \cos \beta' j + \left(\frac{\sin \beta}{K_{YY}} + \frac{X_j t E_i}{K_{\theta\theta}} \right) \sin \beta' \right]$$

$$X_j t = X' T - x' j$$

$$Y_j t = Y' T - y' j$$

$$K_{\theta\theta} = \sum K_j d_j^2$$

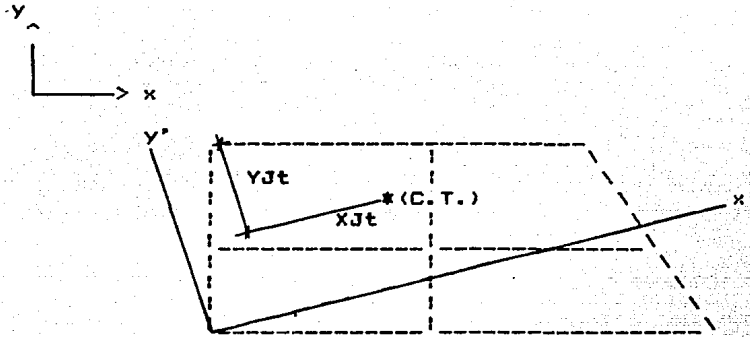
$$d_j = X_j t \sin \beta_j - Y_j t \cos \beta_j$$

V_j . - Es el cortante que le corresponde al marco j debido al cortante total de entrepiso V_i . Para el sentido X , $V_i = V_x$, y para el sentido Y , $V_i = V_y$, existirán cuatro cortantes V_j por cada marco, debido a las cuatro excentricidades de diseño.

k_j = Rigidez del marco j

$X_j t$, $Y_j t$. - Coordenadas de un punto cualquiera del marco j respecto a los nuevos ejes de rigidez X' - Y' con origen en el centro de torsión ($X' T$, $Y' T$)

$x' j$, $y' j$. - Coordenadas de un punto de la barra j referidos a los nuevos ejes de rigidez x' - y' .



El reglamento 87, especifica que se deberá tomar el cortante por torsión debido al momento mayor en el sentido contrario al de donde se cálculo el cortante total y diseñar para la condición mas desfavorable de las combinaciones siguientes:

$$V + .3 VT$$

$$VT + .3 V$$

Donde V es el cortante Total en el marco j debido al sentido x ó y.

VT representa el cortante por torsión debido al movimiento producido por el cortante en el sentido opuesto a V.

Entonces VT estará dado por la siguiente ecuación

$$MX = VX EX \quad EX.- \text{ Mayor excentricidad en y}$$

$$MY = VY EY \quad EY.- \text{ Mayor excentricidad en x}$$

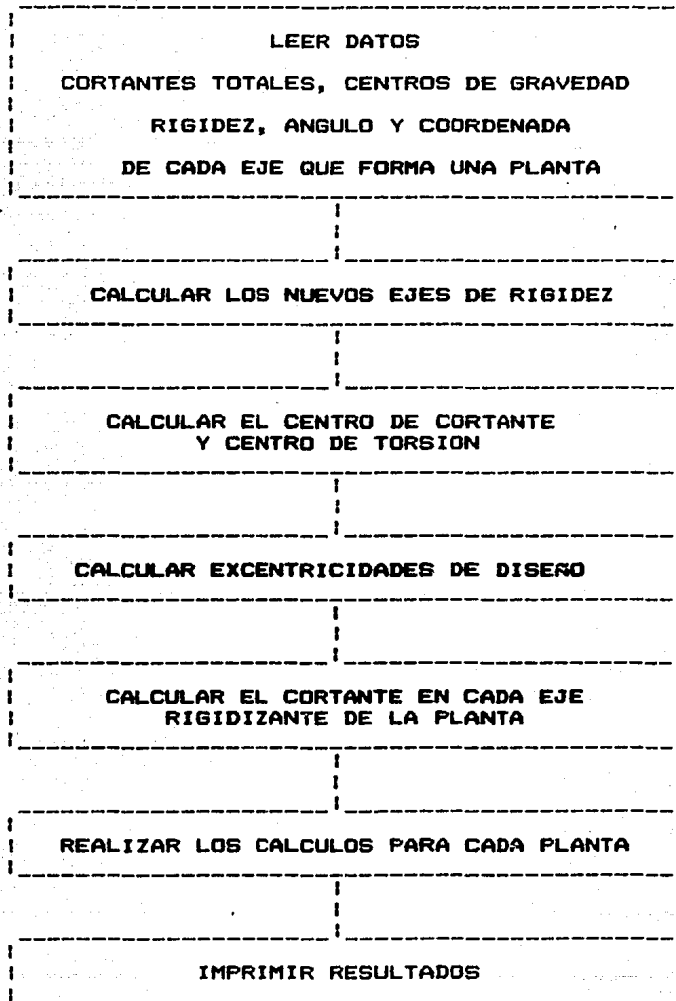
El cortante producido por el momento en X será:

$$VT = \frac{MX KJ}{K_{\theta\theta}} \left[-YJt \cos \beta'j + XJt \sin \beta'j \right]$$

El cortante producido por el momento en Y será:

$$V_T = \frac{MY K_j}{K_{\theta\theta}} \left[-YJt \cos \beta' j + XJt \sin \beta' j \right]$$

A continuación se expone el diagrama de bloques y el listado del programa que da solución al problema de la distribución por Torsión.



```

10 CLS:LOCATE 2,13:PRINT "PROGRAMA PARA DETERMINAR
DISTRIBUCIONES POR TORSION"
20 CLEAR:COLOR 1,0:KEY OFF:LOCATE 18:FILES:COLOR 0,1
30 LOCATE 8,10:PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ":COLOR
1,0:LOCATE 8,40:INPUT "",AG$:COLOR 0,1
40 LOCATE 10,10:PRINT "NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS
":COLOR 1,0:LOCATE 10,45:INPUT "",B$
50 OPEN AG$ FOR INPUT AS#1
60 OPEN B$ FOR OUTPUT AS#2
70 PRINT#2, "":PRINT#2, "":PRINT#2, ""
80 INPUT #1,NN
90 INPUT #1,OP
100
DIM
XA(OP),B(OP),YA(OP),BP(OP),Y(OP),K(OP),X(OP),XJ(OP),YJ(OP)
110 DIM XM(NN),YM(NN),FX(NN),FY(NN),VX(NN+1),VY(NN+1)
120 PRINT#2, "Entrepiso Coordenadas Fuerzas y
Cortantes de entrepiso"
130 PRINT#2, " numero del centro de masa referidos a
los ejes x-y en Ton."
140 PRINT#2, " X Y Fx Vx
FY VY"
150 FOR I=1 TO NN:INPUT #1,G,XM(I),YM(I),FX(I),FY(I):NEXT I
160 FOR I= NN TO 1
VX(I)=VX(I+1)+FX(I):VY(I)=VY(I+1)+FY(I):NEXT I
170 FOR I=1 TO NN:PRINT#2, USING " ### ##.## ##.##
###.## #,###.## #,###.## #,###.##
###.##":I,XM(I),YM(I),FX(I),VX(I),FY(I),VY(I):NEXT I
180 FOR L=NN TO 1 STEP-1
190 INPUT #1,N
200 PRINT#2, ""
210 PRINT#2, ""
220 PRINT#2, " NIVEL NUMERO
":L:PRINT#2, "":PRINT#2, ""
230 PRINT#2, " Numero X Y
Beta T./m. "
240 FOR I=1 TO N
250 INPUT #1,G,X(I),Y(I),B(I),K(I):PRINT#2, ""
260 PRINT#2, " ":PRINT#2, " PRINT#2,
USING "#,###,###.##":G,X(I),Y(I),B(I),K(I)
270 NEXT I
280 INPUT #1,B1,B2
290 PRINT#2, "":PRINT#2, "":PRINT#2, " Longitud
mayor del eje X=":B1;" m.":PRINT#2, "":PRINT#2, "
Longitud mayor del eje Y=":B2;" m.":PRINT#2, "":PRINT#2, ""
300 FOR I=1 TO N
310
KX=KX+K(I)*(COS(B(I)))^2:KY=KY+K(I)*(SIN(B(I)))^2:XY=XY+K(I)*
COS(B(I))*SIN(B(I))
320 NEXT I
330 XP=(KX+KY)/2+(((KX-KY)/2)^2+XY^2)^.5
340 YP=(KX+KY)/2-(((KX-KY)/2)^2+XY^2)^.5
350 IF (INT(KY)-INT(YP)=0) THEN G=KY:KY=1
360 GA=ATN(-XY/(KY-YP))
370 IF (KY=1) THEN KY=G

```

```

380 FOR I=1 TO N
390 XA(I)=X(I)*COS(GA)+Y(I)*SIN(GA)
400 YA(I)=Y(I)*COS(GA)-X(I)*SIN(GA)
410 BP(I)=B(I)-GA
420 S1=S1+XA(I)*K(I)*SIN(BP(I))^2
430 S2=S2+YA(I)*K(I)*COS(BP(I))*SIN(BP(I))
440 S4=S4+YA(I)*K(I)*COS(BP(I))^2
450 S5=S5+XA(I)*K(I)*COS(BP(I))*SIN(BP(I))
460 S6=S6+K(I)*COS(BP(I))^2
470 NEXT I
480 X2=(S1-S2)/S3;Y2=(S4-S5)/S6
490 FOR I=L TO NN:XC=XC+XM(I)*FY(I):YC=YC+YM(I)*FX(I):NEXT I
500 XC=XC/VY(L):YC=YC/VX(L)
510 PRINT#2,"                               Coordinadas del centro de
Cortante"
520 PRINT#2, USING "                               XC=###.###
YC=###.###";XC;YC:PRINT#2,"";PRINT#2,""
530 CA=X2:X1=X2*COS(-GA)+Y2*SIN(-GA):Y1=Y2*COS(-GA)-CA*SIN(-
GA)
540 PRINT#2,"                               Coordinadas del centro de
Torsion"
550 PRINT#2, USING "                               XT=###.###
YT=###.###";X1;Y1:PRINT#2,"";PRINT#2,""
560 CA=XC:XC=XC*COS(GA)+YC*SIN(GA):YC=YC*COS(GA)-
CA*SIN(GA):XC=XC-X2:YC=YC-Y2
570 FOR I=1 TO N
580 XJ(I)=XA(I)-X2;YJ(I)=YA(I)-Y2
590 KT=KT+(XJ(I)*SIN(BP(I))-YJ(I)*COS(BP(I)))^2*K(I)
600 NEXT I
610 F1=-GA:VE=VX(L)
620 PRINT#2,"                               SISMO EN X ANGULO=";
630 PRINT#2, USING "                               ###.###";F1#57.29577951#
:PRINT#2,"";PRINT#2,""
640 GOSUB 720
650 F1=1.570796327#-GA:B2=B1:VE=VY(L)
660 PRINT#2,"                               SISMO EN Y ANGULO=";
670 PRINT#2, USING "                               ###.###";F1#57.29577951#:PRINT#2,"";PRINT#2,""
680 GOSUB 720
690 KT=0:S1=0:S2=0:S3=0:S4=0:S5=0:S6=0
700 NEXT L
710 END
720 E=XC*SIN(F1)-YC*COS(F1)
730 IF(E<0) THEN SG=-1:GOTO 750
740 SG=1
750 E1=1.5#E+.1#B2#SG:E2=E-.1#B2#SG
760 PRINT#2, USING "                               Eje                               Excentricidad 1 =
###.###                               Excentricidad 2 = ###.###";E1;E2
770 PRINT#2,""
780 FOR J=1 TO N
790 VA=K(J)*VE*((COS(F1)/KX-
YJ(J)*E1/KT)*COS(BP(J))+(SIN(F1)/KY+XJ(J)*E1/KT)*SIN(BP(J)))
800 VB=K(J)*VE*((COS(F1)/KX-
YJ(J)*E2/KT)*COS(BP(J))+(SIN(F1)/KY+XJ(J)*E2/KT)*SIN(BP(J)))

