

46 9j.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE
MEXICO



CRITERIOS PARA EVALUAR
LOS EFECTOS DE TORSION EN EDIFICIOS

T E S I S

Que para obtener el título de :

INGENIERO CIVIL

presenta

JOSE LUIS DIAZ HERNANDEZ

HECTOR MANUEL GALLEGOS HERNANDEZ



MEXICO, D.F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FEB. DE 1990.



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.

INDICE

RESUMEN

I. INTRODUCCION

- I.1. Sismos.
- I.2. Sismos en México.
- I.3. Efecto de los Sismos en las Estructuras.
- I.4. Torsiones en Edificios.
 - I.4.1. Torsión Estática, Calculada o Teórica.
 - I.4.2. Torsión Accidental.
 - I.4.3. Amplificación Dinámica.
- I.5. Métodos de Evaluación del Centro de Torsión en Edificios.
 - I.5.1. Método "Tradicional" de Rigideces de Entrepiso.
 - I.5.2. Método de Stafford-Vezina.
 - I.5.3. Método Matricial para la obtención del centro de Torsión.
- I.6. Objetivos de la Tesis.

II. CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO SISMORRESISTENTE SEGUN EL REGLAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, VERSION 1987.

- II.1. Diseño Sismorresistente.
- II.2. El Reglamento de Construcciones del D.F.
- II.3. Diseño por Sismo.
 - II.3.1. Método de Análisis Estático.
 - II.3.2. Método de Análisis Dinámico.

III. PROGRAMAS DE COMPUTACION.

- III.1. Antecedentes.
- III.2. Programa TABS-77.
 - III.2.1. Hipótesis de Trabajo.
 - III.2.2. Método de Análisis.
- III.3. Programa TORSION.
 - III.3.1. Hipótesis de Trabajo.
 - III.3.2. Método de Análisis.
- III.4. Programa SUPER-ETABS.
 - III.4.1. Hipótesis de Trabajo.
 - III.4.2. Método de Análisis.
- III.5. Análisis Comparativo de Programas.
 - III.5.1. Análisis y Datos de Entrada.
- III.6. Obtención del Centro de Torsión e incremento de la excentricidad según el RDF-87.
 - III.6.1. Efectos de Torsión: Programa "TORSION"
 - III.6.2. Efectos de Torsión: Programa "TABS-77"
 - III.6.3. Efectos de Torsión: Programa "SUPER-ETABS"
- III.7. Análisis Sísmico de Estructuras Tipo.
 - III.7.1. Estructura A.
 - III.7.2. Estructura B.
 - III.7.3. Estructura C.
 - III.7.4. Estructura D.

IV. MODELOS A ANALIZAR.

IV.1. Características de la Estructura.

IV.2. Fuerzas Sísmicas y Espectro de Diseño.

V. ANALISIS SISMICO DE LA ESTRUCTURA DE 10 NIVELES.

V.1. Análisis Sísmico Dinámico Modal Espectral.

V.2. Análisis Sísmico Estático Sin incluir la Excentricidad de Diseño.

V.3. Consideración de las Especificaciones para Torsión según el RDF-87.

V.3.1. Evaluación de la posición del Centro del Torsión.

V.3.2. Análisis Sísmico Estático considerando la Excentricidad de Diseño.

V.3.3. Respuestas del Análisis Sísmico considerando la Excentricidad de diseño.

VI. DISEÑO SISMICO DE ELEMENTOS TIPO.

VI.1. Diseño de Elementos tipo. Estructura C sin y con RDF.

VI.1.1. Columna Tipo.

VI.1.2. Trabe tipo.

VII. ANALISIS DE RESPUESTAS SISMICAS.

VII.1. Comparación de Respuestas Sísmicas obtenidas con los diferentes programas, para un mismo tipo de Análisis.

VII.1.1. Estructuras de 5 niveles.

VII.1.2. Estructura Simétrica de 10 niveles.

VII.2. Comparación de Respuestas Sísmicas obtenidas con un mismo programa con condiciones de excentricidad diferentes.

VII.2.1. Estructuras de 5 niveles.

VII.2.2. Estructura de 10 niveles.

VIII. CONCLUSIONES.

REFERENCIAS.

BIBLIOGRAFIA.

RESUMEN

Una característica importante de las ciudades actuales es la presencia de grandes estructuras que se muestran desafiantes a la naturaleza, las cuales han tenido que ceder, en no pocas ocasiones, ante la energía descomunal que se libera durante un sismo. Particularmente, la Ciudad de México ha estado expuesta a sismos de gran intensidad. Especial interés presentan los sismos de julio de 1957, marzo de 1979 y septiembre de 1985, debido a los daños observados en las estructuras, lo que motivó un estudio más profundo de sus efectos y causas.

El sismo de 1957 colocó en primer término la importancia de varios factores de los cuales destacaba, entre otros, el efecto de la torsión en los edificios, y fue a raíz de este suceso que se adoptaron medidas reglamentarias para enfrentarlo.

Los sismos de septiembre de 1985 pusieron de manifiesto, nuevamente, la importancia del efecto antes mencionado. Muchas de las fallas en los edificios se debieron a la excesiva torsión, considerándose probablemente, como causa principal en el 40% de los edificios dañados. Como consecuencia de ello, la norma de diseño sísmico correspondiente a la torsión en el Reglamento del Distrito Federal (RDF) está siendo estudiada con mayor detalle.

Se presenta la metodología a seguir para incluir el efecto de la torsión en el análisis sísmico tridimensional de edificios, utilizando programas para cómputo que no tienen explícitamente implementados los requisitos de las excentricidades de diseño exigidos en el Reglamento de las Construcciones del D.F., versión 1987 modificado (RDF-87). Se utilizan varias estructuraciones con y sin asimetría, y obtienen las respuestas (desplazamientos, elementos mecánicos) de los análisis sísmico tridimensionales llevados a cabo con dichos programas de cómputo, considerando el incremento en torsión exigido por el código. Finalmente se comparan estos resultados con los obtenidos por el programa TORSION, elaborado por Julio Damy, obteniendo diferencias poco importantes.

En el capítulo I se da una introducción al efecto de la torsión en los edificios sujetos a sismos; se hace una reseña de los estudios realizados al respecto y los objetivos que se persiguen en este trabajo.

Las medidas adoptadas en nuestro país para tomar en cuenta la influencia de los efectos de los sismos, en lo que a torsión se refiere, se comentan en el capítulo II.

Actualmente el uso de las computadoras en el análisis sísmico de las estructuras es imprescindible, debido a ello, en este

trabajo se recurrió al empleo de tres paquetes de computación, que en lo sucesivo se nombrarán como: TABS-77, SUPER-ETABS y TORSION. En el capítulo III se presentan las características de dichos programas, sus hipótesis y alcances y se hace ver cómo manejar la información de datos de entrada para poder usar este tipo de programas de cómputo en forma consistente cuando se considera lo estipulado en la norma de torsión del RDF-87. Asimismo, se dan a conocer los resultados obtenidos de los cuatro tipos de estructuración que sirvieron como base de calibración, en los cuales se observaron los alcances de cada programa y su utilidad para considerar el incremento en la excentricidad que marca el RDF-87.

El capítulo IV presenta las características de una estructura real, que por su comportamiento durante el sismo de 1985 fue interesante analizar desde el punto de vista del efecto torsión.

A lo largo del capítulo V, se dan a conocer los resultados del análisis sísmico de la estructura real. Se parte de un análisis dinámico traslacional puro del cual se obtiene la distribución de fuerzas laterales y el centro de torsión; posteriormente, de acuerdo con las características de cada programa y con base en lo argumentado en el capítulo III, se considera la influencia de los efectos de torsión conforme lo especifica el RDF-87.

En el siguiente capítulo, VI, se realiza el diseño sísmico de elementos tipo de la estructura real, con el propósito de observar cómo influye la torsión en este aspecto.

En el capítulo VII se lleva a cabo una comparación de las respuestas obtenidas de la estructura real, tanto del análisis como del diseño sísmico.

Finalmente, en el capítulo VIII, se dan una serie de conclusiones y recomendaciones que son válidas, únicamente, para tipos de estructuras semejantes a las analizadas, para poder hacer los análisis tomando en cuenta la influencia de los efectos de la torsión en el comportamiento sísmico.

I.- INTRODUCCION

I.1. SISMOS

Desde siempre, la naturaleza ha influido en el comportamiento y desarrollo del hombre; su desarrollo se ha visto íntimamente ligado a las condiciones favorables que el medio ambiente le ha otorgado. Desde el principio el hombre ha procurado su subsistencia así como su seguridad. Es a partir de dos acontecimientos fundamentales en la historia del hombre, cuando su actitud variará radicalmente. El primero es el descubrimiento del fuego, y el segundo, el conocimiento de la agricultura, lo que le permitió establecerse por más tiempo en un sitio iniciando una vida sedentaria que dió la pauta para crear las primeras aldeas y pequeñas comunidades que evolucionaron hasta convertirse en grandes civilizaciones como la de Egipto, Grecia, Tenochtitlan, etc. Sus ciudades fueron manifestación del grado de desarrollo alcanzado. El surgimiento de grandes centros urbanos, como los conocemos hoy en día, no se dió sino hasta el siglo XIX con la Revolución Industrial, la que propició la emigración hacia ellos.

Al igual que las ciudades antiguas, los nuevos y pujantes centros urbanos están a merced de sufrir los efectos de los fenómenos naturales y poner así en peligro a sus habitantes; y llamamos la atención en las concentraciones urbanas, porque es ahí, precisamente, donde los daños son más devastadores, debido al número de víctimas, generalmente elevado, que causan.

Entre los fenómenos naturales que mayor daño han causado a las grandes ciudades desde tiempos remotos figuran los sismos. Su origen, frecuencia, así como la intensidad con la que se presentan en diversos sitios del orbe se explica, de acuerdo con la aceptación generalizada de la comunidad científica especializada en el tema, por medio de una teoría llamada "Téctonica de Placas", que a muy grandes rasgos consiste en lo siguiente.

La Litósfera tiene un espesor promedio de 80 km y está subdividida en grandes placas. Obviamente, no toda la Litósfera tiene un espesor constante; por lo general, existe un menor espesor en la parte que se encuentra en el fondo de los océanos, que es por donde fluye el magma (líquido que se encuentra a presión debajo de la litósfera) hacia arriba, a través de las discontinuidades de las placas. Esta emersión produce empujes sobre los lados adyacentes a la falla y en los extremos opuestos se generan grandes empujes, los cuales producen diferentes efectos:

a) Si entra en contacto una placa continental con una oceánica, ésta última sufrirá una subducción por su menor densidad. (fig. 1.1)

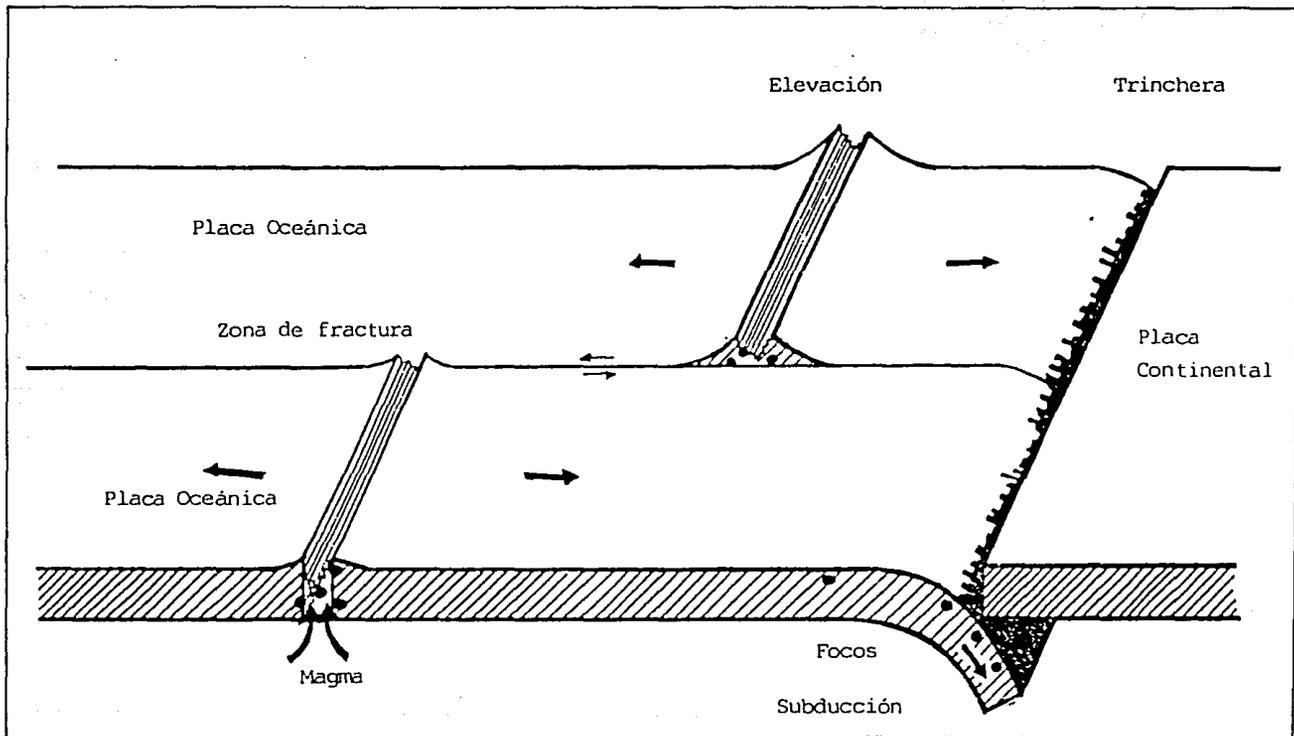


Fig. 1.1. Movimiento de placas y generación de sismos.

b) Si son dos placas continentales, se produce una elevación (fig. 1.1)

c) Cuando los empujes producen movimientos paralelos, aparece un desplazamiento sin que exista creación o destrucción de Litósfera. (fig. 1.1)

El corrimiento de las zonas de contacto no se produce de una manera suave ni continua, sino que de una manera brusca e inesperada se libera una cantidad de energía considerable, generándose ondas en la corteza terrestre, las que se transmiten a distancias considerables y provocan la vibración de la superficie del suelo. Estos deslizamientos no se producen a intervalos definidos o constantes, sino que su aparición es, por demás, impredecible. Sin embargo, se puede suponer que aquellas zonas consideradas como sísmicas, que en un tiempo prolongado no han tenido registros de movimientos, tienen una mayor probabilidad de presentar tal evento que una zona también sísmica, en la cual poco tiempo atrás se presentó dicho fenómeno.

La brusca caída de esfuerzos (cuyo efecto es el movimiento) provoca tres tipos de onda:

- 1.- P ó longitudinales (de compresión)
- 2.- S ó secundarias (de cortante)
- 3.- Superficiales (provocadas por las dos primeras en la superficie terrestre)

Actualmente, el registro de los movimientos telúricos se hace por medio de un acelerógrafo, que registra información de la historia de aceleraciones que genera un sismo. Este registro se hace en dos direcciones ortogonales entre si y una vertical y recibe el nombre de acelerograma.

Los puntos más importantes por definir en el estudio de un acelerograma son: aceleración máxima, duración de la etapa sensible, es decir, aquella en que la amplitud de las aceleraciones tiene un valor apreciable y por último, las frecuencias dominantes del movimiento.

El movimiento del terreno se puede entender como una superposición de vibraciones armónicas con distintas frecuencias. Para sismos registrados cerca del epicentro, las frecuencias son altas (periodos cortos), mientras que para sismos registrados lejos del epicentro, los movimientos que producen son los de baja frecuencia. Las aceleraciones que producen mayores efectos en las estructuras son las horizontales (P y S) y de menor importancia las verticales, cuyo efecto se presenta cuando el epicentro se encuentra localizado cerca de los sitios de interés.

Los parámetros del movimiento del terreno que influyen en la respuesta de las estructuras son la aceleración, la velocidad

(obtenida a través de la integración del acelerograma) y el desplazamiento (obtenido mediante la integración de la historia de velocidades).

I.2. SISMOS EN MEXICO.

En México, los sismos de mayor magnitud se generan principalmente en la Costa del Pacífico, donde se encuentra una frontera entre dos placas: la oceánica, denominada de Cocos que tiende a penetrar debajo de la placa continental llamada de Norteamérica.

La Ciudad de México se encuentra a algunos cientos de kilómetros de la frontera entre dichas placas y, por tanto, de los posibles epicentros de terremotos de gran magnitud. Habría de esperarse que las intensidades sísmicas en la Capital fueran pequeñas, debido a la atenuación que sufren las ondas sísmicas al recorrer tales distancias; sin embargo, debido a los mantos de terreno muy blando que existe en una porción de ella, ocurren amplificaciones locales importantes del movimiento del terreno. En esta situación, los sismos en la Cuenca del Valle de México son muy diferentes de los que ocurren en la mayoría de las zonas con alto riesgo sísmico, las cuales generalmente se encuentran localizadas a corta distancia de posibles epicentros de sismos de gran magnitud. En las zonas de terreno blando del Valle, las ondas sísmicas de baja frecuencia se amplifican, mientras que, debido a la gran distancia del epicentro, las de alta y mediana frecuencia se filtran; como resultado de esto, el movimiento del terreno se caracteriza por ser casi armónico, de gran duración y con amplificaciones importantes. Es pues claro, donde existe terreno firme, como la zona sur de la Cd. de México, los efectos de sismos lejanos son reducidos.

Los datos históricos e instrumentales recopilados por Figueroa (ref.1) indican que entre 1460 y 1970, se han presentado en la Cd. de México 121 sismos con intensidad de seis o más grados en la escala de Mercalli, originados en epicentros fuera de la Cuenca y principalmente en la Costa del Pacífico; de ellos, 13 presentaron una intensidad de ocho o más grados.

En la misma publicación se afirma que, en las primeras siete décadas de este siglo, han ocurrido nueve sismos de seis grados de intensidad en la escala de Mercalli con epicentro en la misma Cuenca, debido a los desplazamientos de pequeñas fallas locales; el movimiento del suelo tiene en estos casos características radicalmente distintas de las antes descritas, ya que presentan altas frecuencias dominantes y aceleraciones apreciables, que afectan principalmente a las construcciones rígidas y frágiles en las cercanías del epicentro.

Este panorama muestra que en la Ciudad de México, el mayor riesgo sísmico se presenta en las zonas con mayores espesores de terreno blando, en tanto que en las de terreno firme, la situación es más favorable, aunque persiste riesgo por la posibilidad de sismos locales.

Entre los sismos que se han presentado en México, en el presente siglo, destacan los siguientes:

Fecha	Región más dañada	Magnitud
Julio 28-57	Cd. de México	7.8
Agosto 28-73	Veracruz	6.8
Marzo 14-79	Cd. de México	7.5
Sept. 19-85	Cd. de México	8.1
Sept. 20-85	Cd. de México	7.8

Sus efectos han sido diversos pero todos importantes, al igual que el gran número de sismos de menor magnitud, lo que justifica todo esfuerzo encaminado a conocer la mecánica de los sismos y la respuesta de las estructuras ante la acción de los mismos.

I.3. EFECTO DE LOS SISMOS EN LAS ESTRUCTURAS

Los sismos tiene una probabilidad de presentarse nada despreciable, por lo que el considerar su existencia, aún en zonas no sísmicas, puede resultar fundamental en el diseño de estructuras de cierta importancia.

El movimiento sísmico del suelo, por medio de la cimentación de la estructura, le transmite a ésta una energía dada que tiene que disipar a través de desplazamientos traslacionales y rotacionales, los que generan elementos mecánicos (tensiones, compresiones, flexiones y torsiones) en sus elementos estructurales y no estructurales.

Existen actualmente varios métodos, avalados por el RDF, para analizar la respuesta de las estructuras ante la acción de un sismo, cada uno con características diferentes:

- a) Método de análisis sísmico Estático
- b) Método de análisis sísmico Dinámico Modal Espectral
- c) Método de análisis Dinámico Paso a Paso
- d) Método de análisis Simplificado del RDF

Por medio de estos métodos se obtienen los desplazamientos supuestos, tanto traslacionales como rotacionales, que sufrirá la estructura. Estos desplazamientos,

independientemente del tipo de análisis empleado, dependen de la estructura misma, y de sus parámetros: rigidez, resistencia y ductilidad.

Tomando en cuenta lo anterior, podemos decir que los métodos de análisis sísmico nos sirven para calcular la respuesta estructural (desplazamientos y elementos mecánicos), en función de la dificultad de evaluar con exactitud los parámetros básicos de la estructura, así como las características reales del sismo que deberá resistir. Con esto, se pretende señalar que los métodos de análisis son una herramienta, y entenderlos así, es lo más conveniente, ya que todo intento de refinación en ellos será inútil en tanto no se dé, por ejemplo, una evaluación "exacta y realista" del sismo de diseño o de la ductilidad máxima que es capaz de desarrollar una estructura en particular.

Como mencionamos, uno de los efectos de los sismos en las estructuras es el producirles desplazamientos rotacionales o torsiones, este efecto se comenta, con detalle, enseguida.

I.4. TORSIONES EN EDIFICIOS

La necesidad de diseñar para tomar en cuenta la torsión en edificios sujetos a sismos, fue reconocida hace tan solo cuatro décadas, en forma oficial, en algunos reglamentos. Anteriormente, dicho efecto se tomaba en cuenta en forma empírica, a criterio del proyectista y sin un fundamento o teoría racional; inclusive, ésto se reconoce en el "Uniform Building Code" y en "The Recommended Lateral Force Requirements of the Structural Engineering Association of California", al hacer una declaración que a la letra dice: "El tema de la torsión se le reconoce como un tópico con características más amplias para su investigación".

La condición de torsión en una estructura se presenta debido a distribuciones asimétricas de sus elementos resistentes y/o de sus masas. Cuando la posición del centro de masa no coincide con la del de rigideces, se generan en la estructura momentos torsionantes proporcionales a la magnitud de la excentricidad o distancia entre dichos centros. Esta situación ha sido estudiada con detalle y se le conoce como torsión elástica estática ó calculada. Sin embargo, en una estructura donde exista total simetría, tanto de masas como de rigideces, y en la cual teóricamente no habrá torsión, existe la posibilidad de que el efecto mencionado se presente, conociéndose éste como torsión accidental. Así pues, la torsión teórica ó calculada difiere de la torsión real, y éstas diferencias se deben a la presencia de una torsión accidental y una amplificación dinámica de la misma.

En lo que sigue, se describe el problema de torsión estática calculada y torsión real (accidental y dinámica) en edificios y la forma como se toma en cuenta en el análisis sísmico de las estructuras.

Para poder entender el fenómeno de torsión con mayor claridad, es necesario definir los siguientes términos:

a) Centro de masa (CM). - Es el punto donde se concentra la masa del modelo estructural de tal forma que se producen las mismas fuerzas de inercia que en el caso real; es un indicador de la distribución de masa, en planta, del edificio y el punto de aplicación de la fuerza sísmica en un cierto nivel considerado.

b) Centro de torsión (CT). - En un nivel determinado de una estructura de varios pisos, sujeta a una distribución vertical específica de carga horizontal, es el punto en el plano del piso, más no necesariamente dentro de los límites externos del mismo, en el que debe actuar la fuerza horizontal externa correspondiente a ese piso para que su movimiento sea sólo de traslación sin que se produzca un par de torsión.

Se le conoce también como centro de rigidez y es, en cierta manera, un indicador de la distribución de rigideces en la planta de una estructura.

A nivel de entrepiso, el centro de torsión tiene una definición análoga: es el punto de aplicación de la resultante de las resistencias de cada entrepiso; es el punto por el que debe pasar la línea de acción de la fuerza cortante sísmica para que el movimiento relativo entre los dos niveles que limitan el entrepiso sea de traslación solamente y no exista torsión ó rotación relativa entre dichos niveles.

c) Centro de cortante (CC). - Punto de aplicación de la fuerza cortante sísmica de entrepiso.

I.4.1 TORSION ESTATICA CALCULADA O TEORICA.

Para una estructura sujeta a la acción de un sismo ó excitación en general, la ecuación de equilibrio dinámico resulta la siguiente:

$$F_i + F_a + F_e = F(t)$$

donde:

F_i = Fuerzas de inercia

F_a = Fuerzas de amortiguamiento

F_e = Fuerzas elásticas o restitutivas

$F(t)$ = Fuerzas externas

La resultante de las fuerzas de inercia está asociada con el centro de masa y la resultante de las fuerzas elásticas está asociada con el centro de torsión. Cabe aclarar que dentro del rango elástico lineal, las rigideces de los elementos no cambian durante la excitación y por lo tanto, la posición del centro de torsión tampoco.

Así pues, cuando coinciden los centros de masa y de torsión, se puede considerar que el edificio que se tiene es simétrico, tal que al actuar una fuerza externa sísmica en la estructura, las fuerzas inerciales generadas en la masa coinciden en posición y dirección con las restitutivas, con lo que el equilibrio de fuerzas se satisface sin necesidad de la aparición de otras adicionales (fig.1.2).

Considérese ahora una estructura asimétrica (en forma ó en propiedades) sometida a un movimiento de traslación en su base (sismo). En este tipo de estructuras los centros de masa y de torsión generalmente no coinciden, por lo que las fuerzas inerciales y las restitutivas difieren, tanto en posición como en dirección, por lo que se genera una fuerza adicional equilibrante. Esta fuerza adicional se traduce en un par de torsión, función de la excentricidad calculada o distancia entre los centros antes mencionados, que genera rotaciones en la estructura (fig.1.3). Al par de torsión generado se le conoce comúnmente como torsión estática ó calculada y a la excentricidad con la cual está asociada, excentricidad estática. Esta torsión calculada ó teórica difiere de la que realmente se presentará en la estructura al actuar un sismo; las fuentes de discrepancias se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- 1) Torsiones accidentales
- 2) Amplificación dinámica de la torsión

Se tratan con detalle en los siguientes subcapítulos.

I.4.2 TORSION ACCIDENTAL

Si hacemos la suposición de que una estructura es perfectamente simétrica, tanto en masa como en rigidez, antes, durante y después de un sismo, es obvio que la estructura no presentará deformaciones debidas a una torsión estática. Sin embargo, en la realidad, las estructuras siempre presentan deformaciones por torsión debido a causas accidentales. Las torsiones accidentales tienen diversas causas que se enumeran y comentan a continuación:

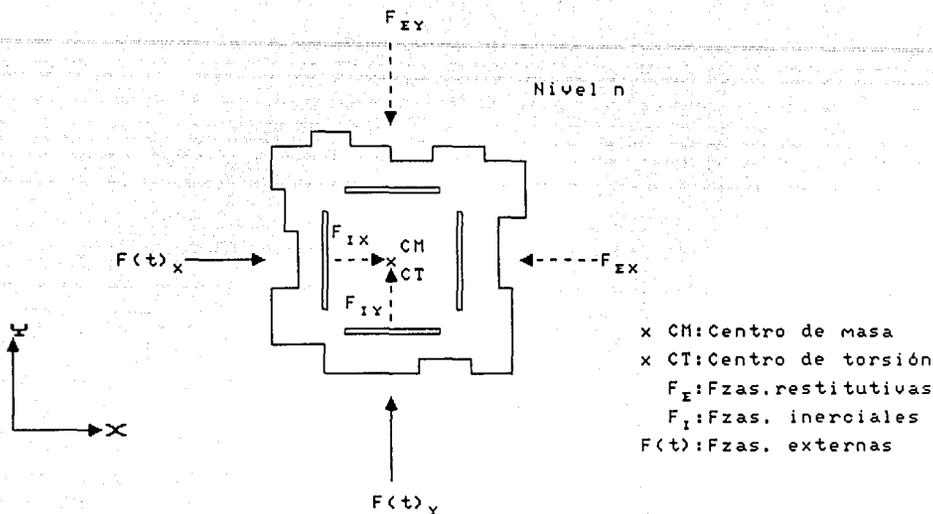


Fig. 1.2. Propiedades de piso. Estructura simétrica con equilibrio de fuerzas.

Para sismo en dir-X

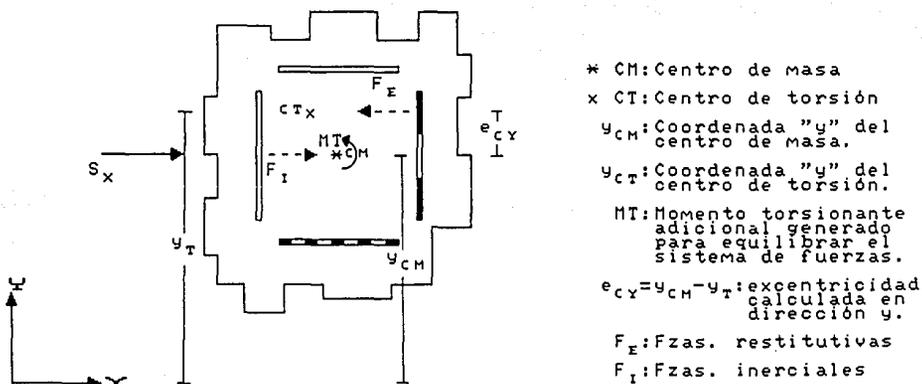


Fig. 1.3. Propiedades de piso. Estructura asimétrica en donde se genera un momento torsionante para equilibrar el sistema de fuerzas.

I.4.2.1 COMPONENTE ROTACIONAL DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO

Al producirse un sismo, el terreno presenta tres movimientos de traslación: dos componentes ortogonales horizontales y una componente vertical. Sin embargo, también se producen movimientos rotacionales alrededor de un eje vertical y otro horizontal. Actualmente solo se pueden inferir características de tales componentes rotacionales a partir de registros de componentes traslacionales.

La componente rotacional del movimiento del terreno es una de las causas que introducen torsiones en edificios que son considerados como simétricos y que se debe tomar en cuenta en el diseño de los mismos.

Se puede considerar, de manera razonada, que la rotación en la base de un edificio, debida a la componente rotacional del terreno, se aproximará a esta última, si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) La cimentación del edificio es lo suficientemente rígida en ambas direcciones ortogonales ante el movimiento del terreno, que obliga a la superficie de éste a desplazarse como una placa rígida.
- b) La dimensión en planta del edificio, en la dirección del movimiento de la onda, es mucho menor que la longitud de onda.
- d) Los efectos de la interacción suelo-estructura, debida al momento polar de inercia de la masa del edificio, se desprecian.

La condición a) se cumple para la mayoría de las estructuras comunes (edificios, tanques, chimeneas y torres), si bien no es válida para estructuras más largas, como por ejemplo presas.

La validez de la suposición b) se fundamenta con lo siguiente:

- b.1) Las ondas que interesan desde el punto de vista de la respuesta de la estructura son las que tienen periodos próximos a los periodos naturales de la estructura y los más pequeños, en la mayoría de los edificios, son del orden de 0.2 segundos ó más.
- b.2) La mayor parte de la energía de un sismo se transmite por medio de ondas de corte que viajan hacia arriba al aproximarse a la superficie, debido a la refracción de las ondas en el suelo, así como a las interfases roca-suelo. Debido a esto, en la

superficie libre del suelo, éstas ondas se desplazan prácticamente a la misma velocidad que las ondas de cortante de la roca adyacente. Considerando esto último, se estima que las velocidades que interesan para definir la longitud mínima de onda es del orden de 3000 m/s.

La longitud de onda se define como el producto del periodo por la velocidad de dicha onda:

$$\begin{aligned} \text{Longitud de onda} &= \text{Periodo} \times \text{velocidad} \\ L &= 0.2 \text{ seg.} \times 3000 \text{ m/s} \\ L &= 600 \text{ m} \end{aligned}$$

Siendo éste un valor razonable para considerar como aceptable la condición b).

Con lo anterior, se fundamenta la conclusión de que la rotación en la base de un edificio es igual a la del terreno.

En el planteamiento anterior se supuso que la rotación con respecto a un eje vertical está asociada con las ondas de cortante. Esto es discutible, según lo menciona Rosenblueth en la referencia 2, al relacionarlos con mayor probabilidad a las ondas Love que están clasificadas dentro de las ondas "L" u ondas superficiales.

Para evaluar los efectos de la componente rotacional del suelo en edificios simétricos, Newmark (ref.3) realizó estudios en este sentido, desarrollando una metodología racional para determinar los efectos torsionantes sísmicos a partir de la onda sísmica y llegando a recomendaciones de diseño similares a las existentes en algunos reglamentos. En éste estudio, considera de manera apropiada la influencia de la altura del edificio, periodo de vibración y tipo de estructuración en la excentricidad de diseño necesaria para fuerzas sísmicas.

Una de las hipótesis básicas de dicho estudio, consiste en considerar que un fuerte movimiento telúrico asume las características de propagación de una onda. A partir de estos movimientos se hace una estimación del espectro de respuesta torsional; la combinación de la respuesta torsionante y la flexionante se efectúa sin ningún problema. Las respuestas a la torsión y a la flexión en diversas configuraciones típicas de edificios de un solo piso son evaluadas tomando en cuenta las diferencias en frecuencias en sus modos de respuesta. Finalmente, los valores de la excentricidad son determinados a partir de las respuestas obtenidas, en términos del ancho del edificio y de la velocidad de propagación de la onda.

Entre las conclusiones a las que se llega en este estudio destacan las siguientes:

1.- Una excentricidad accidental del 5% de la dimensión mayor del edificio en planta, que establece como mínimo el "Uniform Building Code", es aceptable para edificios con marcos cuyo periodo fundamental exceda a 0.6 seg, e igualmente para edificios con muros de cortante con periodo fundamental mayor a 1 seg aproximadamente.

2.- Para estructuras con periodo fundamental más corto, algo así como 0.2 seg o un poco más, pero menores de 0.6 seg, la excentricidad se recomienda tomar entre 10% y 15% respectivamente; esto es debido a que mientras más rígido se vuelve el edificio, mayor tendencia tendrá de aproximarse al movimiento rotacional del terreno.

3.- Por otro lado, la excentricidad de 5% puede ser excesiva para frecuencias mayores a 1 hertz y del 10% también excesivas para frecuencias mayores de 2 hertz.

Se obtienen, también, otras conclusiones: La excentricidad de diseño varía directamente con la frecuencia natural del edificio e inversamente con el periodo de vibración y con el tiempo de tránsito de la onda a través de la base del edificio.

Las conclusiones obtenidas son con base en un análisis de una estructura de un piso, sin embargo, tales conclusiones pueden extrapolarse a edificios de varios niveles.

Las anteriores afirmaciones podrían considerarse como conservadoras si sólo se tomara en cuenta, como causa de la torsión accidental, al movimiento rotacional del terreno, al pensar que la magnitud de ésta componente rotacional es aproximadamente un 30% menor que la estimada, porque los movimientos del terreno no son igualmente intensos en direcciones ortogonales entre sí. Sin embargo, existen otras fuentes de torsión accidental que hacen que tales conclusiones no sean tan conservadoras como puede pensarse en un momento dado. El único inconveniente de éstos resultados es el hecho de que en el análisis se sobrestima la importancia del periodo fundamental.

I.4.2.2 INCERTIDUMBRE EN EL CALCULO DE RIGIDECES Y MASAS.

La aleatoriedad de la rigidez de la estructura ante cargas laterales es otra causa importante de torsión accidental. Un error pequeño o una imprecisión en el cálculo de rigideces

relativas o bien, una distribución imprevista de masa, puede inducir incrementos de varios cientos por ciento en las torsiones de entrepiso, cuando los cálculos indican que la resultante de las fuerzas horizontales pasa cerca de centro de torsión en cada entrepiso.

La incertidumbre en el cálculo de la rigidez se basa en el hecho de que dicha propiedad puede sufrir alteraciones en cada elemento debidas a agrietamientos locales y a la contribución de rigidez de elementos no estructurales. Estas alteraciones pueden ser efectivas, no en el primer sismo (si es que es de intensidad pequeña) que resistió, sino ante la segunda sollicitación de fuerzas de un segundo sismo en el cual las rigideces ya no serian las mismas y por tanto, el centro de torsión estaria ubicado en otro punto.

En algunas ocasiones es recomendable que el estructurista diseñe una serie de elementos no estructurales ubicados estratégicamente para actuar como fusibles (ref.4); estos "fusibles" tienen el propósito de convertirse en defensas para evitar el colapso de la estructura con base en poner a trabajar los elementos en cuanto a sus propiedades de ductilidad básicamente; sin embargo, es importante que la falla de los primeros elementos de la primera defensa, no modifiquen radicalmente la posición del centro de torsión por las consecuencias previsibles.

En cuanto a la incertidumbre en el cálculo de masas, se pueden mencionar como factores importantes los siguientes:

a) Modificación del uso de la estructura para el que fue diseñada, tal es el caso de edificios habitacionales usados como bodegas, archivos etc.

b) Distribuciones desfavorables de masa, dificilmente valuables.

I.4.2.3 RELACIONES ASIMETRICAS NO LINEALES FUERZA-DEFORMACION

Ante acciones dinámicas como la de los sismos, la mayoría de los materiales y sistemas estructurales tienen un comportamiento que puede considerarse lineal hasta un nivel bastante alto de sollicitaciones, pero al llegar cerca de su máxima capacidad de carga, el comportamiento se vuelve no lineal y la mayoría de las estructuras pueden ser llevadas a deformaciones varias veces superiores a la que corresponde al comienzo de la etapa lineal. La no linealidad, pues, se refiere al hecho de que una vez alcanzado cierto nivel de esfuerzos, la relación carga-desplazamiento para esfuerzos mayores cambia, lo que altera la rigidez tanto de los elementos como de la estructura; lo anterior necesariamente genera una asimetría en rigideces que modificará el centro de torsión y por ende, se introduce una torsión "accidental".

Algunos estudios realizados en este sentido son los hechos por Penzien y Liu (ref. 5), que han analizado las respuestas de estructuras con degradación de rigidez.

El análisis de la estructura en el rango inelástico escapa a los propósitos de este trabajo, al igual que las excentricidades que por resistencia se pueden llegar a presentar; esto es, sólo se analiza el problema en cuanto a excentricidades por rigideces se refiere.

I.4.2.4 ASIMETRIA EN LAS CONSTANTES DE AMORTIGUAMIENTO.

El amortiguamiento es una característica estructural que influye en la respuesta sísmica. El tipo de amortiguamiento que se considera, generalmente, toma en cuenta fuentes de disipación de energía como fricciones internas, fricciones en los apoyos y en elementos no estructurales etc. La magnitud de estos efectos depende del nivel de daños y es difícil de cuantificar con precisión.

I.4.2.5 DEFORMACION EN UNA DIRECCION PERPENDICULAR A LA QUE SE ESTA ANALIZANDO.

Es evidente que al producirse un desplazamiento en una dirección perpendicular a la analizada se provoca un par de torsión o, al menos, una contribución al par de torsión generado por la excentricidad calculada en la dirección del sismo.

I.4.3. AMPLIFICACION DINAMICA.

Existen dos grupos de condiciones en las que un análisis dinámico lleva a esfuerzos muy superiores a los calculados estáticamente. Uno se identifica con el problema del chicoteo, es decir, se relaciona con la aparición de cortantes sísmicas sumamente elevadas en la última o últimas plantas de un edificio. La disminución acentuada de masa y rigidez hacia el extremo superior de muchos edificios hace pensar en un fenómeno análogo al que ocurre con la amplificación de movimientos en la punta de un látigo y de allí el nombre del fenómeno. Cuando ésta es la causa, el fenómeno en edificios generalmente tiene importancia pequeña. Pero puede obedecer a resonancia proveniente de la coincidencia del periodo natural del último tramo de un edificio con uno de los periodos naturales del conjunto. El factor de amplificación alcanza magnitudes sumamente altas en esas condiciones.

Este primer grupo de casos ocasiona problemas de análisis, más no necesariamente gobierna la elección del sistema estructural. El aspecto relativo al análisis queda satisfactoriamente cubierto por el empleo de métodos dinámicos o, de manera más burda, por la adopción de

aceleraciones de diseño incrementadas, en el metodo estático, para prever esta posibilidad tratándose de cambios bruscos de estructuración, como los que suelen caracterizar a los penthouses, tanques de agua en azoteas, casetas de elevadores, etc. Sólo cabe una advertencia: si se analiza dinámicamente y se encuentra proximidad a una condición de resonancia como las descritas, debe de preverse la posibilidad de diferencias moderadas entre las rigideces y masas de cálculo y las del prototipo, diferencias que pueden llevar precisamente a dichas resonancias.

El segundo grupo de casos comprende los de torsión dinámica. Se ha encontrado que la torsión dinámica puede exceder en mucho a la que se obtiene de análisis estático cuando las distribuciones de masas y rigideces guardan entre si relaciones próximas a una cierta relación critica. El fenómeno es especialmente pronunciado en edificios que poseen excentricidad estática sólo en dirección perpendicular a la del movimiento que se analiza.

La condición critica se alcanza cuando se cumple la relación:

$$\frac{\text{rigidez torsional}}{\text{momento polar de inercia}} = \frac{\text{rigidez en traslación}}{\text{masa}}$$

Ahora bien, la distribución de masas en un nivel típico de edificio difiere poco de ser uniforme. Por consiguiente si, como es frecuente, la rigidez de los marcos perimetrales es del orden de la mitad que los correspondientes interiores, se tendrá una situación próxima a la critica. Para alejarse de ella puede disminuirse o aumentarse la rigidez de los marcos perimetrales en relación con la de los interiores. Pero la primera alternativa es objetable porque, aunque aleja a la estructura de la condición mencionada, tiende a incapacitarla para resistir torsiones accidentales. Resulta por tanto aconsejable tender a un aumento de la rigidez de los marcos perimetrales. En ciertos proyectos ello es fácil si se dejan por ejemplo, prétilos perimetrales que formen parte de la estructura o se ensanchan arbitrariamente las trabes del perímetro.