```



```

810          PRINT#2,          USING          "          ###
###,###.###
820 NEXT J          ###,###.###";J;VA;VB          ###
830
PRINT#2,".....
.....":PRINT#2, ""
840 RETURN
850 REM          Forma de uso del programa
860 REM          1.-Numero de niveles
870 REM          2.-Numero de ejes mayores de un
entrepiso
880 REM          de la estructura
890 REM          3.-Nivel comenzando por el
primero
900 REM          4.-Coordenada del centro de masa
primero x
910 REM          despues Y
920 REM          5.-Fuerza en el entrepiso en X
y en Y
930 REM          *** NN,N,X,Y,XM,YM,FX,FY,***
940 REM
950 REM          DATOS PARA CADA NIVEL
960 REM          a)numero de ejes del nivel
970 REM          b) eje,cordenada x,
cordenada y
980 REM
990 REM          c) angulo
1000 REM          d) rigidez en T./m.
nivel          Para todos los ejes del
1010 REM          e) Longitud maxima de un
eje del entrepiso
1020 REM          con respecto a los ejes
principales
1030 REM          primero en x, despues
en y

```

CAPITULO VI

EJEMPLOS DE APLICACION

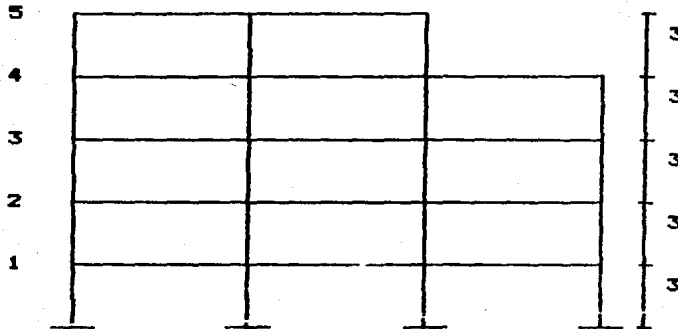
En este capitulo son presentados dos ejemplos en los cuales se aplican los programas realizados para el análisis sísmico, el primer ejemplo fué tomado del libro de Análisis Sísmico de Enrique Bazan y Roberto Meli, en el cual es necesario calcular los cortantes que corresponden para cada eje rigidizante que conforman las plantas del edificio de cinco niveles, por medio de una distribución por torsión.

El hecho de tomar un ejemplo ya resuelto como el ejemplo N° 1, fué con la finalidad de comparar los resultados que se encuentran en el libro de Meli y Bazan, con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

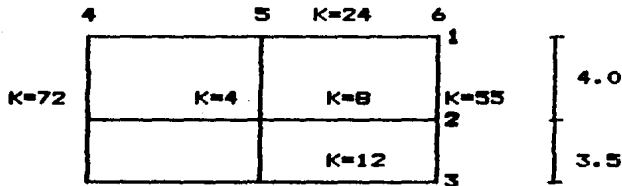
En el segundo ejemplo se pide realizar el análisis sísmico de un edificio de tres niveles compuesto de marcos de concreto reforzado como elementos sismoresistentes, para lo cual haremos uso de los cuatro programas hechos para este fin.

EJEMPLO 1

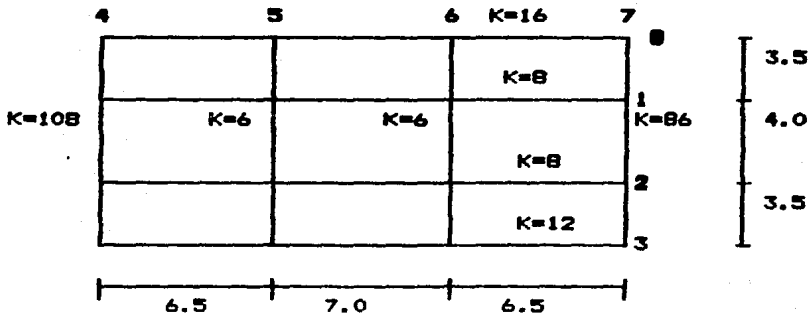
Nivel



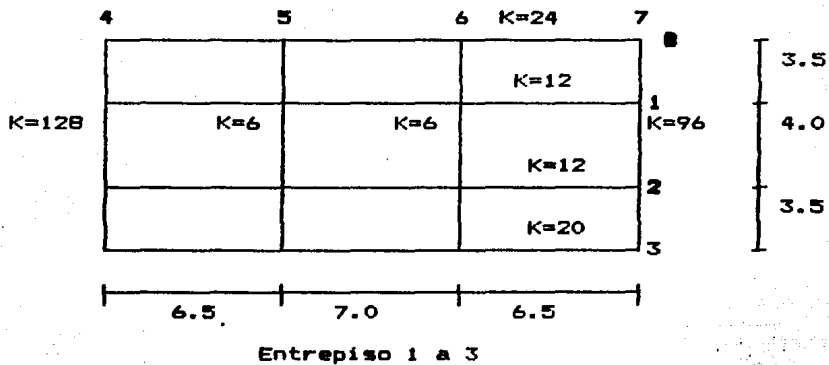
Distancias, en metros y Rigideces en Ton./cm.



Entrepiso 5



Entrepiso 4



Cortantes de diseño y centros de masa

Entrepiso	Coordenadas		V _x	V _y
	x	y		
1	8.50	6.30	53.81	107.63
2	9.20	5.50	47.63	95.27
3	9.20	5.50	38.62	77.25
4	9.20	5.50	25.75	51.50
5	6.75	3.75	12.36	24.72

--*-*-*
 * Programa para determinar la distribucion de cortantes en planta *
 * utilizando el metodo tradicional de centros de torsion atraves *
 * de rigidez de entrepiso generalizado para marcos no ortogonales *
 * Metodo expuesto por el Ingeniero Julio Dany Rios. *
 * Derechos y realizacion de este programa Gonzalo Ramirez Torres *
 --*-*-*

Entrepiso numero	Coordenadas del centro de masa		Fuerzas y Cortantes de entrepiso referidos a los ejes x-y en Ton.			
	X	Y	FX	VX	FY	VY
1	8.50	6.30	6.18	53.81	12.36	107.63
2	9.20	5.50	9.01	47.63	18.02	95.27
3	9.20	5.50	12.87	38.62	25.75	77.25
4	9.20	5.50	13.39	25.75	26.78	51.50
5	6.75	3.75	12.36	12.36	24.72	24.72

NIVEL NUMERO 5

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	7.50	0.00	2,400.00
2.00	0.00	3.50	0.00	800.00
3.00	0.00	0.00	0.00	1,200.00
4.00	0.00	0.00	90.00	7,200.00
5.00	6.50	0.00	90.00	400.00
6.00	13.50	0.00	90.00	5,500.00

Longitud mayor del eje X= 13.5 m.

Longitud mayor del eje Y= 7.5 m.

Coordenadas del centro de Cortante
 XC= 6.750 YC= 3.750

Coordenadas del centro de Torsion
 XT= 5.866 YT= 4.727

SISMO EN X ANGULO= 0.00

Eje Excentricidad 1 = 2.216 Excentricidad 2 = 0.227

1	6.445	6.711
2	2.291	2.252
3	3.624	3.397
4	-1.881	-0.193
5	0.011	0.001
6	1.870	0.192

SISMO EN Y ANGULO= 90.00

Eje	Excentricidad 1 = 2.675	Excentricidad 2 = -0.466
1	-0.716	0.125
2	0.106	-0.018
3	0.610	-0.106
4	9.044	14.379
5	0.782	0.750
6	14.894	9.591

RESULTADOS FINALES						
Eje	Sentido de	Cortante Total	Efectos de Torsion	V +.3Vt	Vt + .3Vt	
	V Total	V	Vt			
1	X	6.71	0.72	6.93	2.73	:
2	X	2.29	0.11	2.32	0.79	:
3	X	3.62	0.61	3.81	1.70	:
4	Y	14.38	1.88	14.94	6.19	:
5	Y	0.78	0.01	0.79	0.25	:
6	Y	14.89	1.87	15.46	6.34	:

NIVEL NUMERO 4

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	7.50	0.00	800.00
2.00	0.00	3.50	0.00	800.00
3.00	0.00	0.00	0.00	1,200.00
4.00	0.00	0.00	90.00	10,800.00
5.00	6.50	0.00	90.00	600.00
6.00	13.50	0.00	90.00	600.00
7.00	20.00	0.00	90.00	8,600.00
8.00	0.00	11.00	0.00	1,600.00

Longitud mayor del eje X= 20 m.

Longitud mayor del eje Y= 11 m.

Coordenadas del centro de Cortante
XC= 8.041 YC= 4.622

Coordenadas del centro de Torsion
XT= 8.932 YT= 6.000

SISMO EN X ANGULO= 0.00

Eje	Excentricidad 1 = 3.167	Excentricidad 2 = 0.278
1	4.633	4.678
2	4.763	4.687
3	7.313	7.048
4	-3.892	-0.342
5	-0.059	-0.005
6	0.111	0.010
7	3.840	0.337
8	9.041	9.335

SISMO EN Y ANGULO= 90.00

Eje	Excentricidad 1 = -3.336	Excentricidad 2 = 1.109
1	0.102	-0.034
2	-0.170	0.057
3	-0.612	0.203
4	35.200	24.274
5	1.624	1.459
6	1.267	1.577
7	13.408	24.190
8	0.680	-0.226

RESULTADOS FINALES						
Eje	Sentido de V Total	Cortante Total V	Efectos de Torsion vt	V +.3Vt	Vt + .3V	
1	X	4.68	0.10	4.71	1.51	:
2	X	4.76	0.17	4.81	1.60	:
3	X	7.31	0.61	7.50	2.81	:
4	Y	35.20	3.89	36.37	14.45	:
5	Y	1.62	0.06	1.64	0.55	:
6	Y	1.58	0.11	1.61	0.58	:
7	Y	24.19	3.84	25.34	11.10	:

I 8 X 9.34 0.68 9.54 3.48 :

NIVEL NUMERO 3

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	7.50	0.00	1,200.00
2.00	0.00	3.50	0.00	1,200.00
3.00	0.00	0.00	0.00	2,000.00
4.00	0.00	0.00	90.00	12,800.00
5.00	6.50	0.00	90.00	600.00
6.00	13.50	0.00	90.00	600.00
7.00	20.00	0.00	90.00	9,600.00
8.00	0.00	11.00	0.00	2,400.00

Longitud mayor del eje X= 20 m.