A diferencia de los problemas de chicoteo, los de amplificación dinámica de la torsión no se resuelven mediante el simple recurso de emplear métodos refinados de análisis dinámico. Sucede que la relación critica a que se ha hecho mención lo es porque en ella los modos naturales de vibración están apareados. En la proximidad de ésta relación, a cada par de periodos naturales casi idénticos corresponden dos modos, cuyos desplazamientos en traslación son aditivos pero cuyas rotaciones poseen signos contrarios. En los primeros ciclos de oscilación simultánea en cada par de modos, las oscilaciones en torsión se cancelan mutuamente. Pero en estructuras elásticas con amortiguamiento bajo, después de un

número suficiente de ciclos, los pares de modos estarán desfasados, aun cuando sea pequeña la diferencia entre sus periodos, y se sumarán las torsiones correspondientes. La absorción de energía, dentro o fuera del rango elástico, hace que, cuando el desfaseamiento se aproxime medio ciclo, las amplitudes de oscilación hayan disminuido radicalmente. La torsión que se llega a presentar en estructuras reales es muy inferior a la suma de las que corresponden a los modos apareados. Pero los métodos convencionales de análisis dinámico no pueden tomar en cuenta esta disminución. El criterio consistente en tomar, para diseño, la suma de valores absolutos de las respuestas correspondientes a los modos naturales da como torsión dinámica debida a una pareja de modos el doble de la que corresponde a uno de ellos; el criterio que se propone para el reglamento, en que se toma la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de las respuestas correspondientes a los modos naturales, predice 2 veces la respuesta de uno de ellos. En edificios reales aun la segunda predicción seguramente sobrestima en mucho la torsión dinámica.

En edificios de planta cuadrada con masas repartidas uniformemente y una torsión estática insignificante, el segundo criterio predice excentricidades dinámicas superiores a 30 por ciento de la dimensión en planta del edificio. Excentricidades de esta magnitud son a veces económicamente imposibles de resistir. Por otra parte un análisis estático desconoce en lo absoluto el problema. Se concluye que la excentricidad para que la que debía diseñarse es intermedia entre casi cero y una magnitud increíblemente elevada. Cuando la relación de rigideces y masas está próxima a la crítica, el problema no es, pues, uno de análisis. La única escapatoria accesible yace en el cambio de proyecto: en la rigidización y refuerzo de los marcos perimetrales. El problema es de estructuración.

Dentro de los fenómenos de amplificación dinámica de la torsión se halla también el de la influencia que tiene la excentricidad torsional de algunos entrepisos en las oscilaciones torsionales de los demás. El análisis dinámico de varios edificios de igual masa en todos los niveles indica que la excentricidad dinámica en todos los entrepisos es aproximadamente igual al 70 por ciento de la excentricidad máxima. El análisis estático puede indicar que sólo en un entrepiso de un edificio existe torsión y en los demás es nula; el análisis dinámico indicará que en ése la excentricidad es mayor que la calculada estáticamente, y que en las demás es del orden de 0.7 veces dicha excentricidad.

Si la relación entre distribuciones de masa y rigidez dista de la crítica, este segundo tipo de amplificación dinámica de la torsión se reduce en general a un problema de análisis. Dinámicamente el análisis puede hacerse con refinamiento, mas un análisis estático, aunado a correcciones que tomen en

cuenta la influencia de excentricidades en plantas diferentes de la que se considera, también puede ser satisfactorio. Sólo por razones económicas podrá resultar entonces conveniente una restructuración tendiente a disminuir las torsiones. Tal situación se presenta sobre todo en edificios altos que constan de un cuerpo bajo asimétrico y una torre simétrica. En ellos una modificación local en rigideces, tendientes a anular las excentricidades de las primeras plantas, trae consigo una economía en la totalidad de las plantas.

I.5. METODOS DE EVALUACION DEL CENTRO DE TORSION EN EDIFICIOS

I.5.1. METODO "TRADICIONAL" DE RIGIDECES DE ENTREPISO.

En este método se manejan los conceptos de rigideces de entrepiso y centro de torsión de entrepiso. El cálculo del centro de torsión a través de este método es la simple determinación de los centros de gravedad de las rigideces de los elementos estructurales.

El procedimiento para calcular las coordenadas del centro de torsión consiste en lo siguiente:

1) Se calcula la fuerza horizontal P_i aplicada en el centro de gravedad de cada nivel i , de acuerdo a lo establecido en la referencia 6

2) Se obtiene la línea de acción de la cortante sísmica de cada entrepiso para las dos direcciones ortogonales paralelas a los sistemas resistentes.

3) Se calculan las rigideces de entrepiso de los elementos resistentes en ambas direcciones y en todos los entrepisos. La rigidez de entrepiso de cada elemento se designa por: R_{ix} y R_{iy} que son rigidez del elemento resistente i en la dirección "x" y "y" respectivamente. En general, el concepto de rigidez de entrepiso se expresa matemáticamente como :

$$R_{kl} = \frac{V_k}{d_k} \quad (5.1)$$

Es decir, la rigidez del entrepiso k en la dirección l (R_{kl}) es el cociente de la fuerza cortante (V_k) y el desplazamiento relativo (d_k) en el entrepiso. Esta definición implica una distribución de fuerzas resultante de un análisis sísmico estático y la consideración de que el edificio es un sistema de cortante. En general, es posible usar valores aproximados para fines de una distribución preliminar y refinarlos teniendo en cuenta el sistema de fuerzas laterales obtenidas en cada elemento mediante la primera estimación de rigideces.

4) Se determina la posición del centro de torsión en cada entrepiso con las siguientes expresiones:

$$X_{TN} = \frac{(R_{iy} x_i)}{R_{iy}} \quad Y_{TN} = \frac{(R_{ix} y_i)}{R_{ix}} \quad (5.2)$$

donde:

X_{TN}, Y_{TN} : Coordenadas "x" y "y" del centro de torsión del entrepiso N

R_{iy}, R_{ix} : Rigidez del entrepiso del elemento resistente i en la dirección "y" y "x" respectivamente.

X_i, Y_i : Coordenadas del elemento resistente i con dirección "y" y "x" respectivamente, con respecto a un sistema de ejes coordenados.

n : Número de elementos resistentes en el entrepiso N, en dirección "y" ó "x" según el caso.

De acuerdo con la figura 1.4

Este método "tradicional" presenta los siguientes inconvenientes:

a) No considera la interacción de piso a piso de los diversos elementos resistentes a cargas laterales.

b) Este método es adecuado para estructuras proporcionales, es decir, estructuras prismáticas compuestas por marcos ó muros de cortante proporcionales, en las que se tienen rigideces a la flexión o a la deformación lateral que mantienen una relación constante a lo largo de su altura y en las cuales el centro de torsión se localiza en el centro de gravedad de las rigideces y permanece en una posición constante a lo largo de su altura. Sin embargo, las estructuras de este tipo son poco usuales, encontrándose que la mayoría de edificios tienen marcos o muros y otros tipos de elementos resistentes a carga lateral.

c) Se considera ortogonalidad de marcos.

d) La rigidez de entrepiso se aplica a edificios formados por marcos que se puedan desacoplar de la estructura, lo cual no siempre es posible.

Por lo anterior, el método tradicional es inadecuado para cierto tipo de estructuras y su aplicación puede conducir a serios errores en el cálculo de los efectos de torsión.

I.5.2. METODO DE STAFFORD - VEZINA

El método propuesto por Stafford - Vezina (ref.7) surgió de la necesidad de contar con un procedimiento conceptualmente diferente al "tradicional", que permitiera tomar en cuenta la interacción de los diversos elementos estructurales y cuya aplicación no se limitara a determinado tipo de estructuras. Los centros de torsión del edificio se determinan mediante un análisis bidimensional a partir de un modelo plano del edificio.

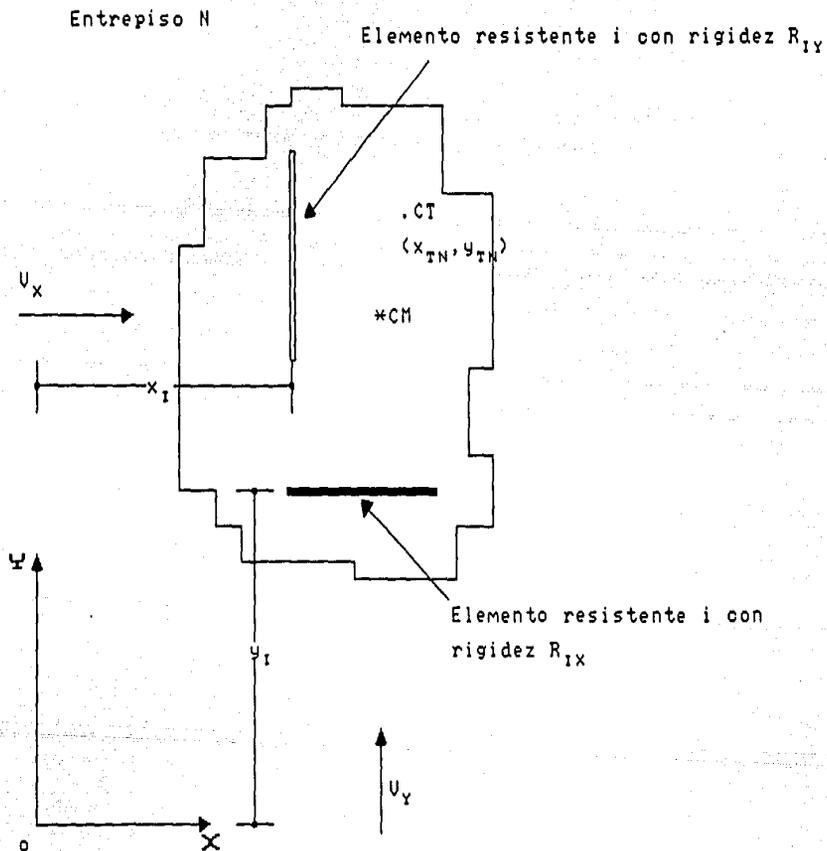


Fig.1.4. Propiedades de piso. Método de las rigideces de entrepiso para calcular el centro de torsión

Como premisas del método, se emplean varias deducciones derivadas de la definición de centro de torsión y se supone, además, que las losas de los edificios trabajan como diafragmas rígidos; ésta última hipótesis es aceptada en todos los programas de computación empleados en este trabajo y se comentaran algunas limitaciones de la misma con posterioridad.

El procedimiento propuesto para calcular las coordenadas del centro de torsión de una estructura es el siguiente:

- 1) Modelar los marcos con los diversos elementos estructurales en la dirección "Y" (ó "X" según la dirección de análisis) conectados en cada nivel de estructuración por medio de una barra con rigidez infinita axialmente, como se muestra en la figura 1.5
- 2) Analizar la estructura resultante para la distribución de carga horizontal especificada, empleando un programa de marcos en dos dimensiones.
- 3) Obtener el cortante de cada entrepiso a partir del análisis del paso anterior.

Los pasos 1) a 3) son una aplicación directa de la definición de centro de torsión y sus implicaciones. El análisis de un modelo con sus elementos estructurales conectados a nivel de losa (infinitamente rígida), por medio de articulaciones axialmente rígidas, implica que los resultados obtenidos sean los correspondientes a la estructura cuando no hay par de torsión.

4) Se encuentra la localización del punto "X_T" (ó "Y_T") de aplicación de la fuerza horizontal externa en la dirección "Y" (ó "X"), de tal forma que la resultante de dicha fuerza y la fuerza horizontal externa en la dirección "Y" (ó "X"), existente en los niveles superiores al piso anterior y aplicadas en sus respectivos centros de torsión, sea colineal con la resultante de los cortantes de entrepiso inferiores al piso en cuestión. Dicho punto es la coordenada "X" (ó "Y") del centro de torsión.

La forma de obtener lo expuesto en el paso 4) se logra mediante las siguientes expresiones:

-Para localizar el centro de torsión en el último piso N:

$$X_{TN} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,N} X_i}{P_N} \quad ; \quad Y_{TN} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,N} Y_i}{P_N} \quad (5.3)$$

donde:

X_{TN}, Y_{TN} : Coordenadas "x" y "y" del centro de torsión del último nivel N.

$V_{i,N}$: Cortante en el elemento resistente i en el entrepiso N .

x_i, y_i : Coordenadas "x" y "y" del elemento resistente i para la dirección "y" y "x" respectivamente.

P_N : Fuerza aplicada en el último nivel N .

n : número de elementos resistentes en el entrepiso N , en la dirección "y" o "x" según el caso.

-Para localizar el centro de torsión en el penúltimo piso se procede así:

Para que la carga P_{N-1} pase por el punto X_{TN-1} (ó Y_{TN-1}), debe ser tal que la resultante de P_{N-1} y de P_N , sea colineal con la resultante de los cortantes de los elementos estructurales abajo del piso $N-1$ (entrepiso $N-1$) es decir:

$$P_{N-1} X_{TN-1} + P_N X_{TN} = \sum_{i=1}^n V_{i,N-1} x_i$$

ó

$$P_{N-1} Y_{TN-1} + P_N Y_{TN} = \sum_{i=1}^n V_{i,N-1} y_i$$

Expresiones de las cuales se deducen las siguientes:

$$X_{TN-1} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,N-1} x_i - P_N X_{TN}}{P_{N-1}}; \quad Y_{TN-1} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,N-1} y_i - P_N Y_{TN}}{P_{N-1}}$$

(5.4)

En las cuales:

X_{TN-1}, Y_{TN-1} : Coordenadas "x" y "y" del centro de torsión del piso $N-1$ (penúltimo).

$V_{i,N-1}$: Cortante en el elemento resistente i en el entrepiso $n-1$ en dirección del marco.

x_i, y_i : Coordenada del elemento resistente i , según la dirección del marco.

P_N, P_{N-1} : Fuerzas aplicadas en los niveles N y $N-1$

Y en general, para el piso r y procediendo de arriba hacia abajo piso por piso:

$$P_r X_{Tr} + P_{r+1} X_{Tr+1} \dots P_N X_{TN} = \sum_{i=1}^n V_{i,r} x_i \quad \text{ó}$$

$$P_r Y_{Tr} + P_{r+1} Y_{Tr+1} \dots P_N Y_{TN} = \sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i$$

de lo cual se deduce:

$$X_{Tr} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,r} X_i - \sum_{j=r+1}^n P_j X_j}{P_r} \dots \dots \dots (5.5)$$

$$Y_{Tr} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i - \sum_{j=r+1}^n P_j Y_j}{P_r} \dots \dots \dots (5.5)$$

ó de forma más concisa (ver referencia 7)

$$X_{Tr} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{i,r} - V_{i,r+1}) X_i}{P_r} \dots \dots \dots (5.6)$$

$$Y_{Tr} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_{i,r} - V_{i,r+1}) Y_i}{P_r} \dots \dots \dots (5.6)$$

Las expresiones anteriores sirven para calcular la coordenada "x" y "y" del centro de torsión. Como se observa, en las ecuaciones (5.5) intervienen todos los pisos, mientras que en las ecuaciones (5.6) solo se incluyen las cortantes de los elementos estructurales que están inmediatamente arriba y abajo del piso y la carga ó fuerza que actúa en ese nivel.

Este método tiene la ventaja de ser aplicable a estructuras con planta asimétrica, consistentes en muros ó marcos no proporcionales ó con diferentes tipos de elementos estructurales.

Es evidente que una vez calculado el centro de torsión, se puede conocer la excentricidad "estática" ó "teórica" y por lo mismo, el momento torsionante que actúa en un nivel determinado y en todos los pisos hacia abajo. El valor de dicho momento torsionante está dado por la expresión:

$$M_{Tr} = \sum_{j=r}^n P_j e_j \dots \dots \dots (5.7)$$

donde, para sismo en dirección Y:

$e_j = X_{CMj} - X_{Tj}$: Excentricidad calculada en el nivel j.

XCM : Punto de aplicación de la fuerza sísmica, coordenada X del centro de masa.

XT : coordenada X del centro de torsión.

MTr : Momento torsionante en el nivel r.

N : Número total de niveles en la estructura.

P_j : Fuerza aplicada en el nivel j.

La ecuación (5.7) indica que el momento torsionante actuante en el nivel r es la suma algebraica de los momentos torsionantes concentrados generados por cada carga externa P_j que actúe con una excentricidad e_j en y arriba del nivel del piso r.

sustituyendo el valor de la excentricidad en la expresión 5.7:

$$M_{Tr} = \sum_{j=r}^n P_j X_{CMj} - \sum_{j=r}^n P_j X_{Tj} \dots\dots\dots(5.8)$$

Se puede demostrar (ref. 7) que el valor de dicho momento también está dado por la expresión :

$$M_{Tr} = X_{CC} \sum_{j=r}^n P_j - X_{CCI} \sum_{j=r}^n P_j \dots\dots\dots(5.9)$$

en donde:

X_{CC} : Línea de acción del cortante externo resultante en el entrepiso r.

X_{CCI} : Línea de acción del cortante interno resultante de cada elemento estructural del entrepiso r.

Es decir, que el momento torsionante del entrepiso r se puede calcular también como el producto del cortante externo resultante multiplicado por su excentricidad respecto al cortante externo resultante en cada entrepiso.

Lógicamente, si se conoce la excentricidad calculada, es decir, la distancia que existe entre el centro de torsión y el punto de aplicación de la fuerza externa, es posible incrementar dicha excentricidad de acuerdo con el RDF-87, permitiendo, así, conocer el momento torsionante conforme a dicho código.

El RDF-87 establece que la excentricidad de diseño ó incrementada está dada por :

$$E_{j1} = 1.5e_j + 0.1b$$

$$E_{j2} = e_j - 0.1b$$

donde "b" es la dimensión máxima del piso en la dirección perpendicular al sismo. Estas expresiones se comentan con detalle en el capítulo II.

De acuerdo con la excentricidad de diseño, los momentos torsionantes se ven modificados de la siguiente forma:

sustituyendo en la ecuación 5.7 el valor de la excentricidad de diseño:

$$M_{Tr1} = \sum_{j=r}^n P_j (1.5e_j + 0.1b) \qquad M_{Tr2} = \sum_{j=r}^n P_j (e_j - 0.1b)$$

a partir de las cuales se deducen las siguientes ecuaciones:

$$M_{Tr1} = \sum_{j=r}^n (1.5P_j e_j + 0.1b P_j)$$

$$M_{Tr1} = \sum_{j=r}^n 1.5P_j e_j + 0.1b \sum_{j=r}^n P_j$$

$$M_{Tr1} = 1.5M_{Tr} + 0.1b V_r$$

y

$$M_{Tr2} = \sum_{j=r}^n (P_j e_j - 0.1b P_j)$$

$$M_{Tr2} = \sum_{j=r}^n P_j e_j - 0.1b \sum_{j=r}^n P_j$$

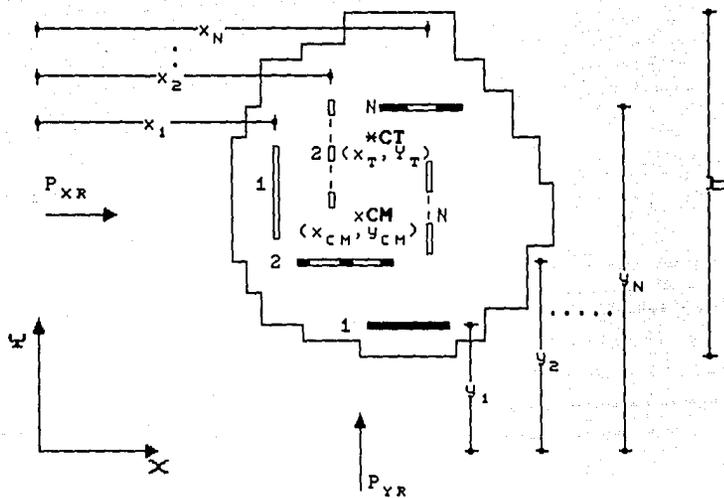
$$M_{Tr2} = M_{Tr} - 0.1b V_r$$

expresiones en las cuales V_r es la fuerza cortante en el entrepiso r.

Las últimas dos ecuaciones representan las combinaciones de momentos torsionantes que se deben hacer de acuerdo con el RDF-87 para cada nivel.

Sin embargo, si se desea seguir el análisis sísmico hasta obtener los elementos mecánicos en los elementos estructurales, se tendrá que recurrir, necesariamente, a otro análisis.

Realmente, como lo mencionan los autores del método, éste tiene por finalidad ser un medio rápido y exacto



Modelado de los marcos en ambas direcciones:

Dirección X

Dirección Y

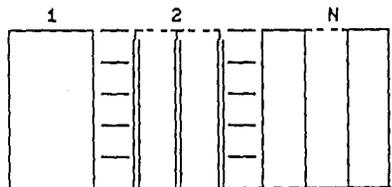
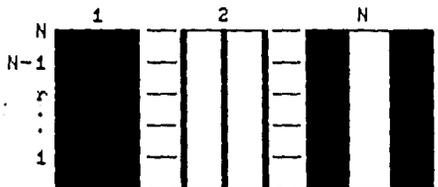


Fig. 1.5. Propiedades de piso. Método de Stafford-Uezina, para calcular las coordenadas del centro de torsión.

conceptualmente, para evaluar los centros de torsión y la distribución del momento torsionante, incluyendo el de diseño, sin llegar a detalles de análisis estructural.

I.5.3. METODO MATRICIAL PARA LA OBTENCION DEL CENTRO DE TORSION.

Este método (ref.8) surgió de la necesidad de contar con un procedimiento aplicable a la obtención de las coordenadas del centro de torsión de entrepiso utilizando el análisis tridimensional. La obtención de la posición de dicho centro se realiza con base en la matriz de rigidez del edificio y la distribución de fuerzas sísmicas. Además, se puede considerar adecuadamente el incremento en la excentricidad que marca el RDF-87.

Las hipótesis de partida son las propias para un análisis tridimensional de edificios: estructura formada por marcos y/o muros ligados por sistemas de piso infinitamente rígidos en planta, se consideran 3 grados de libertad por piso: 2 desplazamientos horizontales (u,v) y un giro alrededor del eje vertical (θ).

El método es una generalización del procedimiento propuesto por Bazán y Meli (ref.6); mediante éste último es posible aplicar el análisis tridimensional tomando en cuenta lo señalado en la norma de torsión del RDF-87, sin llegar a obtener explícitamente la posición del centro en cuestión.

Bazán y Meli proponen lo siguiente para evaluar los efectos de torsión según el RDF-87 con un análisis tridimensional:

1) Calcular la matriz de rigidez lateral del edificio. En general, en el análisis tridimensional, ésta está dada por:

$$[K] = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [K_{xy}] & [K_{xe}] \\ [K_{yx}] & [K_{yy}] & [K_{ye}] \\ [K_{ex}] & [K_{ey}] & [K_{ee}] \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5.9)$$

6

$$[K] = \begin{bmatrix} [K_{LL}] & [K_{L\theta}] \\ [K_{L\theta}]^T & [K_{\theta\theta}] \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5.9')$$

2) Determinar el vector fuerza lateral, aplicada en el centro de masa de cada piso; para el caso de sismo en la dirección de análisis X:

$$F_x = P_x \quad (\text{vector de fuerza lateral en dirección X})$$

3) Se define el vector de desplazamientos directos laterales sin permitir giros, esto es:

$$[\delta_o] = \begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_o \\ v_o \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5.10)$$

Y de acuerdo con el método de las rigideces ($[F]=[K]U$):

$$[F] = [K] \begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \\ \phi \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ M \end{bmatrix} = [K] \begin{bmatrix} u_o \\ v_o \\ 0 \end{bmatrix}$$

Así que, considerando únicamente traslación pura, y sustituyendo F_x por P_x para la dirección de análisis X:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ 0 \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [K_{xy}] & [K_{xe}] \\ [K_{yx}] & [K_{yy}] & [K_{ye}] \\ [K_{ex}] & [K_{ey}] & [K_{ee}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_o \\ v_o \\ 0 \end{bmatrix}$$

de donde:

$$\begin{bmatrix} P_x \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [K_{xx}] & [K_{xy}] \\ [K_{yx}] & [K_{yy}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_o \\ v_o \end{bmatrix}$$

así:

$$P_x = [K_{LL}] \delta_o$$

$$\delta_o = [K_{LL}]^{-1} P_x \dots\dots\dots (5.11)$$

Así también:

$$M = [K_{ex}] [K_{ey}] \begin{bmatrix} u_o \\ v_o \end{bmatrix}$$

$$\underline{M} = [K_{LE}]^T \underline{\delta}_0 \dots\dots\dots (5.12)$$

En esta última ecuación:

$\underline{M} = \underline{M}_T$ = Vector de momentos torsionantes en los niveles debido a excentricidad directa.

Una vez calculados estos momentos, se acumulan para obtener los momentos torsionantes en los entrepisos (M_{TrE}).

4) Se calculan los momentos torsionantes accidentales de entrepiso de acuerdo con:

$$M_{TArE} = 0.1b_r V_r$$

expresión en la cual:

b_r : máxima dimensión de la planta del edificio en dirección perpendicular al sismo.

V_r : Cortante del entrepiso r.

5) Para cada entrepiso r se calculan las combinaciones de momentos torsionantes expresadas con anterioridad en las ecuaciones 5.8:

$$M_{TrE1} = 1.5M_{TrE} + 0.1b_r V_r$$

$$M_{TrE2} = M_{TrE} - 0.1b_r V_r$$

en donde :

M_{TrE} : Momento torsionante de diseño.

b_r y V_r tienen el mismo significado de la ec. anterior.

6) Se calculan los momentos a nivel de piso; en cualquier nivel, el momento aplicado es la diferencia entre el momento torsionante del entrepiso inferior y superior.

7) Se calculan los giros y desplazamientos que produzcan los momentos.

8) Las combinaciones de excentricidades exigidas por el reglamento se pueden tomar en cuenta mediante las siguientes combinaciones de giros y desplazamientos:

- 1) $\underline{\delta}_0 + \underline{\delta}_1$ θ_1
- 2) $\underline{\delta}_0 + \underline{\delta}_2$ θ_2

Se calculan los desplazamientos de entrepiso producidos por las combinaciones anteriores y posteriormente se obtienen los desplazamientos de los niveles en cada sistema plano.

El método matricial propuesto por J. Damy para encontrar la posición del centro de torsión, parte de la ecuación 5.12:

$$M_T = [K_{ex}] [K_{ey}] [\underline{O}]$$

Se concluye que con la solución del sistema de ecuaciones anterior se obtiene el valor de los momentos que junto con el sismo en X impiden la torsión, es decir, que la fuerza sísmica aplicada en un punto, precisamente el centro de torsión, impide el momento torsionante en el nivel, lo cual es consistente con la definición de "centro de torsión".

Con base en lo anterior, la ordenada del centro de torsión está dada por las siguientes ecuaciones:

$$Y_{Ti} = \frac{M_{Ti}}{P_{Xi}} \dots\dots\dots (5.13)$$

y la abscisa:

$$X_{Ti} = \frac{M_{Ti}}{P_{Yi}} \dots\dots\dots (5.13')$$

Una vez conocido dicho punto, se puede tomar en cuenta lo establecido en la norma de torsión del RDF-87 como se ilustra enseguida:

La excentricidad teórica está dada por :

$$e_{xi} = X_{Cmi} - X_{Ti} \dots\dots\dots(5.14)$$

$$e_{yi} = Y_{Cmi} - Y_{Ti}$$

Y modificando dichas excentricidades de acuerdo con el RDF-87 (véase II.4) obtenemos:

$$E_{xi1} = 1.5(e_{xi}) + 0.1(b_{yi})(\text{sgn } e_{xi}) \quad \text{) sismo en dirección Y}$$

$$E_{xi2} = e_{xi} - 0.1(b_{yi})(\text{sgn } e_{xi})$$

$$E_{yi1} = 1.5(e_{yi}) + 0.1(b_{xi})(\text{sgn } e_{yi}) \quad \text{) sismo en dirección X}$$

$$E_{yi2} = e_{yi} - 0.1(b_{xi})(\text{sgn } e_{yi})$$

Para el sismo actuando en dirección X:

de la expresión 5.14:

$$Y_{CMi} = Y_{Ti} + e_{yi}$$

y sustituyendo la excentricidad teórica por la de diseño :

$$Y_{CM1} = Y_{Ti} + e_{yiD1}$$

$$Y_{CM2} = Y_{Ti} + e_{yiD2}$$

En las expresiones inmediatas anteriores, los valores $Y_{CM1,2}$ representa la posición del centro de masa modificado de tal forma que la excentricidad incrementada se tome en cuenta.

La magnitud del momento torsionante también se ve modificada de acuerdo con las posiciones modificadas del centro de masa:

$$M_{Ti1} = P_{Xi} (Y_{CM1})$$

$$M_{Ti2} = P_{Xi} (\bar{Y}_{CM2})$$

Finalmente, mediante un análisis tridimensional se resuelve el sistema $(F) = [K](D)$:

$$(F_I) = \begin{bmatrix} P_X \\ 0 \\ M_{T1} \end{bmatrix}$$

$$(F_{II}) = \begin{bmatrix} P_X \\ 0 \\ M_{T2} \end{bmatrix}$$

Procediendo de manera análoga pero con sismo en dirección Y, se llega a resolver otros dos sistemas como los anteriores. El diseño para cada marco se realiza con la condición más desfavorable de los 4 casos de análisis.

I.6. OBJETIVOS DE LA TESIS

Como se puede apreciar en los puntos anteriores, la evaluación de la torsión en estructuras es ciertamente complicada debido a toda la gama de variables aleatorias difícilmente cuantificables que intervienen.

El objetivo de éste trabajo es proponer una forma confiable de evaluar la torsión en edificios a través de programas de computación usuales (como lo son el TABS-77 y SUPER-ETABS) que originalmente no poseen la característica de tomarla en cuenta según el reglamento de construcción vigente; asimismo, tomar en cuenta el comportamiento dinámico de la estructura para programas que sólo "soportan" un análisis estático (tal es el caso del programa TORSION).

Sabemos pues, que al utilizar los programas de computación antes mencionados, estamos aceptando algunas hipótesis que no siempre son válidas para todas las estructuras, lo cual se comenta en el capítulo III.

Para alcanzar nuestro objetivo, se procedió de la siguiente manera:

a) A la estructura en turno, se le sometió a una excitación dinámica unidireccional a través del programa TABS-77 y SUPER-ETABS, para obtener una distribución de fuerzas laterales. Esto es un artificio con el cual se trata de considerar el comportamiento dinámico que la estructura tiene realmente al hacer un análisis estático.

b) Dada la distribución de fuerzas laterales obtenidas previamente, se analiza la estructura con el método estático por medio de los programas TORSION, TABS77 y SUPER-ETABS. Este análisis se lleva a cabo sin considerar la excentricidad de diseño, como primera etapa.

c) Posteriormente se lleva a cabo un tercer análisis de la estructura en la que se toma en cuenta la excentricidad de diseño de acuerdo con la siguiente metodología:

c.1) Se calcula el centro de torsión basado en el método de Stafford-Vezina.

c.2) Se obtiene la excentricidad estática.

c.3) Se obtiene la excentricidad de diseño.

c.4) Con base en la excentricidad de diseño se modifica la posición del centro de masa. Este es el artificio que permite considerar el par de torsión de diseño en programas como el TABS y SUPERETABS, y es el mismo que está implementado en el programa TORSION.

II.- CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO SISMORRESISTENTE SEGUN EL REGLAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL, VERSION 1987.

II.1. DISEÑO SISMORRESISTENTE.

El diseño sismorresistente difiere del que se realiza para otras acciones. Las solicitaciones que un sismo severo impone a las estructuras tienen la particularidad de ser elevadas y aleatorias, por lo que no es económicamente factible diseñar para que las construcciones resistan sin daño alguno un sismo con un periodo de recurrencia muy grande.

El nivel de seguridad que se debe adoptar depende del costo de los daños esperados relativo al que implica incrementar la seguridad de la estructura. En el diseño sismorresistente se acepta una probabilidad mayor de que ocurran daños que ante las acciones convencionales para evitar una inversión económica excesiva en la estructura.

Los criterios de diseño sismorresistente especificados por los reglamentos modernos reconocen implícita o explícitamente, que el objetivo de sus procedimientos es limitar la probabilidad de un colapso ante sismos intensos, aún a costa de daños severos. Se puede afirmar que el reglamento más conservador no suministra una protección absoluta contra el sismo más intenso que pueda ocurrir, ni parece haber tal límite superior a la intensidad sísmica posible. Independientemente de cuán conservador sea un diseño, existe una probabilidad finita de falla estructural en todo intervalo finito de tiempo, y es seguro que algún día se presentará la falla a menos que la estructura se demuela a propósito. Por consiguiente, el problema de diseño sismorresistente debe partir de la admisión de la posibilidad de colapso de toda estructura por remoto que se considere el fenómeno. Lógicamente unas estructuras se deben proteger contra el colapso en mayor grado que otras. Sólo para sismos moderados se pretende que la estructura permanezca intacta.

Los principales objetivos del diseño sismorresistente son:

- 1) Proporcionar a la estructura la capacidad para disipar la energía que se induce en ella durante un sismo severo sin que se presente colapso o daños irreparables. Este objetivo se logra proporcionando a la estructura una resistencia alta tal que pueda resistir el sismo en el rango elástico o bien, diseñándola para una resistencia menor pero con propiedades de ductilidad que le permitan disipar la energía introducida por el sismo mediante ciclos de histéresis en el rango inelástico.

2) Evitar daños y pánico a los ocupantes de un edificio ante sismos de intensidad moderada que pueden ocurrir varias veces durante la vida de la construcción. Esto se logra dotando a la estructura de una adecuada rigidez ante cargas laterales. En suma, para lograr los objetivos del diseño sismorresistente y que una estructura tenga un buen comportamiento durante un sismo, ésta debe tener tres propiedades esenciales: resistencia, rigidez y ductilidad.

Se ilustran y comentan, en lo que sigue, las especificaciones y recomendaciones que el RDF87 establece para lograr que una estructura tenga las propiedades mínimas indispensables para un buen comportamiento sísmico y lograr así, los objetivos del diseño sísmico. Es importante decir que el logro de los objetivos del diseño sismorresistente implica mucho más que la ciega y simple aplicación de requisitos reglamentarios; requiere, además, comprensión de factores básicos que determinan la respuesta sísmica y de ingenio para producir estructuras con características adecuadas.

II.2. EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL.

Hasta antes de 1942 no existían especificaciones para diseñar edificios contra sismos. El RDF de esa época (y que databa de 1920) no contenía más que recomendaciones generales acerca de los materiales para construir edificios.

El macrosismo de 1941 provocó que en el reglamento publicado en 1942 se consideraran requisitos para el diseño sismorresistente de edificios. En dicho reglamento se requería un coeficiente sísmico que oscilaba entre 0.0 y 0.10, dependiendo de la importancia de la construcción. Los edificios se clasificaban en 8 tipos diferentes; los tipo III (oficinas y departamentos) se debían de diseñar para 0.025g. La aceleración horizontal se suponía uniforme en la totalidad de un edificio. En su artículo 18 especificaba que no era necesario revisar por sismo los edificios cuya altura no excediera de 16m. El reglamento no contenía disposiciones referentes a torsión ni a la manera de considerar los muros de mampostería, tampoco dejaba oportunidad de analizar dinámicamente. No obstante las normas anteriores, los ingenieros mexicanos sabían que el reglamento era ya obsoleto y con frecuencia se dejaba de cumplir.

Después del sismo del 28 de julio de 1957, se redactó un nuevo reglamento; entre otras cosas requería que todas las estructuras, con excepción de las carentes de "importancia", se diseñaran contra sismo. Hubo aumento en los coeficientes de cortante basal hasta 0.05-0.10g para edificios ordinarios,

dependiendo del tipo de estructura y su ubicación en el valle de Mexico (zona de lago, de transición o zona dura), duplicándose los coeficientes para edificios de importancia excepcional. Se adoptó una variación lineal de las aceleraciones horizontales de cero en la base hasta un máximo en el último piso. Es en este reglamento donde se toma en cuenta, por primera vez, el efecto de torsión. Se especificó que la excentricidad torsional calculada se incrementara en un valor accidental igual a ± 0.05 de la dimensión del piso medida perpendicularmente a la aceleración del sismo. Este valor era aplicable a todos los edificios excepto a bodegas, para las cuales se incrementó el coeficiente de 0.05 a 0.07 para cubrir distribuciones desfavorables de carga. También se requería que la excentricidad de diseño no fuera menor que la mitad de la máxima calculada en los pisos inferiores al que se considera; ni el momento torsionante menor que la mitad del máximo calculado en los pisos superiores.

Los sismos ocurridos el 19 y 20 de septiembre de 1985, de inusitada intensidad y efectos desastrosos en las estructuras del D.F., determinaron la revisión del reglamento de construcción vigente.

Hasta esa fecha se consideraba que las normas de emergencia elaboradas a raíz del evento que tuvo lugar en 1957 y la incorporación de normas constructivas resultantes de investigaciones nacionales y extranjeras a consecuencia de los temblores de 1962 y 1964, cubrían las más severas contingencias de los movimientos telúricos. Así, el RDF76, se consideraba tan avanzado que influyó en los de Nueva Zelanda, Canada, Estados Unidos, El Salvador, Nicaragua y Venezuela. Sin embargo, el macrosismo de 1985 superó en intensidad, regularidad y duración a todos los habidos en la Cd. de Mexico.

De estudios realizados se obtuvieron los conocimientos necesarios para redactar la versión final del nuevo reglamento, publicado en julio de 1987. El nuevo reglamento incluye las normas técnicas complementarias para el diseño por viento y sismo, de cimentaciones, de estructuras de concreto, acero, madera y mampostería; dando pormenores de las nuevas disposiciones en materia de diseño de estructuras resistentes a sismos en el D.F.

II.3. DISEÑO POR SISMO.

En el capítulo VI, "Diseño por Sismo" del título sexto, "Seguridad Estructural de las Construcciones" se establecen las bases y requisitos generales mínimos de diseño para que

las estructuras tengan seguridad adecuada ante los efectos sísmicos. Los métodos de análisis y los requisitos para estructuras específicas se detallan en las normas técnicas complementarias.

En seguida se ilustrará la forma en que los conceptos básicos del diseño sísmorresistente están tomados en cuenta en las especificaciones de diseño sísmico del RDF87. El mismo, clasifica a las estructuras en los siguientes grupos:

Grupo A. Construcciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas humanas ó pérdidas económicas ó culturales excepcionalmente altas, ó que constituyan un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como construcciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana.

Grupo B. Construcciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el grupo A, se subdividen en:

a) Subgrupo B1. Construcciones de más de 30m de altura o con más de 6000 m² de área construida ubicados en las zonas I y II y construcciones de más de 15 m de altura o 3000 m² de área construida en la zona III, y

b) Subgrupo B2. Las demás de este grupo.

El D.F. se considera dividido en las zonas I a III, dependiendo del tipo de suelo:

Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente ó intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles para explotar minas de arena.

Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad o menos y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme o muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos

lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales. Como índice de la acción de diseño se emplea el coeficiente sísmico c que sirve de base para la construcción del espectro de diseño ó puede usarse directamente como la fracción del peso total de la construcción (W) que constituye la fuerza cortante horizontal (V), que actúa en la base de la construcción. Los valores del coeficiente sísmico para construcciones del grupo B son:

Zona	c
I	0.16
II	0.32
III	0.40

Para estructuras del grupo A se incrementara el coeficiente en un 50%.

Para aplicar el método simplificado las normas técnicas complementarias señalan otros valores; advierten una subzonificación de la zona de lago y para cada una de ellas se especifican valores de c igual a 0.40 para estructuras del grupo B y c igual a 0.60 para las del grupo A (ver figura de subzonificación).

Los coeficientes sísmicos sirven para construir los espectros de diseño cuando se aplica el análisis dinámico modal. Dichos coeficientes representan una cota superior a las aceleraciones de dicho espectro, que corresponde a su parte plana. Las normas técnicas complementarias especifican que la ordenada del espectro de aceleraciones para el diseño a , expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, está dada por las siguientes expresiones:

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

donde :

T .-periodo natural de interés.

T_a, T_b y r adquieren los siguientes valores:

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

* parte no sombreada en la figura de subzonificación (fig.2.1.)

+ parte sombreada en la zona II en la figura de subzonificación.

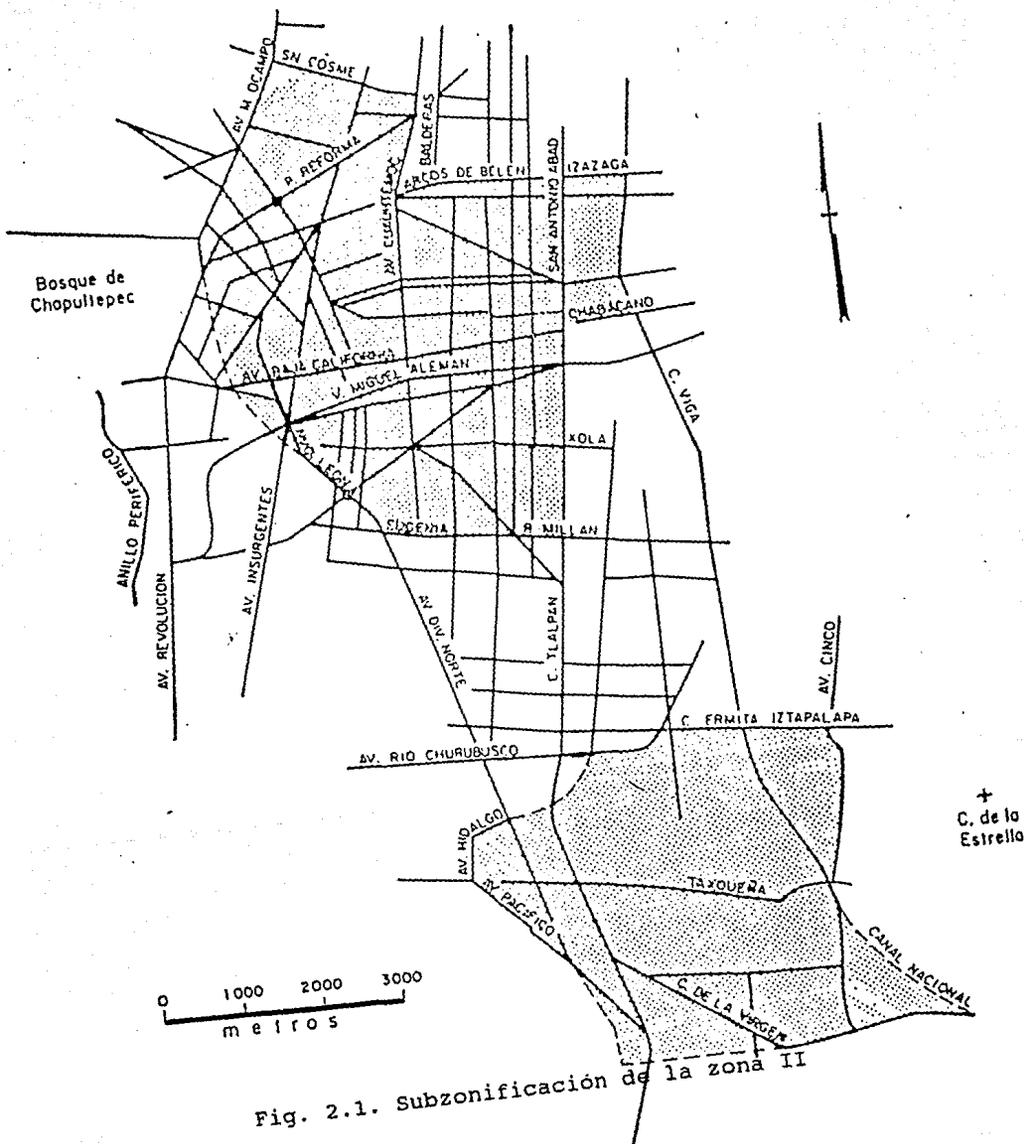


Fig. 2.1. Subzonificación de la zona II

Con fines de diseño, las fuerzas sísmicas para análisis estático y las obtenidas del análisis dinámico modal se pueden reducir dividiéndolas entre el factor reductor Q' . En el diseño sísmico de estructuras que satisfagan las condiciones de regularidad siguientes:

1. Planta sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales en cuanto a masas, muros y otros elementos resistentes.

2. Relación de su altura a la dimensión menor de su base < 2.5

3. Relación de largo-ancho de la base < 2.5 4. No existen entrantes ni salientes con dimensiones mayores de 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dimensión que se considere de la entrante o saliente.

5. En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.

6. No existen aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20% de la dimensión en planta medida paralelamente a la dimensión que se considere la abertura.

7. El peso de cada nivel no es mayor que el del piso inmediatamente inferior ni, con excepción del último nivel de la construcción, es menor que 70% de dicho peso.

8. Ningún peso tiene una área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que la del piso inmediato inferior ni menor que 70% de ésta; con excepción del último piso de la construcción.

9. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.

10. La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 100% a la del entrepiso inmediatamente inferior.

11. En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, excede del 10% de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

Q' se calculará como sigue:

$Q' = Q$ Si se desconoce T ó si este es mayor o igual a T_a

$Q' = 1 + (T/T_a) (Q-1)$ si $T < T_a$

T se toma igual al período fundamental de vibración cuando se emplea el método estático e igual al período natural de vibración del modo que se considere cuando se emplea el

método de análisis modal; T_a es un período característico del espectro de diseño.

Si las estructuras no satisfacen las condiciones de regularidad el valor de Q' se multiplica por 0.80.

El valor de Q , factor de ductilidad, adopta valores según el tipo de estructuración y los detalles de dimensionamiento que se hayan adoptado en la estructura. Las deformaciones se calcularán multiplicando por Q las causadas por las fuerzas sísmicas reducidas.

Respecto al tipo de análisis, el RDF87 admite los siguientes:

- 1) Análisis estático.
- 2) Análisis dinámico modal
- 3) Análisis dinámico paso a paso.
- 3) Método simplificado de análisis.

Cualquier estructura se puede analizar mediante un método dinámico. Si la estructura no excede de 60m de alto puede analizarse mediante el análisis estático.

El método simplificado de análisis será aplicable a edificios que cumplan los siguientes requisitos:

a) Al menos el 75% de las cargas verticales están soportadas por muros ligados entre sí por losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte.

b) La relación entre longitud y anchura de la planta del edificio no excederá de 0.20.

c) La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio o excederá de 1.5 y la altura del edificio o es mayor de 13m.

II.3.1. METODO DE ANALISIS ESTATICO.

El método de análisis estático se basa en la determinación de la fuerza lateral total (cortante en la base) a partir de la fuerza de inercia que se induce en un sistema equivalente de un grado de libertad, para después distribuir en función de fuerzas actuantes en diferentes alturas de la estructura, obtenidas suponiendo que ésta va a vibrar esencialmente en su primer modo natural. El RDF87 establece lo siguiente respecto a este método:

Para el cálculo de las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura, se supone un conjunto de fuerzas horizontales actuado sobre cada uno de los puntos donde se suponen concentradas las masas. Cada una de estas fuerzas se toma 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.

La fuerza cortante basal se determina como:

$$V_0 = C_S W_0$$

$$C_S = c/Q$$

$$(V_0/W_0 = c/Q)$$

donde: W_0 - Peso de la estructura.
 C_S - Coeficiente de cortante basal.

Si no se calcula el periodo natural de la estructura, el coeficiente C_S debe tomarse igual a la ordenada máxima del espectro reducido por ductilidad:

$$C_S = c/Q$$

Esta es una forma muy conservadora de proceder ya que cuando el período de la estructura se encuentra fuera de la zona de ordenadas máximas pueden hacerse reducciones importantes en C_S .

Se pueden adoptar fuerzas cortantes menores que las calculadas siempre que se tome en cuenta el valor aproximado del período fundamental de vibración de la estructura.

Una manera de tomar dicho periodo es mediante la siguiente fórmula:

$$T = 6.3 \left(\sum W_i X_i^2 / g \sum P_i X_i \right)^{1/2}$$

donde: W_i .-Peso de la masa i

i P_i .-Fuerza horizontal que actua sobre la masa

fuerza X_i .-Desplazamiento en la direccion e la

g .-Aceleracion de la gravedad

Si $T \leq T_b$ entonces $V_0/W_0 = a/Q'$

(Siendo a y Q' como se especificaron anteriormente)

Si $T > T_b$ Se procede a calcular las fuerzas en cada piso con la expresi3n:

$$F_i = (K_1 h_i + K_2 h_i^2) C_S W$$

en que:

$$K_1 = q[(1 - r(1 - q)] \sum W_i / (\sum W_i h_i)$$

$$K_2 = 1.5 r q(1 - q) \sum W_i / (\sum W_i h_i^2)$$

$$q = (T_b/T)^r$$

W_i y h_i son el peso y la altura de la i ésima masa sobre el desplante.

II.3.1.1. EFECTOS DE LA TORSION SEGUN EL RDF87.

En las estadísticas de daños ocasionados en edificios por los sismos del 19 y 20 de 1985 se observó que en muchos casos estos (40% aproximadamente) corresponden a estructuras con distribución asimétrica (en planta) de rigideces, es decir, estructuras en las cuales el efecto de torsión fue importante; debido a ello, la norma de diseño sísmico por torsión del RDF ha sido motivo de estudios encaminados a hacer "más confiables" las especificaciones ahí señaladas.

En los estudios realizados que sirvieron de base para formular la nueva norma de diseño sísmico por torsión, en una etapa preliminar, se empleó un modelo en el que se hizo énfasis en los centros notables del mismo: centro de masa, centro de rigidez y centro de resistencia. Se presta especial atención a los efectos de la excentricidad en resistencias, parámetro del análisis que por primera vez se considera en estudios de este tipo (ref. 9)

El RDF-87 establece, en su norma para torsión en un análisis estático, lo siguiente.

En la propuesta del RDF-87, los conceptos de excentricidad torsional y de resistencias se especifica de siguiente forma:

La excentricidad torsional de rigideces calculada en cada entrepiso, e_s , se tomará como la distancia entre el centro de torsión del nivel correspondiente y la línea de acción de la fuerza cortante en dicho nivel.

La excentricidad de resistencias al corte, e_r , se tomará como la distancia entre el centroide de las resistencias de todos los elementos resistentes ante la fuerza cortante en el entrepiso que se considera y la línea de acción de la fuerza cortante en ese nivel.

En estructuras con $Q=3$ se suministrarán resistencias tales que el centroide de resistencias se halle del mismo lado de la fuerza cortante que el centro de torsión y e_r no sea menor que $e_s - 0.2b$; si $Q>3$, las resistencias tales que el centroide de la resistencia se halle del mismo lado de la fuerza cortante que el centroide de torsión y e_r no sea menor que $e_s - 0.1b$, donde b es la dimensión de la planta que se considera, medida en la dirección de e_r y e_s .

Este tipo de especificaciones se plantean en el RDF-87 de forma preliminar, a reserva de estudiar con más detalle el problema inelástico en que se encuentra la estructura durante un sismo severo; esto es, se deja como requisito opcional.

Para fines de diseño el momento torsionante se tomará por lo menos igual a la fuerza cortante de entrepiso multiplicada por la excentricidad que para cada marco o muro resulte más desfavorable de las siguientes:

$$1.5e_s + 0.1b$$

$$e_s - 0.1b$$

En la primera de las expresiones anteriores, el factor "1.5", cubre la amplificación dinámica de la torsión, y a la excentricidad calculada e_s amplificada se le suma en el mismo sentido la excentricidad accidental; este último sumando tiene su fundamento teórico en el estudio de Newmark, ya comentado en el capítulo I. En la segunda ecuación, a la excentricidad calculada se le resta, en sentido contrario, la excentricidad accidental; puede ocurrir que en este caso la excentricidad resultante sea de signo opuesto al de la calculada.

Además, la excentricidad de diseño en cada sentido no se tomará menor que la mitad del máximo valor es calculado para los entrepisos que se hallen abajo del que se considera, ni se tomará el momento torsionante de ese entrepiso menor que la mitad del máximo calculado para los entrepisos que están arriba del considerado.

A reserva de los resultados de los estudios actuales de la torsión en que se considere el concepto de e_r , en ésta tesis sólo se analiza la influencia de los efectos de la torsión desde el punto de vista elástico; ésto es, sólo en base a las rigideces, sin considerar la participación de posibles excentricidades debido a la asimetría de las resistencias. Las hipótesis para tomar en cuenta el problema de torsión coincide con la práctica común actual; es decir, se consideran los problemas de torsión utilizando las dos expresiones anteriores.

II.3.2. METODO DE ANALISIS DINAMICO.

En los métodos dinámicos se realiza una idealización de la estructura a base de masas y resortes . El método dinámico más empleado en la práctica es el análisis modal con técnicas de espectro de respuesta.

El RDF-87 acepta como métodos dinámicos al análisis modal espectral y el cálculo paso a paso de respuestas a temblores específicos. Se emplean estos métodos cuando no se satisfacen las limitaciones que existen para aplicar el método estático.

II.3.2.1. ANALISIS DINAMICO MODAL ESPECTRAL.

Al emplearse el análisis modal espectral, deberá incluirse el efecto de todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a 0.4seg, pero no podrán considerarse menos que los tres primeros modos de traslación en cada dirección de análisis. El RDF-87 acepta que se desprece el efecto dinámico torsional de excentricidades estáticas. En tal caso, el efecto de dichas excentricidades y de la excentricidad accidental debe determinarse independientemente con el procedimiento indicado para el método estático.

En el cálculo de la participación de cada modo natural en las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura, se deben suponer las aceleraciones espectrales de diseño especificadas en el párrafo II.3., reducidas como ahí mismo se establece.

Las respuestas modales S_i (donde S_i puede ser fuerza cortante, desplazamiento lateral, momento de volteo etc.) se deben combinar para calcular las respuestas totales S de acuerdo con la expresión siguiente:

$$S = (\sum S_i^2)^{1/2}$$

siempre que los periodos de los modos naturales en cuestión difieran al menos 10% entre si. Para las respuestas en modos naturales que no cumplen esta condición se debe tener en cuenta el acoplamiento entre ellos.

II.3.2.2. ANALISIS DINAMICO PASO A PASO.

El RDF-87 acepta como procedimiento de análisis dinámico el cálculo paso a paso de las respuestas a temblores específicos, estipulándose que podrán emplearse para este fin acelerogramas de sismos reales o simulados, o combinaciones de éstos, siempre que se usen no menos de cuatro movimientos representativos, independientes entre si, cuyas intensidades sean compatibles con los demás criterios que consigna el Reglamento, y que se tengan en cuenta el comportamiento no

lineal de la estructura y las incertidumbres que haya en cuanto a sus parámetros.

El análisis sísmico paso a paso no lineal de edificios es impráctico para fines de diseño, aún cuando ha sido aplicado a sistemas planos en trabajos de investigación.

III. PROGRAMAS DE COMPUTACION.

III.1 ANTECEDENTES.

Actualmente cualquier estructura puede analizarse mediante métodos más o menos complicados de acuerdo al grado de aproximación que se requiera obtener. Existe el denominado método del elemento finito con el cual se pueden representar cualquier elemento estructural (losa, trabe, muro, columna, etc.) con suficiente aproximación para valuar correctamente su comportamiento considerando desde 3 a 6 grados de libertad. El método es, sin duda, una poderosa herramienta que sin embargo, presenta serias dificultades a pesar de su versatilidad:

- a) Se requieren de exagerados tiempos de procesamiento.
- b) La probabilidad de cometer errores en el manejo de datos es muy alta debido al gran número de los mismos.
- c) La interpretación de resultados es bastante difícil por el elevado número de los mismos y la probabilidad de error es nuevamente alta.

Debido a lo anterior, el uso del método antes mencionado sólo está reservado a estructuras muy importantes o a partes determinadas de una estructura.

Considerando el rápido desarrollo de las computadoras fue posible, además del empleo de métodos como el anteriormente mencionado, el uso de los llamados sistemas de análisis tridimensional de edificios.

En la actualidad se cuenta con un gran número de programas para computadora que permiten analizar estructuras sujetas a distintas sollicitaciones. En ellos, por lo general se trabaja con la matriz de rigidez lateral del edificio, idealizando la construcción como un conjunto de subestructuras (marcos y muros) ligados por los sistemas de piso.

Entre los programas de más amplio uso en dependencias oficiales, despachos privados y escuelas de Ingeniería, y de los que inicialmente aparecieron, se puede mencionar el STRESS; posteriormente, los programas tipo SAP y la serie de programas desarrollados en la Universidad de Berkeley: TABS-77, ETABS y SUPER-ETABS. Precisamente en este trabajo, se hace uso de dos de los tres últimos programas mencionados (TABS-77 y SUPER-ETABS), así como de un programa desarrollado en la referencia 8, conocido posteriormente por TORSION.

En éste capítulo se describen las hipótesis de trabajo, alcances y limitaciones de los tres programas mencionados:

- 1.- TABS-77
- 2.- SUPER-ETABS
- 3.- TORSION

III.2. PROGRAMA TABS-77

El programa TABS-77 (Three dimensionnal Analysis of Buildings Systems) (ref.10) es, posiblemente hasta antes de la aparición de las microcomputadoras, el paquete de computadora más usado para aplicar el método de análisis tridimensional. Para analizar una estructura con este programa, es necesario hacer algunas suposiciones generales que a continuación se describen.

III.2.1. HIPOTESIS DE TRABAJO.

a) La estructura está formada por componentes estructurales que pueden ser separados en una serie de marcos planos rectangulares (marcos y/o muros) ligados entre sí por sistemas de piso.

b) Los sistemas de piso se consideran indeformables en su plano; funcionan como diafragmas infinitamente rígidos en planta. La masa se considera concentrada en los niveles.

c) Cada marco es tratado como una subestructura independiente (marcos planos).

d) A cada marco se le permiten 2 grados de libertad por nudo (desplazamiento vertical y rotación en el plano) y desplazamiento lateral por piso. Los dos grados de libertad por nudo se eliminan por condensación estática antes de que se ensamble la matriz de rigidez total.

e) Se consideran tres grados de libertad por piso: dos traslaciones y una rotación que se miden con respecto a unos ejes globales.

f) En el programa se admiten los siguientes tipos de elementos:

1. Columnas, en las que se toman en cuenta las deformaciones por fuerza normal, flexión y cortante.

2. Vigas, cuya formulación es similar a la de las columnas, sólo que se desprecia la flexión alrededor del eje vertical y las deformaciones axiales.

3. Muros y diagonales, en estas últimas se considera sólo la deformación axial.

e) La rigidez torsional se desprecia en todos los elementos estructurales.

Respecto a las hipótesis anteriores se pueden hacer algunos comentarios importantes:

1. Cuando se supone que un edificio está formado por sistemas planos, se desprecian las rigideces a la torsión de vigas, columnas y muros; esto es inaceptable en ciertas estructuras, por ejemplo aquellas que tienen muros en forma tubular. También debe mencionarse que existen casos en que algunos marcos no sean planos, como en edificios de planta circular o edificios con marcos no ortogonales.

2. Otro problema que se presenta al hacer la consideración c) es que se pierde la compatibilidad de desplazamientos verticales en columnas que en cierta dirección pertenecen a un marco y en otra dirección a otro marco; esto es improcedente en el caso de estructuras de tipo tubular, con marcos sólo en el perímetro del edificio. Cuando hay marcos que no forman entre sí ángulos rectos se pierde la compatibilidad entre los giros de las vigas que llegan a la intersección de los marcos, la cual es importante si el ángulo entre los marcos es muy agudo en planta.

Cabe mencionar que para propósitos de diseño, se puede subsanar la deficiencia de falta de compatibilidad en columnas comunes, sumando directamente las fuerzas axiales. Se obtienen así, resultados razonables.

3. Para estructuras en que los marcos no están arreglados en forma razonablemente rectangular, no se recomienda el uso de este programa.

4. La consideración b) es inadmisibles en algunos edificios; por ejemplo, en aquellas cuya longitud en planta es varias veces su ancho, y cuya rigidez ante cargas laterales no está distribuida de una manera sensiblemente uniforme en todo su largo. También es el caso de edificios de losas precoladas y de los que poseen elementos verticales resistentes a cargas laterales cuya rigidez sea comparable con las de las losas; o sea, en aquellos edificios en que la flexibilidad del sistema de piso puede ser importante.

III.2.2. METODO DE ANALISIS

Con base en las hipótesis anteriores y tomando en cuenta que el hecho de considerar a los pisos como diafragmas infinitamente rígidos implica que los desplazamientos laterales de cualquier punto en los pisos de edificio se pueden expresar en términos de dos desplazamientos

horizontales y un giro alrededor de un eje vertical de un punto cualquiera de cada piso, de modo que, cuando las cargas laterales están aplicadas en los pisos, el problema se puede reducir a uno de sólo tres grados de libertad por cada nivel, y el análisis tridimensional del edificio se puede hacer como sigue:

1) Cálculo de la matriz de rigideces lateral de cada sistema plano j. Para esto se emplea la hipótesis d) como se muestra en la figura 3.1.

Si hay N nudos y L niveles la matriz de rigideces correspondiente a éstos grados de libertad es de orden $2N+L$. Empleando el procedimiento de la condensación estática se puede expresar esta matriz en términos de solamente dos grados de libertad lateral, y se obtiene la matriz de rigideces lateral del sistema, de orden kj.

2) Se expresan las matrices kj en términos de los grados de libertad del edificio completo que se mencionan en la hipótesis e), considerando la fig 3.2, entonces:

$$d_{ji} = u_i \cos \phi_j + v_i \sin \phi_j + r_{ji} \theta_i \dots\dots(3.1a)$$

$$d_{ji} = (\cos \phi_j \quad \sin \phi_j \quad r_{ji}) \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.1b)$$

o bien:

$$d_{ji} = b_{ji}^T u_i \dots\dots\dots(3.1c)$$

Este desplazamiento lateral se expresa con referencia al centro de masa del piso i (CM).

En la ecuación 3.1c :

$$b_{ji} = \begin{bmatrix} \cos \phi_j \\ \sin \phi_j \\ r_{ji} \end{bmatrix} \quad u_i = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \theta_i \end{bmatrix}$$

Si se consideran los L niveles:

$$D_j = B_j u \dots\dots\dots(3.1d)$$

donde:

$$D_j = \begin{bmatrix} d_{j1} \\ d_{j2} \\ \vdots \\ d_{jL} \end{bmatrix}; \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_L \end{bmatrix}; \quad B_j = \begin{bmatrix} b_{j1}^T & b_{j2}^T & \dots & \dots & \dots \\ & & & & b_{jL}^T \end{bmatrix}$$

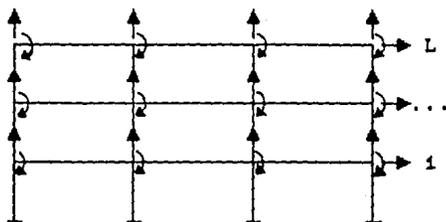


Fig. 3.1. Sistema plano.

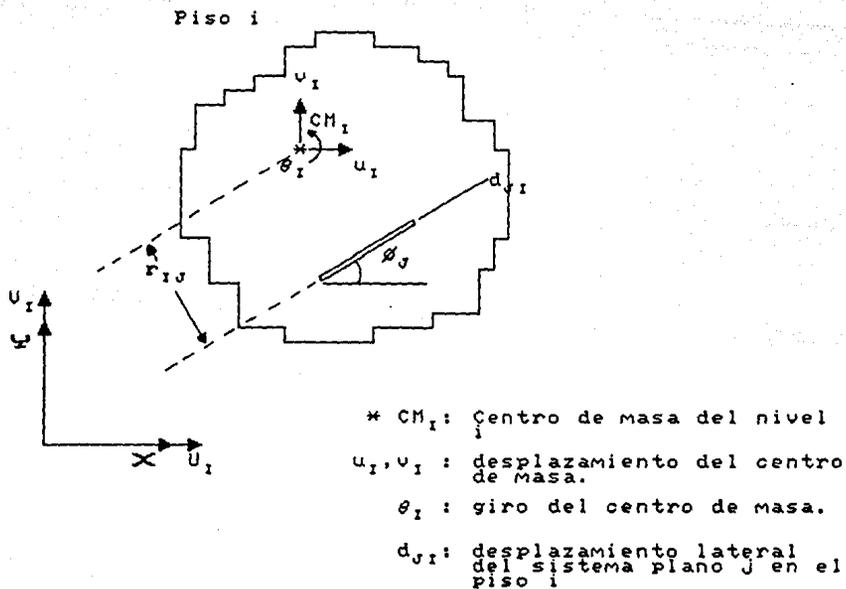


Fig. 3.2. Propiedades de piso.

La matriz k_j expresada en términos de los desplazamientos de los pisos es:

$$k_j^* = B_j^T k_j B_j$$

la matriz anterior es de orden $3L$.

3) Se obtiene la matriz de rigideces K del edificio sumando las matrices k_j^* , ya que están referidas a los mismos grados de libertad (método directo de las rigideces). Para un edificio de n pisos se obtiene K de orden $3n$.

4) Se calculan los desplazamientos U de los pisos resolviendo el sistema de ecuaciones siguiente:

$$(K) (U) = F$$

onde F es un conjunto de fuerzas laterales que actúa en los pisos, obtenidas ya sea estáticamente o mediante un análisis dinámico modal espectral.

5) Se calculan los desplazamientos de los sistemas planos (marcos) con la expresión 3.1d

6) Con los valores de D_j se determinan todos los desplazamientos verticales y giros, y los elementos mecánicos en el sistema plano.

III.3. PROGRAMA TORSION.

Este programa (ref. 8) surgió como una alternativa para superar algunas "limitaciones" de otros programas de análisis a base de marcos planos, entre las que se mencionan las siguientes:

a) Consideran al edificio formado por marcos planos unidos a losas infinitamente rígidas, lo cual, como ya se comentó en el capítulo correspondiente al programa TABS-77, es una limitación para cierto tipo de estructuras.

b) No se considera la compatibilidad de los desplazamientos verticales (d_j) de los nudos comunes a distintos marcos, cuando se modela en base a planos interconectados por el sistema de piso. Esta deficiencia no se presenta en programas como el SUPER-ETABS si se modela de forma tridimensional. Con respecto al TABS-77, se hacen algunos comentarios en el subcapítulo correspondiente.

c) No hay forma de tener una idea cuantitativa o cualitativa sobre la excentricidad de las fuerzas cortantes y menos de incrementar ésta de acuerdo con los reglamentos vigentes, al utilizar directamente los programas del tipo TABS. Sin embargo, se puede decir que si es posible, mediante programas

como el TABS-77 y el SUPER-ETABS, obtener la posición del centro de torsión y con base en ello incrementar la excentricidad de las fuerzas aplicadas de acuerdo con el RDF-87. Esta afirmación se fundamenta y comenta en los subcapítulos posteriores.

III.3.1 HIPOTESIS DE TRABAJO.

a) Estructura del edificio formada por marcos (columnas, traveses, muros de cortante y marcos rigidizados por diagonales) ligados por losas.

b) Se considera que el diafragma es rígido para las losas; las losas se suponen infinitamente rígidas en su plano. La masa se considera concentrada en los niveles.

c) No se considera el concepto de marcos planos, sino el de columnas que definen el marco tridimensional; para cada nudo se considera la compatibilidad en los desplazamientos verticales (d_z) y en los giros en el plano horizontal (θ_x , θ_y).

d) Los desplazamientos horizontales (d_x , d_y) y el giro según un eje vertical (θ_z) de cada nudo serán funciones lineales de los desplazamientos de cuerpo rígido de cada una de las losas.

e) Se consideran tres grados de libertad por piso; dos desplazamientos horizontales y un giro alrededor del eje vertical.

f) Se consideran deformaciones por fuerza normal, fuerzas cortantes y momentos flexionantes en las dos direcciones, y torsión para las columnas; por flexión, fuerza cortante y torsión para las traveses; deformación por fuerza normal para diagonales. Las fuerzas laterales aplicadas externamente son para análisis estático.

III.3.2. METODO DE ANALISIS.

1) Obtención de la matriz de rigidez $[K]$ de la estructura completa, de orden:

$$3nN + 3nL$$

nN .- Número de nudos

nL .- Número de losas

2) Condensación de la matriz $[K]$, esto se logra eliminando los desplazamientos d_z , θ_x , θ_y de cada nudo debido a que las fuerzas F_z y los momentos externos M_x y M_y se consideran

nulos. Se obtiene la matriz de rigidez lateral del edificio $[K_L]$, de orden $3nL$.

3) Se introducen las fuerzas sísmicas horizontales que actúan estáticamente sobre el edificio, no importa que sean obtenidas por algún análisis dinámico previo. El sismo puede obrar en dos direcciones ortogonales (x,y).

4) Se obtiene el centro de torsión de cada entrepiso; considerando el incremento de la excentricidad con base en el método propuesto por Bazán y Meli en las ref. 6 y 11 ; el centro de torsión se obtiene por medio del algoritmo desarrollado en la referencia 12, véase subcapítulo I.5.3.

5) Para las distintas combinaciones de solicitaciones sísmicas, se obtienen los desplazamientos de todos los nudos y los elementos mecánicos de todos los elementos.

III.4. SUPER-ETABS.

El programa SUPER-ETABS (ref. 13) es una extensión del programa ETABS, pero versión para microcomputadora. El SUPER-ETABS obtiene la matriz global de rigideces de la estructura del ensamble de la matriz de rigideces de marcos tridimensionales, definidos a partir de las columnas.

III.4.1. HIPOTESIS DE TRABAJO.

a) Los edificios se consideran formados por subestructuras (marcos y/o muros de cortante) ligados por sistemas de piso y/o una subestructura tridimensional.

b) Se considera la hipótesis de diafragma rígido para los sistemas de piso. Se concentra la masa en los niveles.

c) Se toman en cuenta tres grados de libertad por piso; dos traslaciones y una rotación que se miden con respecto a unos ejes globales.

d) El programa admite los siguientes tipos de elementos:

1) Columnas en las que se toman seis grados de libertad.

2) Vigas, cuya formulación es similar a la de columnas con excepción de que se desprecia la flexión alrededor del eje vertical y las deformaciones axiales; las vigas no deben ser necesariamente prismáticas.

3) Muros tipo panel que pueden ser de dos tipos; uno incluye deformaciones por flexión, cortante y axial y otro toma en cuenta sólo deformaciones por cortante.

4) Y por último diagonales, en las que sólo se consideran las deformaciones axiales.

Los edificios por analizar pueden ser asimétricos y no forzosamente rectangulares; los marcos y muros pueden estar localizados arbitrariamente.

El hecho de considerar a los marcos y muros como subestructuras minimiza el trabajo de preparación de datos y reduce significativamente el tiempo de computación, ya que en lugar de tenerse varios marcos planos se tiene una subestructura compuesta por un marco tridimensional constituido por elementos estructurales que, si son semejantes, se pueden generar a través de una opción del programa.

Con éste programa se facilita el análisis de los edificios en forma tridimensional, en los que exista completa compatibilidad de desplazamientos en los elementos.

Respecto a la hipótesis b) es válido el comentario hecho para el programa anterior (TABS-77).

III.4.2. METODO DE ANALISIS.

El método de análisis utilizado es el propio de un análisis tridimensional considerando las matrices de rigidez de marcos tridimensionales.

El programa SUPER-ETABS tiene la ventaja de efectuar tanto un análisis dinámico y/o estático para el cálculo de la respuesta total de edificio.

La respuesta global está dada por:

- a) Deflexiones a nivel de piso.
- b) Desplazamientos angulares de entrepiso.
- c) Cortantes de entrepiso.
- d) Momentos de volteo.

Estas variaciones y fuerzas se localizan con respecto al centro de masa, pudiendo variar de piso a piso.

En cada entrepiso el modelo puede ser idealizado teniendo masas con tres grados de libertad.

III.5. ANALISIS COMPARATIVO DE PROGRAMAS.

Haciendo un análisis comparativo, observamos que en sí, no existen diferencias fundamentales en las hipótesis de partida

de los tres programas. Sin embargo, es necesario realizar una serie de artificios en los datos de entrada para poder conseguir el objetivo de considerar los efectos de torsión según el RDF-87.

A continuación se enumeran los pasos dados en cada uno de los programas para obtener los análisis deseados.

III.5.1. ANALISIS DE DATOS DE ENTRADA.

III.5.1.1. TABS-77.

Para usar éste programa, se dan los datos de entrada, más importantes para este trabajo, en el siguiente orden:

TARJETA DE CONTROL.

- 1) Número de pisos.
- 2) Número de marcos con diferentes propiedades estructurales o diferentes cargas verticales. Este número sólo puede ser menor o igual al número total de marcos en la estructura.
- 3) Número total de marcos o muros de cortante en la estructura. Esta es una de las primeras diferencias que aparecen con respecto a los otros dos programas, debido a que en ellos sólo se considera un marco pero en forma tridimensional y no una serie de marcos planos ensamblados, como en éste programa.
- 4) Número total de condiciones de carga.
- 5) Tipo de análisis; se considera según la clave dada por el programa (ver ref.10). El programa TORSION, sólo contempla el análisis estático.
- 6) Número de frecuencias a calcular. Esto es en base al tipo de análisis elegido en el punto anterior; ya que si el análisis es estático, el punto 5), no tiene sentido.
- 7) Grados de libertad por piso. En este punto, se da una clave ya sea para considerar tres grados de libertad (x , y , θ) o sólo uno en la dirección deseada (x,y) para un problema en traslación pura.
- 8) Se da un nombre a la estructura analizada para identificarla.

DATOS DE PISO.

Se dan dos tarjetas por cada piso. En secuencia de arriba hacia abajo.

Primera tarjeta:

- 1) Identificación del piso analizado.
- 2) Se dejan espacios.
- 3) Altura de entrepiso.
- 4) Masa traslacional del piso. Este dato se da ó no de acuerdo al tipo de análisis elegido.
- 5) Masa rotacional del piso.
- 6) Coordenada X, medida a partir del eje global de coordenadas, del centro de masa definido como tal.
- 7) Ordenada Y, medida igualmente que la coordenada X, del centro de masa.

Segunda tarjeta:

- 1) Fuerza lateral estática en X para la condición de carga A.
- 2) Fuerza lateral en Y para la condición de carga A.
- 3) Coordenada X para la condición de carga A.
- 4) Ordenada Y para la condición de carga A.
- 5), 6), 7) y 8) Los mismos datos pero para la condición de carga B.

DATOS DE MARCOS.

Los siguientes datos son para cada tipo de marco.

Tarjeta de control del marco:

- 1) Identificación del marco.
- 2) Número de líneas de columnas en el marco.
- 3) Número de pisos. Se considera igual que el punto 1 de la tarjeta de control.
- 4) Número de columnas con propiedades diferentes.
- 5) Número de vigas con propiedades diferentes.
- 6) Número de cargas verticales en vigas (ref.10).
- 7) Número de muros.
- 8) Número de diagonales.

PROPIEDADES DE COLUMNAS.

El número de tarjetas será de acuerdo al número de columnas diferentes.

- 1) Número de identificación de columna.
- 2) Módulo de elasticidad.
- 3) Area axial.
- 4) Momento de inercia. Este dato es alrededor del eje perpendicular a la dirección del marco.
- 5) Area de cortante. Este dato es en dirección del eje del marco
- 6) Ancho de columna. Es medido en dirección del eje del marco.

PROPIEDADES DE VIGAS.

El número de tarjetas será de acuerdo al número de vigas con propiedades diferentes.

- 1) Identificación de viga.
- 2) Módulo de elasticidad.
- 3) Momento de inercia alrededor del eje horizontal.
- 4) Factor de rigidez.
- 5) Factor de transporte.
- 6) Area de cortante.

UBICACION DE TRABES.

Esta ubicación se dará de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. Si el marco consta de una sola línea de columnas, entonces se omiten éstos datos.

- 1) Identificación de vigas.
- 2) Número de vigas en secuencia hacia abajo con las mismas propiedades, tanto en geometría como en carga vertical.
- 3) Condición de carga vertical.

UBICACION DE COLUMNAS.

Los datos por columna se darán de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

- 1) Identificación de columna.
- 2) Número de columnas en secuencia hacia abajo con las mismas propiedades.

LOCALIZACION DE MARCOS.

Se da una tarjeta de éstas características para cada tipo de marco.

- 1) Identificación del marco.
- 2) Comando para escribir u omitir los elementos mecánicos.
- 3), 4), 5) y 6) Ubicación del marco por medio de coordenadas respecto a un eje global (X,Y)
- 7) Identificación o título del marco.

DATOS DEL ESPECTRO DE DISEÑO PARA EL ANALISIS DINAMICO MODAL ESPECTRAL.

Estos datos se dan sólo si el tipo de análisis requerido fué igual a 3 .

- 1) Número de puntos que definen el espectro de diseño.
- 2) Número de modos en los que se quiere imprimir sus resultados antes de combinar.
- 3) Factor de escala para aceleraciones.
- 4) Dirección del sismo. Este dato se da en grados medidos respecto al eje global (X,Y).
- 5) Identificación o título del espectro.
- 6) Datos de los puntos del espectro de diseño utilizado:
Aceleración espectral asociada a cada periodo.

COMBINACIONES DE CARGA.

Se utilizan multiplicadores con los cuales se obtienen combinaciones de carga vertical, lateral estática y lateral dinámica, según la necesidad del caso.

III.5.1.2. TORSION.

El programa torsión tiene una ubicación de datos diferente a los de TABS-77 y SUPER-ETABS; en éste programa se utiliza un formato libre.

Los datos se dan de la siguiente manera:

TARJETA PARA TITULOS.

Cuatro renglones para identificar tanto la estructura analizada como las características de la misma.

DATOS DE MARCOS.

Debido a que éste es una análisis tridimensional, la estructura se define con un solo marco; se da un renglón con los siguientes datos:

- 1) Número de niveles.
- 2) Número de ejes o líneas de columnas.
- 3) Número de trabes por piso.
- 4) Número de niveles fijos (ref.8).
- 5) Número de planos de diagonales.
- 6) Módulo de Poisson.
- 7) Indicador de módulo de elasticidad. Permite considerar tanto trabes como columnas con propiedades variables.
- 8) Indicador de torsión sísmica. Es aquí donde se tiene la ventaja de considerar la torsión según el

Reglamento de Construcción del D.F; en caso de activarse la opción, considera los efectos de las excentricidades de diseño para torsión.

CONDICIONES DE APOYO Y ESTRUCTURACION.

- 1) Varios renglones para las condiciones de apoyo del nivel cero. Se considera la posibilidad de suponer ya sea un empotramiento o una articulación en la cimentación.
- 2) Un renglón para los niveles que están fijos.
- 3) Varios renglones para los nudos nulos.

UBICACION DE COLUMNAS.

- 1) Varios renglones con las coordenadas de los ejes de columnas, así como sus ángulos que forman el eje principal x' con el eje global X . Se considera eje principal de la columna aquel que está orientado en dirección de la inercia mayor a la flexión.

ALTURAS DE ENTREPISO.

- 1) Se dan varios renglones para dar las alturas de entrepiso.

PROPIEDADES DE COLUMNAS.

El número de datos ordenados de la siguiente manera serán tantos como columnas con propiedades diferentes existan en la estructura.

- 1) Un renglón para definir si las propiedades son de rigidez variable o constante.
- 2) Si la sección es constante se dan las propiedades geométricas: I_x , I_y , A_x , A_y , A_z e I_z . Estas propiedades están definidas con respecto a los ejes globales X, Y .
- 3) En caso de que la estructura sea de sección variable se tiene:
 - a) Un renglón para el número de dovelas.
 - b) Un renglón con la longitud de las dovelas.
 - c) Varios renglones con las propiedades mencionadas en el punto 2). Cuando se considera el efecto nudo, se dan valores cero.

PROPIEDADES DE VIGAS.

Este grupo de datos será tantos como número de trabes existan.

- 1) Un renglón con las incidencias de las trabes así como los valores de las propiedades.
- 2) Si son las propiedades constantes a lo largo de la trabe, se leen: I_y , A_z e I_x .
- 3) Si no son constantes se leen las propiedades anteriores con el mismo criterio que se usó para el caso de las columnas.

EFFECTO DE TORSION.

Este grupo de datos, sólo se considera en el caso de que se evalúe la torsión sísmica, según el RDF.

- 1) Varios renglones con las coordenadas del centro de masa de cada nivel.
- 2) Varios renglones para considerar la fuerza sísmica en cada nivel.
- 3) Varios renglones para las longitudes en planta de cada nivel del edificio para considerar el incremento por torsión accidental.

III.5.1.3. SUPER-ETABS.

Este programa, es una versión modificada y ampliada del programa TABS-77 con las siguientes ventajas:

- a) Puede realizar un análisis tridimensional con base en un sólo marco.
- b) Tiene la capacidad de incluir los efectos P-delta tanto para un análisis estático como dinámico.
- c) Puede realizar el tipo de análisis deseado sin detallar la respuesta estructural de los miembros, esto con base en una clave dada.
- d) Puede generar de una manera automática las fuerzas laterales sísmicas estáticas equivalentes.
- e) Verifica el cálculo de la masa efectiva.

f) Realiza una verificación de datos sin necesidad de ejecutar el programa y hacer cálculos.

TARJETA DE CONTROL.

Los primeros siete puntos, se evalúan de la misma manera que en el programa TABS-77, con una ampliación en el tipo de análisis a realizar.

- 8) Clave para generar la carga lateral caso A.
- 9) Igual al punto 8), pero para el caso B.
- 10) Clave para calcular o no los elementos mecánicos.
- 11) Clave de ejecución.
- 12) Aceleración de la gravedad para el cálculo de los efectos P-delta
- 13) Título de identificación de la estructura.

DATOS DE PISO.

Se preparan dos tarjetas por cada piso.

Primera tarjeta:

Los primeros ocho puntos son exactamente igual que en el programa TABS-77.

- 9) Rigidez externa del piso en la dirección X.
- 10) Rigidez externa del piso en la dirección Y.

Segunda tarjeta:

Los ocho puntos son exactamente iguales que en el programa TABS-77.

DATOS DE MARCOS.

Se introducen datos por cada marco, en el caso de que se modele a base de planos ensamblados; para el caso tridimensional es sólo uno.

- 1) Identificación del marco.
- 2) Número de niveles, sobre la cimentación.
- 3) Número de líneas de columnas.
- 4) Número de crujías en el marco.
- 5) Número de columnas con propiedades diferentes.

- 6) Número de vigas con propiedades diferentes.
- 7) Cargas verticales en vigas.
- 8) Número de muros tipo panel.
- 9) Número de diagonales.
- 10) Etiqueta de identificación.

UBICACION DE COLUMNAS.

Para ubicar las columnas se hace en relación con los ejes globales coordenados (X,Y), de igual manera como se realiza en el programa TORSION.

- 1) Número de identificación de la línea de columna.
- 2) Coordenada X (sistema de ejes locales).
- 3) Coordenada Y (sistema de ejes locales).

PROPIEDADES DE COLUMNAS.

Se da el siguiente conjunto de datos para cada tipo de columna.

- 1) Número de identificación del tipo de columna.
- 2) Módulo de elasticidad.
- 3) Area axial.
- 4) Area cortante asociada a la dirección del eje mayor.
- 5) Area cortante asociada a la dirección del eje menor.
- 6) Inercia a la torsión.
- 7) Inercia a la flexión alrededor del eje mayor.
- 8) Inercia a la flexión alrededor del eje menor.
- 9) Zona rígida superior de la columna.
- 10) Zona rígida inferior de la columna.

En este conjunto de datos existe una clara diferencia en cuanto a los datos proporcionados para el programa TABS-77, ya que éste sólo considera los datos en relación con la orientación del eje principal del marco.

En relación con el programa TORSION, la diferencia es que las propiedades se dan respecto ejes locales; considerándose al eje principal, al que está orientado respecto a la inercia mayor de la columna y el eje menor el perpendicular a éste.

PROPIEDADES DE TRABES.

Al igual que para columnas, también se dan un grupo de datos para cada tipo de viga diferente.

- 1) Identificación de tipo de viga.
- 2) Módulo de elasticidad.
- 3) Area de cortante.
- 4) Inercia a la flexión.
- 5), 6) y 7) Factores de rigidez.

- 8) Ancho de la zona rígida en I.
- 9) Ancho de la zona rígida en J.

GENERACION DE TRABES.

Esta generación se da de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

- 1) Identificación de la crujía para la trabe considerada.
- 2) Línea de columna a la izquierda de la trabe.
- 3) Línea de columna a la derecha de la trabe.
- 4) Número de tipo de inercia de trabe que define ésta crujía.
- 5) Número de vigas a generar inmediatamente después, con las mismas propiedades.

GENERACION DE COLUMNAS.

La generación es con el mismo criterio de las trabes.

- 1) Número de identificación de la línea de columna.
- 2) Número de identificación de la propiedad de la columna.
- 3) Número de línea de columna de control que define la dirección del eje mayor.
- 4) Número de columnas a generar inmediatamente después con las mismas propiedades.

LOCALIZACION DE MARCOS.

El número de conjuntos de datos a dar es en función del total de marcos diferentes considerados.