Longitud mayor del eje Y= 11 m.

Coordenadas del centro de Cortante
XC= 8.404 YC= 4.904

Coordenadas del centro de Torsion
XT= 8.644 YT= 5.824

SISMO EN X ANGULO= 0.00

Eje	Excentricidad 1 = 2.479	Excentricidad 2 = -0.181
1	6.733	6.821
2	6.929	6.807
3	11.833	11.324
4	-4.501	0.328
5	-0.052	0.004
6	0.119	-0.009
7	4.435	-0.323
8	13.125	13.667

SISMO EN Y ANGULO= 90.00

Eje	Excentricidad 1 = -2.359	Excentricidad 2 = 1.760
1	0.156	-0.116
2	-0.216	0.161
3	-0.902	0.673
4	50.468	35.504
5	2.064	1.890
6	1.738	2.132
7	22.980	37.724
8	0.962	-0.718

RESULTADOS FINALES					
Eje	Sentido de V Total	Cortante Total V	Efectos de Torsion Vt	V + .3Vt	Vt + .3V
1	X	6.82	0.16	6.87	2.20
2	X	6.93	0.22	6.99	2.27
3	X	11.83	0.90	12.10	4.45
4	Y	50.47	4.50	51.82	19.64
5	Y	2.06	0.05	2.08	0.67
6	Y	2.13	0.12	2.17	0.76
7	Y	37.72	4.43	39.05	15.75
8	X	13.67	0.96	13.96	5.06

NIVEL NUMERO 2

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	7.50	0.00	1,200.00
2.00	0.00	3.50	0.00	1,200.00
3.00	0.00	0.00	0.00	2,000.00
4.00	0.00	0.00	90.00	12,800.00
5.00	6.50	0.00	90.00	600.00
6.00	13.50	0.00	90.00	600.00
7.00	20.00	0.00	90.00	9,600.00
8.00	0.00	11.00	0.00	2,400.00

Longitud mayor del eje X= 20 m.

Longitud mayor del eje Y= 11 m.

Coordenadas del centro de Cortante
 XC= 8.562 YC= 5.027

Coordenadas del centro de Torsion
 XT= 8.644 YT= 5.824

SISMO EN X ANGULO= 0.00

Eje	Excentricidad 1 = 2.295	Excentricidad 2 = -0.303
1	8.312	8.418
2	8.535	8.388
3	14.550	13.937
4	-5.140	0.679
5	-0.060	0.008
6	0.135	-0.018
7	5.065	-0.669
8	16.233	16.887

SISMO EN Y ANGULO= 90.00

Eje	Excentricidad 1 = -2.123	Excentricidad 2 = 1.918
1	0.173	-0.156
2	-0.240	0.216
3	-1.001	0.904
4	61.183	43.082
5	2.533	2.322
6	2.172	2.648
7	29.382	47.218
8	1.068	-0.965

RESULTADOS FINALES

Eje	Sentido de V Total	Cortante Total V	Efectos de Torsion Vt	V +.3Vt	Vt + .3V
1	X	8.42	0.17	8.47	2.70
2	X	8.53	0.24	8.61	2.80
3	X	14.55	1.00	14.85	5.37
4	Y	61.18	5.14	62.73	23.50
5	Y	2.53	0.06	2.55	0.82
6	Y	2.65	0.14	2.69	0.93
7	Y	47.22	5.06	48.74	19.23
8	X	16.89	1.07	17.21	6.13

NIVEL NUMERO 1

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	7.50	0.00	1,200.00
2.00	0.00	3.50	0.00	1,200.00
3.00	0.00	0.00	0.00	2,000.00
4.00	0.00	0.00	90.00	12,800.00
5.00	6.50	0.00	90.00	600.00
6.00	13.50	0.00	90.00	600.00
7.00	20.00	0.00	90.00	9,600.00
8.00	0.00	11.00	0.00	2,400.00

Longitud mayor del eje X= 20 m.

Longitud mayor del eje Y= 11 m.

Coordenadas del centro de Cortante
 XC= 8.556 YC= 5.175

Coordenadas del centro de Torsion
 XT= 8.644 YT= 5.824

SISMO EN X ANGULO= 0.00

Eje	Excentricidad 1 = 2.073	Excentricidad 2 = -0.452
1	9.401	9.517
2	9.628	9.467
3	16.378	15.706
4	-5.244	1.142
5	-0.061	0.013
6	0.138	-0.030
7	5.167	-1.126
8	18.403	19.120

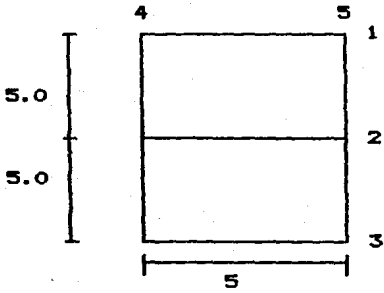
SISMO EN Y ANGULO= 90.00

Eje	Excentricidad 1 = -2.132	Excentricidad 2 = 1.912
1	0.196	-0.176
2	-0.272	0.244
3	-1.136	1.019

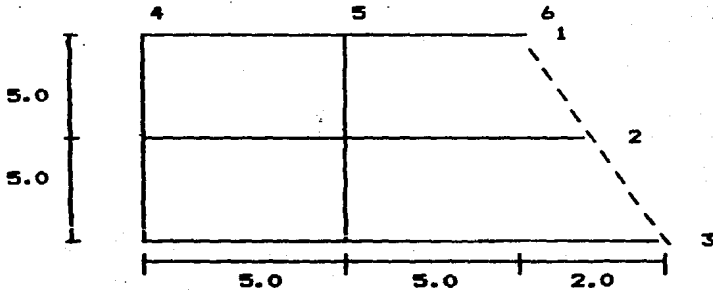
4	69.164	48.700
5	2.862	2.624
6	2.452	2.991
7	33.152	53.315
8	1.211	-1.086

Eje	Sentido de V Total	RESULTADOS FINALES			
		Cortante Total	Efectos de Torsion	V + .3Vt	Vt + .3V
1	X	9.52	0.20	9.58	3.05
2	X	9.63	0.27	9.71	3.16
3	X	16.38	1.14	16.72	6.05
4	Y	69.16	5.24	70.74	25.99
5	Y	2.86	0.06	2.88	0.92
6	Y	2.99	0.14	3.03	1.04
7	Y	53.32	5.17	54.87	21.16
8	X	19.12	1.21	19.48	6.95

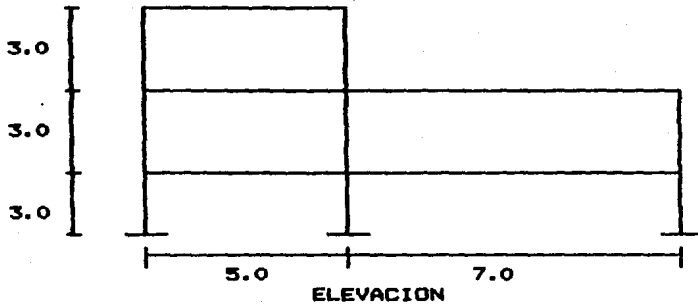
EJEMPLO 2



PLANTA ENTREPISO 3



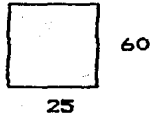
PLANTA ENTREPISO 1 Y 2



Sección de columnas:



Sección de trabes:



Modulo de Elasticidad: $10,000 Jf'c = 1'581,138.00 T./m^2$

Edificio para oficinas

Zona Nº III

Factor de Comportamiento Sísmico $Q=3$

Entrepiso	Coordenadas del centro de Masa	
	X	Y
1	5.52	4.85
2	5.52	4.85
3	2.50	5.00

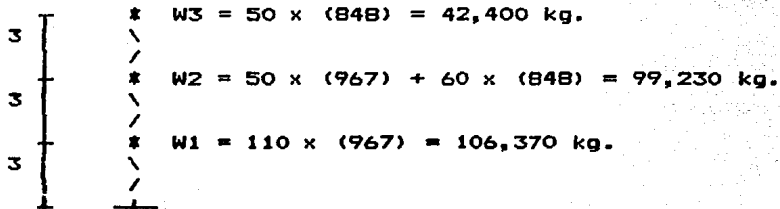
Cargas Muertas y Vivas en Kg./m²

	Azotea	Entrepiso
Cargas Muertas	748	567
Cargas Vivas	100	250
Fachadas y Muros		150
	<hr/> 848	<hr/> 967

1.- Determinación de los cortantes Estáticos

$$\text{Area del entrepiso 1 y 2} = (12 + 10) \times 10/2 = 110 \text{ m}^2$$

$$\text{Area del entrepiso 3} = 5 \times 10 = 50 \text{ m}^2$$



Con los pesos de cada entrepiso, el coeficiente sísmico alturas y factor de comportamiento sísmico, calcularemos los cortantes Estáticos.

A continuación se listan los resultados, haciendo uso del primer programa que encuentra los cortantes estáticos.