- 1) Identificación del marco.
- 2) Clave para el cálculo de respuestas.
- 3) Coordenada X al origen del marco considerado con respecto a los ejes globales.
- 4) Coordenada Y al origen del marco considerado con respecto a los ejes globales.
- 5) Etiqueta de identificación del marco.

DATOS DEL ESPECTRO.

Estos datos se requieren si el tipo de análisis elegido fue el dinámico modal espectral.

Primera tarjeta:

- 1) Número de puntos que definen el espectro.

- 2) Número de modos en que se quiere imprimir la Respuesta.
- 3) Factor de escala para las aceleraciones.
- 4) Dirección del sismo.
- 5) Porcentaje de amortiguamiento viscoso crítico.

Segunda tarjeta:

- 1) Datos de los puntos del espectro

COMBINACIONES DE CARGA.

Se utilizan multiplicadores para obtener combinaciones de carga vertical, lateral estática y lateral dinámica, según la necesidad de cada caso.

III.6. OBTENCION DEL CENTRO DE TORSION E INCREMENTO DE LA EXCENTRICIDAD SEGUN EL RDF-87.

En este subcapítulo se estudia la forma en que cada uno de los programas comentados con anterioridad, toman en cuenta los efectos de la torsión.

Se pueden distinguir entonces, dos puntos:

1.- Efectos de la torsión estática ó calculada, que como se estableció en el capítulo I, está asociada con la excentricidad calculada, es decir, depende de la ubicación del centro de torsión y del centro de masa.

2. Efectos de la torsión según el RDF-87, la cual está asociada con la excentricidad de diseño, que marca el mencionado reglamento, y que se comentó en el capítulo II.

En lo que sigue, se comenta el alcance de cada programa para evaluar los efectos mencionados y se realizan los estudios comparativos o de calibración para cada caso.

III.6.1. EFECTOS DE TORSION: PROGRAMA "TORSION".

III.6.1.1. TORSION ESTATICA.

El efecto de la "torsión calculada" se toma en cuenta implícitamente, ya que el análisis tridimensional considera el efecto de giro alrededor de un eje vertical, lo que se realiza al calcular la matriz de rigidez global de la estructura.

III.6.1.2. TORSION DE DISEÑO.

Para considerar el efecto de la "torsión de diseño", este programa incorpora el algoritmo para calcular el centro de torsión propuesto en la referencia 12 y una vez determinado éste, realiza una modificación del centro de cortante para cada una de las opciones que marca la norma de torsión del RDF-87. La forma de usar esta característica del programa es mediante la selección de una opción en la entrada de datos, como se explicó en el subcapítulo III.5.

III.6.2. EFECTOS DE TORSION: PROGRAMA TABS-77.

III.6.2.1. TORSION ESTATICA.

Este programa toma en consideración el efecto de torsión estática en la estructura al realizar el análisis tridimensional, de forma implícita; sin embargo, en un análisis "normal" no es posible localizar externamente la posición del centro de torsión, ya que el programa internamente hace dichas consideraciones.

III.6.2.2. TORSION DE DISEÑO.

El programa TABS fue desarrollado en Berkeley, E.U. por lo que no está diseñado para requisitos reglamentarios como los que marca el RDF. Se presenta el problema de cómo considerar las especificaciones que por torsión, exige el Reglamento de Construcciones versión 1987. No es posible conseguir lo anterior directamente; sin embargo, es posible hacerlo, con algunas limitaciones propias del programa, en dos pasos, que se exponen a continuación.

Es obvio que para incrementar la excentricidad calculada como marca el reglamento, es necesario conocer la posición del centro de masa y del centro de torsión. Con el centro de masa no existe dificultad para su definición. Para calcular las coordenadas de la posición del centro de torsión es necesario hacer lo siguiente:

COORDENADA "Y":

A) Realizar un "análisis traslacional puro" de la estructura sujeta a una distribución vertical de carga horizontal en dirección X. Esto se logra mediante la opción del programa que restringe los otros dos grados de libertad del piso. Este tipo de análisis implica obtener resultados para condición sin par de torsión. Cabe mencionar que para tomar en cuenta las propiedades dinámicas de la estructura debe hacerse un análisis del tipo dinámico modal espectral.

B) Se obtiene el cortante de entrepiso de cada sistema estructural resistente (marcos) en la dirección del análisis.

C) Se calcula la coordenada "Y" del centro de torsión con la expresión siguiente (ver cap. I):

$$Y_{Tr} = \left(\sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i - \sum_{j=r+1}^n P_j Y_{Tj} \right) / P_r$$

donde:

- Y_{Tr} : Coordenada "Y" del centro de torsión.
- $V_{i,r}$: Cortante en el elemento resistente i del piso r.
- Y_i : Coordenada del elemento resistente i c/r a un origen de ejes.
- P_j : Carga aplicada en los niveles inmediatamente arriba del piso r.
- Y_{Tj} : Centro de torsión de los niveles inmediatamente arriba del piso r.
- P_r : Carga aplicada en el piso r (dir X).
- n : Número de elementos resistentes en el piso r en dirección X.
- N : Número total de niveles.

COORDENADA "X":

Para calcular la coordenada "X" del centro de torsión, se procede de manera análoga pero con sismo en dirección Y, empleándose la expresión:

$$X_{Tr} = \left(\sum_{i=1}^n V_{i,r} X_i - \sum_{j=r+1}^n P_j X_{Tj} \right) / P_r$$

donde :

- X_{Tr} : Coordenada "X" del centro de torsión.
- $V_{i,r}$: Cortante en elemento resistente i del piso r.
- X_i : Coordenada del elemento resistente i c/r a un origen de ejes.
- P_j : Carga aplicada en los niveles inmediatamente arriba del piso r.
- X_{Tj} : Coordenada X del centro de torsión de los niveles arriba del piso r.
- P_r : Carga aplicada en el piso r (dirección r).
- n : Número de elementos resistentes en el piso r en dirección Y.
- N : Número total de niveles.

La metodología empleada para evaluar la posición del centro de torsión está basada en el método de Stafford-Vézina (ref.7)

Una vez obtenida la posición del centro de torsión (CT) se puede conocer la excentricidad "calculada" o "estática":

$$e_C = CM - CT \dots\dots\dots(3.1)$$

y por tanto, se puede calcular la excentricidad de diseño que estipula el reglamento actual:

$$E_{d1} = 1.5e_C + 0.1b \dots\dots\dots (3.1a)$$

$$E_{d2} = e_C - 0.1b \dots\dots\dots (3.1b)$$

Para cuando el sismo actúa en dirección X se van a tener entonces dos condiciones:

$$E_{d1y} = 1.5e_{cy} + 0.1b(\text{sgn } e_{cy}) \dots\dots\dots(3.2a)$$

$$E_{d2y} = e_{cy} - 0.1b(\text{sgn } e_{cy}) \dots\dots\dots(3.2b)$$

y para sismo en dirección Y:

$$E_{d1x} = 1.5e_{cx} + 0.1b(\text{sgn } e_{cx}) \dots\dots\dots(3.3a)$$

$$E_{d2x} = e_{cx} - 0.1b(\text{sgn } e_{cx}) \dots\dots\dots(3.3b)$$

en las expresiones anteriores:

- E_{dij} : Excentricidad de diseño ($i=1,2$ $j=x,y$)
- e_{cj} : Excentricidad calculada ó estática.
- $\text{sgn } e_C$: Signo (+ ó -) de la excentricidad calculada.
- b : Máxima dimensión, en planta, del edificio en dirección perpendicular al sismo.

En el caso de éste programa (TABS-77), lo que se debe hacer es modificar la posición del centro de masa para considerar la excentricidad de diseño mencionada anteriormente. Esto, porque es el único dato susceptible de manejar en el programa y por lo tanto de variar.

SISMO EN DIRECCION X:

de la expresión (3.1):

$$Y_{cm} = Y_T + e_{cy} \dots\dots\dots (3.4)$$

donde:

- Y_{cm} : Coordenada Y del centro de masa.
- Y_T : Coordenada Y del centro de torsión.
- e_{cy} : Excentricidad calculada en dirección "y".

si sustituimos el valor de la excentricidad de diseño en la expresión 3.4, para cada una de las opciones que marca el reglamento:

$$Y_{cm1}^* = Y_T + E_{d1y} \dots\dots\dots (3.5a)$$

$$Y_{cm2}^* = Y_T + E_{d2y} \dots\dots\dots (3.5b)$$

tal que:

$$Y_{cm1}^* = Y_T + [1.5e_{cy} + 0.1b(\text{sgn } e_{cy})] \dots\dots\dots(3.5c)$$

$$Y_{cm2}^* = Y_T + [e_{cy} - 0.1b(\text{sgn } e_{cy})] \dots\dots\dots(3.5d)$$

donde:

Y_{cmi}^* : Coordenada "y" modificada del centro de masa.

SISMO EN DIRECCION Y:

De igual manera, para la otra dirección se tiene:

$$X_{cm1}^* = X_T + E_{d1x} \dots\dots\dots (3.6a)$$

$$X_{cm2}^* = X_T + E_{d2x} \dots\dots\dots (3.6b)$$

$$X_{cm1}^* = X_T + [1.5e_{cx} + 0.1b(\text{sgn } e_{cx})] \dots\dots\dots(3.6c)$$

$$X_{cm2}^* = X_T + [e_{cx} - 0.1b(\text{sgn } e_{cx})] \dots\dots\dots(3.6d)$$

donde:

X_{cmi}^* : Coordenada "x" modificada del centro de masa.

Por tanto, cuando el sismo actúa en dirección X se deben realizar dos análisis modificando el centro de masa de acuerdo con las expresiones 3.5. Para el sismo en dirección Y se procede de manera análoga. Así, son cuatro los análisis de tipo estático para considerar de manera correcta la especificación de torsión del RDF-87, una vez calculadas las excentricidades de diseño. Esto no representa gran dificultad debido a la forma como se realiza el análisis en el TABS-77. De los resultados de los análisis se toman las condiciones más desfavorables para diseñar cada marco.

III.6.3. EFECTOS DE TORSION: PROGRAMA SUPER-ETABS.

III.6.3.1. TORSION ESTATICA.

En cualquiera de sus dos variantes de modelado (por marcos planos acoplados ó por el marco tridimensional) este programa incorpora los efectos de la torsión estática en su análisis, pero al igual que el TABS-77, no presenta la información

acerca de la posición del centro de torsión y, por tanto, tampoco de la excentricidad calculada.

III.6.3.2. TORSION DE DISEÑO.

La forma de considerar la excentricidad de diseño en este programa es exactamente la misma que en el caso del programa TABS-77, con la variante fundamental de que se puede modelar ya sea mediante marcos planos acoplados ó mediante un marco tridimensional; éste último tipo de modelado tiene, lógicamente, varias ventajas sobre el primero (que es el utilizado por el TABS-77), sobre todo para analizar cierto tipo de estructuras, y es el que en principio define a la estructura en forma similar al programa TORSION.

III.7. ANALISIS SISMICO DE ESTRUCTURAS TIPO

En los siguientes subcapitulos se realizan una serie de análisis sísmicos en varios tipos de estructuras, con el fin de comparar los resultados en cada uno de los programas al utilizar la metodología propuesta para considerar la especificación por torsión del RDF. Las estructuras propuestas son modelos en los que se buscó introducir alguna característica que influyera en el efecto de torsión y en los alcances de los programas. Se hace énfasis en la consideración de los efectos de torsión según el RDF-87, con respecto a cuando no se está tomando en cuenta. Las estructuras consideradas son ficticias.

III.7.1. ESTRUCTURA A.

III.7.1.1. CARACTERISTICAS

Esta estructura tiene simetría tanto en geometría como en rigidez, con el objeto de comparar los resultados de los programas cuando en la estructura misma no existe excentricidad estática con los obtenidos tomando en cuenta la excentricidad de diseño. La geometría de la planta se muestra en la figura 3.3.

III.7.1.2. UBICACION DE TRABES Y COLUMNAS, TIPOS DE MARCOS Y PROPIEDADES GEOMETRICAS.

La ubicación de trabes y columnas se muestran en las fig. 3.4 y los tipos de marcos en la fig. 3.5
Las propiedades geométricas se muestran en la tabla 3.1.

III.7.1.3. FUERZAS SISMICAS.

Las fuerzas sísmicas usadas son las mostradas en la tabla 3.2. y se obtuvieron por medio de un método estático.

III.7.1.4. PERIODOS.

Con el objeto de comprobar la similitud entre los modelos empleados en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS, se comparan los periodos, sin incluir la torsión según el RDF-87 (ver tabla 3.3.).

III.7.1.5. RESPUESTAS DE UN ANALISIS SISMICO ESTADICO SIN CONSIDERAR LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

Estos análisis se realizaron para observar y comparar los resultados que arroja cada programa, sin considerar la torsión según el reglamento.

III.7.1.5.1. DESPLAZAMIENTOS.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.4.

III.7.1.5.2. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

En la tabla 3.5. se muestran los elementos mecánicos en columnas considerando el sismo en dirección X, sin incluir la excentricidad de diseño.

III.7.1.5.3. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Estos resultados se obtienen de un análisis considerando la acción del sismo actuando en dirección X. Se muestran en la tabla 3.6.

III.7.1.5.4. COMENTARIOS.

Análisis sin incluir la excentricidad de diseño.

1) De los resultados obtenidos por cada programa, se comenta lo siguiente: Los periodos no presentan diferencia apreciable entre ellos, son prácticamente iguales; los valores de los desplazamientos son idénticos desde el punto de vista práctico; los elementos mecánicos en columnas y trabes de los tres programas son iguales.

2) Las columnas extremas (1, 2, 3, 4) toman menores M_f y V que las columnas centrales (5, 6, 7, 8) (ver fig. 3.3).

3) En las trabes no se presentan momentos torsionantes debido a la simetría de la estructura A; las trabes extremas (13, 16, 19 y 22) toman mayor M_f que las trabes intermedias (14, 17, 20 y 23); las trabes perpendiculares a la dirección del sismo X (1, 2, 3, 4, 5, y 6) no presentan elementos mecánicos, como era de esperarse.

4) Se concluye que el uso de cualquier programa arroja resultados similares y que, para este tipo de estructuras, el uso de uno u otro es indistinto; el empleo de determinado programa dependerá, entonces, de factores tales como facilidad de entrada de datos, disponibilidad de éste o aquel equipo de cómputo, rapidez de procesado, etc.

III.7.1.6. CONSIDERACION DE LAS ESPECIFICACIONES PARA TORSION SEGUN EL RDF-87. ESTRUCTURA A.

Como se comentó en III.6.2., para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunos "artificios" para conocer la posición del centro de torsión y poder considerar después el incremento de la excentricidad de diseño según el RDF-87.

III.7.1.6.1. OBTENCION DEL CENTRO DE TORSION. ESTRUCTURA A

En la tabla 3.7. se muestran los resultados obtenidos directamente de los listados del programa TORSION.

A continuación se presentan los diversos pasos para calcular el centro de torsión e incluir en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS los efectos de la excentricidad de diseño según lo especifica el RDF-87.

a) Cortantes de entrepiso de los marcos, obtenidos con análisis traslacional puro (ver tabla 3.8.).

b) Centros de torsión obtenidos a partir del análisis traslacional puro con los programas TABS-77 y SUPER-ETABS.

Al utilizar las ecuaciones siguientes:

$$X_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} X_i - \sum_{(r,j)} P_j X_{Tj})}{P_r}$$

$$Y_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i - \sum_{(r,j)} P_j Y_{Tj})}{P_r}$$

donde:

X_{Tr}, Y_{Tr} .- Coordenas del centro de torsión a nivel de piso.

$V_{i,r}$.- Cortantes en los elementos resistentes i (marcos) del nivel r.

X_i, Y_i .- Coordenadas de los elementos resistentes.

y sustituyendo valores en la tabla de cortantes de entrepiso, se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.9

c) Consideración de las especificaciones del RDF-87.

Para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunas modificaciones a los datos de entrada. Para el programa TORSION sólo se debe activar una opción implícita del mismo.

c.1.) Cálculo de la excentricidad estática.

$$e_c = CM - CT$$

(ver tabla 3.10)

c.2.) Cálculo de la excentricidad de diseño.

Para considerar la excentricidad de diseño:

$$E_{d1} = 1.5 e_c + 0.1 b$$

$$E_{d2} = e_c - 0.1 b$$

Se hicieron los cálculos necesarios, y los resultados se muestran en la tabla 3.11.

c.3.) Modificación del centro de masa.

Para poder tomar en cuenta, en el análisis, la excentricidad de diseño calculada anteriormente en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario modificar la posición del centro de masa en los datos de entrada del programa.

De acuerdo con las expresiones:

$$X_{cm} = X_{CT} + E_{dx}$$

$$Y_{cm} = Y_{CT} + E_{dy}$$

se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.12, para la opción 1.

Ver figura 3.6. para el caso del nivel 5.

Los resultados de los análisis correspondientes se muestran a continuación. Sólo se considera la opción para E_{dx1} a manera de ejemplo.

III.7.1.6.1. PERIODOS

Ver tabla 3.13.

III.7.1.6.3. DESPLAZAMIENTOS.

Los resultados se muestran en la tabla 3.14.

III.7.1.6.4. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

Los resultados que muestra la tabla 3.15. es considerando la acción del sismo en dirección X de la estructura A.

III.7.1.6.5. ELEMENTOS MACANICOS EN TRABES.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.16.

III.7.1.6.6. COMENTARIOS.

Análisis con la excentricidad de diseño, según el RDF-87.

Del análisis de los resultados se comenta lo siguiente:

1) En cuanto a la obtención del centro de torsión con programas tales como el TABS-77 y SUPER-ETABS se observa que, tomando como referencia los resultados del programa TORSION, no existen diferencias apreciables entre ellos; las variaciones son por centésimas y pueden deberse al manejo de aproximaciones, por lo que se puede afirmar que la obtención del centro de torsión mediante la metodología propuesta en III.6.2. y basada en el método de Stafford-Vezina, es válida para obtener las coordenadas de dicho centro en una estructura de las características de la estudiada. Con esto, se supera una de las limitaciones que tienen los programas TABS-77 y SUPER-ETABS, que es precisamente el hecho de no emitir información respecto a la ubicación de dicho centro.

2) En relación con los análisis realizados considerando la excentricidad de diseño, se observa lo siguiente:

a) Desplazamientos de piso.- Los desplazamientos tienen pequeñas diferencias, presentando los valores mayores el programa TABS-77 (análisis plano) y los menores el programa SUPER-ETABS (análisis plano). La diferencia máxima es del 1.7%.

b) Elementos mecánicos en columnas.- los valores obtenidos de los tres programas presentan diferencias prácticamente nulas (del orden del 0.3%); Los momentos flexionantes decrecen en valor conforme se alejan del centro de torsión, así como los cortantes y las fuerzas normales.

c) Elementos mecánicos en trabes.- Los resultados son muy parecidos entre los tres programas, con diferencias del orden de 0.1%; se presentan momentos torsionantes pequeños, el mayor en la trabe 13 del nivel 1, igual a 0.12 Ton-m.

d) Como se observa, las diferencias son poco importantes, por lo que puede afirmarse que el procedimiento usado para considerar la excentricidad de diseño en el TABS-77 y SUPER-ETABS es válido para estructuras con las características de la mostrada, sobre todo si se modela en forma tridimensional, en el caso del programa SUPER-ETABS.

III.7.1.7. COMPARACION DE RESULTADOS CON Y SIN e_d .

Ver tabla 3.17. Los comentarios pertinentes se realizan en el capítulo VII.

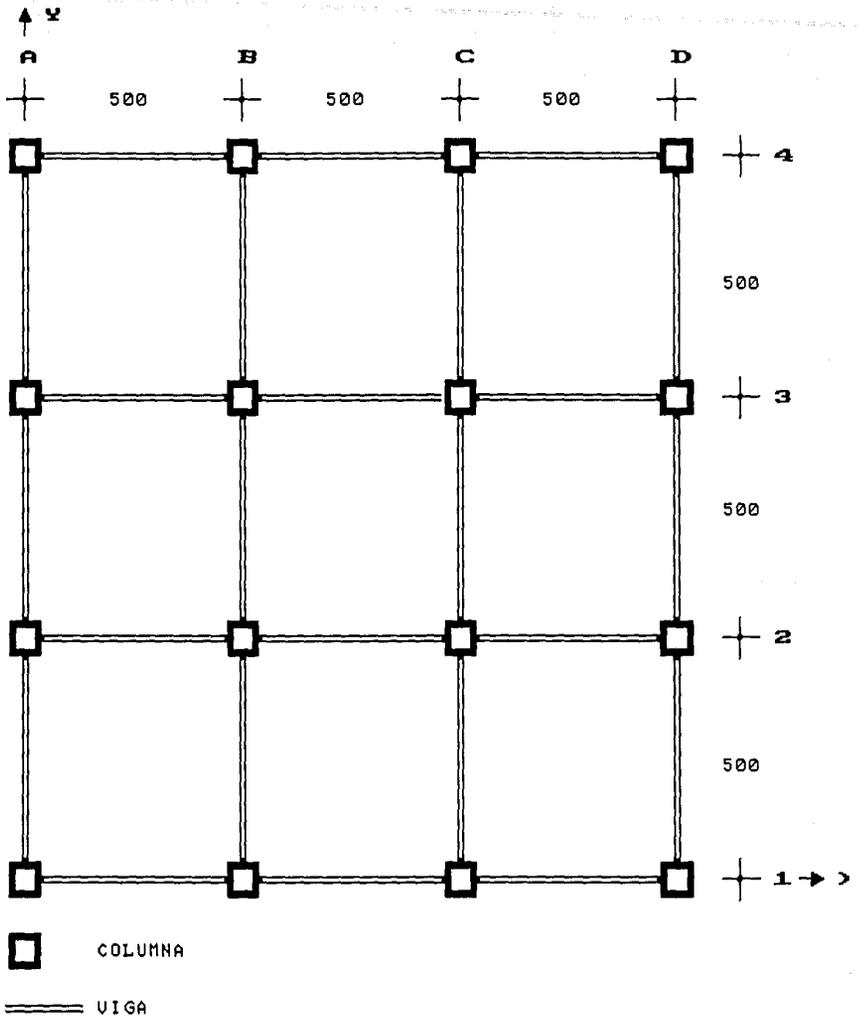


FIG. 3.3 UBICACION DE MARCOS EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA A.

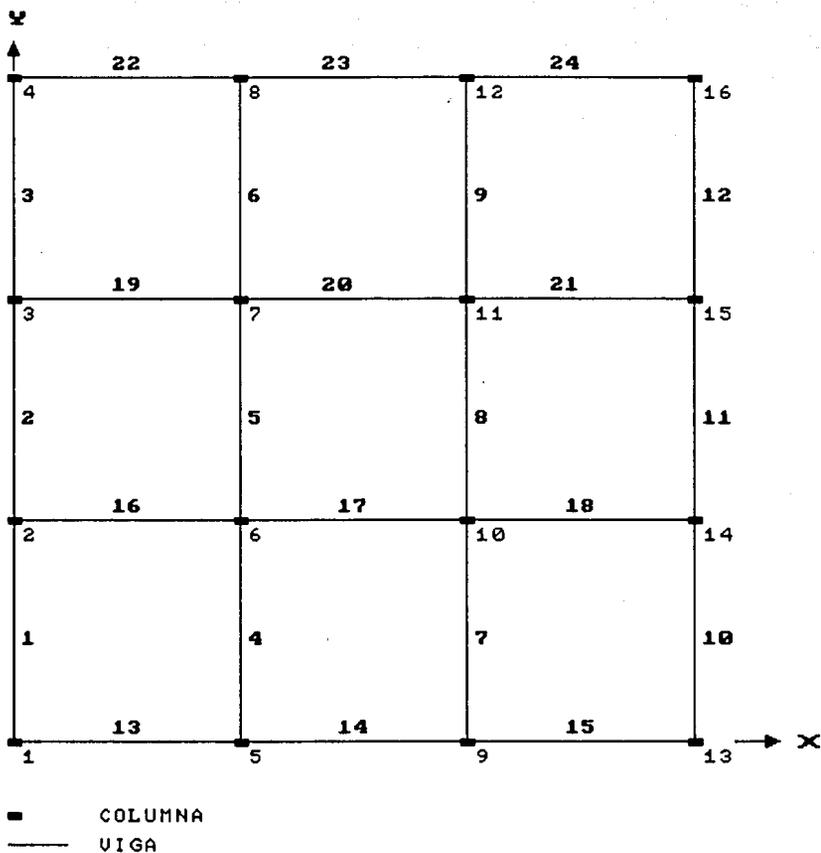
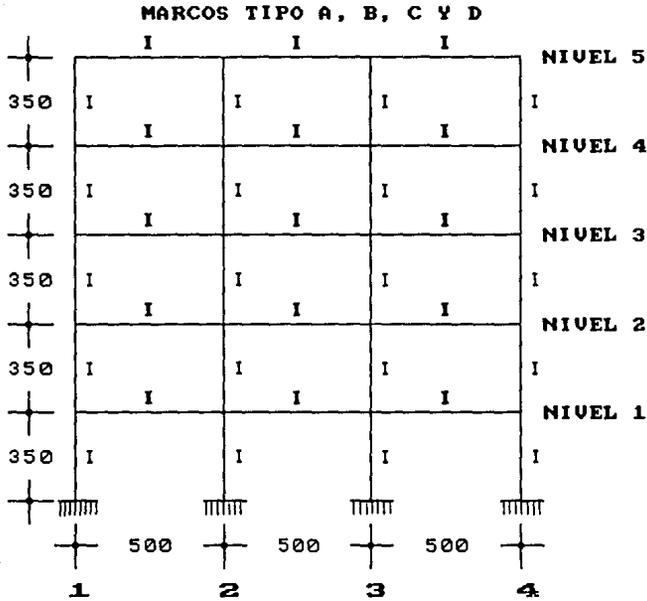
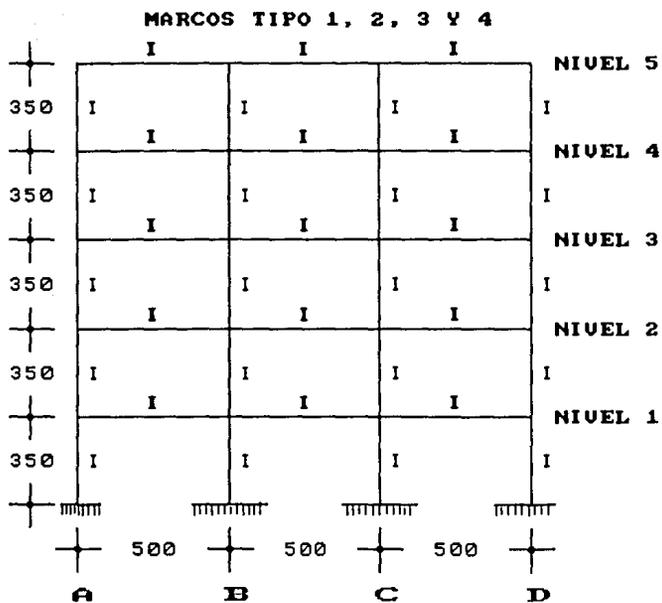


FIG. 3.4 LOCALIZACION DE VIGAS Y COLUMNAS EN LA ESTRUCTURA A.



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
UIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.5 TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA A.



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
UIGA	I	25 X 70 cm

FIG.3.5 (CONT) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA A.

```

*****
ELEMENTO: COLUMNA
*****
PROGRAMA      TIPO      A          Ax          Ay          Ix          Iy          J
              (M2)      (M2)      (M2)      (M4)      (M4)      (M4)
*****
TORSION Y    I      0.16      0.133      0.133      2.130E-03  2.130E-03  3.609E-03
SUPER-ETABS
(TRIDIM.)

SUPER-ETABS  I      0.16      0.133      +      2.130E-03      +      3.609E-03
(PLANOS)

TABS-77      I      0.16      0.133      +      2.130E-03      +      +

```

Notas:

+ El programa no lo considera

Tabla 3.1. Propiedades geométricas de columnas. Estructura A

```

*****
ELEMENTO: TRABES
*****
PROGRAMA      TIPO      Ax          Ix          J
              (M2)      (M4)      (M4)
*****
TORSION Y    I      0.1458      7.145E-03  2.848E-03
SUPER-ETABS
(TRIDIM.)

SUPER-ETABS  I      0.1458      7.145E-03  2.848E-03
(PLANOS)

TABS-77      I      0.1458      7.145E-03      +

```

Notas:

+ El programa no lo considera

Tabla 3.1. (cont.) Propiedades geométricas de trabes. Estructura A.

```

*****
NIVEL      Fi      Vi
          (TON)   (TON)
*****
          5      60      60
          4      48     108
          3      36     144
          2      24     168
          1      12     180
*****

```

Tabla 3.2. Fuerzas sismicas estáticas.
Estructura A

```

*****
MODO      TABS-77    SUPER-ETABS    SUPER-ETABS    DIRECCION
          (PLANOS)    (TRIDIM.)    COMPONENTE
          PRINCIPAL
*****
          1      0.9721      0.9729      0.9721      X
          2      0.9721      0.9729      0.9721      Y
          3      0.7530      0.7340      0.7380      e
          4      0.3222      0.3224      0.3222      X
          5      0.3222      0.3224      0.3222      Y
          6      0.2496      0.2455      0.2453      e
          7      0.1925      0.1926      0.1925      X
          8      0.1925      0.1926      0.1925      Y
          9      0.1491      0.1470      0.1476      e
*****

```

Tabla 3.3. Periodos de vibración (seg) sin torsión.
Estructura A

```

*****
PROGRAMA      NIVEL      X          Y          θ
                (cm)      (cm)      (rad x E-3)
*****
TORSION       5          7.16      0.00      0.00
Y             4          6.43      0.00      0.00
SUPER-ETABS   3          5.17      0.00      0.00
TRIDIMENSIONAL 2          3.51      0.00      0.00
              1          1.61      0.00      0.00

SUPER-ETABS   5          7.17      0.00      0.00
PLANOS        4          6.44      0.00      0.00
              3          5.18      0.00      0.00
              2          3.52      0.00      0.00
              1          1.62      0.00      0.00

TABS77        5          7.16      0.00      0.00
PLANOS        4          6.43      0.00      0.00
              3          5.17      0.00      0.00
              2          3.51      0.00      0.00
              1          1.62      0.00      0.00
*****

```

Tabla 3.4. Desplazamientos laterales estáticos.
 Sismo en dirección X. Estructura A.
 Sin considerar excentricidad de diseño.

PROGRAMA	NO.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)
TORSION	1	1	A	-20.49	-10.13	-34.69	0.00
Y			B	-14.97			
SUPER-ETABS							
TRIDIMENSIONAL		3	A	-12.15	-7.18	-14.48	0.00
			B	-12.98			
		5	A	-4.15	-2.78	-1.79	0.00
			B	-5.58			
	3	1	A	-20.49	-10.13	-34.69	0.00
			B	-14.97			
		3	A	-12.15	-7.18	-14.48	0.00
			B	-12.98			
		5	A	-4.15	-2.78	-1.79	0.00
			B	-5.58			
	4	1	A	-20.49	-10.13	-34.69	0.00
			B	-14.97			
		3	A	-12.15	-7.18	-14.48	0.00
			B	-12.98			
		5	A	-4.15	-2.78	-1.79	0.00
			B	-5.58			
	6	1	A	-23.05	-12.37	6.00	0.00
			B	-20.24			
		3	A	-18.70	-10.82	1.19	0.00
			B	-19.18			
		5	A	-7.79	-4.72	-0.34	0.00
			B	-8.74			
	8	1	A	-23.05	-12.37	6.00	0.00
			B	-20.24			
		3	A	-18.70	-10.82	1.19	0.00
			B	-19.18			
		5	A	-7.79	-4.72	-0.34	0.00
			B	-8.74			

Mf.- Momento flexionante V.- Fuerza cortante
N.- Fuerza normal Mt.- Momento torsionante
tm.- Toneladas metro t.- Toneladas
+.- No lo calcula el programa A.- Extremo inferior
B.- Extremo superior

Tabla 3.5. Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X. Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura A.

PROGRAMA	NO.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)
TABS-77	1	1	A	-20.49	-10.13	-34.69	0.00
PLANOS			B	-14.97			
		3	A	-12.15	-7.18	-14.48	*
			B	-12.98			
		5	A	-4.15	-2.78	-1.79	*
			B	-5.58			
	3	1	A	-20.49	-10.13	-34.69	0.00
			B	-14.97			
		3	A	-12.15	-7.18	-14.48	*
			B	-12.98			
		5	A	-4.15	-2.78	-1.79	*
			B	-5.58			
	4	1	A	-20.49	-10.13	-34.69	0.00
			B	-14.97			
		3	A	-12.15	-7.18	-14.48	*
			B	-12.98			
		5	A	-4.15	-2.78	-1.79	*
			B	-5.58			
	6	1	A	-23.05	-12.37	6.00	0.00
			B	-20.24			
		3	A	-18.70	-10.82	1.19	0.00
			B	-19.18			
		5	A	-7.79	-4.72	-0.34	0.00
			B	-8.74			
	8	1	A	-23.05	-12.37	6.00	0.00
			B	-20.24			
		3	A	-18.70	-10.82	1.19	0.00
			B	-19.18			
		5	A	-7.79	-4.72	-0.34	0.00
			B	-8.74			

Mf.- Momento flexionante

N.- Fuerza normal

tm.- Toneladas metro

+.- No lo calcula el programa

B.- Extremo superior

V.- Fuerza cortante

Mt.- Momento torsionante

t.- Toneladas

A.- Extremo inferior

Tabla 3.5. Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
(cont.) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura A.


```

*****
PISO  ENTREPISO      XT      YT      XT      YT
          (M)      (M)      (M)      (M)
*****

```

PISO	ENTREPISO	XT (M)	YT (M)	XT (M)	YT (M)
1	1	7.5	7.5	7.5	7.5
2	2	7.5	7.5	7.5	7.5
3	3	7.5	7.5	7.5	7.5
4	4	7.5	7.5	7.5	7.5
5	5	7.5	7.5	7.5	7.5

Notas:

- 1) Las coordenadas de los centros de torsión están referenciadas a ejes globales

Tabla 3.7. Centros de torsion (programa TORSION) Estructura A.

```

*****
PROGRAMA: TABS-77,SUPER-ETABS (plano y tridimensional)
*****
M A R C O

```

ENTREPISO	A	B	C	D
5	15.0	15.0	15.0	15.0
4	27.0	27.0	27.0	27.0
3	36.0	36.0	36.0	36.0
2	42.0	42.0	42.0	42.0
1	45.0	45.0	45.0	45.0

Notas:

- 1) Los cortantes estfn dados en Toneladas

Tabla 3.8. Cortantes de entrepiso obtenidos con análisis traslacional puro. Estructura A

```

*****
TORSION      SUPER-ETABS      SUPER-ETABS      TABS-77
              (TRIDIM.)        (PLANOS)
*****
NIVEL  XT      YT      XT      YT      XT      YT      XT      YT
*****
5      7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5
4      7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5
3      7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5
2      7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5
1      7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5    7.5
*****

```

Notas:

- 1) Las coordenadas del centro de torsión, para todos los programas, son medidas a partir del origen de los ejes globales (X,Y)
- 2) Las coordenadas del centro de torsión del programa TORSION, se tomaron directamente del listado de resultados.
- 3) Los valores de las coordenadas están dadas en metros

Tabla 3.9. Tabla comparativa de los centros de torsión. (nivel de piso). Estructura A.

```

*****
ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X
*****
NIVEL  TABS-77      SUPER-ETABS      SUPER-ETABS
              (PLANOS)        (TRIDIM.)
*****
5      0.0          0.0          0.0
4      0.0          0.0          0.0
3      0.0          0.0          0.0
2      0.0          0.0          0.0
1      0.0          0.0          0.0
*****

```

Notas:

- 1) Para cuando el sismo actúa en dirección Y, la excentricidad estática vale también cero, ya que el centro de masa coincide con el centro de torsión en esa dirección
- 2) Las coordenadas del centro de masa son:
 $X_{cm} = 7.5m$ $Y_{cm} = 7.5m$
- 3) El valor de las excentricidades está dado en metros.

Tabla 3.10. Tabla comparativa de excentricidades estáticas

```

*****
ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X
*****
          TABS-77          SUPER-ETABS          SUPER-ETABS
                          (PLANOS)          (TRIDIM.)
*****
NIVEL    Ed1      Ed2      Ed1      Ed2      Ed1      Ed2
*****
5         1.5     -1.5     1.5     -1.5     1.5     -1.5
4         1.5     -1.5     1.5     -1.5     1.5     -1.5
3         1.5     -1.5     1.5     -1.5     1.5     -1.5
2         1.5     -1.5     1.5     -1.5     1.5     -1.5
1         1.5     -1.5     1.5     -1.5     1.5     -1.5
*****

```

Notas:

- 1) Debido a que en la dirección Y no hay excentricidad estática, para los tres programas y todos los niveles: Ed1= 1.5m Ed2= -1.5m
- 2) Todos los valores están dados en metros.

Tabla 3.11. Tabla comparativa de excentricidades de diseño, Estructura A.

```

*****
          TABS-77          SUPER-ETABS          SUPER-ETABS
                          (PLANOS)          (TRIDIM.)
*****
NIVEL    Xcm      Ycm      Xcm      Ycm      Xcm      Ycm
*****
5         6.0     6.0     6.0     6.0     6.0     6.0
4         6.0     6.0     6.0     6.0     6.0     6.0
3         6.0     6.0     6.0     6.0     6.0     6.0
2         6.0     6.0     6.0     6.0     6.0     6.0
1         6.0     6.0     6.0     6.0     6.0     6.0
*****

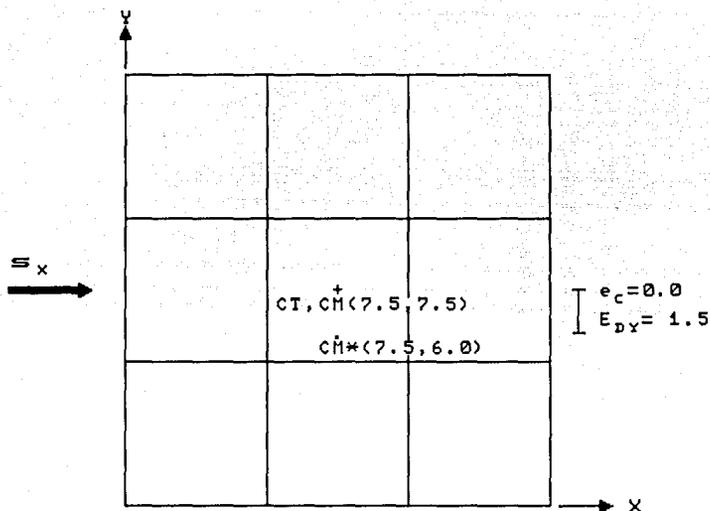
```

Notas:

- 1) Todos los valores están dados en metros.
- 2) Las coordenadas están referenciadas a ejes globales

Tabla 3.12. Tabla comparativa de centros de masa modificados, Estructura A.

NIVEL DE PISO 5



CM.- Centro de masa

CT.- Centro de torsión

CM*.- Centro de masa modificado

E_{DY} .- Excentricidad de diseño

e_c .- Excentricidad calculada o estática.

Notas:

- Acotaciones en metros.
- Se considera solo análisis en la dirección X.
- Se considera una sola opción de E_D .
- Los valores representados corresponden a los obtenidos con el programa SUPER-ETABS (tridimensional)

FIG. 3.6. PROPIEDADES DE LA "ESTRUCTURA A" A NIVEL DE PISO, CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS EFECTOS DE LA TORSION SEGUN EL RDF-87.

```

*****
MODO      TABS-77      SUPER-ETABS    SUPER-ETABS    DIRECCION
          (PLANOS)    (TRIDIM.)     COMPONENTE
*****
          PRINCIPAL
1         1.140      1.143         1.139         X
2         0.972      0.981         0.975         Y
3         0.563      0.593         0.579         O
4         0.432      0.425         0.432         X
5         0.292      0.293         0.295         Y
6         0.274      0.274         0.276         Y
7         0.191      0.189         0.191         O
8         0.152      0.148         0.152         Y
9         0.139      0.139         0.141         O
*****

```

Tabla 3.13 Periodos de vibración (seg) con torsión.
Estructura A.

```

*****
PROGRAMA  NIVEL      X           Y           O
          (cm)    (cm)    (rad x E-3)
*****
TORSION   5         8.39      -1.23      1.64
Y         4         7.54      -1.11      1.48
SUPER-ETABS 3         6.07      -0.89      1.19
TRIDIMENSIONAL 2         4.13      -0.61      0.81
          1         1.90      -0.28      0.38

SUPER-ETABS 5         8.31      -1.21      1.63
PLANOS    4         7.51      -1.10      1.47
          3         6.03      -0.87      1.17
          2         4.11      -0.59      0.80
          1         1.89      -0.27      0.38

TABS77    5         8.45      -1.28      1.72
PLANOS    4         7.59      -1.16      1.54
          3         6.10      -0.93      1.24
          2         4.15      -0.63      0.84
          1         1.91      -0.29      0.39
*****

```

Tabla 3.14 Desplazamientos laterales estáticos.
Sismo en dirección X. Estructura A.
Considerando excentricidad de diseño.

 P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION Y SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)

13	1	A	0.12	34.64	0.13	34.71	*	34.80
		B		27.19		27.25		27.30
	3	A	0.09	25.45	0.10	25.50	*	25.55
		B		19.87		19.91		19.95
	5	A	0.03	6.56	0.03	6.57	*	6.58
		B		4.00		4.00		4.00

17	1	A	0.06	20.26	0.05	20.29	*	20.31
		B		20.26		20.29		20.31
	3	A	0.05	17.14	0.05	17.19	*	17.21
		B		17.14		17.19		17.21
	5	A	0.02	5.63	0.02	5.65	*	5.67
		B		5.63		5.65		5.67

22	1	A	0.12	24.34	0.11	24.30	*	24.18
		B		19.08		19.03		18.97
	3	A	0.09	17.87	0.09	17.80	*	17.76
		B		13.94		13.90		13.86
	5	A	0.03	4.60	0.03	4.59	*	4.57
		B		2.78		2.78		2.78

23	1	A	0.13	15.80	0.12	15.75	*	15.71
		B		15.80		15.75		15.71
	3	A	0.10	13.39	0.10	13.35	*	13.31
		B		13.39		13.35		13.31
	5	A	0.04	4.41	0.04	4.40	*	4.38
		B		4.41		4.40		4.38

tm.- Toneladas metro					Mt.- Momento torsionante			
+ .- No lo calcula el program					Mf.- Momento flexionante			
B .- Extremo superior					A .- Extremo inferior			

Tabla 3.16. Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X.
 Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura A.