Método Estático en su primera etapa

Factor de comportamiento Sísmico $\mu=3$

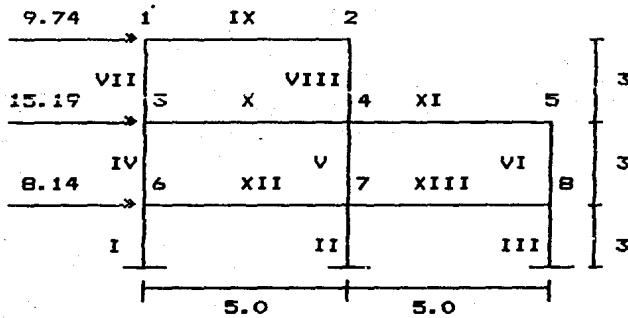
Coficiente Sísmico $C=.4$

Nivel	Altura	Peso(Ton.)	Fuerza	Cortante
1	3.00	106.37	8.14	33.07
2	6.00	99.23	15.19	24.93
3	9.00	42.40	9.74	9.74

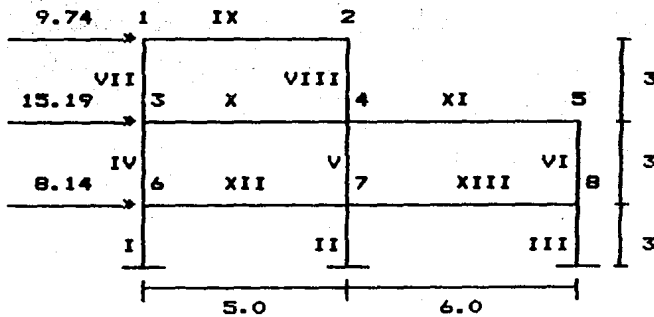
2.- Determinación de las rigideces de los marcos

Para determinar las rigideces, aplicamos las fuerzas obtenidas por medio de un análisis estático en cada marco que forma la estructura, con esta fuerza y el desplazamiento a determinar con el programa de análisis estructural podremos calcular las rigideces de los marcos.

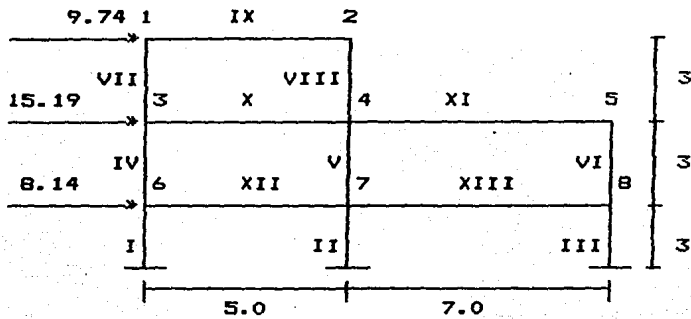
Así se tienen los siguientes marcos con las fuerzas estáticas, en estos marcos también se representa con números arábigos el número de nudo y con números romanos el número de barra.



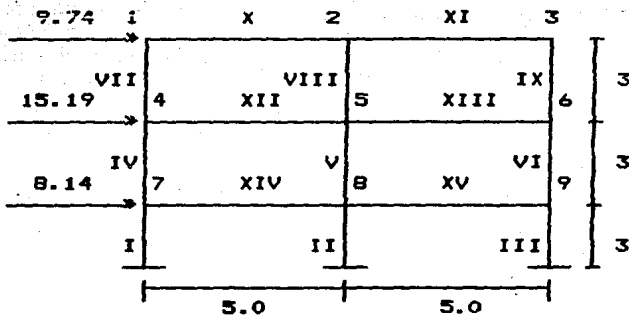
MARCO 1



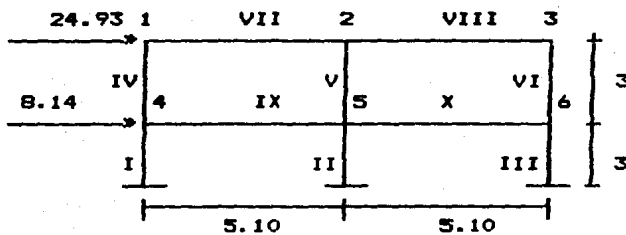
MARCO 2



MARCO 3



MARCOS 4 Y 5



MARCO 6

```

*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
* Programa que realiza el analisis estructural de *
* marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
* metodo expuesto por el Ing. Julio Dany Rios. *
* Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*

```

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCO1.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCO1.RIG

NUMERO DE NUDOS 8
 NUMERO DE BARRAS 13
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUDOS

NUDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO	MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO TETA	CONSTANTE C
1	0 6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
2	0 7	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
3	0 8	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
4	6 3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
5	7 4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
6	8 5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
7	3 1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
8	4 2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
9	1 2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
10	3 4	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
11	4 5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
12	6 7	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
13	7 8	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00

CARGAS EN LAS BARRAS

Barra	Tipo	Carga	Distancia A	Distancia B	Angulo
-------	------	-------	----------------	----------------	--------

FUERZAS EN LOS NUDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	9.74	0.00	0.00
3	15.19	0.00	0.00
6	8.14	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0307604	0.0003403	-0.0008940
2	0.0306431	-0.0001332	-0.0011908
3	0.0233445	0.0003019	-0.0021634
4	0.0230731	-0.0000948	-0.0013423
5	0.0229177	-0.0002071	-0.0015725
6	0.0112866	0.0001957	-0.0029431
7	0.0111919	-0.0000467	-0.0015769
8	0.0111385	-0.0001490	-0.0029517

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	18.47	11.95	10.14	-10.14	16.51	16.51
2	21.28	17.79	13.03	-13.03	-3.94	-3.94
3	18.12	11.59	9.90	-9.90	-12.56	-12.56
4	8.87	10.60	6.49	-6.49	8.95	8.95
5	16.35	16.87	11.07	-11.07	-4.05	-4.05
6	9.53	12.58	7.37	-7.37	-4.90	-4.90
7	4.86	7.67	4.18	-4.18	3.24	3.24
8	8.18	8.51	5.56	-5.56	-3.24	-3.24
9	-7.67	-8.51	-3.24	3.24	-5.56	-5.56
10	-15.46	-13.12	-5.72	5.72	-12.88	-12.88
11	-11.92	-12.58	-4.90	4.90	-7.37	-7.37
12	-20.83	-16.94	-7.55	7.55	-4.49	-4.49
13	-17.20	-21.11	-7.66	7.66	-2.54	-2.54

```

*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
* Programa que realiza el analisis estructural de *
* marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
* metodo expuesto por el Ing. Julio Dany Rios. *
* Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*

```

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCO1.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCO1.RIG

NUMERO DE NUJOS 8
 NUMERO DE BARRAS 13
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUJOS

NUJDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO A B	MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO TETA	CONSTANTE C
1	0 6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
2	0 7	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
3	0 8	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
4	6 3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
5	7 4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
6	8 5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
7	3 1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
8	4 2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
9	1 2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
10	3 4	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
11	4 5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
12	6 7	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
13	7 8	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00

CARGAS EN LAS BARRAS				
Barra	Tipo	Carga	Distancia A B	Angulo

FUERZAS EN LOS NUDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	9.74	0.00	0.00
3	15.19	0.00	0.00
6	8.14	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0307604	0.0003403	-0.0008940
2	0.0306431	-0.0001332	-0.0011908
3	0.0233445	0.0003019	-0.0021634
4	0.0230731	-0.0000948	-0.0013423
5	0.0229177	-0.0002071	-0.0015725
6	0.0112866	0.0001957	-0.0029431
7	0.0111919	-0.0000467	-0.0015769
8	0.0111385	-0.0001490	-0.0029517

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	18.47	11.95	10.14	-10.14	16.51	16.51
2	21.28	17.79	13.03	-13.03	-3.94	-3.94
3	18.12	11.59	9.90	-9.90	-12.56	-12.56
4	8.87	10.60	6.49	-6.49	8.95	8.95
5	16.35	16.87	11.07	-11.07	-4.05	-4.05
6	9.53	12.58	7.37	-7.37	-4.90	-4.90
7	4.86	7.67	4.18	-4.18	3.24	3.24
8	8.18	8.51	5.56	-5.56	-3.24	-3.24
9	-7.67	-8.51	-3.24	3.24	-5.56	-5.56
10	-15.46	-13.12	-5.72	5.72	-12.88	-12.88
11	-11.92	-12.58	-4.90	4.90	-7.37	-7.37
12	-20.83	-16.94	-7.55	7.55	-4.49	-4.49
13	-17.20	-21.11	-7.66	7.66	-2.54	-2.54

```

*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
* Programa que realiza el analisis estructural de *
* marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
* metodo expuesto por el Ing. Julio Dany Rios. *
* Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*

```

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCO2.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCO2.RIG

NUMERO DE NUDOS 8
 NUMERO DE BARRAS 13
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUDOS

NUDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO		MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO TETA	CONSTANTE C
	A	B						
1	0	6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
2	0	7	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
3	0	8	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
4	6	3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
5	7	4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
6	8	5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
7	3	1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
8	4	2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
9	1	2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
10	3	4	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
11	4	5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	6.00	0.00	0.00
12	6	7	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
13	7	8	1,581,138.00	0.00450	0.15000	6.00	0.00	0.00

CARGAS EN LAS BARRAS				
Barra	Tipo	Carga	Distancia A B	Angulo

FUERZAS EN LOS NUDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	9.74	0.00	0.00
3	15.19	0.00	0.00
6	8.14	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0317022	0.0003525	-0.0009255
2	0.0315858	-0.0001906	-0.0012053
3	0.0241090	0.0003137	-0.0022317
4	0.0238448	-0.0001519	-0.0014603
5	0.0236700	-0.0001618	-0.0017975
6	0.0115721	0.0002040	-0.0030210
7	0.0114747	-0.0000879	-0.0017500
8	0.0114060	-0.0001161	-0.0032579

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	18.93	12.24	10.39	-10.39	17.20	17.20
2	21.53	17.65	13.06	-13.06	-7.41	-7.41
3	18.04	10.83	9.62	-9.62	-9.79	-9.79
4	9.44	11.18	6.87	-6.87	9.25	9.25
5	16.40	17.04	11.15	-11.15	-5.39	-5.39
6	8.75	11.98	6.91	-6.91	-3.86	-3.86
7	4.88	7.77	4.22	-4.22	3.27	3.27
8	8.00	8.57	5.52	-5.52	-3.27	-3.27
9	-7.77	-8.57	-3.27	3.27	-5.52	-5.52
10	-16.06	-13.87	-5.99	5.99	-12.53	-12.53
11	-11.18	-11.98	-3.86	3.86	-6.91	-6.91
12	-21.68	-18.06	-7.95	7.95	-4.62	-4.62
13	-15.99	-19.57	-5.93	5.93	-2.71	-2.71

```

*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
* Programa que realiza el analisis estructural de *
* marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
* metodo expuesto por el Ing. Julio Damy Rios. *
* Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*

```

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCO3.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCO3.RIG

NUMERO DE NUDOS 8
 NUMERO DE BARRAS 13
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUDOS

NUDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO		MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO		CONSTANTE C
	A	B					TETA	C	
1	0	6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
2	0	7	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
3	0	8	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
4	6	3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
5	7	4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
6	8	5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
7	3	1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
8	4	2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00	
9	1	2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00	
10	3	4	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00	
11	4	5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	7.00	0.00	0.00	
12	6	7	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00	
13	7	8	1,581,138.00	0.00450	0.15000	7.00	0.00	0.00	

CARGAS EN LAS BARRAS				
Barra	Tipo	Carga	Distancia A B	Angulo

FUERZAS EN LOS NUDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	9.74	0.00	0.00
3	15.19	0.00	0.00
6	8.14	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0325340	0.0003634	-0.0009521
2	0.0324184	-0.0002330	-0.0012164
3	0.0247864	0.0003244	-0.0022913
4	0.0245287	-0.0001940	-0.0015630
5	0.0243371	-0.0001304	-0.0020102
6	0.0118232	0.0002114	-0.0030896
7	0.0117230	-0.0001181	-0.0019028
8	0.0116379	-0.0000933	-0.0035242

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	19.33	12.49	10.61	-10.61	17.83	17.83
2	21.74	17.53	13.09	-13.09	-9.94	-9.94
3	17.96	10.16	9.37	-9.37	-7.86	-7.86
4	9.95	11.71	7.22	-7.22	9.53	9.53
5	16.46	17.21	11.22	-11.22	-6.40	-6.40
6	8.06	11.41	6.49	-6.49	-3.13	-3.13
7	4.90	7.86	4.25	-4.25	3.30	3.30
8	7.84	8.62	5.49	-5.49	-3.30	-3.30
9	-7.86	-8.62	-3.30	3.30	-5.49	-5.49
10	-16.61	-14.54	-6.23	6.23	-12.22	-12.22
11	-10.51	-11.41	-3.13	3.13	-6.49	-6.49
12	-22.44	-19.06	-8.30	8.30	-4.75	-4.75
13	-14.92	-18.22	-4.73	4.73	-2.88	-2.88

```

*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
* Programa que realiza el analisis estructural de *
* marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
* metodo expuesto por el Ing. Julio Dany Rios. *
* Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*

```

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCOS45.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCOS45.RIG

NUMERO DE NUDDOS 9
 NUMERO DE BARRAS 15
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUDDOS

NUDDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO		MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO TETA	CONSTANTE C
	A	B						
1	0	7	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
2	0	8	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
3	0	9	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
4	7	4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
5	8	5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
6	9	6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
7	4	1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
8	5	2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
9	6	3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
10	1	2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
11	2	3	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
12	4	5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
13	5	6	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
14	7	8	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00

15 8 9 1,581,138.00 0.00450 0.15000 5.00 0.00 0.00

CARGAS EN LAS BARRAS
 Barra Tipo Carga Distancia Angulo
 A B

FUERZAS EN LOS NUDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	9.74	0.00	0.00
4	15.19	0.00	0.00
7	8.14	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0288421	0.0002758	-0.0007389
2	0.0286878	0.0000004	-0.0004153
3	0.0286345	-0.0002762	-0.0007632
4	0.0232395	0.0002546	-0.0019035
5	0.0230133	-0.0000001	-0.0012030
6	0.0229237	-0.0002545	-0.0019015
7	0.0112881	0.0001726	-0.0029560
8	0.0111847	-0.0000005	-0.0015899
9	0.0111174	-0.0001721	-0.0029081

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	18.44	11.90	10.11	-10.11	14.56	14.56
2	21.24	17.72	12.99	-12.99	-0.04	-0.04
3	18.17	11.73	9.97	-9.97	-14.51	-14.51
4	9.15	11.48	6.88	-6.88	6.91	6.91
5	16.48	17.34	11.27	-11.27	0.04	0.04
6	9.05	11.28	6.78	-6.78	-6.95	-6.95
7	2.34	4.92	2.42	-2.42	1.78	1.78
8	6.32	8.06	4.79	-4.79	0.04	0.04
9	2.53	5.05	2.53	-2.53	-1.82	-1.82
10	-4.92	-4.00	-1.78	1.78	-7.32	-7.32
11	-4.06	-5.05	-1.82	1.82	-2.53	-2.53
12	-13.82	-11.83	-5.13	5.13	-10.73	-10.73
13	-11.82	-13.81	-5.13	5.13	-4.25	-4.25
14	-21.06	-17.17	-7.64	7.64	-4.91	-4.91
15	-17.03	-20.79	-7.56	7.56	-3.19	-3.19

```

*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*
* Programa que realiza el analisis estructural de *
* marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
* metodo expuesto por el Ing. Julio Dany Rios. *
* Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*-*

```

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCO6.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCO6.RIG

NUMERO DE NUDDOS 6
 NUMERO DE BARRAS 10
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUDDOS

NUDDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO		MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO TETA	CONSTANTE C
	A	B						
1	0	4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
2	0	5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
3	0	6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
4	4	1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
5	5	2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
6	6	3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
7	1	2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.10	0.00	0.00
8	2	3	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.10	0.00	0.00
9	4	5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.10	0.00	0.00
10	5	6	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.10	0.00	0.00

CARGAS EN LAS BARRAS

Barra	Tipo	Carga	Distancia A	Angulo B
-------	------	-------	-------------	----------

FUERZAS EN LOS NUDDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	24.93	0.00	0.00
4	8.14	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0229854	0.0001845	-0.0017320
2	0.0225967	-0.0000037	-0.0008200
3	0.0224540	-0.0001808	-0.0016680
4	0.0112978	0.0001363	-0.0029629
5	0.0111929	-0.0000025	-0.0016146
6	0.0111203	-0.0001338	-0.0028904

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	18.45	11.89	10.11	-10.11	11.49	11.49
2	21.20	17.63	12.94	-12.94	-0.21	-0.21
3	18.22	11.82	10.01	-10.01	-11.28	-11.28
4	8.92	11.64	6.85	-6.85	4.07	4.07
5	16.28	18.04	11.44	-11.44	-0.10	-0.10
6	8.60	11.31	6.64	-6.64	-3.97	-3.97
7	-11.64	-9.10	-4.07	4.07	-18.07	-18.07
8	-8.94	-11.31	-3.97	3.97	-6.64	-6.64
9	-20.81	-17.05	-7.42	7.42	-4.88	-4.88
10	-16.86	-20.42	-7.31	7.31	-3.38	-3.38

En las páginas anteriores se muestran listados de seis marcos tipo de los que obtendremos desplazamientos promedios de los nudos que forman un entrepiso para que posteriormente obtengamos las rigideces de cada marco.

Marco 1

Nivel	Desplazamientos Promedio		Cortante Ton.	Rigidez T/cm.
	Relativos	Absolutos		
1	0.0112057	0.0112057	33.07	2,951.18
2	0.0231118	0.0119061	24.93	2,093.88
3	0.0307018	0.00759	9.74	1,283.27

Marco 2

Nivel	Desplazamientos Promedio		Cortante Ton.	Rigidez T/cm.
	Relativos	Absolutos		
1	0.0114843	0.0114843	33.07	2,879.58
2	0.0238746	0.0123903	24.93	2,012.06
3	0.0316440	0.0077694	9.74	1,253.64

Marco 3

Nivel	Desplazamientos Promedio		Cortante Ton.	Rigidez T/cm.
	Relativos	Absolutos		
1	0.0117280	0.011728	33.07	2,819.75
2	0.0245507	0.0128227	24.93	1,944.21
3	0.0324762	0.0079255	9.74	1,228.95

Marcos 4 y 5

Nivel	Desplazamientos Promedio		Cortante Ton.	Rigidez T/cm.
	Relativos	Absolutos		
1	0.0111967	0.0111967	33.07	2,953.55
2	0.0230588	0.0118621	24.93	2,101.65
3	0.0287215	0.0056627	9.74	1,720.03

Marco 6

Nivel	Desplazamientos Promedio		Cortante Ton.	Rigidez T/cm.
	Relativos	Absolutos		
1	0.0112037	0.0112037	33.07	2,951.70
2	0.0226787	0.0114750	24.93	2,172.55

Análisis Dinámico

Rigidez en X por Nivel

Tercer Nivel

$$1,283.27 + 1,253.64 + 1,228.95 = 3,765.86 \text{ T./m.}$$

Segundo Nivel

$$2,093.878 + 2,012.06 + 1,944.21 + 2,172.55 \times \cos^2(101.31^\circ) = 6,133.71 \text{ T/m.}$$

Primer Nivel

$$2,951.18 + 2,879.58 + 2,819.75 + 2,951.7 \times \cos^2(101.31^\circ) = 8,764.04 \text{ T/m.}$$

Rigidez en Y por Nivel

Tercer Nivel

$$1,720.03 + 1,720.03 = 3,440.06 \text{ T./m.}$$

Segundo Nivel

$$2,101.65 + 2,101.65 + 2,172.55 \times \text{sen}^2(101.31^\circ) =$$

$$= 6,292.29 \text{ T./m.}$$

Primer Nivel

$$2,953.55 + 2,953.55 + 2,951.70 \times \text{sen}^2(101.31^\circ) =$$

$$= 8,745.27 \text{ T./m.}$$

Sentido X

3		*	W3 = 42.4 T.	K3 = 37.66 T./cm.
	/	\		
3		*	W2 = 99.23 T.	K2 = 61.34 T./cm.
	/	\		
3		*	W1 = 106.37 T.	K1 = 87.64 T./cm.
	/	\		

Sentido Y

3		*	W3 = 42.4 T.	K3 = 34.40 T./cm.
	/	\		
3		*	W2 = 99.23 T.	K2 = 62.92 T./cm.
	/	\		
3		*	W1 = 106.37 T.	K1 = 87.45 T./cm.
	/	\		

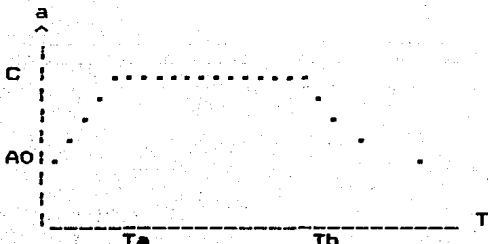
Teniendo como datos Pesos y Rigideces utilizaremos el programa que determina los cortantes de entrepiso por medio de un análisis dinámico modal espectral, para posteriormente hacer la distribución por torsión.