NIVEL	X (cm) sin ed	X (cm) con ed	% INCREMENTO

5	7.16	8.39	17.18
4	6.43	7.54	17.26
3	5.17	6.07	17.41
2	3.51	4.13	17.66
1	1.62	1.90	17.28

Tabla 3.17. Tabla comparativa de desplazamientos Sismo en dirección X. Estructura A.

```

*****
No.  PISO EXT.      Mf          V          N          Mt
COL      ed=0      ed=1      ed=0      ed=1      ed=0      ed=1      ed=0      ed=1
*****
1     1     A    -20.49   -24.12   -10.13   -11.93   -34.69   -34.69    0.00    -0.26
      B    -14.97   -17.65
      3     A    -12.15   -14.31   -7.18    -8.46   -14.48   -14.48    0.00    -0.26
      B    -12.98   -15.3
      5     A    -4.15    -4.87    -2.78    -3.28   -1.79    -1.79    0.00    -0.26
      B    -5.58    -6.57
*****
6     1     A    -23.05   -24.4    -12.37   -13.06    6.00     6.00     0.00    -0.26
      B    -20.24   -21.42
      3     A    -18.70   -19.76   -10.82   -11.43    1.19     1.19     0.00    -0.26
      B    -19.18   -20.26
      5     A    -7.79    -8.23    -4.72    -4.98    -0.34    -0.34     0.00    -0.26
      B    -8.74    -9.23
*****

```

Notas:

- ed=0 : sin considerar la excentricidad de diseño
- ed=1 : considerando la excentricidad de diseño
- Mf : Momento flexionante en Ton-m
- V : Fuerza cortante en Ton
- Mt : Momento Torsionante en Ton-m

Tabla 3.17. (cont.) Tabla comparativa de elementos mecánicos en columnas. Estructura A.

III.7.2. ESTRUCTURA B.

III.7.2.1. CARACTERISTICAS.

Esta estructura tiene planta simétrica, igual que la estructura A, sin embargo, se cambian las características de rigidez del marco A, en donde las columnas son más robustas; esto, con el fin de introducir la excentricidad cuando el sismo actúa en la dirección X (ver fig. 3.7).

III.7.2.2. UBICACION DE TRABES Y COLUMNAS, TIPOS DE MARCOS Y PROPIEDADES GEOMETRICAS.

La ubicación de trabes y columnas se muestran en las fig. 3.8. y los tipos de marcos en la fig. 3.9

Las propiedades geométricas se muestran en la tabla 3.18.

III.7.2.3. FUERZAS SISMICAS.

Las fuerzas sísmicas usadas son las mostradas en la tabla 3.19 y se obtuvieron por medio de un método estático.

III.7.2.4. PERIODOS.

Con el objeto de comprobar la similitud entre los modelos empleados en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS, se comparan los periodos, sin incluir la torsión según el RDF-87 (ver tabla 3.20).

III.7.2.5. RESPUESTAS DE UN ANALISIS SISMICO ESTATICO SIN CONSIDERAR LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

Estos análisis se realizaron para observar y comparar los resultados que arroja cada programa, sin considerar la torsión según el reglamento.

III.7.2.5.1. DESPLAZAMIENTOS.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.21.

III.7.2.5.2. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

En la tabla 3.22 se muestran los elementos mecánicos en columnas considerando el sismo en dirección X, sin incluir la excentricidad de diseño.

III.7.2.5.3. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Estos resultados se obtienen de un análisis considerando la acción del sismo actuando en dirección X. Se muestran en la tabla 3.23.

III.7.2.5.4. COMENTARIOS.

1) Como puede observarse, en un análisis sin incluir la e_d , los valores arrojados por los tres programas son muy similares entre sí; para cuestiones prácticas son iguales. Las variaciones que se observan entre los programas que emplean un modelo de marco tridimensional y los que emplean

los marcos planos acoplados se deben justamente a la manera de ensamblar la matriz de rigidez de la estructura.

De las tablas comparativas se puede concluir que el uso de cualquier programa arroja resultados "confiables", al menos para este tipo de estructuras.

2) El hecho de introducir una excentricidad en el sentido del sismo desvia muy poco los resultados, por lo que los cuatro programas consideran los efectos de la torsión generada, de manera semejante.

3) Las diferencias en el programa TORSION y el programa SUPER-ETABS "tridimensional" son nulas, para todos los elementos mecánicos de cualquier miembro.

4) Las diferencias que existen entre los programas que se modelan con base en marcos planos (SUPER-ETABS y TABS-77) con los programas de modelado tridimensional oscilan, en general, entre 1 y 3 % para todos los miembros en cualquier elemento mecánico. Dichas diferencias prácticamente son despreciables.

5) Se concluye que en esta estructura el uso de cualquier programa para un análisis estático sin tomar la e_d , prácticamente es indistinto y el uso de uno u otro dependerá de otros factores tales como facilidad de entrada de datos, disponibilidad de equipo de cómputo, etc.

III.7.2.6. CONSIDERACION DE LAS ESPECIFICACIONES PARA TORSION SEGUN EL RDF-87. ESTRUCTURA B.

Como se comentó en III.6.2., para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunos "artificios" para conocer la posición del centro de torsión y poder considerar después el incremento de la excentricidad de diseño según el RDF-87.

III.7.2.6.1. OBTENCION DEL CENTRO DE TORSION. ESTRUCTURA B.

En la tabla 3.24 se muestran los resultados obtenidos directamente de los listados del programa TORSION.

A continuación se presentan los diversos pasos para calcular el centro de torsión e incluir en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS los efectos de la excentricidad de diseño según lo especifica el RDF-87.

a) Cortantes de entrepiso de los marcos, obtenidos con análisis traslacional puro (ver tabla 3.25).

b) Centros de torsión obtenidos a partir del análisis traslacional puro con los programas TABS-77 y SUPER-ETABS.

Al utilizar las ecuaciones siguientes:

$$X_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} X_i - \sum_{j=1}^n P_j X_{Tj})}{P_r}$$

$$Y_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i - \sum_{j=1}^n P_j Y_{Tj})}{P_r}$$

donde:

X_{Tr}, Y_{Tr} .- Coordenas del centro de torsión a nivel de piso.

$V_{i,r}$.- Cortantes en los elementos resistentes i (marcos) del nivel r .

X_i, Y_i .- Coordenadas de los elementos resistentes.

y sustituyendo valores en la tabla de cortantes de entrepiso, se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.26.

c) Consideración de las especificaciones del RDF-87.

Para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunas modificaciones a los datos de entrada. Para el programa TORSION sólo se debe activar una opción implícita del mismo.

c.1.) Cálculo de la excentricidad estática.

$$e_c = CM - CT$$

(ver tabla 3.27.)

c.2.) Cálculo de la excentricidad de diseño.

Para considerar la excentricidad de diseño:

$$E_{d1} = 1.5 e_c + 0.1 b$$

$$E_{d2} = e_c - 0.1 b$$

Se hicieron los cálculos necesarios, y los resultados se muestran en la tabla 3.28.

c.3.) Modificación del centro de masa.

Para poder tomar en cuenta, en el análisis, la excentricidad de diseño calculada anteriormente en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario modificar la

posición del centro de masa en los datos de entrada del programa.

De acuerdo con las expresiones:

$$X_{cm} = X_{CT} + E_{dx}$$

$$Y_{cm} = Y_{CT} + E_{dy}$$

se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.29. para la opción 1.

Ver figura 3.10. para el caso del nivel 1.

Como se observa en la tabla de excentricidades de diseño, existen centros de masa cuya localización se sale de los límites de la planta del edificio lo que no representa problema alguno en la entrada de datos.

Los resultados de los análisis correspondientes se muestran a continuación. Sólo se considera la opción para E_{dx1} a manera de ejemplo.

III.7.2.6.2. PERIODOS.

Ver tabla 3.30

III.7.2.6.3. DESPLAZAMIENTOS.

Los resultados se muestran en la tabla 3.31

III.7.2.6.4. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

Los resultados que muestra la tabla 3.32. es considerando la acción del sismo en dirección X de la estructura B.

III.7.2.6.5. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.33.

III.7.2.6.6. COMENTARIOS.

Análisis con la excentricidad de diseño, según el RDF-87.

Del análisis de los resultados se puede decir lo siguiente:

- 1) En cuanto a la obtención del centro de torsión con programas tales como el TABS-77 y SUPER-ETABS se observa que, tomando como referencia los resultados del programa TORSION, no existen diferencias apreciables entre ellos; las variaciones son por centésimas y pueden deberse al manejo de aproximaciones, por lo que se puede afirmar que la obtención del centro de torsión mediante la metodología propuesta en III.6.2 y basada en el método de Stafford-Vezina, es válida para obtener las coordenadas de dicho centro en una estructura de las características de la estudiada. Con esto, se supera una de las limitaciones que tienen los programas TABS-77 y

SUPER-ETABS, que es precisamente el hecho de no emitir información respecto a la ubicación de dicho centro.

2) En relación a los análisis realizados considerando la excentricidad de diseño, se observa lo siguiente:

a) Desplazamientos de piso.- Los resultados del TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional) son los mismos. Las diferencias de estos con los otros programas son: 2 y 4 % para el SUPER-ETABS (planos) y para el TABS-77 respectivamente en los desplazamientos en X; 3 y 7 % para el SUPER-ETABS (planos) y TABS-77 respectivamente en los desplazamientos en Y y de 4 y 7 % en las rotaciones. Las diferencias son prácticamente despreciables. Cabe destacar que los valores más altos los da el TABS-77, siguiendo el TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional); el SUPER-ETABS (planos) da los valores más bajos.

b) Elementos mecánicos en columnas.- Los resultados de los programas TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional) son iguales. El SUPER-ETABS (planos) presenta diferencias, con relación a los programas anteriores, que oscilan entre 0 y 4 %, en general para cualquier elemento mecánico de los comparados. Las diferencias mayores son notables en las columnas de esquina. El TABS-77 presenta diferencias, con respecto al TORSION, que oscilan entre 2 y 7 % para cualquier elemento mecánico de los estudiados. Las mayores diferencias se presentan en las columnas de esquina y de borde.

c) Elementos mecánicos en trabes.- El TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional) no presentan diferencias en sus resultados. El SUPER-ETABS (planos) presenta diferencias que van del 1 al 4 % en los momentos flexionantes y hasta del 100 % en los momentos torsionantes (aunque en este caso, los valores son pequeños como se observan en las tablas) para trabes en dirección del sismo. El TABS-77 presenta diferencias que varían ligeramente de las presentadas por el SUPER-ETABS (planos) en un 1 y 2 %.

d) Como se observa, las diferencias son prácticamente despreciables por lo que puede afirmarse que el procedimiento usado para considerar la excentricidad de diseño en el TABS-77 y SUPER-ETABS es válido para estructuras con las características de la mostrada, sobre todo si se modela en forma tridimensional en el caso del programa SUPER-ETABS.

III.7.2.7. COMPARACION DE RESULTADOS CON Y SIN e_d .

Ver tabla 3.34. Los comentarios al respecto, se realizan en el capítulo VII.

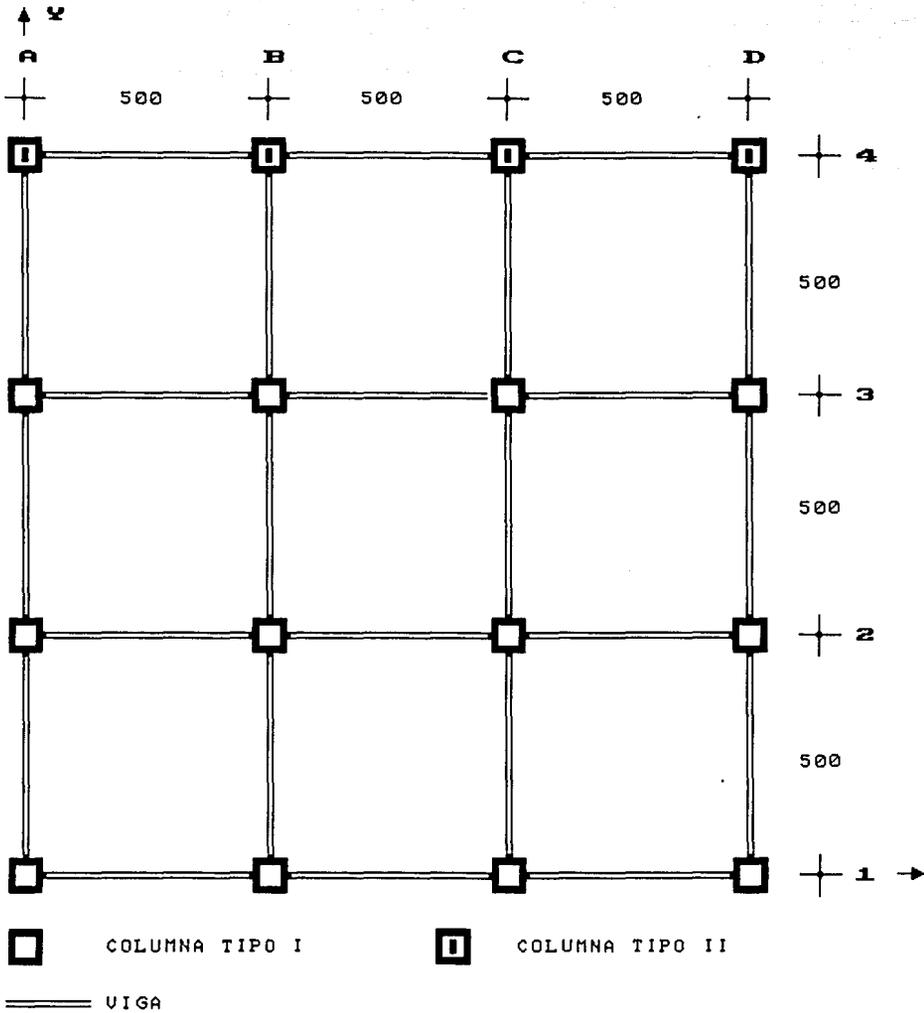


FIG. 3.7. UBICACION DE MARCOS EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA B.

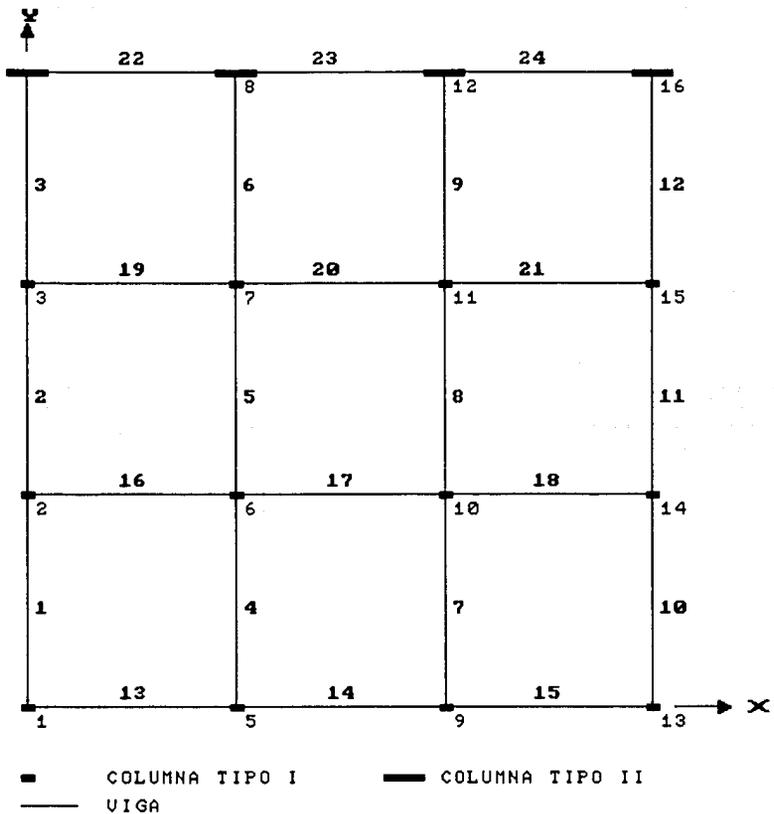
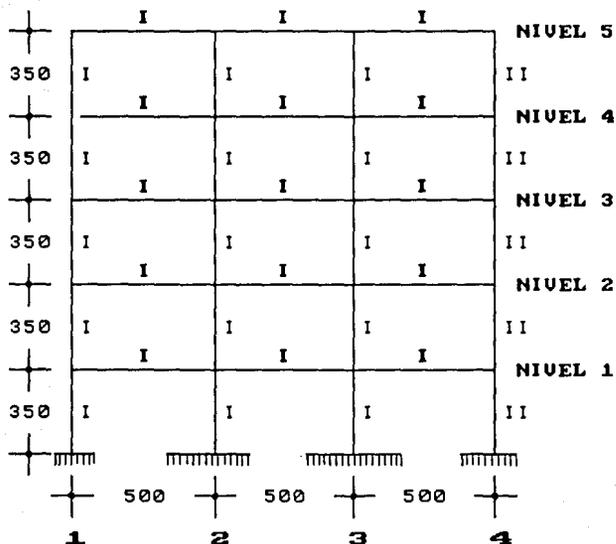


FIG. 3.8 LOCALIZACION DE VIGAS Y COLUMNAS EN LA ESTRUCTURA B.

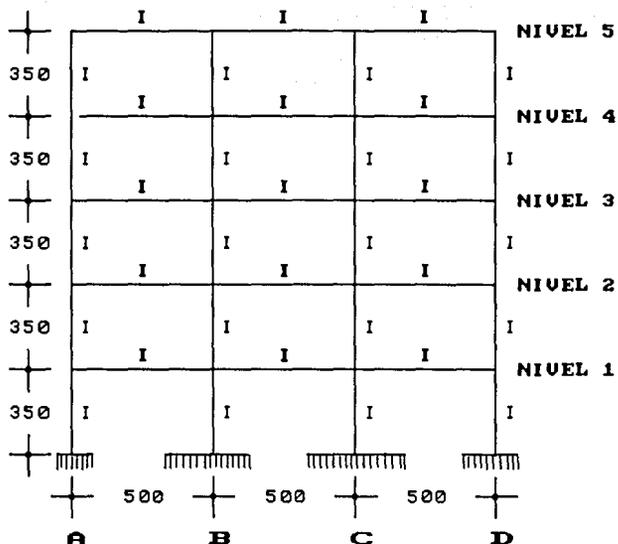
MARCOS TIPO A, B, C Y D



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
COLUMNA	II	80 X 80 cm
UIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.9 TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA B.

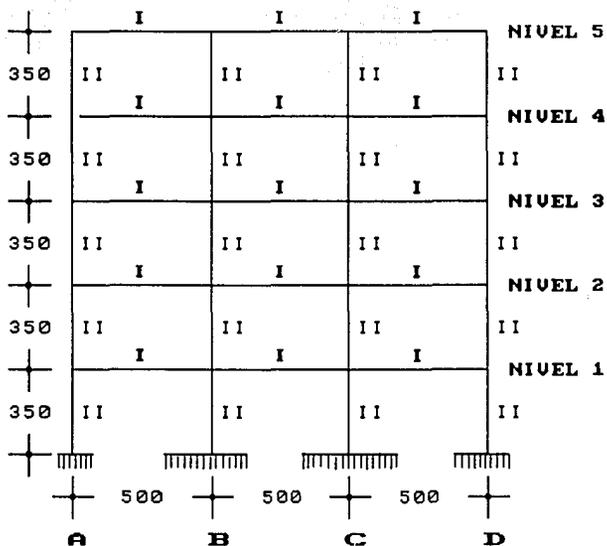
MARCOS TIPO 1, 2, Y 3



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
UIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.9. (CONT.) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA B.

MARCOS TIPO 4



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	80 X 80 cm
VIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.9.(CONT) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA B.

```

*****
ELEMENTO: COLUMNA
*****
PROGRAMA      TIPO      A      Ax      Ay      Ix      Iy      J
              (M2)      (M2)      (M2)      (M4)      (M4)      (M4)
*****
TORSION Y    I      0.16   0.133   0.133   2.130E-03  2.130E-03  3.609E-03
SUPER-ETABS  (TRIDIM.) II     0.064  0.533   0.533   0.00341   0.00341   0.05775

SUPER-ETABS  I      0.16   0.133   +      2.130E-03  +      3.609E-03
(PLANOS)     II     0.064  0.533   +      0.00341   +      0.05775

TABS-77      I      0.16   0.133   +      2.130E-03  +      +
              II     0.064  0.533   +      0.00341   +      +
*****

```

Notas:

+ El programa no lo considera

Tabla 3.18. Propiedades geométricas de columnas. Estructura B

```

*****
ELEMENTO: TRABES
*****
PROGRAMA      TIPO      Ax      Ix      J
              (M2)      (M4)      (M4)
*****
TORSION Y    I      0.1458  7.145E-03  2.848E-03
SUPER-ETABS  (TRIDIM.)

SUPER-ETABS  I      0.1458  7.145E-03  2.848E-03
(PLANOS)

TABS-77      I      0.1458  7.145E-03  +
*****

```

Notas:

+ El programa no lo considera

Tabla 3.18 (cont.) Propiedades geométricas de trabes. Estructura B.

```

*****
NIVEL          Fi          Vi
              (TON)       (TON)
*****
          5          60          60
          4          48          108
          3          36          144
          2          24          168
          1          12          180
*****

```

Tabla 3.19. Fuerzas sísmicas estáticas.
Estructura B.

```

*****
MODO   TABS-77   SUPER-ETABS   SUPER-ETABS   DIRECCION
              (PLANOS)   (TRIDIM.)     COMPONENTE
              (PLANOS)   (TRIDIM.)     PRINCIPAL
*****
          1     0.8540     0.8390     0.8430     X
          2     0.8160     0.8160     0.8160     Y
          3     0.5350     0.5150     0.5210     0
          4     0.2750     0.2700     0.2720     X
          5     0.2510     0.2510     0.2510     Y
          6     0.1590     0.1560     0.1570     0
          7     0.1560     0.1520     0.1530     X
          8     0.1290     0.1290     0.1290     Y
          9     0.1070     0.1060     0.1060     X
*****

```

Tabla 3.20. Periodos de vibración (seg) sin torsión.
Estructura B.

```

*****
PROGRAMA      NIVEL      X          Y          θ
                (cm)      (cm)      (rad x E-3)
*****
TORSION       5          6.43      -1.41      1.88
Y             4          5.73      -1.30      1.73
SUPER-ETABS   3          4.56      -1.07      1.42
TRIDIMENSIONAL 2          3.02      -0.75      1.01
              1          1.26      -0.35      0.46

SUPER-ETABS   5          6.38      -1.36      1.82
PLANOS        4          5.67      -1.25      1.67
              3          4.51      -1.03      1.38
              2          2.98      -0.72      0.97
              1          1.25      -0.34      0.45

TABS77        5          6.60      -1.52      1.92
PLANOS        4          5.87      -1.39      1.71
              3          4.67      -1.14      1.53
              2          3.08      -0.79      1.06
              1          1.29      -0.37      0.49
*****

```

Tabla 3.21. Desplazamientos laterales estáticos.
 Sismo en dirección X. Estructura B.
 Sin considerar excentricidad de diseño.

P R O G R A M A S

TORSION Y SUPER-ETABS PLANOS
 SUPER-ETABS PLANOS
 TRIDIMENSIONAL TABS77 PLANOS

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)

13	1	A	0.15	25.08	0.16	24.78	+	25.62
		B		19.71		19.46		20.12
	3	A	0.10	20.19	0.12	19.94	+	20.64
		B		15.78		15.58		16.13
	5	A	0.03	5.55	0.04	5.50	+	5.69
		B		3.43		3.39		3.51

17	1	A	0.08	13.70	0.09	13.85	+	13.91
		B		13.70		13.84		13.91
	3	A	0.06	13.06	0.07	13.03	+	13.29
		B		13.06		13.03		13.29
	5	A	0.00	4.53	0.00	4.55	+	4.63
		B		4.53		4.55		4.63

22	1	A	0.31	28.17	0.32	28.59	+	27.85
		B		27.29		27.71		26.98
	3	A	0.18	26.47	0.18	26.92	+	26.11
		B		25.72		26.16		25.38
	5	A	0.06	11.67	0.07	11.90	+	11.53
		B		10.98		11.21		10.86

23	1	A	0.31	26.91	0.32	27.31	+	26.60
		B		26.91		27.31		26.60
	3	A	0.19	25.98	0.20	26.40	+	25.61
		B		25.98		26.40		25.61
	5	A	0.06	11.45	0.07	11.64	+	11.28
		B		11.45		11.64		11.28

tm.- Toneladas metro
 +.- No lo calcula el program
 B.- Extremo superior

Mt.- Momento torsionante
 Mf.- Momento flexionante
 A.- Extremo inferior

Tabla 3.23 Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X. Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura B.

P R O G R A M A S

NO.	NIVEL	EXTREMO	TORSION Y SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)
1	1	A	0.15	-6.38	0.16	-6.16	+	-6.75
		B		-5.10		-4.91		-5.38
	3	A	0.25	-4.09	-0.28	-3.86	+	-4.39
		B		-3.21		-3.01		-3.42
	5	A	0.03	-0.89	0.03	-0.82	+	-0.97
		B		-0.49		-0.42		-0.51
3	1	A	0.25	-6.86	0.26	-6.43	+	-7.04
		B		-11.59		-10.93		-11.95
	3	A	0.25	-4.45	0.26	-3.88	+	-4.40
		B		-7.22		-6.40		-7.28
	5	A	0.16	-1.06	0.18	-0.69	+	-0.84
		B		-2.24		-1.70		-2.03
5	1	A	0.08	-1.30	0.09	-1.26	*	-1.38
		B		-1.14		-1.08		-1.19
	3	A	0.06	-1.01	0.07	-0.98	*	-1.11
		B		-0.95		-0.89		-1.02
	5	A	0.02	-0.32	0.02	-0.32	*	-0.34
		B		-0.32		-0.32		-0.34
6	1	A	0.47	-2.14	0.50	-2.14	*	-2.34
		B		-3.68		-3.67		-3.98
	3	A	0.45	-1.19	0.50	-1.29	*	-1.47
		B		-2.03		-2.13		-2.43
	5	A	0.24	-0.10	0.30	-0.23	*	0.30
		B		-0.40		-0.56		-0.65

tm.- Toneladas metro
 +.- No lo calcula el program
 B.- Extremo superior

Mt.- Momento torsionante
 Mf.- Momento flexionante
 A.- Extremo inferior

Tabla 3.23 Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X.
 (cont) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura B.

```

*****
PISO  ENTREPISO  XT      YT      XT      YT
          (M)      (M)      (M)      (M)
*****

```

PISO	ENTREPISO	XT (M)	YT (M)	XT (M)	YT (M)
1	1	7.5	8.85	7.5	8.85
2	2	7.5	10.97	7.5	9.79
3	3	7.5	10.07	7.5	9.86
4	4	7.5	11.89	7.5	10.15
5	5	7.5	35.65	7.5	11.85

Notas:

- 1) Las coordenadas de los centros de torsión están referenciadas a ejes globales

Tabla 3.24. Centros de torsión (programa TORSION) Estructura B.

```

*****
PROGRAMA: TABS-77 y SUPERETABS (PLANO Y TRIDIM.)
*****
M A R C O

```

ENTREPISO	A	B	C	D
5	23.3	12.2	12.2	12.2
4	51.7	18.8	18.8	18.8
3	70.0	24.7	24.7	24.7
2	86.4	27.2	27.2	27.2
1	123.2	18.9	18.9	18.9

Notas:

- 1) Los cortantes están dados en Toneladas

Tabla 3.25. Cortantes de entrepiso obtenidos con análisis traslacional puro. Estructura B.

```

*****
TORSION          SUPER-ETABS          SUPER-ETABS          TABS-77
                  (TRIDIM.)          (PLANOS)
*****
NIVEL  XT        YT        XT        YT        XT        YT        XT        YT
*****
5      7.50     8.85     7.50     8.85     7.50     8.88     7.50     8.85
4      7.50    10.96     7.50    10.96     7.50    10.93     7.50    10.93
3      7.50    10.07     7.50    10.07     7.50    10.07     7.50    10.07
2      7.50    11.89     7.50    11.89     7.50    11.87     7.50    11.86
1      7.50    35.65     7.50    35.65     7.50    35.61     7.50    35.61
*****

```

Notas:

- 1) Las coordenadas del centro de torsión, para todos los programas, son medidas a partir del origen de los ejes globales (X,Y)
- 2) Las coordenadas del centro de torsión del programa TORSION, se tomaron directamente del listado de resultados.
- 3) Los valores de las coordenadas están dadas en metros.

Tabla 3.26. Tabla comparativa de los centros de torsión. (nivel de piso). Estructura B.

```

*****
ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X
*****
NIVEL  TABS-77  SUPER-ETABS  SUPER-ETABS
                  (PLANOS)    (TRIDIM.)
*****
5      -1.38     -1.38        -1.35
4      -3.43     -3.43        -3.46
3      -2.57     -2.57        -2.57
2      -4.36     -4.36        -4.39
1      -28.11    -28.11       -28.15
*****

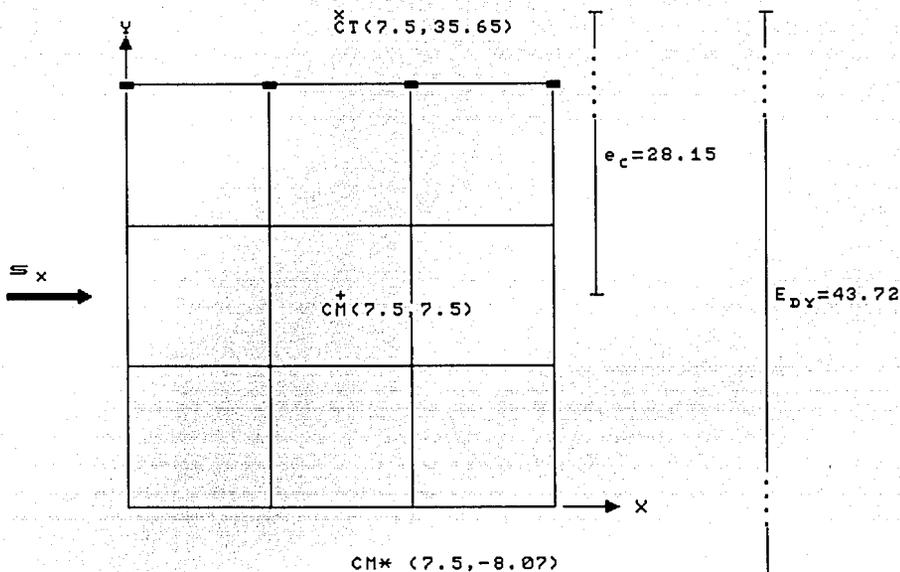
```

Notas:

- 1) Para cuando el sismo actúa en dirección Y, la excentricidad estática vale también cero, ya que el centro de masa coincide con el centro de torsión en esa dirección
- 2) Las coordenadas del centro de masa son:
 $X_{cm} = 7.5m$ $Y_{cm} = 7.5m$
- 3) El valor de las excentricidades está dado en metros.

Tabla 3.27. Tabla comparativa de excentricidades estáticas Estructura B. - 119 -

NIVEL DE PISO 1



- CM.- Centro de masa
 CT.- Centro de torsión
 CM*.- Centro de masa modificado
 e_c .- Excentricidad estática o calculada
 E_{Dx}.- Excentricidad de diseño

Notas:

- Aotaciones en metros.
- Se considera solo análisis en la dirección X.
- Se considera una sola opción de E_D.
- Los valores representados corresponden a los obtenidos con el programa SUPER-ETABS (tridimensional).

FIG. 3.10 PROPIEDADES DE LA "ESTRUCTURA B" A NIVEL DE PISO 1, CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS EFECTOS DE LA TORSION SEGUN EL RDF-87.

MODO	TABS-77	SUPER-ETABS (PLANOS)	SUPER-ETABS (TRIDIM.)	DIRECCION COMPONENTE PRINCIPAL
1	1.040	1.040	1.035	X
2	0.803	0.803	0.813	Y
3	0.436	0.436	0.455	θ
4	0.381	0.381	0.383	X
5	0.251	0.251	0.252	Y
6	0.227	0.227	0.237	Y
7	0.152	0.152	0.154	θ
8	0.122	0.122	0.128	Y
9	0.119	0.119	0.122	θ

Tabla 3.30. Periodos de vibración (seg) con torsión. Estructura B.

PROGRAMA	NIVEL	X (cm)	Y (cm)	θ (rad x E-3)
TORSION	5	8.47	-2.90	3.87
Y	4	7.58	-2.63	3.51
SUPER-ETABS	3	6.07	-2.16	2.86
TRIDIMENSIONAL	2	4.07	-1.48	1.97
	1	1.75	-0.66	0.88
SUPER-ETABS	5	8.36	-2.81	3.75
PLANOS	4	7.46	-2.54	3.39
	3	5.97	-2.07	2.76
	2	3.99	-1.43	1.90
	1	1.72	-0.64	0.86
TABS77	5	8.81	-3.15	4.19
PLANOS	4	7.87	-2.83	3.78
	3	6.29	-2.31	3.07
	2	4.19	-1.56	2.09
	1	1.79	-0.69	0.93

Tabla 3.31 Desplazamientos laterales estáticos. Sismo en dirección X. Estructura B. Considerando la excentricidad de diseño.

PROGRAMA	NO.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)
TORSION	1	1	A	-21.88	-10.70	27.42	0.60
Y			B	-15.57			
SUPER-ETABS							
TRIDIMENSIONAL		3	A	-14.82	-8.79	12.00	0.60
			B	-15.95			
		5	A	-5.38	-3.57	1.60	0.24
			B	-7.09			
	3	1	A	-10.68	-5.17	12.05	0.60
			B	-7.41			
		3	A	-8.24	4.86	6.48	0.60
			B	-8.76			
		5	A	-3.32	2.18	-0.89	0.24
			B	-4.30			
	4	1	A	-55.28	16.65	55.88	9.54
			B	-3.02			
		3	A	-9.65	7.48	25.60	9.66
			B	-16.53			
		5	A	3.19	1.56	4.73	3.87
			B	-8.65			
	6	1	A	-18.47	-9.85	4.50	0.60
			B	-16.00			
		3	A	-17.60	-10.18	1.05	0.60
			B	-18.04			
		5	A	-7.66	4.63	0.21	0.24
			B	-8.55			
	8	1	A	-58.86	19.97	6.64	9.54
			B	-11.05			
		3	A	-20.14	13.37	2.77	9.66
			B	-26.68			
		5	A	-3.55	5.77	0.38	3.87
			B	-16.67			

Mf.- Momento flexionante
N.- Fuerza normal
tm.- Toneladas metro
+.- No lo calcula el programa
B.- Extremo superior

V.- Fuerza cortante
Mt.- Momento torsionante
t.- Toneladas
A.- Extremo inferior

Tabla 3.32 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X. Considerando la excentricidad de diseño. Estructura B.

PROGRAMA	NO. COL.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)
TABS-77	1	1	A	-22.38	-10.91	27.90	+
			B	-15.82			
		3	A	-15.24	-9.04	12.24	+
			B	-16.38			
		5	A	-5.55	-3.68	1.64	+
			B	-7.32			
	3	1	A	-10.75	-5.20	11.50	+
			B	-7.47			
		3	A	-8.22	4.85	6.32	+
			B	-8.74			
		5	A	-3.24	2.12	0.89	+
			B	-4.20			
	4	1	A	-53.43	16.27	55.23	+
			B	-3.51			
		3	A	-9.04	7.10	25.06	+
			B	-15.80			
		5	A	3.16	1.42	4.55	+
			B	-8.15			
	6	1	A	-18.84	-10.04	4.55	+
			B	-16.32			
		3	A	-18.11	-10.48	1.02	+
			B	-18.57			
		5	A	-8.00	4.84	0.22	+
			B	-8.92			
	8	1	A	-56.84	19.42	7.51	+
			B	-11.15			
		3	A	-18.91	12.64	3.25	+
			B	-25.35			
		5	A	-3.14	5.37	0.43	+
			B	-15.65			

Mf.- Momento flexionante
N.- Fuerza normal
tm.- Toneladas metro
+.- No lo calcula el programa
B.- Extremo superior

V.- Fuerza cortante
Mt.- Momento torsionante
t.- Toneladas
A.- Extremo inferior

Tabla 3.32 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
(cont.) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura B.

P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION Y SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)
13	1	A	0.29	33.91	0.32	34.50	*	34.98
		B		26.66		26.73		27.47
	3	A	0.21	26.25	0.36	26.73	*	27.18
		B		20.53		20.38		21.23
	5	A	0.06	7.03	0.10	7.12	*	7.32
		B		4.33		4.38		4.48
17	1	A	0.16	16.77	0.30	16.98	*	17.18
		B		16.77		16.98		17.18
	3	A	0.12	15.23	0.25	15.48	*	15.71
		B		15.23		15.48		15.71
	5	A	0.03	5.16	0.03	5.21	*	5.37
		B		5.16		5.21		5.37
22	1	A	0.60	20.71	1.00	20.00	+	19.92
		B		20.06		20.00		19.30
	3	A	0.39	19.43	0.54	19.08	+	18.52
		B		18.88		18.02		17.99
	5	A	0.14	8.58	0.41	8.43	+	8.16
		B		8.07		7.98		7.68
23	1	A	0.60	19.77	0.80	19.00	+	19.02
		B		19.77		19.00		19.02
	3	A	0.40	19.08	0.56	18.78	+	18.15
		B		19.08		18.78		18.15
	5	A	0.15	8.43	0.32	8.30	+	7.98
		B		8.43		8.30		7.98

tm.- Toneladas metro
 + .- No lo calcula el programa
 B .- Extremo superior

Mt.- Momento torsionante
 Mf.- Momento flexionante
 A .- Extremo inferior

Tabla 3.33 Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X. Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura B.

P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION Y SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)
1	1	A	0.29	-12.44	0.42	-12.00	+	-13.19
		B		-9.44		-9.57		-10.50
	3	A	0.21	-8.74	0.35	-8.25	+	-9.38
		B		-6.84		-6.43		-7.31
	5	A	0.06	-2.15	0.10	-1.96	+	-2.31
		B		-1.22		-1.08		-1.28
3	1	A	0.00	-13.17	0.00	-12.51	+	-13.72
		B		-22.30		-21.24		-23.25
	3	A	0.04	-9.06	0.00	-8.27	+	-9.40
		B		-14.89		-13.68		-15.54
	5	A	0.07	-2.16	0.10	-1.73	+	-2.06
		B		-4.86		-4.14		-4.90
5	1	A	0.16	-2.55	0.25	-2.48	+	-2.73
		B		-2.22		-2.14		-2.36
	3	A	0.13	-2.14	0.34	-2.09	+	-2.37
		B		-1.97		-1.91		-2.17
	5	A	0.05	-0.72	0.10	-0.72	+	-0.83
		B		-0.65		-0.62		-0.71
6	1	A	0.26	-4.24	0.34	-4.17	+	-4.57
		B		-7.23		-7.08		-7.75
	3	A	0.26	-2.71	0.45	-2.76	+	-3.13
		B		-4.54		-4.56		-5.18
	5	A	0.17	-0.46	0.28	-0.58	+	-0.69
		B		-1.22		-1.38		-1.63

tm.- Toneladas metro
 +.- No lo calcula el programa
 B.- Extremo superior

Mt.- Momento torsionante
 Mf.- Momento flexionante
 A.- Extremo inferior

Tabla 3.33 Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X.
 (cont) Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura B.

NIVEL	X (cm) sin ed	X (cm) con ed	% INCREMENTO
5	6.43	8.47	31.73
4	5.73	7.58	32.29
3	4.56	6.07	33.11
2	3.02	4.07	34.77
1	1.26	1.75	38.89

Tabla 3.34. Tabla comparativa de desplazamientos Sismo en dirección X. Estructura B.

```

*****
No.  PISO EXT.      Mf      V      N      Mt
COL      ed=0      ed=1      ed=0      ed=1      ed=0      ed=1      ed=0      ed=1
*****
1      1      A      -15.77      -21.88      -7.68      -10.7      24.85      27.42      0.32      0.60
      B      -11.09      -15.57
      3      A      -11.38      -14.82      -6.74      -8.79      11.14      12.00      0.29      0.60
      B      -12.19      -15.95
      5      A      -4.25      -5.38      -2.85      -3.57      1.52      1.60      0.10      0.24
      B      5.58      7.09
*****
4      1      A      -73.64      -55.28      21.85      16.65      56.78      55.88      5.05      9.54
      B      -2.84      -3.02
      3      A      -12.79      -9.65      10.22      7.48      26.76      25.60      4.58      9.66
      B      -22.98      -16.53
      5      A      4.22      3.19      2.71      1.56      5.19      4.73      1.66      3.87
      B      -11.83      -8.65
*****

```

Notas:

- ed=0 : sin considerar la excentricidad de diseño
- ed=1 : considerando la excentricidad de diseño
- Mf : Momento flexionante en Ton-m
- V : Fuerza cortante en Ton
- Mt : Momento Torsionante en Ton-m

Tabla 3.34. (cont.) Tabla comparativa de elementos mecánicos en columnas. Estructura B.

III.7.3. ESTRUCTURA C.

III.7.3.1. CARACTERISTICAS.

Se trata de la misma estructura tipo B, pero con un muro de concreto adicional sobre el eje 4, entre ejes B-C. El muro de concreto va a todo lo alto de la estructura.

La presentación de datos y resultados es similar a los casos anteriores. Cabe aclarar que para modelar el muro de cortante (incluyendo los patines) se está utilizando el concepto de columna ancha. Sus características se muestran en la figura 3.11.

III.7.3.2. UBICACION DE TRABES Y COLUMNAS, TIPOS DE MARCOS Y PROPIEDADES GEOMETRICAS.

La ubicación de trabes y columnas se muestra en la fig. 3.12. y los tipos de marcos en la fig. 3.13.

Las propiedades geométricas se muestran en la tabla 3.35.

III.7.3.3. FUERZAS SISMICAS.

Las fuerzas sísmicas son similares a las usadas para las dos estructuras anteriores; y son las que se muestran en la tabla 3.36.

III.7.3.4. PERIODOS.

En la tabla 3.37. se muestran los valores de los periodos de vibración obtenidos con los programas TABS-77 y SUPER-ETABS. No se incluye la e_d según el RDF.

III.7.3.5. RESPUESTAS DE UN ANALISIS SISMICO ESTATICO SIN CONSIDERAR LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

Enseguida se muestran algunos resultados obtenidos en la estructura C; no se consideró la influencia de la torsión según lo especifica el RDF-87.

III.7.3.5.1. DESPLAZAMIENTOS.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.38.

III.7.3.5.2. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

En la tabla 3.39. se muestran los elementos mecánicos en columnas considerando el sismo en dirección X, sin incluir la excentricidad de diseño.

III.7.3.5.3. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Estos resultados se obtienen de un análisis considerando la acción del sismo actuando en dirección X. Los resultados se muestran en la tabla 3.40.

III.7.3.5.4. COMENTARIOS.

- 1) Los desplazamientos obtenidos son mayores cuando el modelado se realizó con el TABS-77 (planos), presentando un incremento del 6% respecto a los 2 programas restantes.
- 2) Tanto desplazamientos como elementos mecánicos en columnas y trabes de los programas TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional) son exactamente iguales.
- 3) Los elementos mecánicos en columnas son iguales, para fines prácticos, en los tres programas.
- 4) Para los elementos mecánicos en trabes es válido el comentario anterior.
- 5) Se concluye que el uso de un programa u otro es indistinto en cuanto a resultados obtenidos para el caso particular de esta estructura.

III.7.3.6. CONSIDERACION DE LAS ESPECIFICACIONES PARA TORSION SEGUN EL RDF-87. ESTRUCTURA C.

Para tomar en cuenta la torsión según el RDF-87 se debe realizar algunos artificios para conocer la ubicación del centro de torsión (TABS-77 y SUPER-ETABS). A continuación se da la metodología para obtenerlo.

III.7.3.6.1. OBTENCION DEL CENTRO DE TORSION. ESTRUCTURA C.

En la tabla 3.41. se muestran los resultados obtenidos directamente de los listados del programa TORSION.

A continuación se presentan los diversos pasos para calcular el centro de torsión e incluir en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS los efectos de la excentricidad de diseño según lo especifica el RDF-87.

- a) Cortantes de entrepiso de los marcos, obtenidos con análisis traslacional puro (ver tabla 3.42.).
- b) Centros de torsión obtenidos a partir del análisis traslacional puro con los programas TABS-77 y SUPER-ETABS.

Al utilizar las ecuaciones siguientes:

$$X_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} X_i - \sum_{j=1}^n P_j X_{Tj})}{P_r}$$

$$Y_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i - \sum_{j=r+1}^n P_j Y_{Tj})}{P_r}$$

donde:

- X_{Tr}, Y_{Tr} .- Coordenadas del centro de torsión a nivel de piso.
 $V_{i,r}$.- Cortantes en los elementos resistentes i (marcos) del nivel r .
 X_i, Y_i .- Coordenadas de los elementos resistentes.

y sustituyendo valores en la tabla de cortantes de entrepiso, se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.43.

c) Consideración de las especificaciones del RDF-87.

Para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunas modificaciones a los datos de entrada. Para el programa TORSION sólo se debe activar una opción implícita del mismo.

c.1.) Cálculo de la excentricidad estática.

$$e_c = CM - CT$$

(ver tabla 3.44.)

c.2.) Cálculo de la excentricidad de diseño.

Para considerar la excentricidad de diseño:

$$E_{d1} = 1.5 e_c + 0.1 b$$

$$E_{d2} = e_c - 0.1 b$$

Se hicieron los cálculos necesarios, y los resultados se muestran en la tabla 3.45.

c.3.) Modificación del centro de masa.

Para poder tomar en cuenta, en el análisis, la excentricidad de diseño calculada anteriormente en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario modificar la posición del centro de masa en los datos de entrada del programa.

De acuerdo con las expresiones:

$$X_{cm} = X_{CT} + E_{dx}$$

$$Y_{cm} = Y_{CT} + E_{dy}$$

se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.46 para la opción 1.

Ver figura 3.14 para el caso del nivel 1.

Como se observa en la tabla de excentricidades de diseño, existen centros de masa cuya localización se sale de los límites de la planta del edificio lo que no representa problema alguno en la entrada de datos.

Los resultados de los análisis correspondientes se muestran a continuación. Sólo se considera la opción para E_{dx1} a manera de ejemplo.

III.7.3.6.2. PERIODOS.

Ver tabla 3.47

III.7.3.6.3. DESPLAZAMIENTOS.

Los resultados se muestran en la tabla 3.48.

III.7.3.6.4. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

Los resultados que muestra la tabla 3.49 es considerando la acción del sismo en dirección X de la estructura C.

III.7.3.6.5. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.50.

III.7.3.6.6. COMENTARIOS.

Análisis con la excentricidad de diseño, según el RDF-87.

Del análisis de los resultados se puede decir lo siguiente:

1) Con respecto a la obtención del centro de torsión, se observa que los valores obtenidos con el programa SUPER-ETABS (tridimensional) son iguales a los obtenidos del programa TORSION; sin embargo se observan diferencias entre los valores obtenidos con los programas de modelado plano (TABS-77 y SUPER-ETABS).

2) En relación con los análisis realizados considerando la excentricidad de diseño se puede decir:

a) Desplazamientos de piso.- Los mayores desplazamientos se obtienen con el programa TABS-77 con un incremento del 7% respecto a los programas restantes. Los valores obtenidos con los programas TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional) son idénticos. A pesar de las diferencias encontradas en los valores de las excentricidades de diseño de los programas TABS-77 y SUPER-ETABS (planos) con los programas modelados de manera tridimensional, se observa que su influencia no es significativa al momento de obtener resultados.

b) Elementos mecánicos en columnas.- Reforzando la última acotación del comentario anterior, se observa que los

resultados de los diferentes programas no presentan desviaciones mayores del 3% entre sí.

c) Elementos mecánicos en trabes.- Para fines prácticos los resultados se pueden considerar iguales (diferencias máximas del 3%).

III.7.3.7. COMPARACION DE RESULTADOS CON Y SIN e_d .
Ver tabla 3.51. Los comentarios se realizan en el capítulo VII.

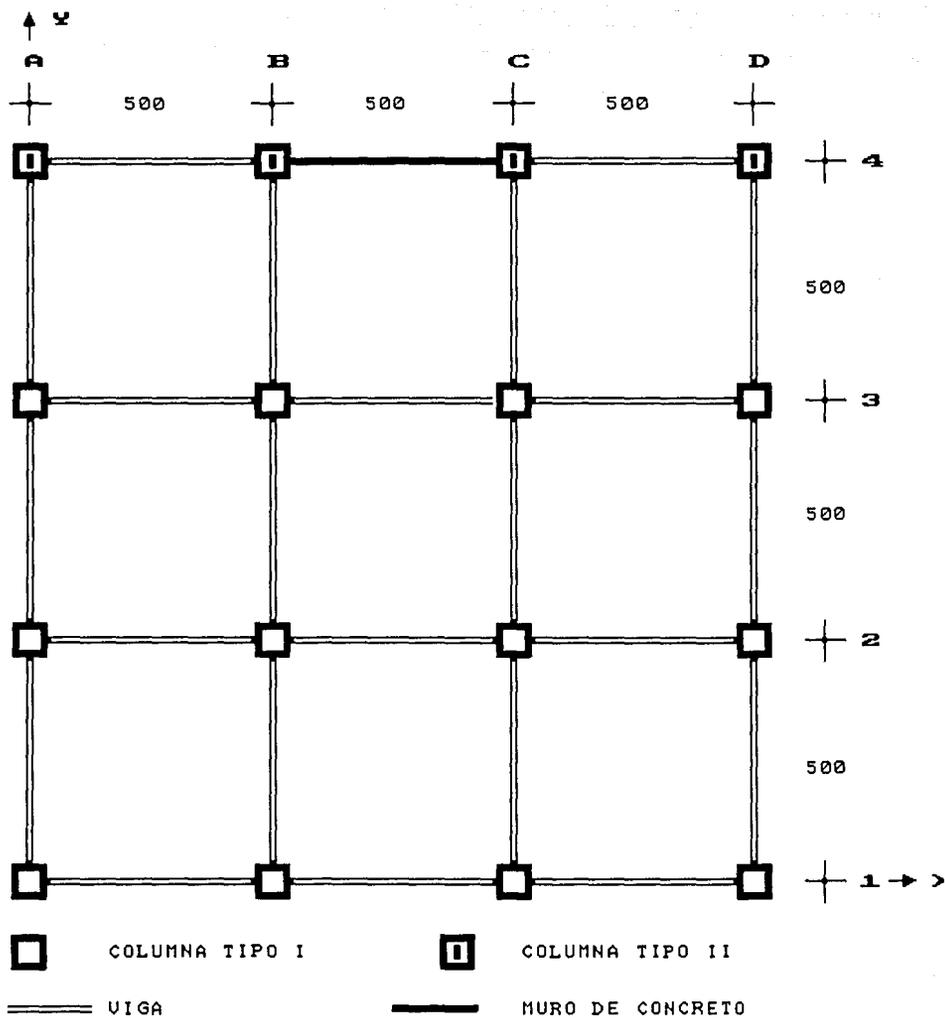


FIG. 3.11. UBICACION DE MARCOS EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA C.

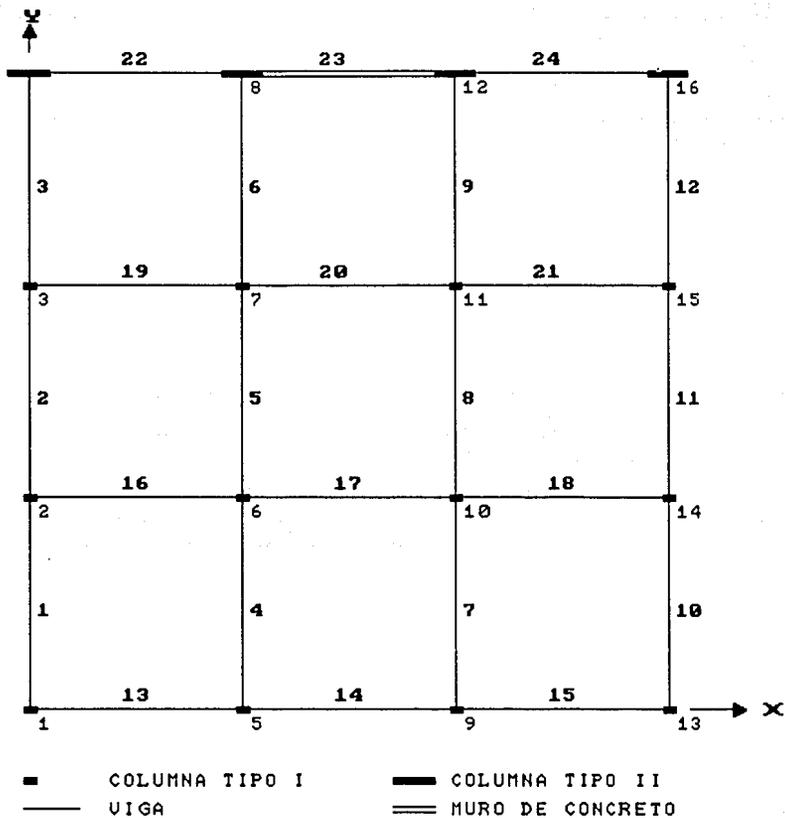
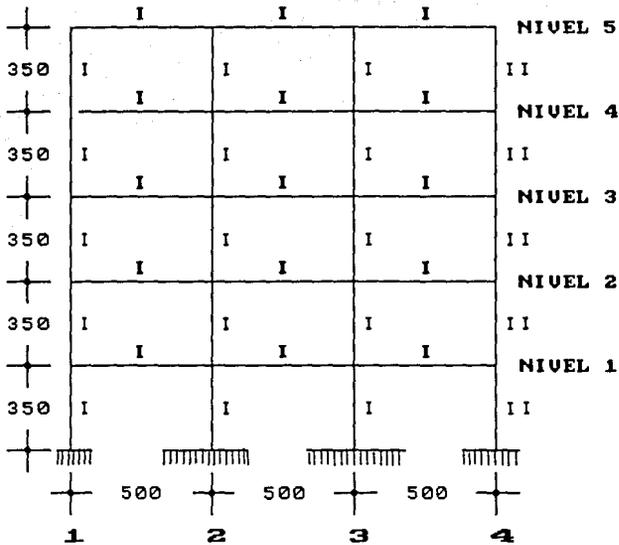


FIG. 3.12. LOCALIZACION DE VIGAS Y COLUMNAS DE LA ESTRUCTURA C.

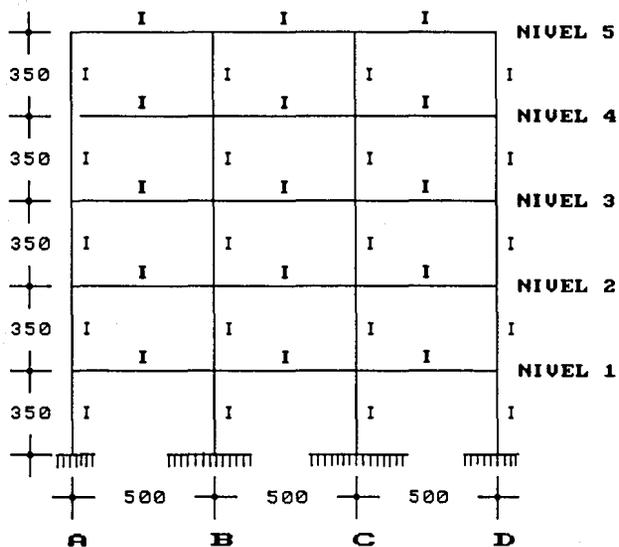
MARCOS TIPO A, B, C Y D



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
COLUMNA	II	80 X 80 cm
UIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.13 TIPOS DE MARCO DE LA ESTRUCTURA C.

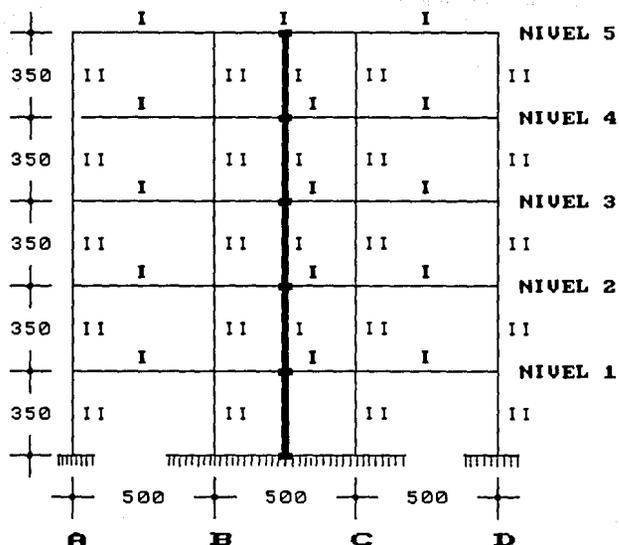
MARCOS TIPO 1, 2, Y 3



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
VIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.13 (CONT). TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA C.

MARCOS TIPO 4



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	II	80 X 80 cm
UIGA	I	25 X 70 cm
COLUMNA ANCHA	I	25 X 500 cm

FIG. 3.13 (CONT). TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA C.

```

*****
ELEMENTO: COLUMNA
*****
PROGRAMA TIPO A Ax Ay Ix Iy J
(M2) (M2) (M2) (M4) (M4) (M4)
*****
TORSION Y I 0.160 0.133 0.133 0.00213 0.00213 0.003609
SUPER-ETABS
(TRIDIM.) II 0.064 0.533 0.533 0.00341 0.00341 0.057751
III 1.000 0.000 0.833 0.00000 2.0833
SUPER-ETABS I 0.160 0.133 + 0.00213 + 0.003609
(PANOS) II 0.064 0.533 + 0.00341 + 0.057751
III 1.000 0.833 + 2.08330 +
TABS-77 I 0.160 0.133 + 0.00213 + +
II 0.064 0.533 + 0.00341 + +
III 1.000 0.833 + 2.08330 + +
*****

```

Notas:

+ El programa no lo considera

Tabla 3.35. Propiedades geométricas de columnas. Estructura C.

```

*****
ELEMENTO:   TRABE
*****
PROGRAMA   TIPO     Ax       Ix       J
           (M2)     (M4)     (M4)
*****
TORSION Y  I       0.1458  0.007145  0.002848
SUPER-ETABS
(TRIDIM.)

SUPER-ETABS I       0.1458  0.007145  0.002848
(PLANOS)

TABS-77    I       0.1458  0.007145  +
*****

```

Notas:

+ El programa no lo considera

Tabla 3.35 (cont.) Propiedades geométricas de trabes. Estructura C.

```

*****
NIVEL     Fi       Vi
          (TON)   (TON)
*****
5         60       60
4         48       108
3         36       144
2         24       168
1         12       180
*****

```

Tabla 3.36. Fuerzas sísmicas estáticas. Estructura C.

MODO	TABS-77	SUPER-ETABS (PLANOS)	SUPER-ETABS (TRIDIM.)	DIRECCION COMPONENTE PRINCIPAL
1	0.818368	0.813921	0.816175	Y
2	0.805828	0.789463	0.792898	X
3	0.265798	0.284161	0.283357	Ø
4	0.253239	0.251094	0.252413	X
5	0.246267	0.248175	0.249647	Y
6	0.147948	0.144557	0.145611	X
7	0.126664	0.127221	0.128648	Y
8	0.100931	0.099048	0.099724	X
9	0.079134	0.078763	0.079947	Y

Tabla 3.37. Periodos de vibración (seg). Sin torsión Estructura C.

PROGRAMA	NIVEL	X (cm)	Y (cm)	Ø (rad x E-3)
TORSION	5	5.87	-2.41	3.21
Y	4	5.19	-2.20	2.93
SUPER-ETABS	3	4.11	-1.79	2.39
TRIDIMENSIONAL	2	2.70	-1.21	1.61
	1	1.13	-0.52	0.69
SUPER-ETABS	5	5.84	-2.39	3.18
PLANOS	4	5.16	-2.18	2.90
	3	4.08	-1.77	2.36
	2	2.67	-1.19	1.59
	1	1.11	-0.51	0.68
TABS77	5	6.24	-2.71	3.62
PLANOS	4	5.51	-2.45	3.26
	3	4.36	-1.97	2.63
	2	2.86	-1.31	1.75
	1	1.18	-0.55	0.73

Tabla 3.38. Desplazamientos laterales estáticos. Sismo en dirección X. Estructura C. Sin considerar excentricidad en diseño.

P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION Y SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)

13	1	A	0.24	22.44	0.21	22.21	*	22.19
		B		17.65		17.44		17.39
	3	A	0.18	18.59	0.17	18.36	*	18.28
		B		14.54		14.34		14.32
	5	A	0.05	5.48	0.05	5.44	*	5.42
		B		3.43		3.39		3.37

17	1	A	0.13	10.33	0.12	10.26	+	10.22
		B		10.33		10.26		10.22
	3	A	0.10	10.15	0.09	10.10	+	10.07
		B		10.15		10.10		10.07
	5	A	0.02	3.82	0.02	3.88	+	3.89
		B		3.82		3.88		3.89

22	1	A	0.48	3.04	0.49	3.27	*	3.33
		B		0.51		0.61		0.69
	3	A	0.34	4.93	0.33	4.92	*	4.92
		B		0.64		0.63		0.63
	5	A	0.11	4.66	0.12	4.75	*	4.83
		B		0.48		0.51		0.55

23	1	A	0.49	-0.29	0.51	-0.31	*	-0.33
		B		4.04		4.07		4.09
	3	A	0.34	-0.38	0.33	-0.39	*	-0.39
		B		8.02		8.10		8.13
	5	A	0.11	8.59	0.12	8.63	*	8.67
		B		-0.25		-0.29		-0.32

tm.- Toneladas metro			Mt.- Momento torsionante					
+ .- No lo calcula el program			Mf.- Momento flexionante					
B .- Extremo superior			A .- Extremo inferior					

Tabla 3.40. Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X. Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura C.


```

*****
PISO  ENTREPISO    XT      YT      XT      YT
              (M)    (M)    (M)    (M)
*****
  1      1      7.50   21.96      7.50   14.41
  2      2      7.50   17.11      7.50   13.87
  3      3      7.50   15.40      7.50   13.33
  4      4      7.50   15.53      7.50   12.64
  5      5      7.50   10.33      7.50   10.33

```

Notas:

- 1) Las coordenadas de los centros de torsión están referenciadas a ejes globales

Tabla 3.41. Centros de Torsión (programa TORSION). Estructura C.

 PROGRAMA: TABS-77

 M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D
5	35.57	7.45	7.45	7.45
4	86.68	7.11	7.11	7.11
3	123.37	6.88	6.88	6.88
2	151.14	5.62	5.62	5.62
1	170.12	3.29	3.29	3.29

 PROGRAMA: SUPER-ETABS (planos)

 M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D
5	35.57	7.45	7.45	7.45
4	86.68	7.11	7.11	7.11
3	123.37	6.88	6.88	6.88
2	151.14	5.62	5.62	5.62
1	170.12	3.29	3.29	3.29

Notas:

1) Los cortantes están dados en Toneladas

Tabla 3.42. Cortantes de entrepiso obtenidos con análisis traslacional puro. Estructura C.

PROGRAMA: SUPER-ETABS (tridimensional)

M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D
5	35.57	7.45	7.45	7.45
4	86.68	7.11	7.11	7.11
3	123.37	6.88	6.88	6.88
2	151.14	5.62	5.62	5.62
1	170.12	3.29	3.29	3.29

Notas:

1) Los cortantes están dados en Toneladas

Tabla 3.42. (cont.) Cortantes de entrepiso obtenidos con análisis traslacional puro. Estructura C.

NIVEL	TORSION		SUPER-ETABS (TRIDIM.)		SUPER-ETABS (PLANOS)		TABS-77	
	XT	YT	XT	YT	XT	YT	XT	YT
5	7.5	10.33	7.5	10.33	7.5	11.26	7.5	11.3
4	7.5	12.64	7.5	12.64	7.5	13.03	7.5	13
3	7.5	13.33	7.5	13.33	7.5	13.57	7.5	13.6
2	7.5	13.87	7.5	13.87	7.5	13.99	7.5	14
1	7.5	14.41	7.5	14.41	7.5	14.45	7.5	14.5

Notas:

1) Las coordenadas del centro de torsión, para todos los programas, son medidas a partir del origen de los ejes globales (X,Y)

2) Las coordenadas del centro de torsión del programa TORSION, se tomaron directamente del listado de resultados.

3) Los valores de las coordenadas están dadas en metros.

Tabla 3.43. Tabla comparativa de Centros de Torsión. Estructura C.

```

*****
ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X
*****
NIVEL   TABS-77   SUPER-ETABS   SUPER-ETABS
          (PLANOS)   (TRIDIM.)
*****
5       -3.76     -3.76        -2.88
4       -7.74     -7.74        -7.65
3       -7.69     -7.69        -7.90
2       -9.07     -9.07        -9.56
1       -13.31    -13.31       -14.44
*****

```

Notas:

- 1) Para cuando el sismo actúa en dirección Y, la excentricidad estática vale cero, ya que el centro de masa coincide con el centro de torsión en esa dirección
- 2) Las coordenadas del centro de masa son:
 $X_{cm} = 7.5m$ $Y_{cm} = 7.5m$
- 3) El valor de las excentricidades está dado en metros.

Tabla 3.44. Tabla comparativa de excentricidades estáticas Estructura C.

 ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X

NIVEL	TABS-77		SUPER-ETABS (PLANOS)		SUPER-ETABS (TRIDIM.)	
	Ed1	Ed2	Ed1	Ed2	Ed1	Ed2
5	-7.11	-2.26	-7.11	-2.26	-5.75	-1.33
4	-13.11	-6.24	-13.11	-6.24	-13.55	-6.53
3	-13.04	-6.19	-13.04	-6.19	-13.35	-6.40
2	-15.03	-7.52	-15.03	-7.52	-15.89	-8.11
1	-21.59	-11.89	-21.59	-11.89	-23.19	-12.96

Notas:

1) Debido a que en la dirección Y no hay excentricidad estática, para los tres programas y todos los niveles:
 Ed1= 1.5m Ed2= -1.5m

2) Todos los valores están dados en metros.

Tabla 3.45. Tabla comparativa de excentricidades de diseño.
 Estructura C.

NIVEL	TABS-77		SUPER-ETABS (PLANOS)		SUPER-ETABS (TRIDIM.)	
	Xcm	Ycm	Xcm	Ycm	Xcm	Ycm
5	9.00	4.15	9.00	4.15	9.00	4.58
4	9.00	2.13	9.00	2.13	9.00	1.98
3	9.00	2.15	9.00	2.15	9.00	2.05
2	9.00	1.49	9.00	1.49	9.00	1.19
1	9.00	-0.70	9.00	-0.70	9.00	-1.23

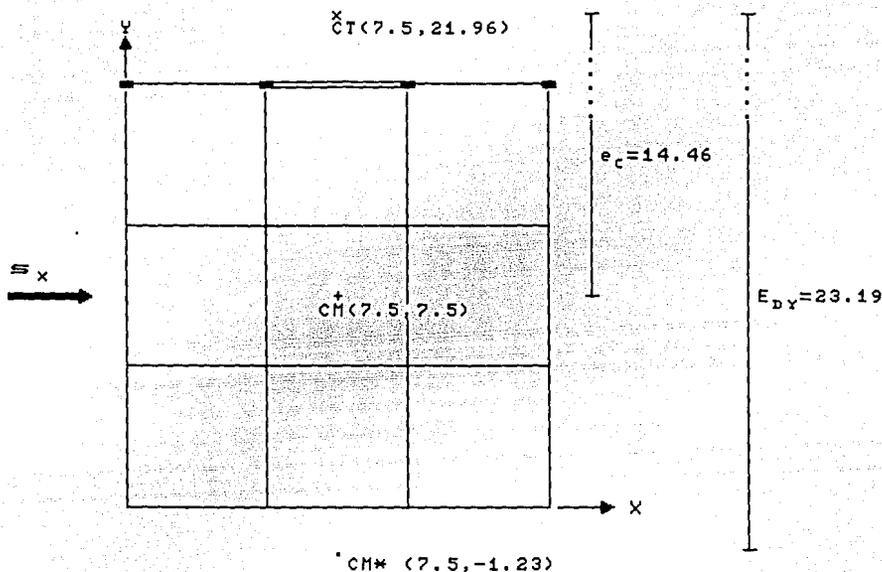
Notas:

1) Todos los valores están dados en metros.

2) Las coordenadas están referenciadas a ejes globales

Tabla 3.46. Tabla comparativa de centros de masa modificados.
 Estructura C.

NIVEL DE PISO 1



CM.- Centro de masa

CT.- Centro de torsión

CM*.- Centro de masa modificado

e_c .- Excentricidad calculada o estática

E_{DY} .- Excentricidad de diseño

Notas:

- Acotaciones en metros.
- Se considera solo análisis en la dirección X.
- Se considera una sola opción de E_D .
- Los valores representados corresponden a los obtenidos con el programa SUPER-ETABS (tridimensional).

FIG. 3.14 PROPIEDADES DE LA "ESTRUCTURA C" A NIVEL DE PISO, CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS EFECTOS DE LA TORSION SEGUN EL RDF-87.

```

*****
MODO      TABS-77      SUPER-ETABS      SUPER-ETABS      DIRECCION
          (PLANOS)      (TRIDIM.)      COMPONENTE
*****
          PRINCIPAL
*****

```

MODO	TABS-77	SUPER-ETABS (PLANOS)	SUPER-ETABS (TRIDIM.)	DIRECCION COMPONENTE PRINCIPAL
1	1.119	1.121	1.122	X
2	0.796	0.809	0.808	Y
3	0.379	0.382	0.381	X
4	0.245	0.247	0.249	Y
5	0.226	0.227	0.227	X
6	0.201	0.203	0.206	Ø
7	0.152	0.154	0.156	X
8	0.119	0.128	0.128	Y
9	0.115	0.120	0.120	Ø

```

*****

```

Tabla 3.47. Periodos de vibración (seg) con torsión. Estructura C.

```

*****
PROGRAMA      NIVEL      X      Y      Ø
              (cm)      (cm)      (rad x E-3)
*****
TORSION      5      9.12      -4.24      5.65
Y            4      8.18      -3.85      5.13
SUPER-ETABS  3      6.56      -3.12      4.16
TRIDIMENSIONAL  2      4.36      -2.10      2.79
              1      1.84      -0.88      1.18

SUPER-ETABS  5      9.07      -4.21      5.61
PLANOS       4      8.11      -3.81      5.08
              3      6.49      -3.08      4.11
              2      4.31      -2.07      2.76
              1      1.81      -0.88      1.17

TABS77      5      9.79      -4.67      6.23
PLANOS      4      8.75      -4.21      5.61
              3      7.00      -3.38      4.51
              2      4.63      -2.25      3.00
              1      1.93      -0.94      1.26
*****

```

Tabla 3.48. Desplazamientos laterales estáticos. Sismo en dirección X. Estructura C. Considerando excentricidad en diseño.

PROGRAMA	NO.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)
TORSION	1	1	A	-22.84	-11.13	-24.04	-0.80
Y			B	-16.11			
SUPER-ETABS		3	A	-16.33	-9.70	-10.55	-0.93
TRIDIMENSIONAL			B	-17.61			
		5	A	-5.67	-3.77	-1.44	-0.35
			B	-7.53			
	3	1	A	-8.08	-3.93	-1.58	-0.80
			B	-5.66			
		3	A	-6.22	-3.66	-2.45	-0.93
			B	-6.60			
		5	A	-2.79	-1.80	-0.50	-0.35
			B	-3.52			
	4	1	A	-7.38	-1.91	-35.57	-12.86
			B	0.70			
		3	A	-2.85	-1.01	-15.37	-14.85
			B	-0.67			
		5	A	-1.63	-1.23	-2.53	-5.66
			B	-2.69			
	6	1	A	-17.54	-9.34	3.86	-0.80
			B	-15.16			
		3	A	-17.04	-9.87	0.94	-0.93
			B	-17.49			
		5	A	-7.29	-4.41	-0.16	-0.35
			B	-8.14			
	8	1	A	-707.68	-75.59	-0.10	-28.20
			B	443.10			
		3	A	-282.54	-42.42	-0.06	-32.58
			B	134.08			
		5	A	-38.81	-13.94	-0.02	-12.42
			B	-9.98			

Mf.- Momento flexionante

N.- Fuerza normal

tm.- Toneladas metro

+.- No lo calcula el programa

B.- Extremo superior

V.- Fuerza cortante

Mt.- Momento torsionante

t.- Toneladas

A.- Extremo inferior

Tabla 3.49. Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X. Considerando la excentricidad de diseño. Estructura C.

P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION Y SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)
1	1	A	0.38	-17.53	0.38	-17.30	*	-17.32
		B		-14.00		-13.77		-13.78
	3	A	0.32	-13.29	0.29	-12.89	*	-12.80
		B		-10.41		-10.05		-10.05
	5	A	0.09	-3.09	0.08	-2.89	*	-2.90
		B		1.74		1.56		1.58
3	1	A	0.37	-18.42	0.35	-17.97	+	-17.99
		B		-31.11		-30.38		-30.70
	3	A	0.26	-13.56	0.24	-12.93	+	-12.90
		B		-22.36		-21.36		-21.36
	5	A	0.01	-2.91	0.00	-2.52	+	-2.59
		B		-6.75		-6.07		-6.09
5	1	A	0.23	-3.62	0.23	-3.60	*	-3.61
		B		-3.15		-3.12		-3.13
	3	A	0.20	-3.23	0.20	-3.25	*	-3.24
		B		-2.97		-2.96		-2.96
	5	A	0.07	-1.05	0.07	-1.08	*	-1.03
		B		-0.96		-0.93		-0.96
6	1	A	0.26	-5.99	0.26	-5.99	*	-5.99
		B		-10.15		-10.13		-10.15
	3	A	0.26	-4.17	0.28	-4.31	*	-4.30
		B		-6.95		-7.12		-7.10
	5	A	0.10	-0.65	0.13	-0.84	*	-0.80
		B		-1.75		-2.02		-2.01

tm.- Toneladas metro
 +.- No lo calcula el program
 B.- Extremo superior

Mt.- Momento torsionante
 Mf.- Momento flexionante
 A.- Extremo inferior

Tabla 3.50. Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X.
 (cont) Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura C.

NIVEL	X (cm) sin ed	X (cm) con ed	% INCREMENTO
5	5.87	9.12	55.37
4	5.19	8.18	57.61
3	4.11	6.56	59.61
2	2.70	4.36	61.48
1	1.13	1.84	62.83

Tabla 3.51. Tabla comparativa de desplazamientos Sismo en dirección X. Estructura C.

No.	PISO	EXT.	Mf		V		N		Mt		
COL			ed=0	ed=1	ed=0	ed=1	ed=0	ed=1	ed=0	ed=1	

1	1	A	-13.97	-22.84	-6.79	-11.13	-17.20	-24.04	-0.47	-0.80	
		B	-9.80	-10.11							
	3	A	-10.50	-16.33	-6.20	-9.7	-8.17	-10.55	-0.53	-0.93	
		B	-11.20	-17.51							
	5	A	-4.13	-5.67	-2.81	-3.37	-1.28	-1.44	-0.19	-0.35	
		B	-5.52	-7.53							

4	1	A	-11.44	-7.38	-2.79	-1.91	-23.72	-35.57	-7.46	-12.86	
		B	1.67	-0.70							
	3	A	-4.82	-2.85	-1.82	-1.01	-10.92	-15.37	-8.45	-14.85	
		B	-1.54	-0.67							
	5	A	-2.84	-1.63	-2.17	-1.23	-2.09	-2.53	-3.01	-5.65	
		B	-4.75	-2.69							

Notas:

- ed=0 : sin considerar la excentricidad de diseño
- ed=1 : considerando la excentricidad de diseño
- Mf : Momento flexionante en Ton-m
- V : Fuerza cortante en Ton
- Mt : Momento Torsionante en Ton-m

Tabla 3.51. (cont.) Tabla comparativa de elementos mecánicos en columnas.
Estructura C.

III.7.4. ESTRUCTURA D.

III.7.4.1. CARACTERISTICAS.

En esta estructura se introduce un marco diagonal con el objeto de hacer la estructura asimétrica en planta y observar qué efectos tiene el modelar este tipo de plantas con los diversos programas. Ver figura 3.15.

III.7.4.2. UBICACION DE TRABES Y COLUMNAS, TIPOS DE MARCOS Y PROPIEDADES GEOMETRICAS.

La ubicación de trabes y columnas se muestran en las fig. 3.16 y los tipos de marcos en la fig. 3.17.

Las propiedades geométricas se muestran en la tabla 3.52.

III.7.4.3. FUERZAS SISMICAS.

Las fuerzas sísmicas usadas son las mostradas en la tabla 3.53 y se obtuvieron por medio de un método estático.

III.7.4.4. PERIODOS.

Con el objeto de comprobar la similitud entre los modelos empleados en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS, se comparan los periodos, sin incluir la torsión según el RDF-87 (ver tabla 3.54).

III.7.4.5. RESPUESTAS DE UN ANALISIS SISMICO ESTATICO SIN CONSIDERAR LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

Estos análisis se realizaron para observar y comparar los resultados que arroja cada programa, sin considerar la torsión según el reglamento.

III.7.4.5.1. DESPLAZAMIENTOS.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.55.

III.7.4.5.2. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

En la tabla 3.56 se muestran los elementos mecánicos en columnas considerando el sismo en dirección X, sin incluir la excentricidad de diseño.

III.7.4.5.3. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Estos resultados se obtienen de un análisis considerando la acción del sismo actuando en dirección X. Se muestran en la tabla 3.57.

III.7.4.5.4. COMENTARIOS

La excentricidad calculada resultante en esta estructura es, realmente, pequeña; sin embargo, el hecho de tener una planta asimétrica, genera algunos problemas en los análisis con los programas TABS-77 y SUPER-ETABS modelado con marcos planos acoplados; esto era de esperarse ya que, como se comentó en el capítulo que describe al programa TABS-77, no se recomienda el uso de estos programas en plantas con marcos no

ortogonales. Esta deficiencia se puede superar, en el caso del programa SUPER-ETABS, modelando con un solo marco tridimensional y no con base en marcos planos.

Del análisis de los resultados sin excentricidad de diseño se observa lo siguiente:

1) El programa TORSION y el SUPER-ETABS (tridimensional) dan resultados iguales en todos los aspectos.

2) Las diferencias en resultados, entre el SUPER-ETABS (planos) y el TORSION, varían, en promedio, de 10 a 20% en elementos mecánicos tales como momento flexionante, fuerza cortante y fuerza normal en columnas y hasta más de 100% en el momento torsionante. Cabe aclarar que no existe un criterio razonable para considerar los elementos mecánicos en columnas a las que concurren más de 2 marcos. En cuanto a las vigas, las diferencias máximas en momentos flexionantes son de 10% promedio en vigas ortogonales; las correspondientes al marco diagonal presentan diferencias mayores sin existir, tampoco, un criterio adecuado para considerar dichos resultados.

3) Las diferencias en resultados entre el programa TABS-77 y el TORSION, varían entre 1 a 5% para elementos mecánicos como momento flexionante, cortante y fuerza normal en columnas a las que concurren dos marcos ortogonales; para las que forman parte del marco diagonal, las desviaciones en los resultados aumentan hasta a un 30%, sin existir, claro, un método confiable para considerar los resultados en dichas columnas. En cuanto a las vigas, es válido lo dicho en el punto 2).

4) Como puede verse, el SUPER-ETABS (planos) es el programa cuyos resultados más se desvían del marco de referencia (TORSION Y SUPER-ETABS (tridimensional)).

III.7.4.6. CONSIDERACION DE LAS ESPECIFICACIONES PARA TORSION SEGUN EL RDF-87. ESTRUCTURA D.

Como se comentó en III.6.2., para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunos "artificios" para conocer la posición del centro de torsión y poder considerar después el incremento de la excentricidad de diseño según el RDF-87.

III.7.4.6.1. OBTENCION DEL CENTRO DE TORSION. ESTRUCTURA D.

En la tabla 3.58 se muestran los resultados obtenidos directamente de los listados del programa TORSION.

A continuación se presentan los diversos pasos para calcular el centro de torsión e incluir en los programas TABS-77 y

SUPER-ETABS los efectos de la excentricidad de diseño según lo especifica el RDF-87.

a) Cortantes de entrepiso de los marcos, obtenidos con análisis traslacional puro (ver tabla 3.59).

b) Centros de torsión obtenidos a partir del análisis traslacional puro con los programas TABS-77 y SUPER-ETABS.

Al utilizar las ecuaciones siguientes:

$$X_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} X_i - \sum_{j=r+1}^n P_j X_{Tj})}{P_r}$$

$$Y_{Tr} = \frac{(\sum_{i=1}^n V_{i,r} Y_i - \sum_{j=r+1}^n P_j Y_{Tj})}{P_r}$$

donde:

X_{Tr}, Y_{Tr} .- Coordenas del centro de torsión a nivel de piso.

$V_{i,r}$.- Cortantes en los elementos resistentes i (marcos) del nivel r.

X_i, Y_i .- Coordenadas de los elementos resistentes.

y sustituyendo valores en la tabla de cortantes de entrepiso, se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.60.

c) Consideración de las especificaciones del RDF-87.

Para los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario realizar algunas modificaciones a los datos de entrada. Para el programa TORSION sólo se debe activar una opción implícita del mismo.

c.1.) Cálculo de la excentricidad estática.

$$e_c = CM - CT$$

ver tabla 3.61.

c.2.) Cálculo de la excentricidad de diseño.

Para considerar la excentricidad de diseño:

$$E_{d1} = 1.5 e_c + 0.1 b$$

$$E_{d2} = e_c - 0.1 b$$

Se hicieron los cálculos necesarios y los resultados se muestran en la tabla 3.62.

c.3.) Modificación del centro de masa.

Para poder tomar en cuenta, en el análisis, la excentricidad de diseño calculada anteriormente en los programas TABS-77 y SUPER-ETABS es necesario modificar la posición del centro de masa en los datos de entrada del programa.

De acuerdo con las expresiones:

$$X_{cm} = X_{CT} + E_{dx}$$

$$Y_{cm} = Y_{CT} + E_{dy}$$

se obtienen los valores que se muestran en la tabla 3.63 para la opción 1.

Ver figura 3.18 para el caso del nivel 5.

Los resultados de los análisis correspondientes se muestran a continuación. Sólo se considera la opción para E_{dx1} a manera de ejemplo, la cual no necesariamente es la más desfavorable en los miembros.

III.7.4.6.2. PERIODOS.

Ver tabla 3.64.

III.7.4.6.3. DESPLAZAMIENTOS.

Los resultados se muestran en la tabla 3.65.

III.7.4.6.4. ELEMENTOS MECANICOS EN COLUMNAS.

Los resultados que muestra la tabla 3.66 son considerando la acción del sismo en dirección X de la estructura D.

III.7.4.6.5. ELEMENTOS MECANICOS EN TRABES.

Sus resultados se muestran en la tabla 3.67.

III.7.4.6.6. COMENTARIOS.

En cuanto a la obtención de los centros de torsión, paso previo para poder considerar la excentricidad de diseño en el programa TABS-77 y SUPER-ETABS, se puede decir lo siguiente:

1) El programa SUPER-ETABS (planos) presenta desviaciones, en la obtención de la posición del centro de torsión, con respecto a los valores obtenidos del programa TORSION: un mínimo de 1% en el nivel 5 hasta un máximo de 20% en el nivel 1; en los niveles intermedios se presenta una diferencia de 3%.

2) El programa TABS-77 presenta desviaciones de 1% en el nivel 5, 4% en los niveles 4, 3 y 2 y 10% en el nivel 1,

esto, con respecto a los valores de la posición del centro de torsión obtenidos con el programa TORSION.

3) Los valores de la posición del centro de torsión obtenidos con base en un análisis traslacional resultante del programa SUPER-ETABS (tridimensional) presentan diferencias, con respecto a los valores del programa TORSION: 3% en el nivel 5 y 9% en el nivel 1, siendo iguales en los niveles intermedios.