--*-*-*
 * Programa para determinar los modos de vibrar de una estructura *
 * utilizando el metodo de Newmark y Holzer, asi como la *
 * la determinacion de los cortantes de diseno, segun R. D. F. *
 * Derechos y realizacion de este programa Gonzalo Ramirez Torres *
 --*-*-*

Zona 3
 Factor de comportamiento sismico Q= 3
 Tipo de construccion B

SISMO EN X

COEFICIENTES PARA EL ESPECTRO DE DISEÑO



C= .4
 AO= .1
 Ta= .6 Tb= 3.9
 R= 1

NIVEL	PESO (T.)	RIGIDEZ (T./cm.)
1	106.370	87.640
2	99.230	61.340
3	42.400	37.660

W2 1 = 201.6642913818359
 T = .4424512

X(1) = 1
 X(2) = 2.072278499603272

$$X(3) = 2.696328639984131$$

Cortantes y desplazamientos relativos para el Modo numero 1

$V(1, 1) =$	28.06 T.	$D(1, 1) =$	0.32017 cm.
$V(2, 1) =$	21.06 T.	$D(2, 1) =$	0.34331 cm.
$V(3, 1) =$	7.52 T.	$D(3, 1) =$	0.19980 cm.

$$W2\ 2 = 1103.865185313458$$
$$T = .1891133$$

$$X(1) = 1$$
$$X(2) = .4774649832267817$$
$$X(3) = -1.789266503338556$$

Cortantes y desplazamientos relativos para el Modo numero 2

$V(1, 2) =$	3.04 T.	$D(1, 2) =$	0.03473 cm.
$V(2, 2) =$	-1.11 T.	$D(2, 2) =$	-0.01815 cm.
$V(3, 2) =$	-2.96 T.	$D(3, 2) =$	-0.07871 cm.

$$W2\ 3 = 1918.375706903294$$
$$T = .1434542$$

$$X(1) = 1$$
$$X(2) = -.9623380781188207$$
$$X(3) = .7999911135406154$$

Cortantes y desplazamientos relativos para el Modo numero 3

$V(1, 3) =$	1.38 T.	$D(1, 3) =$	0.01571 cm.
$V(2, 3) =$	-1.89 T.	$D(2, 3) =$	-0.03082 cm.
$V(3, 3) =$	1.04 T.	$D(3, 3) =$	0.02768 cm.

Cortantes y desplazamientos relativos considerando todos los modos de vibrar

V(1) = 28.26 T.
V(2) = 21.17 T.
V(3) = 8.15 T.

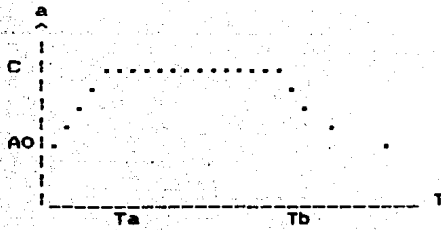
D(1) = 0.3224280 cm.
D(2) = 0.3451669 cm.
D(3) = 0.2165229 cm.

--*-*-*
 * Programa para determinar los modos de vibrar de una estructura *
 * utilizando el metodo de Newmark y Holzer, asi como la *
 * la determinacion de los cortantes de diseno, segun R. D. F. *
 * Derechos y realizacion de este programa Gonzalo Ramirez Torres *
 --*-*-*

Zona 3
 Factor de comportamiento sismico Q=.3
 Tipo de construccion B

SISMO EN Y

COEFICIENTES PARA EL ESPECTRO DE DISEÑO



C= .4
 AO= .1
 Ta= .6 Tb= 3.9
 R= 1

NIVEL	PESO(T.)	RIGIDEZ(T./cm.)
1	106.370	87.450
2	99.230	62.920
3	42.400	34.400

W2 1 = 201.8557281494141
 T= .4422414

X(1)= 1
 X(2)= 2.04200267791748

$$X(3) = 2.735869884490967$$

Cortantes y desplazamientos relativos para el Modo numero 1

$$\begin{array}{ll} V(1, 1) = & 27.99 \text{ T.} & D(1, 1) = & 0.32009 \text{ cm.} \\ V(2, 1) = & 20.99 \text{ T.} & D(2, 1) = & 0.33354 \text{ cm.} \\ V(3, 1) = & 7.64 \text{ T.} & D(3, 1) = & 0.22210 \text{ cm.} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} W2 \ 2 = 1038.849436453702 \\ T = .1949412 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} X(1) = 1 \\ X(2) = .5996085183053242 \\ X(3) = -1.764357786218376 \end{array}$$

Cortantes y desplazamientos relativos para el Modo numero 2

$$\begin{array}{ll} V(1, 2) = & 2.98 \text{ T.} & D(1, 2) = & 0.03407 \text{ cm.} \\ V(2, 2) = & -0.86 \text{ T.} & D(2, 2) = & -0.01364 \text{ cm.} \\ V(3, 2) = & -3.00 \text{ T.} & D(3, 2) = & -0.08734 \text{ cm.} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} W2 \ 3 = 1904.048500307375 \\ T = .1439928 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} X(1) = 1 \\ X(2) = -.8913910103171486 \\ X(3) = .6398269973030626 \end{array}$$

Cortantes y desplazamientos relativos para el Modo numero 3

$$\begin{array}{ll} V(1, 3) = & 1.55 \text{ T.} & D(1, 3) = & 0.01767 \text{ cm.} \\ V(2, 3) = & -2.10 \text{ T.} & D(2, 3) = & -0.03343 \text{ cm.} \\ V(3, 3) = & 0.93 \text{ T.} & D(3, 3) = & 0.02706 \text{ cm.} \end{array}$$

Cortantes y desplazamientos relativos
considerando todos los modos de vibrar

V(1)= 28.19 T.
V(2)= 21.11 T.
V(3)= 8.26 T.

D(1)= 0.3223847 cm.
D(2)= 0.3354853 cm.
D(3)= 0.2401876 cm.

El Reglamento del D.F. establece que el cortante basal calculado con el análisis dinámico no debe ser menor al 80 % del cortante estático, con lo que tenemos lo siguiente:

$$V_0 \text{ Estático} = 33.07 \text{ T.}$$

$$80 \% V_0 = 26.46 \text{ T.}$$

De los resultados del análisis dinámico obtenemos que los cortantes basales son:

$$V_0 \text{ en X} = 28.26 \text{ T.}$$

$$V_0 \text{ en Y} = 28.19 \text{ T.}$$

$$80 \% V_0 \text{ Estático} < V_0 \text{ Dinámico}$$

Por lo anterior efectuaremos la distribución por torsión con los cortantes Dinámicos.

Distribución por Torsión

Eje	Coordenada		Angulo	Rigidez por Nivel en T./m.		
	X	Y		3°	2°	1°
1	0	10	0	1,283.27	2,093.88	2,951.18
2	0	5	0	1,253.64	2,012.06	2,879.58
3	0	0	0	1,228.95	1,944.21	2,819.75
4	0	0	90	1,720.03	2,101.65	2,953.55
5	5	0	90	1,720.03	2,101.65	2,953.55
6	12	0	101.31	—	2,172.55	2,951.70

En las siguientes páginas se muestran los resultados del programa que realiza la distribución por torsión.

--*-*-*
 * Programa para determinar la distribucion de cortantes en planta *
 * utilizando el metodo tradicional de centros de torsion atraves *
 * de rigidez de entrepiso generalizado para marcos no ortogonales *
 * Metodo expuesto por el Ingeniero Julio Damy Rios. *
 * Derechos y realizacion de este programa Gonzalo Ramirez Torres *
 --*-*-*

Entrepiso numero	Coordenadas del centro de masa		Fuerzas y Cortantes de entrepiso referidos a los ejes x-y en Ton.			
	X	Y	FX	VX	FY	VY
1	5.52	4.85	7.09	28.26	7.08	28.19
2	5.52	4.85	13.02	21.17	12.85	21.11
3	2.50	5.00	8.15	8.15	8.26	8.26

NIVEL NUMERO 3

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	10.00	0.00	1,283.27
2.00	0.00	5.00	0.00	1,253.64
3.00	0.00	0.00	0.00	1,228.95
4.00	0.00	0.00	90.00	1,720.03
5.00	5.00	0.00	90.00	1,720.03

Longitud mayor del eje X= 5 m.

Longitud mayor del eje Y= 10 m.

Coordenadas del centro de Cortante
 XC= 2.500 YC= 5.000

Coordenadas del centro de Torsion
 XT= 2.500 YT= 5.072

SISMO EN X ANGULO= 0.00

Eje	Excentricidad 1 =	1.108	Excentricidad 2 =	-0.928
1		2.100		3.345
2		2.723		2.705
3		3.328		2.100

4	-0.461	0.386
5	0.461	-0.386

SISMO EN Y ANGULO= 90.00

Eje	Excentricidad 1 = -0.500	Excentricidad 2 = 0.500
1	0.310	-0.310
2	-0.004	0.004
3	-0.305	0.305
4	4.341	3.919
5	3.919	4.341

RESULTADOS FINALES						
Eje	Sentido de V Total	Cortante Total V	Efectos de Torsion Vt	V +.3Vt	Vt + .3Vt	I
1	X	3.34	0.31	3.44	1.31	I
2	X	2.72	0.00	2.72	0.82	I
3	X	3.33	0.31	3.42	1.30	I
4	Y	4.34	0.46	4.48	1.76	I
5	Y	4.34	0.46	4.48	1.76	I

NIVEL NUMERO 2

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	10.00	0.00	2,093.88
2.00	0.00	5.00	0.00	2,012.06
3.00	0.00	0.00	0.00	1,944.21
4.00	0.00	0.00	90.00	2,101.65
5.00	5.00	0.00	90.00	2,101.65
6.00	12.00	0.00	101.31	2,172.55

Longitud mayor del eje X= 12 m.

Longitud mayor del eje Y= 10 m.

Coordenadas del centro de Cortante
 XC= 4.338 YC= 4.904

Coordenadas del centro de Torsion

XT= 5.288

YT= 5.511

SISMO EN X ANGULO= 50.37

Eje	Excentricidad 1 = 1.910	Excentricidad 2 = -0.393
1	5.440	7.464
2	7.024	6.803
3	8.523	6.216
4	-2.074	0.319
5	-0.198	-0.068
6	0.594	-1.979

SISMO EN Y ANGULO=140.37

Eje	Excentricidad 1 = -2.625	Excentricidad 2 = 0.250
1	2.210	-0.309
2	-0.337	-0.062
3	-2.704	0.167
4	9.878	6.900
5	7.307	7.145
6	4.351	7.554

RESULTADOS FINALES						
Eje	Sentido de V Total	Cortante Total V	Efectos de Torsion Vt	V +.3Vt	Vt + .3Vt	
1	X	7.46	2.30	8.15	4.54	:
2	X	7.02	0.25	7.10	2.36	:
3	X	8.52	2.62	9.31	5.18	:
4	Y	9.88	1.98	10.47	4.95	:
5	Y	7.31	0.11	7.34	2.30	:
6	Y	7.55	2.13	8.19	4.40	:

NIVEL NUMERO 1

Numero	X	Y	Beta	T./m.
1.00	0.00	10.00	0.00	2,951.18
2.00	0.00	5.00	0.00	2,879.58
3.00	0.00	0.00	0.00	2,819.75
4.00	0.00	0.00	90.00	2,953.55
5.00	5.00	0.00	90.00	2,953.55

6.00 12.00 0.00 101.31 2,951.70

Longitud mayor del eje X= 12 m.

Longitud mayor del eje Y= 10 m.