Con base en lo anterior, puede afirmarse que, para una estructura con las características de la estudiada, la manera más confiable de obtener la posición del centro de torsión es mediante el programa SUPER-ETABS (tridimensional).

4) En cuanto a los análisis considerando las especificaciones del RDF, se menciona lo siguiente:

a) Con base en la experiencia del análisis anterior sin reglamento, se descartaron los resultados que se presentan con el SUPER-ETABS (planos), ya que si con una excentricidad calculada pequeña, las diferencias en los resultados con los valores del programa torsión son considerables, tomando en cuenta el reglamento, dichos resultados son totalmente distintos.

b) Los resultados del análisis de la estructura con el programa SUPER-ETABS (tridimensional), utilizando los datos de centro de masa desplazados de acuerdo con la metodología propuesta, presentan diferencias, con respecto a los valores del programa TORSION, prácticamente nulas (varían entre 1 y 2% sólo en algunos casos) en cualquier elemento mecánico de cualquier miembro estructural. Se puede afirmar entonces, que la metodología propuesta para tomar en cuenta la excentricidad calculada, en esta estructura particular y con un modelado tridimensional empleando el programa SUPER-ETABS es válida y confiable.

c) El programa TABS-77 presenta, en las columnas que forman parte de marcos ortogonales, resultados que se desvían muy poco (1 ó 2%) de los presentados por el programa TORSION, esto, en elementos mecánicos tales como momento flexionante y fuerza cortante, no así en fuerza normal, para la que a pesar de sumar la correspondiente a los marcos comunes a una columna, los valores se desvían totalmente. En las columnas que forman parte del marco diagonal, nuevamente se presenta el problema de no contar con un criterio razonable para considerar los resultados y estos se desvían bastante con respecto a los del programa que sirve de base de comparación.

En cuanto a los elementos mecánicos en trabes, los resultados para trabes ortogonales son aceptables en relación con los del programa TORSION; sin embargo, en trabes pertenecientes

al marco diagonal no es posible establecer un punto de comparación entre los resultados. Con lo dicho anteriormente, se puede establecer que para este caso particular, la metodología propuesta no es confiable debido a problemas de modelado con el TABS-77, problemas ya comentados con anterioridad.

III.7.4.7. COMPARACION DE RESULTADOS CON Y SIN e_d .
Ver tabla 3.68. Los comentarios pertinentes se hacen en el capítulo VII.

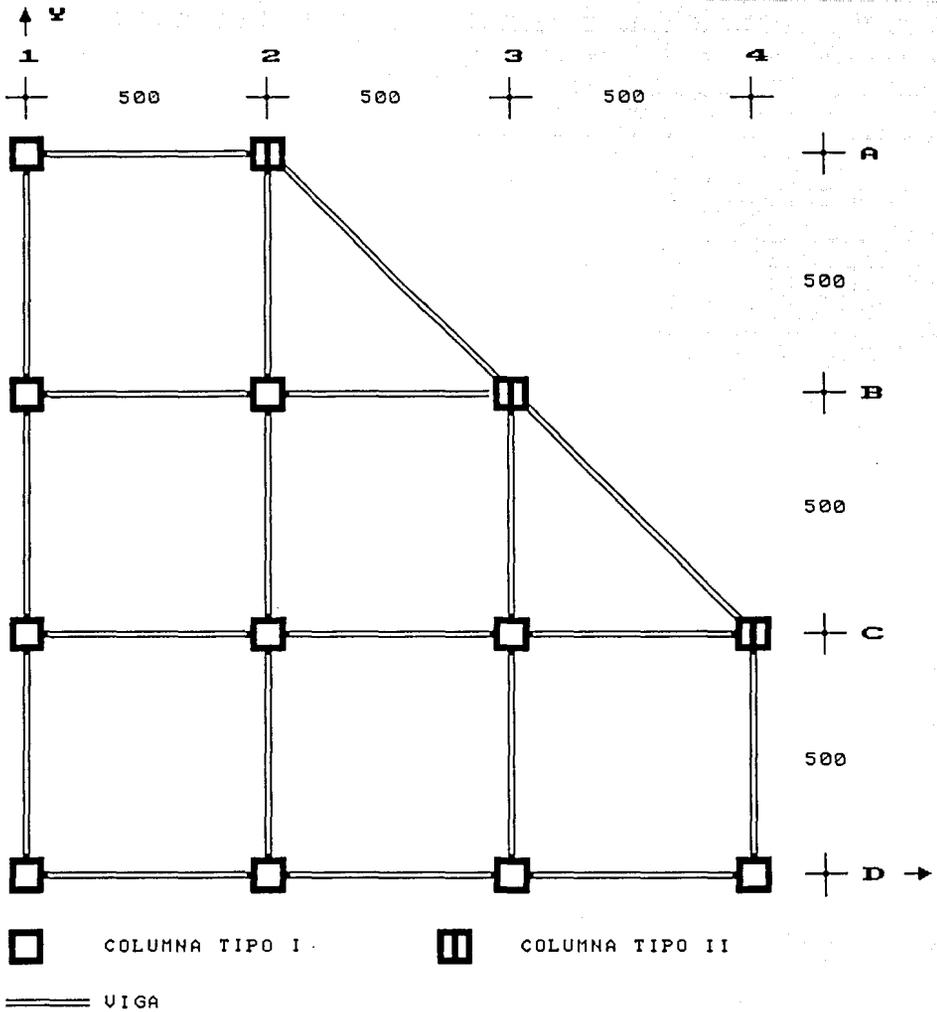


FIG.3.15 UBICACION DE MARCOS EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA D

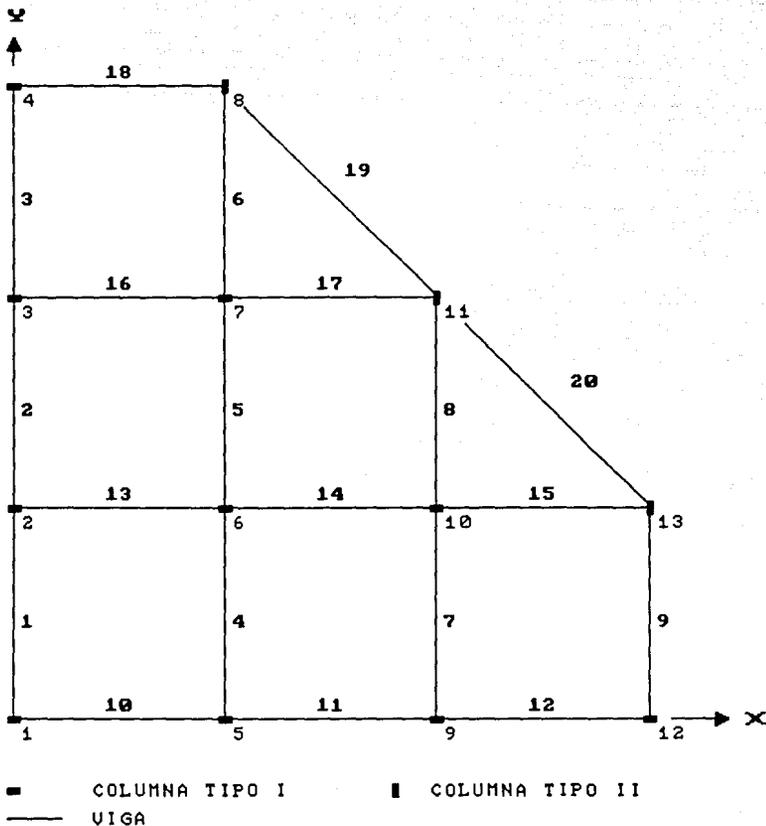
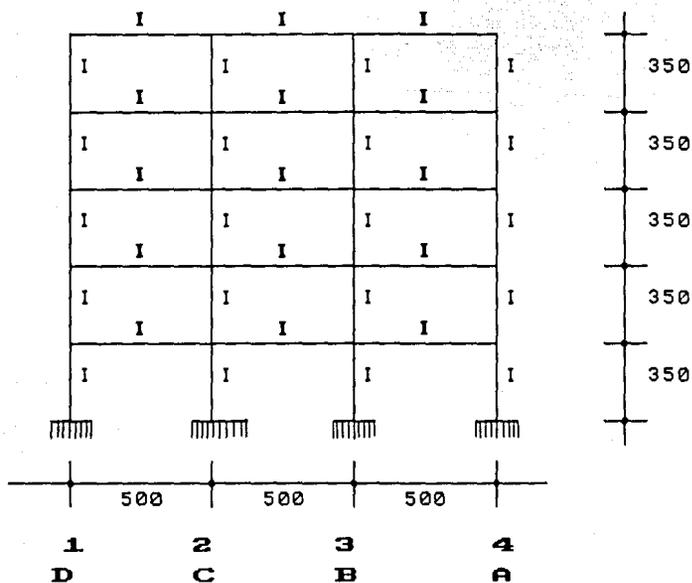


FIG. 3.16. LOCALIZACION DE UIGAS Y COLUMNAS DE LA ESTRUCTURA D

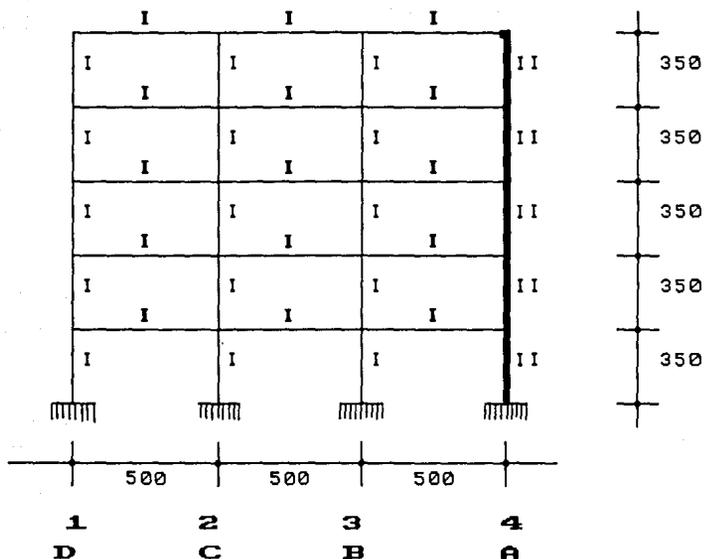
MARCOS TIPO 1 Y D



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNNA	I	40 X 40 cm
VIGA	I	25 x 70 cm

FIG. 3.17 TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA D.

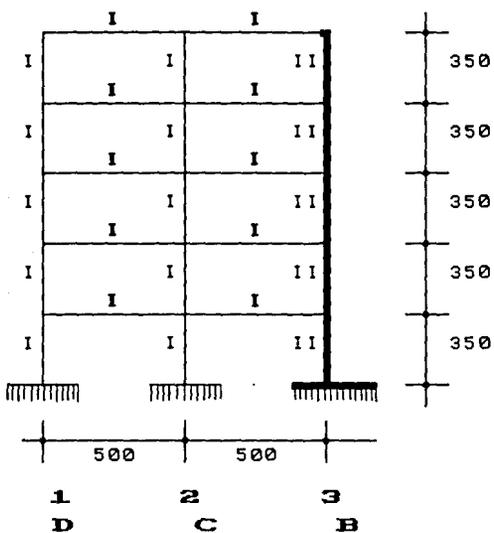
MARCO TIPO 2 Y C



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 X 40 cm
COLUMNA	II	40 cm \varnothing
VIGA	I	25 x 70 cm

FIG. 3.17. (CONT.) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA D

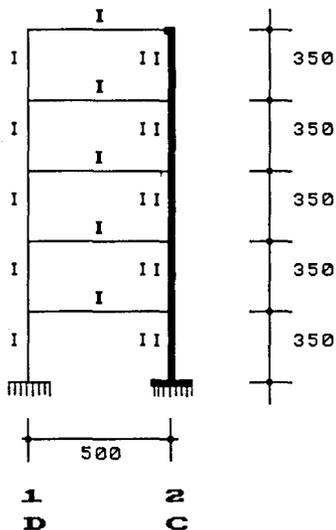
MARCOS TIPO 3 Y B



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 x 40 cm
COLUMNA	II	40 cm Ø
UIGA	I	25 x 70 cm

FIG. 3.17 (CONT.) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA D.

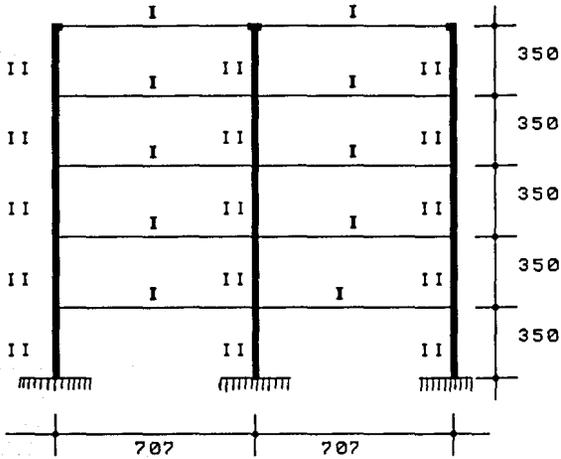
MARCOS TIPO 4 Y A



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	I	40 x 40 cm
COLUMNA	II	40 cm \varnothing
UIGA	I	25 x 70 cm

FIG. 3.17 (CONT.) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA D.

MARCO TIPO E



ELEMENTO	TIPO	DIMENSIONES
COLUMNA	II	40 cm ϕ
VIGA	I	25 X 70 cm

FIG. 3.17 (CONT.) TIPOS DE MARCOS DE LA ESTRUCTURA D

 ELEMENTO: COLUMNA

PROGRAMA	TIPO	A (M2)	Ax (M2)	Ay (M2)	Ix (M4)	Iy (M4)	J (M4)
TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIM.)	I	0.160	0.133	0.133	2.130E-03	2.130E-03	3.609E-03
	II	0.126	0.105	0.105	1.256E-03	1.256E-03	2.512E-03
SUPER-ETABS (PLANOS)	I	0.160	0.133	+	2.130E-03	+	3.609E-03
	II	0.126	0.105	+	1.256E-03	+	2.512E-03
TABS-77	I	0.160	0.133	+	2.130E-03	+	+
	II	0.126	0.105	+	1.256E-03	+	+

 Notas:
 + El programa no lo considera

Tabla 3.52. Propiedades geométricas de columnas. Estructura D.

 ELEMENTO: TRABES

PROGRAMA	TIPO	Ax (M2)	Ix (M4)	J (M4)
TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIM.)	I	0.1458	7.145E-03	2.848E-03
	II	0.105	1.256E-03	2.512E-03
SUPER-ETABS (PLANOS)	I	0.1458	7.145E-03	2.848E-03
	II	0.105	1.256E-03	2.512E-03
TABS-77	I	0.1458	7.145E-03	+

 Notas:
 + El programa no lo considera

Tabla 3.52(cont.) Propiedades geométricas de trabes.
 Estructura D.

NIVEL	Fi (TON)	Vi (TON)

5	60	60
4	48	108
3	36	144
2	24	168
1	12	180

Tabla 3.53 Fuerzas sismicas estáticas.
Estructura D.

MODO	TABS-77	SUPER-ETABS (PLANOS)	SUPER-ETABS (TRIDIM.)	DIRECCION COMPONENTE PRINCIPAL

1	1.131	1.158	0.135	X
2	1.053	1.073	1.132	Y
3	0.917	0.863	0.915	e
4	0.374	0.383	0.376	X
5	0.349	0.356	0.375	Y
6	0.303	0.286	0.303	e
7	0.224	0.228	0.226	X
8	0.208	0.212	0.224	Y
9	0.180	0.171	0.171	e

Tabla 3.54 Periodos de vibración (seg) sin torsión.
Estructura D.

```

*****
PROGRAMA      NIVEL      X          Y          θ
                (cm)      (cm)      (rad x E-3)
*****
TORSION       5          9.03      0.77      0.96
Y             4          8.10      0.67      0.85
SUPER-ETABS   3          6.51      0.52      0.68
TRIDIMENSIONAL 2          4.43      0.34      0.34
              1          2.04      0.16      0.15

SUPER-ETABS   5          9.13      0.67      1.01
PLANOS        4          8.18      0.59      0.89
              3          6.56      0.47      0.72
              2          4.45      0.32      0.34
              1          2.05      0.14      0.20

TABS77        5          8.95      0.76      1.03
PLANOS        4          8.12      0.58      0.92
              3          6.52      0.47      0.75
              2          4.43      0.32      0.40
              1          2.04      0.14      0.23
*****

```

Tabla 3.55 Desplazamientos laterales estáticos.
 Sismo en dirección X. Estructura D.
 Sin considerar excentricidad de diseño.

PROGRAMA	NO.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)
TORSION	10	1	A	-30.20	16.04	0.41	0.15
Y			B	-25.95			
SUPER-ETABS							
TRIDIMENSIONAL		3	A	23.58	13.67	2.46	0.15
			B	24.26			
		5	A	-9.81	5.98	1.31	0.07
			B	-11.41			
	13	1	A	-18.01	9.60	43.41	0.10
			B	-15.59			
		3	A	14.01	8.10	18.28	0.10
			B	14.35			
		5	A	-5.49	3.33	2.24	0.05
			B	-6.17			
	11	1	A	-19.27	10.39	37.05	0.10
			B	-17.09			
		3	A	15.86	9.16	15.89	0.10
			B	16.19			
		5	A	-6.62	3.97	2.07	0.05
			B	-7.27			

Mf.- Momento flexionante
 N.- Fuerza normal
 tm.- Toneladas metro
 +.- No lo calcula el programa
 B.- Extremo superior

V.- Fuerza cortante
 Mt.- Momento torsionante
 t.- Toneladas
 A.- Extremo inferior

Tabla 3.56 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
 (cont.) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura D.

PROGRAMA	NO.	NIVEL	EXTREMO	Mf (tm)	V (t)	N (t)	Mt (tm)	

SUPER-ETABS (PLANOS)	1	1	A	-22.31	11.04	47.30	0.31	
			B	-16.32				
		3	A	13.08	7.73	19.20	0.35	
			B	13.98				
		5	A	4.43	2.97	2.51	0.18	
			B	5.98				

		5	1	A	-25.08	13.46	6.40	0.31
				B	-22.04			
		3	A	20.14	11.66	0.61	0.35	
			B	23.83				
		5	A	-8.35	5.06	0.61	0.18	
			B	-9.37				

		9	1	A	-25.08	13.46	6.18	0.31
B				-22.04				
	3	A	20.14	11.66	1.19	0.35		
		B	20.60					
	5	A	8.35	5.06	0.29	0.18		
		B	9.37					

	12	1	A	-22.31	11.04	44.01	0.31	
			B	-16.32				
	3	A	13.08	7.73	18.40	0.35		
		B	13.98					
	5	A	-4.43	2.97	2.19	0.18		
		B	-5.98					

	6	1	A	-29.01	15.25	7.01	0.31	
			B	-26.11				
	3	A	23.07	13.35	1.60	0.35		
		B	23.64					
	5	A	-9.73	5.89	0.29	0.18		
		B	-10.89					

Mf.-	Momento flexionante			V.-				
N.-	Fuerza normal			Mt.-				
tm.-	Toneladas metro			t.-				
+.-	No lo calcula el programa			A.-				
B.-	Extremo superior			Extremo inferior				

Tabla 3.56 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
(Cont.) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura D.

```

*****
PROGRAMA          NO.  NIVEL  EXTREMO  Mf      V      N      Mt
                (tm)  (t)   (t)    (tm)
*****
SUPER-ETABS      10   1     A     -29.31  14.92  0.38  0.31
( PLANOS )      B     -23.12
                3     A      22.30  12.92  2.39  0.35
                B     22.92
                5     A     -9.40  5.72   1.23  0.18
                B     -10.63
*****
                13   1     A     -17.84  8.46  43.81  0.31
                B     -14.32
                3     A      12.23  6.88  18.30  0.24
                B     11.83
                5     A     -4.55  2.82   2.30  0.12
                B     -5.32
*****
                11   1     A     -17.96  9.38  36.13  0.22
                B     -14.84
                3     A      12.35  7.76  16.01  0.24
                B     13.01
                5     A     -4.83  3.35   2.10  0.12
                B     -6.31
*****
Mf.- Momento flexionante      V.- Fuerza cortante
N.- Fuerza normal             Mt.- Momento torsionante
tm.- Toneladas metro         t.- Toneladas
+.- No lo calcula el programa A.- Extremo inferior
B.- Extremo superior

```

Tabla 3.56 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
(cont.) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura D.


```

*****
PROGRAMA      NO.  NIVEL  EXTREMO  Mf      V      N      Mt
              (tm)   (t)    (t)    (tm)
*****
TABS-77      10    1      A      -28.73  15.30  0.22  +
( PLANOS )   B      -24.83

              3      A      22.79  13.20  2.31  +
              B      23.43

              5      A      -9.55   5.81   0.76  +
              B      -10.79
*****
              13    1      A      -16.58  5.23   36.50  +
              B      -13.77

              3      A      12.09   7.03  18.41  +
              B      12.50

              5      A      -4.62   2.86   1.89  +
              B      -5.40
*****
              11    1      A      -16.58  8.65   36.76  +
              B      -13.70

              3      A      12.22   7.11  -16.00  +
              B      12.65

              5      A      -4.88   3.03   2.18  +
              B      -5.72
*****
Mf.- Momento flexionante      V.- Fuerza cortante
N.- Fuerza normal             Mt.- Momento torsionante
tm.- Toneladas metro         t.- Toneladas
+.- No lo calcula el programa A.- Extremo inferior
B.- Extremo superior

```

Tabla 3.56 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
(cont.) Sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura D.


```

*****
PISO  ENTREPISO    XT      YT      XT      YT
          (M)      (M)      (M)      (M)
*****
1          1          5.63    5.63    5.77    5.77
2          2          5.84    5.84    5.78    5.78
3          3          5.83    5.83    5.77    5.77
4          4          5.81    5.81    5.75    5.75
5          5          5.70    5.70    5.70    5.70

```

Notas:

- 1) Las coordenadas de los centros de torsión están referenciadas a ejes globales

Tabla 3.58 Centros de torsión (programa TORSION)
Estructura D.

PROGRAMA: TABS-77

M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D	E
5	5.84	12.20	18.22	19.17	4.57
4	11.69	22.07	32.24	34.07	7.92
3	16.04	29.49	42.79	45.23	10.44
2	19.09	34.46	49.80	52.58	12.07
1	21.65	36.90	52.16	56.53	12.76

Nota:

Para obtener las coordenadas del centro de torsión con la fórmula propuesta, se suma la componente horizontal del cortante del marco E, a los correspondientes de los marcos en dirección X (A, B, C) que tienen la columna común y se obtiene la tabla siguiente:

PROGRAMA: TABS-77

M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D
5	7.14	14.17	19.52	19.17
4	13.96	25.46	34.50	34.07
3	19.03	33.96	45.78	45.23
2	22.53	39.66	53.23	52.58
1	25.09	41.79	56.10	56.53

Notas:

1) Los cortantes están dados en Toneladas

Tabla 3.59 Cortantes de entrepiso obtenidos con análisis traslacional puro. Estructura D.

 PROGRAMA: SUPER-ETABS (planos)

M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D	E
5	5.69	11.89	17.76	18.68	5.16
4	11.41	21.53	31.45	33.24	8.95
3	15.65	28.78	41.76	44.13	11.80
2	18.64	33.64	48.60	51.32	13.65
1	21.14	36.02	50.93	55.19	14.44

 PROGRAMA: SUPER-ETABS (tridimensional)

M A R C O

ENTREPISO	A	B	C	D
5	6.75	13.40	19.44	20.41
4	13.04	24.20	34.51	36.25
3	17.71	32.32	45.87	48.01
2	20.92	37.74	53.42	55.92
1	23.45	40.03	56.05	60.47

Notas:

- 1) Los cortantes estan dados en Toneladas

Tabla 3.59 (cont.) Cortantes de entrepiso obtenidos con análisis traslacional puro. Estructura D.

```

*****
          TORSION      SUPER-ETABS      SUPER-ETABS      TABS-77
                    (TRIDIM.)      (PLANOS)
*****
NIVEL  XT      YT      XT      YT      XT      YT      XT      YT
*****
  5     5.70   5.70   5.54   5.54   5.74   5.74   5.77   5.77
  4     5.81   5.81   5.78   5.78   6.02   6.02   6.05   6.05
  3     5.83   5.83   5.79   5.79   6.00   6.00   6.04   6.04
  2     5.84   5.84   5.83   5.83   6.08   6.08   6.09   6.09
  1     5.63   5.63   6.17   6.17   6.76   6.76   6.20   6.20
*****

```

Notas:

- 1) Las coordenadas del centro de torsión, para todos los programas, son medidas a partir del origen de los ejes globales (X,Y)
- 2) Las coordenadas del centro de torsión del programa TORSION, se tomaron directamente del listado de resultados.
- 3) Los valores de las coordenadas están dadas en metros

Tabla 3.60 Tabla comparativa de los centros de torsión.
Estructura D.

```

*****
ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X
*****
NIVEL      TABS-77      SUPER-ETABS      SUPER-ETABS
              (PLANOS)        (TRIDIM.)
*****
5           0.54         0.57             0.77
4           0.26         0.29             0.53
3           0.27         0.31             0.52
2           0.22         0.23             0.48
1           0.11         0.45             0.14
*****

```

Notas:

- 1) Para cuando el sismo actúa en dirección Y, la excentricidad estática tiene los mismos valores, ya que existe simetría de la planta con respecto a un eje diagonal.
- 2) Las coordenadas del centro de masa son:
 $X_{cm} = 6.31m$ $Y_{cm} = 6.31m$
- 3) El valor de las excentricidades está dado en metros.

Tabla 3.61 Tabla comparativa de excentricidades estáticas Estructura D.

```

*****
ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION DEL EJE X
*****
          TABS-77          SUPER-ETABS          SUPER-ETABS
                        (PLANOS)          (TRIDIM.)
*****
NIVEL    Ed1      Ed2      Ed1      Ed2      Ed1      Ed2
*****
  5      2.31      -0.96      2.36      -0.93      2.66      -0.73
  4      1.89      -1.24      1.94      -1.21      2.30      -0.97
  3      1.91      -1.23      1.97      -1.19      2.28      -0.98
  2      1.83      -1.28      1.84      -1.27      2.22      -1.02
  1      1.67      -1.39      -2.17      1.95      1.71      -1.36
*****

```

Notas:

- 1) Debido a que existe simetría de la planta con respecto a un eje diagonal, para la dirección de análisis Y, los valores de la excentricidad de diseño los mismos
- 2) Todos los valores están dados en metros.

Tabla 3.62 Tabla comparativa de excentricidades de diseño Estructura D.

```

*****
          TABS-77          SUPER-ETABS          SUPER-ETABS
                          (PLANOS)          (TRIDIM.)
*****
NIVEL  Xcm    Ycm    Xcm    Ycm    Xcm    Ycm
*****
5      8.08   8.08   8.10   8.10   8.20   8.20
4      7.94   7.94   7.96   7.96   8.08   8.08
3      7.95   7.95   7.97   7.97   8.07   8.07
2      7.92   7.92   7.92   7.92   8.05   8.05
1      7.87   7.87   4.59   4.59   7.88   7.88
*****

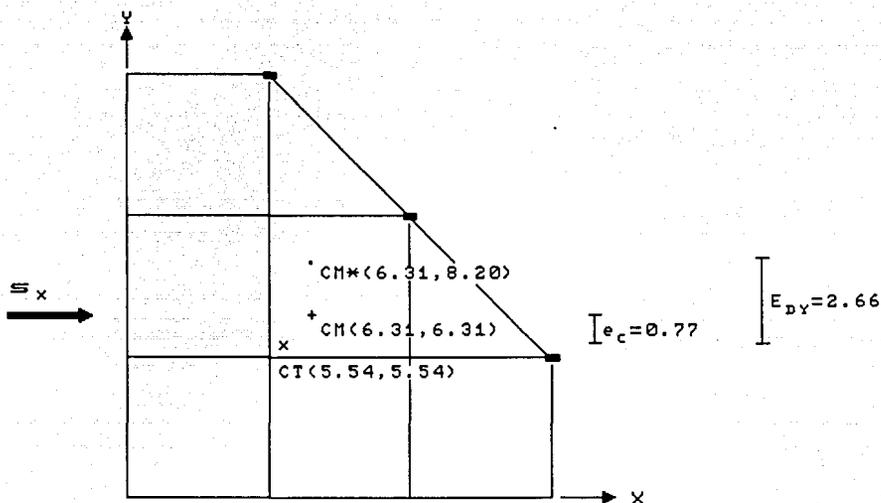
```

Notas:

- 1) Todos los valores están dados en metros.
- 2) Las coordenadas estan referenciadas a ejes globales

Tabla 3.63 Tabla comparativa de centros de masa modificados.
Estructura D.

NIVEL DE PISO 5



CM.- Centro de masa

CT.- Centro de torsión

CM*.- Centro de masa modificado

E_{DY} .- Excentricidad de diseño

e_c .- Excentricidad calculada o estática.

Notas:

- Acotaciones en metros.
- Se considera solo análisis en la dirección X.
- Se considera una sola opción de E_D .
- Los valores representados corresponden a los obtenidos con el programa SUPER-ETABS (tridimensional)

FIG. 3.18. PROPIEDADES DE LA "ESTRUCTURA D" A NIVEL DE PISO 5 CONSIDERANDO LA INFLUENCIA DE LOS EFECTOS DE LA TORSIÓN SEGÚN EL RDF-87.

MODO	TABS-77	SUPER-ETABS (PLANOS)	SUPER-ETABS (TRIDIM.)	DIRECCION COMPONENTE PRINCIPAL

1	1.139	1.143	1.146	Ø
2	0.926	0.928	0.930	X
3	0.742	0.742	0.746	Ø
4	0.371	0.372	0.373	Ø
5	0.296	0.297	0.308	X
6	0.258	0.259	0.263	Ø
7	0.209	0.212	0.216	Ø
8	0.182	0.183	0.186	Y
9	0.171	0.171	0.173	X

Tabla 3.64 Periodos de vibración (seg) con torsión.
Estructura D.

```

*****
PROGRAMA      NIVEL      X          Y          0
                (cm)      (cm)      (rad x E-3)
*****
TORSION       5          7.24      2.56      4.07
              4          6.49      2.28      2.64
              3          5.22      1.82      2.93
              2          3.54      1.22      2.00
              1          1.64      0.55      0.92

SUPER-ETABS   5          7.19      2.61      4.14
TRIDIMENSIONAL 4          6.45      2.31      3.71
              3          5.19      1.84      2.97
              2          3.53      1.24      2.02
              1          1.63      0.55      0.92

TABS77        5          7.15      2.57      3.08
PLANOS        4          6.43      2.28      2.72
              3          5.18      1.81      2.16
              2          3.53      1.22      1.45
              1          1.63      0.55      0.60
*****

```

Tabla 3.65

Desplazamientos laterales estáticos.
 Sismo en dirección X. Estructura D.
 Considerando excentricidad de diseño.


```

*****
PROGRAMA      NO.  NIVEL  EXTREMO      Mf      V      N      Mt
              (tm)  (t)    (t)         (t)         (tm)
*****
TORSION      10   1     A      -29.43  15.63  1.60  0.63
              B      -25.88
              3     A      -23.04  13.36  1.59  0.64
              B      -23.71
              5     A      -9.72   5.93   1.17  0.29
              B      -11.03
*****
              13   1     A      -17.73  9.51   31.00 0.44
              B      -16.55
              3     A      -14.21  8.22   13.45 0.44
              B      -14.54
              5     A      -5.81   3.50   1.71  0.20
              B      -6.44
*****
              11   1     A      -21.96  11.88  37.05 0.44
              B      -19.63
              3     A      -18.39  10.61  15.89 0.44
              B      -18.76
              5     A      -7.84   4.68   2.07  0.20
              B      -8.55
*****
Mf.- Momento flexionante      V.- Fuerza cortante
N.- Fuerza normal             Mt.- Momento torsionante
tm.- Toneladas metro         t.- Toneladas
+.- No lo calcula el programa A.- Extremo inferior
B.- Extremo superior

```

Tabla 3.66 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X. Includendo la excentricidad de diseño. Estructura D.


```

*****
PROGRAMA      NO.  NIVEL  EXTREMO  Mf      V      N      Mt
              (tm)  (t)    (t)     (tm)
*****
SUPER-ETABS  10   1      A      -29.42  15.63  1.65  0.63
(TRIDIMENSIONAL)
              B      -25.27
              3      A      -23.02  13.35  1.56  0.64
              B      -23.70
              5      A      -9.71   5.92   1.16  0.30
              B      -11.03
*****
              13   1      A      17.73   9.51  30.67  0.44
              B      15.55
              3      A      14.42   8.22  13.28  0.45
              B      14.55
              5      A      5.81    3.50   1.68  0.21
              B      6.45
*****
              11   1      A      21.99  11.90  37.05  0.44
              B      19.66
              3      A      -18.45  10.65  15.89  0.44
              B      18.82
              5      A      -7.89   4.71   2.07  0.21
              B      -8.60
*****
Mf.- Momento flexionante      V.- Fuerza cortante
N.- Fuerza normal             Mt.- Momento torsionante
tm.- Toneladas metro          t.- Toneladas
+.- No lo calcula el programa A.- Extremo inferior
B.- Extremo superior

```

Tabla 3.66 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X. Includiendo la excentricidad de diseño. Estructura D.


```

*****
PROGRAMA      NO.  NIVEL  EXTREMO  Mf      V      N      Mt
              (tm)  (t)    (t)     (tm)
*****
TABS-77      10   1      A      -27.59  14.70  0.24  +
( PLANOS )   B      -23.84

              3      A      -21.91  12.69  2.59  +
              B      -22.52

              5      A      -9.19   5.59   1.03  +
              B      -10.40
*****
              13   1      A      -15.92  8.33   25.08 +
              B      -13.23

              3      A      -11.62  6.75   10.40 +
              B      -12.02

              5      A      -4.45   2.75   2.45  +
              B      -5.20
*****
              11   1      A      -18.50  9.65   39.12 +
              B      -15.28

              3      A      -13.70  7.97   17.00 +
              B      -14.18

              5      A      -5.53   3.43   2.30  +
              B      -6.47
*****
Mf.- Momento flexionante      V.- Fuerza cortante
N.- Fuerza normal             Mt.- Momento torsionante
tm.- Toneladas metro         t.- Toneladas
+.- No lo calcula el programa A.- Extremo inferior
B.- Extremo superior

```

Tabla 3.66 Elementos mecánicos en columnas. Sismo dirección X.
(cont.) Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura D.

P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION		SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)

14	1	A	-0.19	25.34	-0.19	25.33	+	23.47
		B		26.72		26.71		24.37
	3	A	-0.13	21.15	-0.14	21.14	+	19.66
		B		21.97		21.96		20.18
	5	A	-0.01	6.81	-0.01	6.91	+	6.32
		B		7.03		7.02		6.47

15	1	A	0.10	25.24	0.10	25.23	+	25.16
		B		24.19		24.17		27.08
	3	A	0.04	18.81	0.04	18.80	+	18.72
		B		18.29		18.27		20.53
	5	A	-0.01	3.96	-0.01	3.96	+	3.92
		B		4.30		4.28		5.20

16	1	A	-0.15	46.58	-0.15	46.68	+	41.61
		B		37.08		37.16		32.35
	3	A	-0.09	34.18	-0.09	34.30	+	31.09
		B		27.51		27.61		24.66
	5	A	0.03	8.99	0.03	9.04	+	8.41
		B		6.43		6.47		6.16

17	1	A	0.24	28.26	0.24	28.32	+	27.75
		B		26.62		26.66		31.41
	3	A	0.20	22.61	0.20	22.69	+	21.98
		B		20.73		20.78		24.34
	5	A	0.10	6.42	0.10	6.46	+	5.85
		B		5.38		5.40		6.47

tm.-	Toneladas metro				Mt.- Momento torsionante			
+	No lo calcula el program				Mf.- Momento flexionante			
B	Extremo superior				A.- Extremo inferior			

Tabla 3.67 Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X.
(cont.) Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura D.

P R O G R A M A S

NO. TRABE	NIVEL	EXTREMO	TORSION		SUPER-ETABS TRIDIMENSIONAL		TABS77 PLANOS	
			Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)	Mt (tm)	Mf (tm)

18	1	A	-0.07	53.41	-0.07	53.61	+	47.33
		B		40.06		40.21		38.52
	3	A	0.00	38.49	0.00	38.74	+	34.44
		B		29.30		29.49		28.69
	5	A	0.08	9.67	0.08	9.78	+	8.64
		B		6.43		6.49		6.87

19	1	A	-0.10	-9.94	-0.10	-9.98	+	-19.84
		B		-10.79		-10.83		-14.45
	3	A	-0.14	-8.36	-0.14	-8.42	+	-15.44
		B		-9.57		-9.63		-11.61
	5	A	-0.10	-2.38	-0.10	-2.41	+	-4.42
		B		-3.26		-3.29		-3.11

tm.- Toneladas metro					Mt.- Momento torsionante			
+ .- No lo calcula el program					Mf.- Momento flexionante			
B .- Extremo superior					A .- Extremo inferior			

Tabla 3.67 Elementos mecánicos en trabes. Sismo dirección X.
(cont.) Incluyendo la excentricidad de diseño. Estructura D.

NIVEL	X (cm) sin ed	X (cm) con ed	% INCREMENTO

5	9.03	10.54	16.72
4	8.10	9.46	16.79
3	6.51	7.61	16.90
2	4.43	5.17	16.70
1	2.04	2.39	17.16

Tabla 3.68 Tabla comparativa de desplazamientos Sismo en direcci3n X. Estructura D.

No.	PISO	EXT.	Mf		V		N		Mt		
COL			ed=0	ed=1	ed=0	ed=1	ed=0	ed=1	ed=0	ed=1	

6	1	A	-30.75	-31.4	16.53	16.87	7.44	7.44	0.15	0.26	
		B	-27.09	-27.65							
	3	A	24.81	-25.32	14.35	14.64	1.62	1.62	0.15	0.26	
		B	25.42	-25.94							
	5	A	-10.42	-10.59	6.31	6.41	0.40	0.4	0.07	0.11	
		B	-11.65	-11.85							

9	1	A	-29.13	-34.08	15.63	18.29	6.23	12.89	0.15	0.26	
		B	-25.56	-29.94							
	3	A	23.46	-27.55	13.58	15.94	1.25	3.73	0.15	0.26	
		B	24.06	-28.25							
	5	A	-9.87	-11.63	5.98	7.05	0.34	0.14	0.07	0.11	
		B	-11.06	-13.03							

Notas:

- ed=0 : sin considerar la excentricidad de diseño
- ed=1 : considerando la excentricidad de diseño
- Mf : Momento flexionante en Ton-m
- V : Fuerza cortante en Ton
- Mt : Momento Torsionante en Ton-m

Tabla 3.68 (cont.) Tabla comparativa de elementos mecánicos en columnas.
Estructura D.

IV.- MODELOS A ANALIZAR.

IV.1. CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURA.

Las características de la planta de ésta estructura se muestran en la figura 4.1. Como se aprecia, es una estructura de planta simétrica y no existe ninguna asimetría en cuanto a sus rigideces. El edificio consta de 10 niveles y su sistema estructural es con base en marcos en la dirección longitudinal, y muros de cortante con marcos en la dirección transversal.

La idealización de la estructura se observa en la figura 4.2 y 4.3; en la primera se muestra la ubicación de las columnas y trabes usada para la codificación en los programas. Se observa también la ubicación de los muros, idealizados como columnas anchas; en la segunda figura se esquematizan los modelos de sistemas planos (marcos) de la estructura con sus tipos de elementos (vigas y columnas).

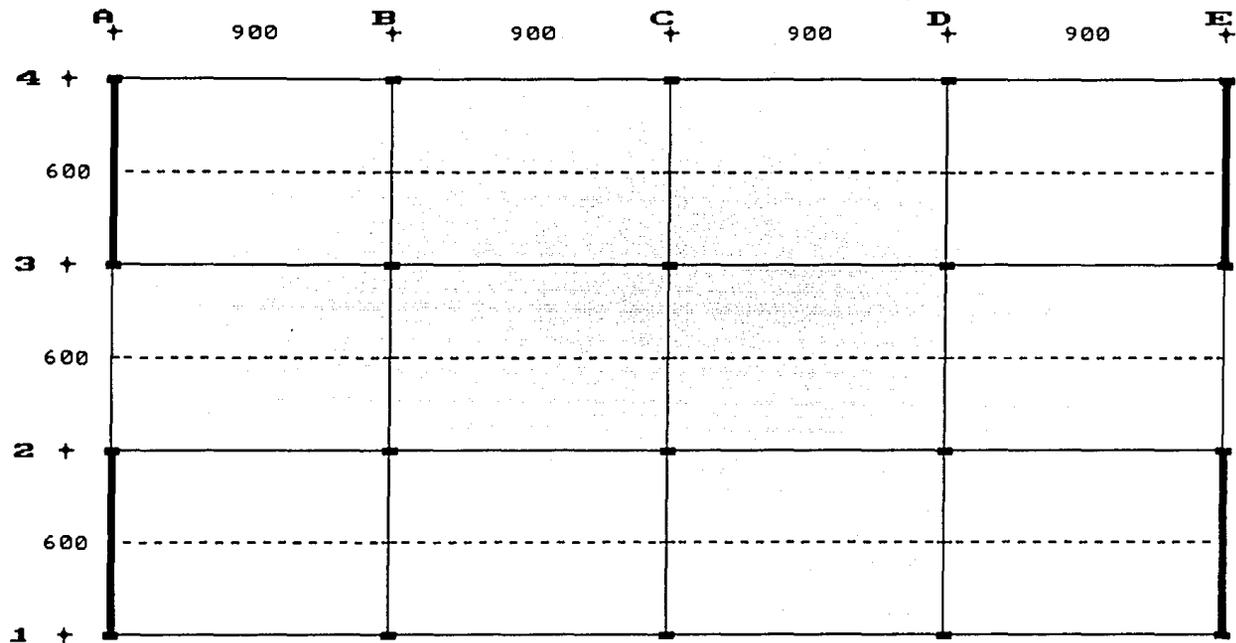
Mayores detalles respecto a las características de la estructura se pueden consultar en la tabla 4.1.

En la tabla 4.2 se muestran las propiedades geométricas de los elementos de que consta el edificio.