Coordenadas del centro de Cortante
 XC= 4.630 YC= 4.854

Coordenadas del centro de Torsion
 XT= 5.229 YT= 5.449

SISMO EN X ANGULO= 44.53

Eje	Excentricidad 1 =	1.893	Excentricidad 2 =	-0.405
1		7.267		10.010
2		9.512		9.249
3		11.687		8.549
4		-2.588		0.566
5		-0.104		0.035
6		0.907		-2.450

SISMO EN Y ANGULO=134.53

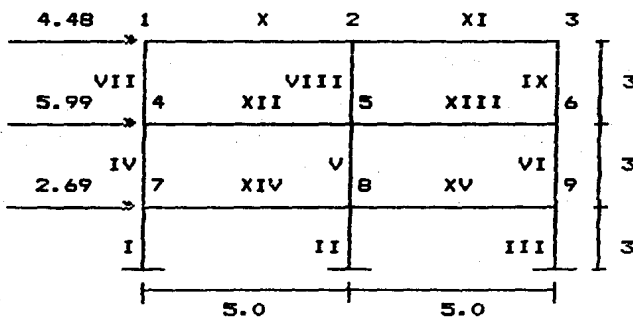
Eje	Excentricidad 1 =	-2.099	Excentricidad 2 =	0.601
1		2.510		-0.705
2		-0.231		0.079
3		-2.849		0.828
4		12.385		8.688
5		9.637		9.475
6		6.258		10.194

RESULTADOS FINALES						
Eje	Sentido de	Cortante Total	Efectos de Torsion	V +.3Vt	Vt + .3Vt	
	V Total	V	Vt			
1	X	10.01	2.50	10.76	5.50	
2	X	9.51	0.24	9.58	3.09	
3	X	11.69	2.86	12.54	6.37	
4	Y	12.38	2.60	13.16	6.31	
5	Y	9.64	0.11	9.67	3.01	
6	Y	10.19	2.77	11.02	5.82	

De los resultados del programa anterior los cortantes de diseño se encuentran en la tabla siguiente:

Eje	Coordenada		Angulo	Cortantes por nivel en T.		
	X	Y		3°	2°	1°
1	0	10	0	3.44	8.15	10.76
2	0	5	0	2.72	7.10	9.58
3	0	0	0	3.42	9.31	12.54
4	0	0	90	4.48	10.47	13.16
5	5	0	90	4.48	7.34	9.67
6	12	0	101.31	—	8.19	11.02

Como último paso para dar por terminado el análisis sísmico del edificio es necesario calcular los elementos mecánicos debidos a las fuerzas sísmicas encontradas en todo el proceso anterior, con el fin de ejemplificar este último paso sólo se realizará el análisis estructural del marco 4, que no necesariamente podría ser el más desfavorable.



En las páginas siguientes se muestra el listado del programa de análisis estructural que da la solución al marco 5.

-
 * Programa que realiza el analisis estructural de *
 * marcos planos utilizando el metodo de rigideces *
 * metodo expuesto por el Ing. Julio Dany Rios. *
 * Derechos y realizacion Gonzalo Ramirez Torres *
 *-**

NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS MARCO4.DAT

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS MARCO4.SIS

NUMERO DE NUDOS 9
 NUMERO DE BARRAS 15
 ANCHO DE BANDA 12

CARACTERISTICAS DE LOS NUDOS

NUDO	DX	DY	GIRO
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
4	1	1	1
5	1	1	1
6	1	1	1
7	1	1	1
8	1	1	1
9	1	1	1

.....
 CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS

BARRA	EXTREMO		MODULO DE ELASTICIDAD	INERCIA I	AREA A	LONG. L	ANGULO TETA	CONSTANTE C
	A	B						
1	0	7	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
2	0	8	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
3	0	9	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
4	7	4	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
5	8	5	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
6	9	6	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
7	4	1	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
8	5	2	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
9	6	3	1,581,138.00	0.00210	0.16000	3.00	90.00	0.00
10	1	2	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
11	2	3	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
12	4	5	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
13	5	6	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00
14	7	8	1,581,138.00	0.00450	0.15000	5.00	0.00	0.00

15 B 9 1.581,138.00 0.00450 0.15000 5.00 0.00 0.00

CARGAS EN LAS BARRAS
 Barra Tipo Carga Distancia Angulo
 A B

FUERZAS EN LOS NUDOS

Nudo	Fuerza en X	Fuerza en Y	Momento
1	4.48	0.00	0.00
4	5.99	0.00	0.00
7	2.69	0.00	0.00

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS NUDOS

NUDO	DESPLAZAMIENTO		GIRO
	EN X	EN Y	
1	0.0120319	0.0001180	-0.0003362
2	0.0119413	-0.0000001	-0.0001841
3	0.0119367	-0.0001180	-0.0003435
4	0.0095294	0.0001084	-0.0008197
5	0.0094404	-0.0000002	-0.0005138
6	0.0094050	-0.0001082	-0.0008155
7	0.0045257	0.0000727	-0.0012064
8	0.0044924	-0.0000003	-0.0006519
9	0.0044689	-0.0000724	-0.0011880

ELEMENTOS MECANICOS

BARRA	MOMENTO		CORTANTE		AXIAL	
	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B	EXTREMO A	EXTREMO B
1	7.35	4.68	4.01	-4.01	6.13	6.13
2	8.50	7.06	5.19	-5.19	-0.02	-0.02
3	7.26	4.63	3.97	-3.97	-6.11	-6.11
4	3.92	4.78	2.90	-2.90	3.01	3.01
5	6.93	7.24	4.72	-4.72	0.01	0.01
6	3.86	4.69	2.85	-2.85	-3.01	-3.02
7	1.17	2.24	1.13	-1.13	0.81	0.81
8	2.90	3.63	2.18	-2.18	0.01	0.01
9	1.23	2.28	1.17	-1.17	-0.82	-0.82
10	-2.24	-1.80	-0.81	0.81	-3.35	-3.35
11	-1.82	-2.28	-0.82	0.82	-1.17	-1.17
12	-5.94	-5.07	-2.20	2.20	-4.23	-4.23
13	-5.06	-5.92	-2.20	2.20	-1.68	-1.68
14	-8.60	-7.02	-3.12	3.12	-1.58	-1.58
15	-6.97	-8.49	-3.09	3.09	-1.12	-1.12

CAPITULO VII

CONCLUSIONES

Después de haber hecho uso de cada uno de los programas de microcomputadora para calcular las fuerzas sísmicas en una estructura, podemos darnos cuenta de la gran ayuda que representa el uso de estos programas, por dos razones principales, la primera es el tiempo de cálculo requerido para resolver el problema, que comparado en horas hombre de cálculo es muy pequeño y la segunda gran ventaja es por la seguridad que se tiene de los resultados que nos da cada programa de microcomputadora, siempre y cuando los datos proporcionados sean correctos.

Uno de los principales objetivos buscados al realizar cada programa en microcomputadora fué el utilizar la menor memoria posible que se requiera para ser ejecutado el programa, que aunque en la actualidad se cuenta con computadoras con gran capacidad, también resulta cierto que estas computadoras no están a la disponibilidad de todos como lo son las microcomputadoras, y más aún si tomamos en cuenta que la capacidad de cada programa hecho en este trabajo no rebasa los 64 kbytes que proporcionan los compiladores más comunes de BASIC, como lo son el GWBASIC o el compilador BASICA, o que simplemente con una microcomputadora COMODORE 64k nos podría ayudar a resolver el problema, lo cual resultaría imposible para un programa como el ETABS, el cual ocupa mucho más capacidad que los 64 kbytes.

CAPACIDAD DE CADA PROGRAMA

Lo que determina la capacidad de un programa está directamente ligado a dos cosas, una de éstas es la extensión que se lleva el programa para poder realizar todos los cálculos que son necesarios para dar un resultado final, lo anterior se encuentra en función del número de líneas de un programa. Lo segundo que en la mayoría de los casos resulta ser lo principal que determina la capacidad de un programa es el número de localidades que estemos requiriendo tomar para poder almacenar resultados o la información que necesitamos guardar para posteriormente realizar otros cálculos, lo anterior esta en función del número de variables, vectores o matrices utilizadas.

Aunque la capacidad de un programa de computadora se encuentra limitada directamente por la memoria de la máquina, uno de los objetivos principales buscados en este trabajo

como se explicó antes fué el tratar de consumir la menor memoria posible en la ejecución de cada programa lo cual nos condujo a las siguientes limitaciones:

I.- Programa del Método Estático

a) Extensión

La extensión de este programa es de sólo 15 líneas, resultando ser el más pequeño de los cuatro programas hechos en el presente trabajo, el programa del método estático es un programa fácil de diseñar pero no por esto podíamos hacer omisión de él por ser indispensable los resultados proporcionados para dar paso a posteriores cálculos.

b) Capacidad

La capacidad del programa del método estático no se encuentra limitada a un número determinado de niveles, porque simplemente utiliza cuatro vectores, que son:

H(N).- Alturas de los entrepisos

W(N).- Pesos de los niveles

F(N).- Fuerza Sísmica en cada nivel

CO(N).- Cortante en cada nivel

En los cuatro vectores anteriores el número de localidades que necesita cada uno está en función de "N", siendo "N" el número de niveles que tiene el edificio, por ejemplo para un edificio de 20 niveles el número de localidades ocupado por los cuatro vectores sería de 160, con lo anterior nos damos cuenta que es muy pequeño la capacidad de memoria que ocupa este programa para ser ejecutado.

II.- Programa de Análisis Estructural

a) Extensión

El programa de Análisis Estructural al contrario del programa del método estático es el que mayor extensión tiene, siendo esta extensión de 224 pasos de programación que comparada con la de otros programas hechos para el mismo fin como lo es el BEAUFET, es pequeño el número de pasos requeridos de este programa, el programa de análisis estructural esta dividido en tres partes principales, la primer parte del programa se encarga de la formación de la matriz de rigidez de la estructura [K], la segunda parte del programa encuentra la solución del sistema $\{F\} = [K] \{d\}$, y la tercer parte del programa calcula los elementos

mecánicos para cada barra de la estructura.

b) Capacidad

La capacidad del programa de análisis estructural se encuentra en función de diez vectores o matrices, estas son:

MA#(3*X,AB).- Matriz [K] de rigidez de la estructura.

Ai(6).- Vector que representa para una barra i, las tres localidades que le corresponden de la matriz [K] debidas al nudo origen y las otras tres localidades debidas al nudo destino.

A(4,6).- Representa la matriz [a] de cada barra

B(4).- Vector que almacena a la matriz diagonal [k] de cada barra.

L(22).- Vector que almacena los 21 resultados de la multiplicación de la matriz .

$$L = \begin{matrix} T \\ [a] [k] [a] \end{matrix}$$

D(6).- Vector que representa para la barra i los desplazamientos en X, en Y y el giro del nudo origen y nudo destino de la barra i.

E(6).- Vector de deformación de la barra i.

EX(3*X).- Vector que representa para cada nudo de la estructura la existencia o la no existencia de un grado de libertad, estos son el desplazamiento en x, en y, y el giro de un nudo, este vector almacena unos o ceros según el caso, almacena el número uno cuando existe el grado de libertad y cero cuando no lo existe.

DE#(3*X).- Este vector representa en la primer parte del programa las fuerzas a las que se encuentra sometida un nudo de los que forman la estructura (vector de fuerzas { F }), y en la segunda parte del programa representa los desplazamientos de todos los nudos (vector de desplazamientos { d }).

NL(Y,10).- Esta matriz representa, el extremo A, el extremo B, longitud, ángulo, Momento en los extremos A y B, Cortante en los extremos A y B, Axial en los extremos A y B, para cada barra de la estructura.

Como podemos observar del total de matrices y vectores que forma el programa de análisis estructural, existen cuatro

que no están previamente dimensionadas por encontrarse en función de otras variables , estos son:

MA#(3*X,AB), EX(3*X), DE#(3*X), NL(Y,10)

X.- Número de nudos

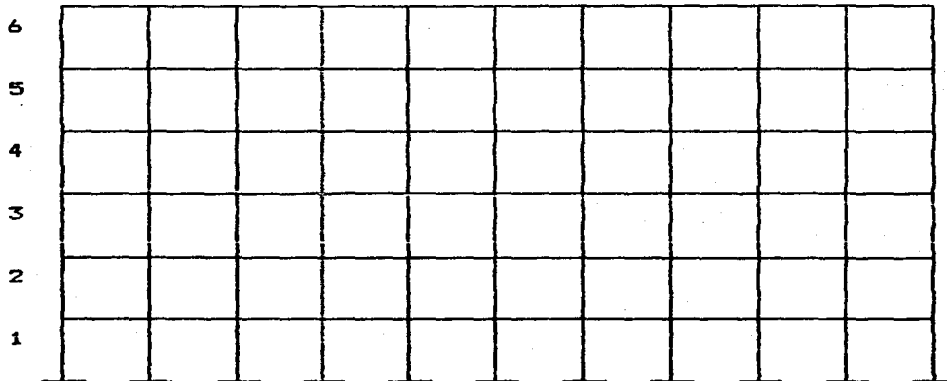
AB.- Ancho de banda

Y.- Número de barras

Las anteriores Matrices y vectores son las que determinarían la capacidad del programa de análisis estructural, y en especial la matriz MA#, por ser la que almacena la matriz de rigidez de la estructura [K] y la cual tiene el mayor número de valores.

Con la finalidad de dar una idea de la mayor estructura que se pudiera analizar con este programa, propusimos una estructura con diez crujiás y fuimos agregándole niveles hasta llegar a un máximo de 6 niveles como la que se muestra a continuación:

Nivel



La anterior estructura tiene 66 nudos, 126 barras y un ancho de banda igual a 18.

Seria posible aumentar la capacidad de análisis del programa en estructuras simétricas, como la arriba mostrada, lo anterior se hace posible por medio de una simplificación por simetría, la cual consiste en partir en dos estructuras

iguales toda la estructura propuesta y por lo tanto solamente aplicar la mitad del total de la fuerza sísmica que le corresponde a cada nivel.

Podemos agregar que siendo el programa de análisis estructural el que mayor capacidad toma de los cuatro programas hechos en este trabajo, una de las limitantes para efectuar el análisis sísmico de un edificio con estos programas radicará en que los marcos que formen el edificio no rebasa la capacidad de solución del programa de análisis estructural.

III.- Programa que determina los modos de vibrar de una estructura y los cortantes Dinámicos en planta. (MODOS)

a) Extensión

La extensión del programa MODOS es de 115 pasos de programación extensión media comparándolo con el programa del Método Estático o el programa de Análisis Estructural. Este programa esta dividido en tres partes principales, la primera parte encuentra el primer modo de vibrar con el método de Newmark, la segunda parte encuentra los modos siguientes de vibrar de la estructura con el método de Holzer, y la tercera parte encuentra los cortantes dinámicos en planta utilizando el espectro de diseño del reglamento 1987.

b) Capacidad

La capacidad del programa MODOS esta en función de cinco vectores y dos matrices que son:

$M(N)$.- Vector que almacena los Pesos de cada nivel

$K(N)$.- Vector que almacena las rigideces de cada nivel

$Y(N)$, $OM(N)$.- Vectores que almacena los cálculos debido al método de Holzer.

$D(N,N)$.- Matriz que almacena los desplazamientos relativos de cada nivel producidos por cada modo de vibrar.

$V(N,N)$.- Matriz que almacena los cortantes en cada nivel debido a todos los modos de vibrar.

Como podemos observar, la capacidad del programa MODOS no se encuentra limitada para un número determinado de niveles por ser pequeño el dimensionamiento requerido, el cual se encuentra en función de "N", siendo "N" el número de niveles de la estructura.

IV.- Programa para determinar la distribución de cortantes en planta por medio de centros de torsión. (TORSION)

a) Extensión

La extensión del programa TORSION es de 140 pasos de programación, también como lo es el programa MODOS el programa TORSION es de extensión media. El programa TORSION esta dividido en cuatro partes principalmente, la primera parte obtiene los nuevos ejes principales de rigidez, la segunda parte encuentra el centro de torsión y el centro de cortante, la tercera parte del programa encuentra las excentricidades accidentales y las excentricidades de diseño, la cuarta parte y última calcula los cortantes en cada eje rigidizante del total que forman cada planta.

b) Capacidad

La capacidad del programa TORSION se encuentra en función de 15 vectores y una matriz que son los siguientes:

$XM(NN), YM(NN)$.- Vectores que almacenan las coordenadas del centro de masa de cada planta.

$FX(NN), FY(NN)$.- Vectores que almacenan la fuerza sísmica en cada nivel en X y en Y respectivamente.

$VX(NN+1), VY(NN+1)$.- Vector que almacena los cortantes sísmicos en cada nivel en X y en Y respectivamente.

$X(OP), Y(OP)$.- Vector que almacena las coordenadas en X, Y de los ejes rigidizantes que forman una de las plantas del edificio.

$B(OP)$.- Vector que almacena los ángulos que forman los ejes rigidizantes con respecto a los ejes X-Y de una planta.

$K(OP)$.- Vector que almacena las rigideces de cada eje que forma la planta del edificio.

$XA(OP), YA(OP), BP(OP)$.- Vectores que almacenan las coordenadas en X, Y y ángulos respectivamente, de los ejes rigidizantes que forman una de las plantas del total del edificio con respecto a los nuevos ejes de rigidez $X'-Y'$.

$XJ(OP), YJ(OP)$.- Coordenadas de los ejes rigidizantes de una planta de la estructura con origen en el centro de torsión.

$VR(OP, 5)$.- Vector que almacena el cortante total (V), la dirección del cortante total, el cortante debido al momento producido por el sentido contrario al cortante total (Vt), combinación $V+.3Vt$ y la combinación $Vt + .3V$, para cada eje rigidizante del total que forman una planta. 1a

Observamos que todos los cortantes y la matriz que integran el dimensionamiento total del programa TORSION, se encuentran en función de dos variables que son:

NN.- Número de niveles de la estructura

OP.- Número mayor de los ejes rigidizantes que formen una planta del total de la estructura.

Aunque son muchos los vectores que se requieren utilizar para dar solución al problema de la distribución por torsión, en general podremos afirmar que la capacidad del programa TORSION no se encuentra restringida a un número de niveles o de ejes rigidizantes que formen una planta, la razón principal radica en que es posible analizar cada planta de una estructura por separado si se llegara a tener plantas demasiado grandes o con muchos entrepisos, por ejemplo podríamos analizar 5 plantas de un sólo nivel en vez de un edificio de 5 niveles, lo anterior es posible hacer siempre y cuando en vez de dar como dato el centro de masa de la estructura de una sola planta demos como dato el centro de cortante que le corresponda a dicha planta, tomando en cuenta el edificio de 5 niveles.

COMENTARIO FINAL

Como pudimos observar el uso de programas para la solución del problema de análisis sísmico dinámico resulta ser de gran ayuda para el Ingeniero Civil Estructurista, pero también sabemos que si la microcomputadora es una herramienta que soluciona el problema de cálculo no soluciona todo el problema que implica el diseño sísmico de un edificio como lo son los problemas de detallado, los problemas de conexiones, la correcta estructuración, la buena idealización que estemos haciendo de la estructura y otra serie de dificultades que implica el análisis sísmico de un edificio, es en estos aspectos donde entra la verdadera sensibilidad del Ingeniero Estructurista para poder resolver correctamente esta serie de problemas. La sensibilidad para el análisis sísmico del Ingeniero Estructurista se la dará el tiempo y las diferentes dificultades con las que se enfrente en el transcurso de su vida profesional en la cual él podrá no simplemente seguir utilizando los métodos vigentes sino también proponer otros o mejorar los ya existentes.

Por todo lo anterior es conveniente enfatizar que el uso de programas de microcomputadora aunque no soluciona totalmente el problema de análisis sísmico de una estructura, no deja de ser por esto una excelente herramienta.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer al Ingeniero Fernando Monroy Miranda todas las orientaciones recibidas durante el desarrollo del presente trabajo.

Asimismo agradece a Nora López Parra y a Daniel Moheno Luna los comentarios hechos a este trabajo durante su realización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- Bazán Zurita y Meli Piralla
MANUAL DE DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS
Editorial LIMUSA, México D. F. 1987
- 2.- Estrada Uribe
ESTRUCTURAS ANTISISMICAS
Editorial C.E.C.S.A., México D.F. 1984
- 3.- Dowrik D. J.
DISEÑO DE ESTRUCTURAS RESISTENTES A SISMOS
Editorial LIMUSA, México D.F. 1984
- 4.- De Buen y López de Heredia, Pablo Galan
Maraboto Esteva, Olagaray Palacios
APUNTES DE DISEÑO ESTRUCTURAL
Facultad de Ingeniería U.N.A.M. 1984
- 5.- International Busines Machines
BASIC, MANUAL DE CONSULTA
Editado por IBM, Inglaterra 1984
- 6.- Alcocer Sergio
CENTROS DE TORSION OBTENIDOS MATRICIALMENTE
Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería U.N.A.M.
1986
- 7.- Damy Rios
DIAGONALIZACION DE MATRICES DE RIGIDEZ DE EDIFICIOS
Revista de Ingeniería, México D. F. Enero-Marzo 1978
pp. 62-67
- 8.- Damy Rios
APUNTES DE LA MATERIA DE APLICACION DE LAS COMPUTADORAS
AL ANALISIS ESTRUCTURAL
Facultad de Ingeniería U.N.A.M. 1986
- 9.- D.D.F.
NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO POR SISMO
México D.F. Septiembre de 1987