IV.2. FUERZAS SISMICAS Y ESPECTRO DE DISEÑO.

Las fuerzas sísmicas empleadas para realizar los análisis estáticos que se describen en el capítulo V, fueron obtenidas dinámicamente mediante un análisis sísmico dinámico modal espectral traslacional puro, con el fin de tomar en cuenta las características dinámicas en el análisis para considerar la excentricidad de diseño según el RDF-87. Las fuerzas sísmicas resultantes de dicho análisis se muestran en la tabla 4.3.

Para efectuar los análisis de tipo dinámico, también descritos en el capítulo V, se empleó el espectro de diseño que se muestra en la tabla 4.4

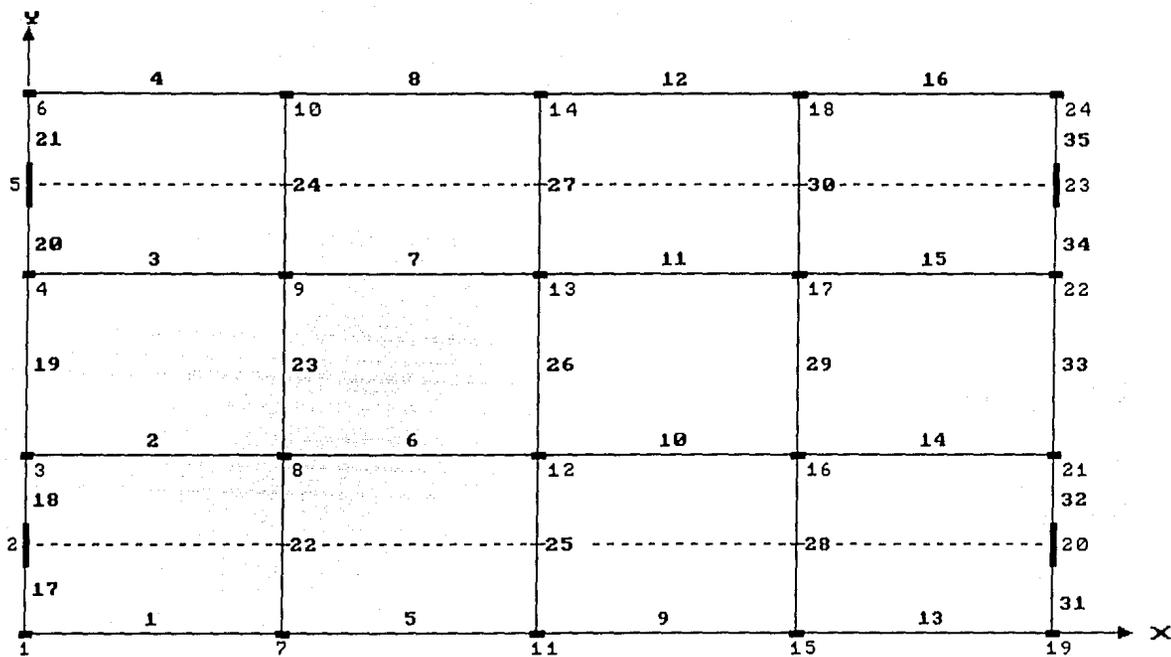


- MURO DE CONCRETO
- COLUMNA
- VIGA PRINCIPAL
- - - -** VIGA SECUNDARIA

MATERIALES: $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 154.92 \text{ ton/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

ACOTACIONES: CM

FIG. 4.1. PLANTA TIPO. ESTRUCTURA SIMETRICA

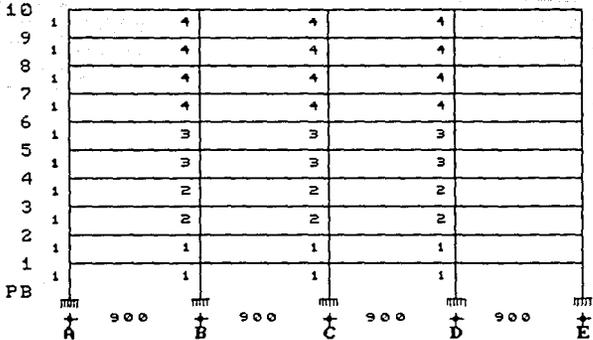


- COLUMNA
- █ MURO IDEALIZADO COMO COLUMNA ANCHA
- UIGA PRINCIPAL
- - - - UIGA SECUNDARIA

FIG. 4.2. IDEALIZACION DE LA ESTRUCTURA. LOCALIZACION DE VIGAS Y COLUMNAS

NIVEL

ELEVACION EJES TIPO 2 Y 3

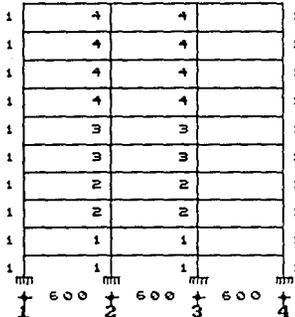


VIGAS 90x40 cm
 COLUMNAS 1 90x50 cm
 4 70x50 cm
 4 60x50 cm

LOS EJES TIPO 1 Y 4 SON DE FORMA ANALOGA A LOS EJES 2 Y 3. ÚNICAMENTE SON LOS ELEMENTOS QUE SON:

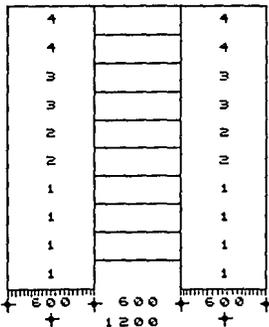
VIGAS 90x40 cm
 COLUMNAS 90x50 cm

ELEVACION EJES TIPO B, C Y D



VIGAS 85x30 cm
 COLUMNAS 1 50x90 cm
 4 50x80 cm
 4 50x60 cm

EJES TIPO A Y E



VIGAS 90x40cm
 MURO 1
 t(cm) 4
 4 50
 PATINES 50x90 cm
 50x80 cm
 50x60 cm

ACOTACIONES: CM

FIG. 4.3. TIPOS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES VERTICALES. MODELO DE SISTEMAS PLANOS.

NIVEL	W_i (Ton)	H_i (m)	M_t	M_r
10	694.18	3.7	70.76	9552.6
9	821.47	3.75	83.73	11303.55
8	827.4	3.75	84.34	11385.9
7	832.8	3.75	84.89	11460.15
6	839.56	3.75	85.58	11553.3
5	846.3	3.75	86.27	11646.45
4	853.06	3.75	86.96	11739.6
3	859.8	3.75	87.65	11832.75
2	871.43	4.15	88.83	11992.05
1	877.87	4.95	89.49	12081.15

W_T	8323.87			

Notas: W_i = peso del nivel en toneladas
 H_i = altura de entrepiso en metros
 M_t = masa traslacional
 M_r = masa rotacional

$$M_t = W_i / g$$

$$M_r = M_t (a^2 + b^2) / 12 \quad (\text{para una sección rectangular})$$

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$: aceleración de la gravedad
 a, b : dimensiones de la planta

Coordenadas del centro de masa:
 $X_{CM}, Y_{CM} = (18.00, 9.00 \text{ m})$ en todos los niveles.

Tabla 4.1. Propiedades de los niveles de la estructura de 10 pisos.

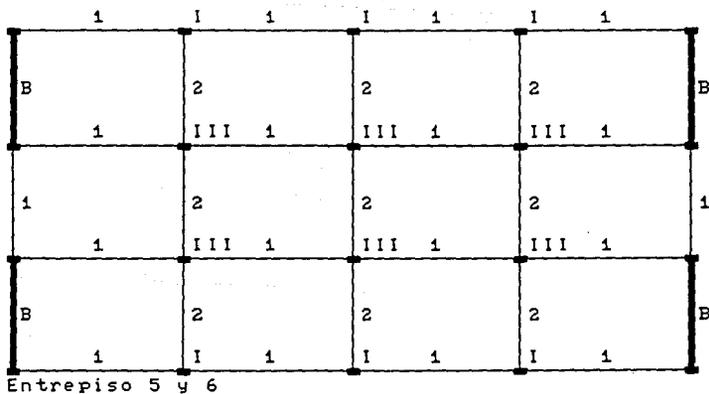
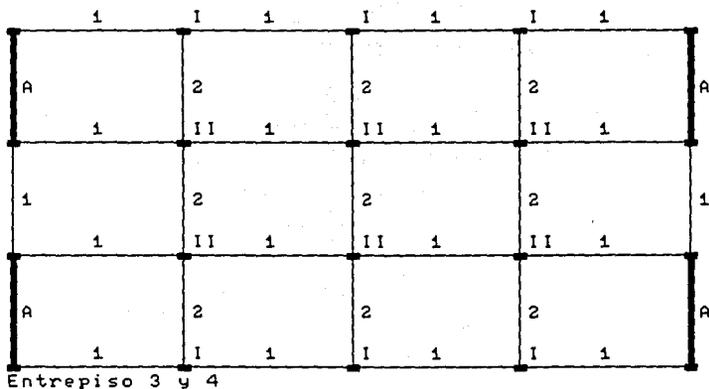
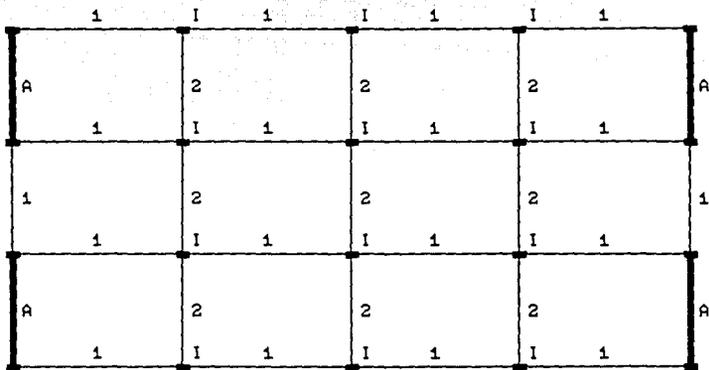
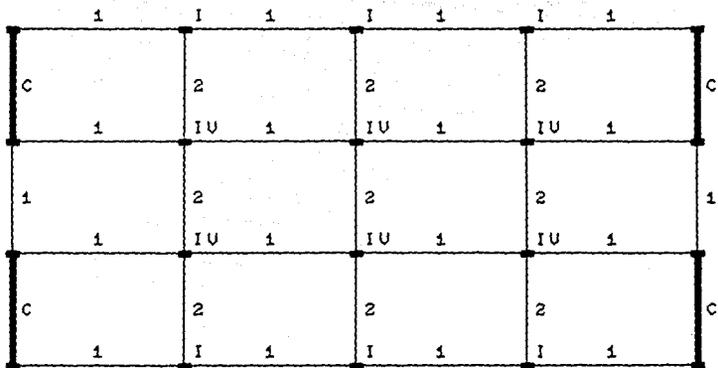
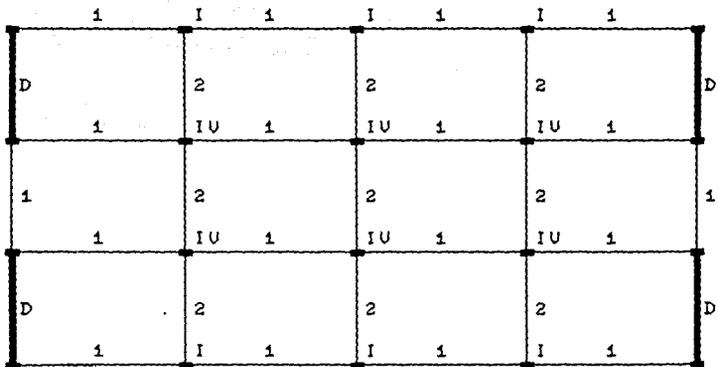


Fig. 4.4 Tipos de traves, columnas y muros.
Estructura de 10 niveles.



Entrepiso 7 y 8



Entrepiso 9 y 10

Fig.4.4(cont). Tipos de traves, columnas y muros
Estructura de 10 niveles

```

*****
Elemento Tipo Dimensiones Ix Iy J Az Avx Avy
(m) (m4) (m4) (m4) (m2) (m2) (m2)
*****
Columna I .90 x .50 0.009375 0.030375 0.024280 0.450000 0.375000 0.375000
II .80 x .50 0.008333 0.021330 0.020260 0.400000 0.333000 0.333000
III .70 x .50 0.007292 0.014290 0.016280 0.350000 0.291700 0.291700
IV .60 x .50 0.006250 0.009000 0.012450 0.300000 0.250000 0.250000
*****

```

Notas:

1.- Ix: Momento de inercia con respecto al eje X

Iy: Momento de inercia con respecto al eje Y

J: Inercia a la torsión

Az: Area normal

Avx: Area cortante en dirección x

Avy: Area cortante en dirección y

X,Y : Ejes de referencia global

2.- Los valores de las propiedades son los mismos para los programas TORSION y SUPER-ETABS (modelo tridimensional); para el programa SUPER-ETABS (modelo plano), se omiten una de las inercias a la flexión (la que corresponda a la dirección menor del sistema plano) y una de las áreas de cortante (también la que corresponde a la dirección menor).
Lo anterior depende del marco que se esté manejando.

Tabla 4.2. Propiedades geométricas de los elementos de la estructura simétrica de 10 niveles

```

*****
Elemento Tipo Dimension Espesor Ix Az Avx J
          del patin del muro (m4) (m2) (m2) (m4)
          (m) (m)
*****
Muro A .50 x .90 0.40 14.2970 3.190 2.6583 0.1658
      B .50 x .90 0.35 13.6038 2.915 2.4291 0.1271
      C .50 x .90 0.30 12.9106 2.640 2.2000 0.0980
      D .50 x .90 0.25 12.2173 2.365 1.9708 0.0772
*****

```

Notas:

1.- Ix: Momento de inercia con respecto al eje X

Az: Area normal

Avx: Area cortante c/r al eje x

J: Inercia a la torsión

X,Y : ejes de referencia global

2.- Se consideran nulas la inercia a la flexión y área de cortante con respecto al eje Y.

Tabla 4.2. (cont.). Propiedades geométricas de los elementos de la estructura de 10 niveles

```

*****
Elemento  Tipo  Dimensiones      I      Av      J
              (m)      (m4)     (m2)     (m4)
*****
Trabe     1      .90 x .40     0.02430  0.30000  0.01377
          2      .85 x .30     0.01535  0.21250  0.00593
*****

```

Notas:

- 1.- I: Inercia a la flexión
- Av: Area de cortante
- J: Inercia a la torsión

Tabla 4.2 (cont.) Propiedades geométricas de los elementos de la estructura de 10 niveles

Nivel	Fuerza cortante dinámica en el entrepiso (Ton)	Fuerza aplicada en el nivel (Ton)
10	383.15	383.15
9	807.45	424.30
8	1204.25	396.80
7	1565.09	360.84
6	1887.45	322.36
5	2170.24	282.79
4	2410.48	240.24
3	2604.62	194.14
2	2746.32	141.70
1	2823.98	77.66

Notas:

1.- Las fuerzas cortantes obtenidas son resultado de realizar un análisis dinámico modal espectral traslacional puro (espectro en la dirección x, para el caso) de la estructura.

Tabla 4.3. Fuerzas aplicadas en los niveles obtenidas por un análisis dinámico modal espectral.

```

*****
T (seg)          a/g
*****
0.00             0.1
                 0.4
                 0.4
*****

```

Ubicación: zona III (blanda)

$C_S = 0.40$

$Q = 1$ (ambas direcciones)

Tabla 4.4. Características del espectro de diseño.

V. ANALISIS SISMICO DE LA ESTRUCTURA DE 10 NIVELES.

V.1. ANALISIS SISMICO DINAMICO MODAL ESPECTRAL.

Este tipo de análisis sísmico dinámico modal espectral, se llevó a cabo con el objeto de observar qué tan parecidos son los modelos empleados en el programa SUPER-ETABS, con base en marcos planos y el marco tridimensional, antes de incluir los efectos de la torsión según el RDF-87.

Los resultados de los periodos de vibración son los mostrados en la tabla 5.1:

```

*****
                                PERIODOS (seg)
*****
MODO      SUPER-ETABS          SUPER-ETABS          COMPONENTE
          (Tridimensional)    (planos)            PRINCIPAL
*****
1         1.61                 1.62                X
2         1.18                 1.18                Y
3         0.81                 0.81                0
4         0.54                 0.54                X
5         0.30                 0.30                X
6         0.25                 0.25                Y
7         0.20                 0.20                X
8         0.17                 0.17                0
9         0.15                 0.15                X
*****

```

Tabla 5.1. Periodos de vibración (seg), sin incluir la excentricidad de diseño. Estructura de 10 niveles

Como se observa, la estructura empleada con las dos opciones de modelado (marcos planos acoplados y marco tridimensional), tiene prácticamente las mismas propiedades dinámicas.

V.2. ANALISIS SISMICO ESTATICO SIN INCLUIR LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

Este tipo de análisis se realizó empleando las fuerzas obtenidas de un análisis dinámico modal espectral traslacional puro. Se hizo uso de los programas SUPER-ETABS, con sus dos opciones de modelado (marcos planos acoplados y marco tridimensional) y del programa TORSION. No se consideran los efectos por torsión como lo marca el RDF. Los resultados de desplazamientos y elementos mecánicos en columnas y trabes se muestran en las tablas 5.2., 5.3 y 5.4 respectivamente. Los datos del espectro de diseño corresponden con los del capítulo anterior.

V.3. CONSIDERACION DE LAS ESPECIFICACIONES PARA TORSION SEGUN EL RDF-87

Como se observó en el capítulo III, para considerar los efectos de torsión, según marca el Reglamento del D.F. de 1987, es necesario realizar algunos cálculos previos si se va a trabajar con programas tales como el SUPER-ETABS. En lo que sigue se desarrolla la metodología propuesta y empleada anteriormente, para la estructura de 10 niveles ; esto es, se evalúa primero la posición del centro de torsión para después tomar en cuenta el incremento de la excentricidad, según lo especifica el Reglamento.

Se realiza lo anterior para el programa SUPER-ETABS, tanto en su modelado de marcos planos acoplados como en el de marco tridimensional. Se obtienen también los resultados con el programa TORSION.

V.3.1.- EVALUACION DE LA POSICION DEL CENTRO DE TORSION.

A) POSICION DE LOS CENTROS DE TORSION OBTENIDA CON EL PROGRAMA TORSION.

Estos valores se obtienen directamente del listado de resultados, y son los que se muestran en la tabla 5.5:

Entrepiso	X_T (m)	Y_T (m)
10	18.0	9.0
9	18.0	9.0
8	18.0	9.0
7	18.0	9.0
6	18.0	9.0
5	18.0	9.0
4	18.0	9.0
3	18.0	9.0
2	18.0	9.0
1	18.0	9.0

Tabla 5.5.- Posición del centro de torsión obtenida del programa TORSION.

En la tabla anterior los valores están dados a nivel de entrepiso; por ser una estructura simétrica, los valores a nivel de piso coinciden.

B) POSICION DE LOS CENTROS DE TORSION OBTENIDA CON EL PROGRAMA SUPER-ETABS (MODELOS CON BASE EN MARCOS PLANOS ACOPLADOS Y MARCO TRIDIMENSIONAL).

Para obtener la posición del centro de torsión se reiteran los pasos a seguir para lograr dicho objetivo:

1) Realizar un análisis traslacional puro de la estructura. Para obtener mejor representatividad de las propiedades dinámicas de la estructura, este análisis puede ser del tipo modal espectral.

2) Determinar el cortante de entrepiso en cada marco de la dirección de análisis.

3) Calcular el centro de torsión.

4) Calcular la excentricidad calculada e incrementarla de acuerdo al RDF-87

5) Modificar la posición del centro de masa para introducirla como dato al programa SUPER-ETABS, de acuerdo con las diferentes opciones que marca el Reglamento.

B.1) OBTENCION DE LAS FUERZAS CORTANTES DE UN ANALISIS DINAMICO MODAL TRASLACIONAL PURO.

Se realizó un análisis dinámico modal traslacional puro de la estructura de 10 pisos con el programa SUPER-ETABS; las direcciones de análisis fueron X y Y. Se utilizó el espectro de diseño anteriormente mostrado.

Los resultados se muestran en la tabla 5.6:

```

*****
Fuerza cortante (Ton) en marcos de la dirección X
*****
Entrepiso      1          2          3          4
*****
10      73.65      57.58      57.58      73.65
9       164.62     124.01     124.01     164.62
8       255.22     191.95     191.95     255.22
7       353.67     253.07     253.07     353.67
6       406.91     360.69     360.69     406.91
5       512.03     417.73     417.73     512.03
4       554.92     538.29     538.29     554.92
3       661.37     596.58     596.58     661.37
2       712.81     729.93     729.93     712.81
1       833.55     831.22     831.22     833.55
*****

```

Tabla 5.6. Fuerzas cortantes de entrepiso de los marcos en dirección X; análisis sísmico dirección X.

***** Fuerza cortante (Ton) en marcos de la dirección Y *****					
Entrepiso	A	B	C	D	E
10	119.32	167.04	167.04	167.04	119.32
9	85.00	135.75	135.75	135.75	85.00
8	229.70	144.98	144.98	144.98	229.70
7	388.19	145.70	145.70	145.70	388.19
6	534.46	155.43	155.43	155.43	534.46
5	706.57	148.79	148.79	148.79	706.57
4	873.82	146.26	146.26	146.26	873.82
3	1063.31	129.77	129.77	129.77	1063.31
2	1306.17	91.04	91.04	91.04	1306.17
1	1609.94	36.55	36.55	36.55	1609.94

Tabla 5.6. Fuerzas cortantes de entrepiso de los marcos en (Cont.) dirección Y; análisis sísmico dirección Y.

B.2) OBTENCION DE LA POSICION DE LOS CENTROS DE TORSION A NIVEL DE PISO EMPLEANDO LAS FUERZAS CORTANTES OBTENIDAS DE LOS ANALISIS TRASLACIONALES PUROS.

Una vez obtenidas las fuerzas cortantes para los marcos en ambas direcciones, se sigue con la obtención de la posición de los centros de torsión, para lo que se emplean las ecuaciones ya comentadas en el capítulo I:

$$X_T = \frac{(\sum V_{i,r} X_i - \sum P_j X_{Tj})}{P_r}$$

$$Y_T = \frac{(\sum V_{i,r} Y_i - \sum P_j Y_{Tj})}{P_r}$$

Donde:

- $X_T (Y_T)$: Coordenada X (Y) del centro de torsión, a nivel del piso r.
 $V_{i,r}$: Cortante en el elemento resistente i del entrepiso r.
 $X_i (Y_i)$: Coordenada X (Y) del elemento resistente i con respecto a los ejes globales.
n: Número de elementos resistentes en el entrepiso r.
N: Número de niveles.
 P_j : Fuerza aplicada en los niveles j (arriba del piso en estudio).
 $X_{Tj} (Y_{Tj})$: Posición X (Y) de los centros de torsión en los niveles inmediatamente arriba del estudiado.
 P_r : Fuerza actuante en el nivel en cuestión.

Se ejemplifica la obtención del centro de torsión del nivel 10, y se muestran los resultados para los demás niveles en la tabla 5.7.

$$X_{T10} = \frac{(-119.32)(0) + (167.04)(9) + (167.04)(18) + (167.04)(27) + (-119.32)(36)}{262.47}$$

$$X_{T10} = 18.0 \text{ m}$$

$$Y_{T10} = \frac{(73.65)(0) + (57.58)(6) + (57.58)(12) + (73.65)(18)}{262.47}$$

$$Y_{T10} = 9.0 \text{ m}$$

Notas:

- 1.- (X_{T10}, Y_{T10}) : Coordenadas del centro de torsión para el nivel 10, medidas a partir del origen de los ejes X-Y.
- 2.- Las fuerzas cortantes se obtuvieron de la tabla 5.6.
- 3.- Las coordenadas se obtuvieron con respecto al origen de los ejes globales XY (ver fig. IV.1 y 2).
- 4.- En este caso, los resultados obtenidos con SUPER-ETABS (planos) y SUPER-ETABS (tridimensional) son exactamente los mismos.

Procediendo análogamente para los demás niveles (siempre en orden descendente) se obtienen los siguientes valores:

*****	*****	*****
piso	X _T (m)	Y _T (m)
*****	*****	*****
10	18.0	9.0
9	18.0	9.0
8	18.0	9.0
7	18.0	9.0
6	18.0	9.0
5	18.0	9.0
4	18.0	9.0
3	18.0	9.0
2	18.0	9.0
1	18.0	9.0
*****	*****	*****

Tabla 5.7. Posiciones del centro de torsión a nivel de piso para la estructura de 10 niveles, obtenidas con el programa SUPER - ETABS (modelo plano y tridimensional).

B.3) OBTENCION DE LA POSICION DEL CENTRO DE TORSION A NIVEL DE ENTREPISO.

Para obtener la posición del centro de torsión a nivel de entrepiso y poder comparar con los valores del programa TORSION, se hace uso de las fórmulas:

$$X_T' = \frac{X_T P_R}{P_R}$$

$$Y_T' = \frac{Y_T P_R}{P_R}$$

Aplicando las ecuaciones anteriores para obtener la posición del centro de torsión del entrepiso 10 tenemos:

$$X_T' = \frac{(18)(262.47)}{(262.47)} = 18.00\text{m}$$

$$Y_T' = \frac{(9)(262.47)}{(262.47)} = 9.0\text{m}$$

De manera análoga se obtiene la posición para los demás entrepisos; los resultados se muestran en la tabla 5.8. Nótese que son los mismos obtenidos por el programa TORSION (tabla 5.5)

```

*****
Entrepiso           XT'           YT'
                    (m)           (m)
*****
10                   18.0           9.0
9                     18.0           9.0
8                     18.0           9.0
7                     18.0           9.0
6                     18.0           9.0
5                     18.0           9.0
4                     18.0           9.0
3                     18.0           9.0
2                     18.0           9.0
1                     18.0           9.0
*****

```

Tabla 5.8. Posiciones del centro de torsión a nivel de entrepiso para la estructura de 10 niveles, obtenidas con el programa SUPER - ETABS (modelo plano y tridimensional).

V.3.2. ANALISIS SISMICO ESTATICO CONSIDERANDO LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

El siguiente paso, para el programa SUPER-ETABS en sus dos diferentes modelados, para considerar las especificaciones del RDF-87, es modificar la posición del centro de masa. Para esto es necesario previamente conocer:

- 1.- La excentricidad calculada o estática.
- 2.- La excentricidad de diseño.

En el caso del programa TORSION, solo se activa una opción para que se tome en cuenta al RDF-87.

A) CALCULO DE LA EXCENTRICIDAD CALCULADA O ESTATICA.

A.1) EXCENTRICIDAD CALCULADA O ESTATICA OBTENIDA CON EL PROGRAMA TORSION.

Los valores de la excentricidad que arroja el listado de resultados son de 0.0 en ambas direcciones y para todos los entresijos, ya que la estructura es simétrica.

A.2) EXCENTRICIDAD CALCULADA O ESTATICA OBTENIDA CON EL PROGRAMA SUPER-ETABS (PLANOS Y TRIDIMENSIONAL).

La excentricidad calculada se definió como:

$$e_C = X_{CM} - X_T \quad (\text{sismo dirección Y})$$

$$e_C = Y_{CM} - Y_T \quad (\text{sismo dirección X})$$

donde:

e_C : excentricidad calculada
 X_{CM} (Y_{CM}): coordenada X (Y) del centro de masa
 X_T (Y_T): coordenada X (Y) del centro de torsión

Para la estructura de 10 niveles, las coordenadas del centro de masa, para todos los niveles, son :

$$X_{CM} = 18.0 \text{ m}$$

$$Y_{CM} = 9.0 \text{ m}$$

Para el caso de una estructura simétrica, tanto en forma como en propiedades, es obvio que no existe excentricidad debido a que, como se aprecia en los resultados de la evaluación del centro de torsión, la posición de éste coincide, en todos los niveles, con la posición del centro de masa. Sin embargo, se ilustra la manera de realizar el cálculo de la mencionada excentricidad:

Nivel 10:

$$e_{CX} = 18.0 - 18.0 = 0\text{m} \quad (\text{para análisis dir-Y})$$

$$e_{CY} = 9.0 - 9.0 = 0\text{m} \quad (\text{para análisis dir-X})$$

valores que coinciden en todos los niveles.

B) CALCULO DE LAS EXCENTRICIDADES DE DISEÑO SEGUN EL RDF-87.

B.1) EXCENTRICIDADES DE DISEÑO OBTENIDAS CON EL PROGRAMA TORSION.

Los valores de las excentricidades de diseño obtenidos directamente del listado de resultados son los que muestran en la tabla 5.9.

```

*****
Nivel      EX(1)      EX(2)      EY(1)      EY(2)
            (m)        (m)        (m)        (m)
*****
10         3.60       -3.60       1.80       -1.80
9          3.60       -3.60       1.80       -1.80
8          3.60       -3.60       1.80       -1.80
7          3.60       -3.60       1.80       -1.80
6          3.60       -3.60       1.80       -1.80
5          3.60       -3.60       1.80       -1.80
4          3.60       -3.60       1.80       -1.80
3          3.60       -3.60       1.80       -1.80
2          3.60       -3.60       1.80       -1.80
1          3.60       -3.60       1.80       -1.80
*****
    
```

Notas:

- 1.- $E1 = 1.5e_c + 0.1b[\text{sgn}(e_c)]$
- $E2 = e_c - 0.1b[\text{sgn}(e_c)]$
- $E(1) = \text{MAX}(E1, E2)$
- $E(2) = \text{MIN}(E1, E2)$

Donde:

- E1, E2 : Excentricidad de diseño según el RDF-87
- b : dimensión mayor del edificio en la dirección perpendicular a la de análisis.
- [sgn(e_c)] : signo de la excentricidad calculada.

Tabla 5.9. Excentricidades de diseño obtenidas con el programa TORSION.

B.2) EXCENTRICIDADES DE DISEÑO OBTENIDAS CON EL PROGRAMA SUPER-ETABS (MODELOS PLANO Y TRIDIMENSIONAL).

Las excentricidades de diseño se obtienen con base en las especificaciones del Reglamento del D.F.:

$$E_{d1} = 1.5e_c + 0.1b$$

$$E_{d2} = e_c - 0.1b$$

donde:

E_{d1} : opción 1 de la excentricidad de diseño
 E_{d2} : opción 2 de la excentricidad de diseño
 e_c : excentricidad estática
 b : dimensión máxima de la planta en la dirección perpendicular al análisis.

Para el análisis en las direcciones X y Y, se ejemplifica el cálculo de las excentricidades en el nivel 10 y se muestran, en la tablas 5.10 los valores en todos los demás niveles.

B.2.1) EXCENTRICIDADES DE DISEÑO PARA ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION X.

Nivel 10:

$e_{cy} = 0.0$ m
 $b_y = 18$ m

$E_{d1Y} = 1.5(0) + 0.1(18) = 1.8$ m
 $E_{d2Y} = 0 - 0.1(18) = -1.8$ m

Nivel	E_{d1Y} (m)	E_{d2Y} (m)
10	1.8	-1.8
9	1.8	-1.8
8	1.8	-1.8
7	1.8	-1.8
6	1.8	-1.8
5	1.8	-1.8
4	1.8	-1.8
3	1.8	-1.8
2	1.8	-1.8
1	1.8	-1.8

Tabla 5.10. Excentricidades de diseño obtenidas con resultados del programa SUPER-ETABS.
(Para análisis sísmico en dir-X)

B.2.2) EXCENTRICIDADES DE DISEÑO PARA ANALISIS SISMICO EN LA DIRECCION Y.

Nivel 10:

$e_{cX} = 0.0$ m
 $b_x = 36$ m

$$E_{d1Y} = 1.5(0) + 0.1(36) = 3.6 \text{ m}$$

$$E_{d2Y} = 0 - 0.1(36) = -3.6 \text{ m}$$

```

*****
Nivel      Ed1X      Ed2X
            (m)      (m)
*****
10         3.6      -3.6
9          3.6      -3.6
8          3.6      -3.6
7          3.6      -3.6
6          3.6      -3.6
5          3.6      -3.6
4          3.6      -3.6
3          3.6      -3.6
2          3.6      -3.6
1          3.6      -3.6
*****

```

Tabla 5.10. Excentricidades de diseño obtenidas con resultados del programa SUPER-ETABS.
(Para análisis sísmico en dir-Y)

C) MODIFICACION DE LA POSICION DEL CENTRO DE MASA PARA INTRODUCIRLA AL PROGRAMA SUPER-ETABS.

Este paso se realiza con el objeto de poder considerar de manera adecuada las especificaciones del RDF-87 al emplear el programa SUPER-ETABS en sus dos variantes de modelado.

La modificación de dicha posición se lleva a cabo con base en las expresiones ya utilizadas en el capítulo III:

$$X_{CM}' = X_T + E_{dX}$$

$$Y_{CM}' = Y_T + E_{dY}$$

En las cuales:

- XCM : Coordenada X del centro de masa modificada
- YCM : Coordenada Y del centro de masa modificada
- XT : Coordenada X del centro de torsión.
- YT : Coordenada Y del centro de torsión.
- EdX : Excentricidad de diseño X
- EdY : Excentricidad de diseño Y

Para el nivel 10 se tiene, empleando las dos opciones de excentricidades para cada dirección:

$$X_{CM10}' = 18 + 3.6 = 21.6\text{m} \quad (\text{opción 1 análisis dir-Y})$$

$$X_{CM10}' = 18 - 3.6 = 14.4\text{m} \quad (\text{opción 2 análisis dir-Y})$$

$$Y_{CM10}' = 9 + 1.8 = 10.8\text{m} \quad (\text{opción 1 análisis dir-X})$$

$$Y_{CM10}' = 9 - 1.8 = 7.2\text{m} \quad (\text{opción 2 análisis dir-X})$$

Procediendo de manera análoga para los otros niveles, se tiene la tabla 5.11:

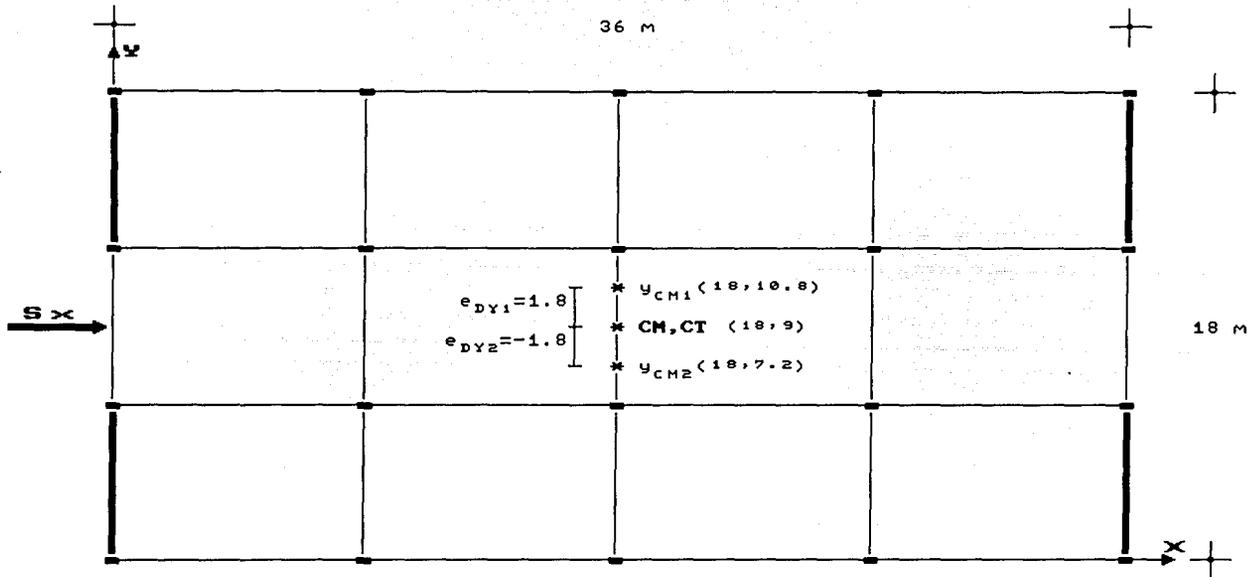
```

*****
                Análisis Dirección X                Análisis Dirección Y
*****
Nivel   Opción 1   Opción 2           Opción 1   Opción 2
        YCM' (m)   YCM' (m)           XCM' (m)   XCM' (m)
*****
10      10.8       7.2                21.6       14.4
9       10.8       7.2                21.6       14.4
8       10.8       7.2                21.6       14.4
7       10.8       7.2                21.6       14.4
6       10.8       7.2                21.6       14.4
5       10.8       7.2                21.6       14.4
4       10.8       7.2                21.6       14.4
3       10.8       7.2                21.6       14.4
2       10.8       7.2                21.6       14.4
1       10.8       7.2                21.6       14.4
*****

```

Tabla 5.11. Coordenadas modificadas del centro de masa de la estructura de 10 niveles para realizar los análisis con excentricidad de diseño en el programa SUPER-ETABS.

En las figuras 5.1 se muestran, para cada dirección de análisis, las propiedades de la estructura a nivel de piso al considerar la influencia de los efectos de torsión según el RDF-87.



NOTAS:

CM: Centro de masa

CT: Centro de torsión

y_{CM1} : Coordenada "y" modificada del centro de masa, opción 1

y_{CM2} : Coordenada "y" modificada del centro de masa, opción 2

$$y_{CM1} = y_{CT} + 1.8 = 10.8 \text{ m}$$

$$y_{CM2} = y_{CT} - 1.8 = 7.2 \text{ m}$$

Excentricidad calculada (e_c):

$$e_c = CM - CT = 0$$

Excentricidad modificada según RDF (e_D)

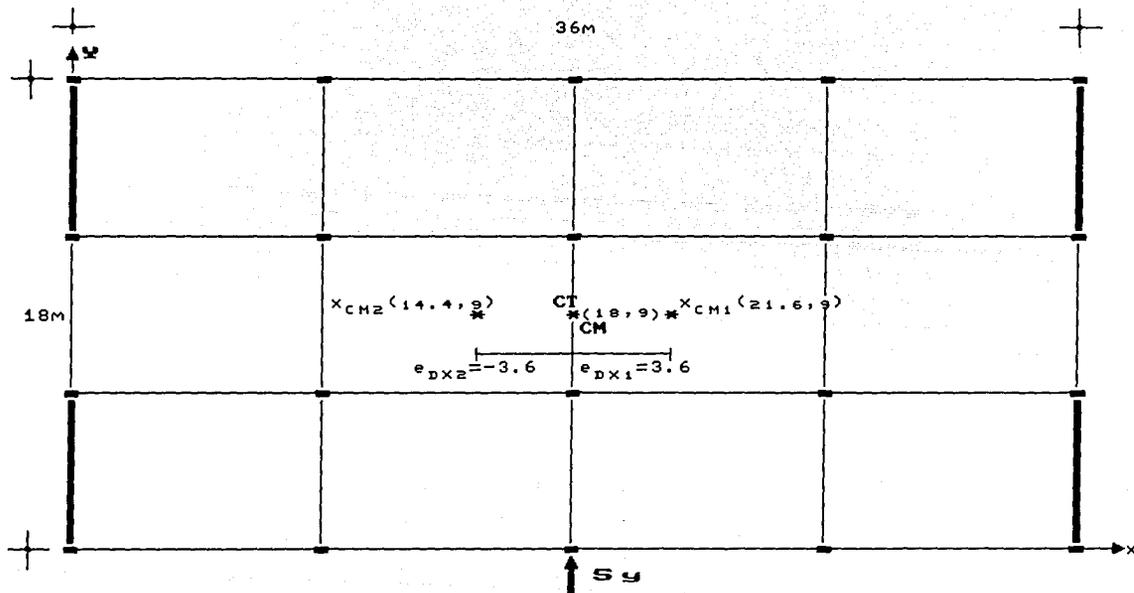
$$e_D = 1.5e_c + 0.1b \quad e_D = e_c - 0.1b$$

para la excentricidad modificada con sismo en la dirección X:

$$e_{DY1} = 1.8 \text{ m} \quad e_{DY2} = -1.8 \text{ m}$$

Para introducir este incremento en la excentricidad con sismo en la dirección X, se procedió a desplazar el centro de masa, como se muestra en la figura.

FIG. 5.1. Propiedades de la estructura a nivel de piso, considerando la excentricidad de diseño.



NOTAS:

CM: Centro de masa

CT: Centro de torsión

x_{CM1} : Coordenada "x" modificada del centro de masa, opción 1

x_{CM2} : Coordenada "x" modificada del centro de masa, opción 2

$x_{CM1} = x_{CT} + 3.6 = 21.6m$

$x_{CM2} = x_{CT} - 3.6 = 14.4m$

Excentricidad calculada (e_c):

$$e_c = CM - CT = 0$$

Excentricidad modificada según RDF (e_D):

$$e_D = 1.5e_c + 0.1b \quad e_D = e_c - 0.1b$$

para la excentricidad modificada con sismo en la dirección x:

$$e_{DX1} = 3.6m \quad e_{DX2} = -3.6m$$

Para introducir este incremento en la excentricidad con sismo en la dirección y, se procedió a desplazar el centro de masa, como se muestra en la figura.

FIG.5.1 (cont.) Propiedades de la estructura a nivel de piso, para considerar la excentricidad de diseño.

V.3.3. RESPUESTAS DEL ANALISIS SISMICO CONSIDERANDO LA EXCENTRICIDAD DE DISEÑO.

A continuación se presentan los resultados del análisis para la opción 1 sismo dirección X (X1) y para la opción 1 sismo en la dirección Y (Y1). Los análisis con el programa SUPER-ETABS se realizaron introduciendo como datos los valores de centro de masa de la tabla 5.11. Los análisis con el programa TORSION se llevaron a cabo activando la opción que considera "torsión sísmica".

En las tablas 5.12 a 5.21 se presentan los resultados obtenidos al considerar la excentricidad de diseño del RDF-87. En general se puede observar muy buena concordancia entre los resultados obtenidos con uno y otro programa; las diferencias son despreciables.

NIVEL	TORSION		SUPER - ETABS	
			Tridimensional	Planos

1	Dx	4.85	4.85	4.85
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
2	Dx	10.08	10.08	10.08
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
3	Dx	14.50	14.50	14.50
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
4	Dx	18.59	18.59	18.59
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
5	Dx	22.41	22.41	22.41
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
6	Dx	25.79	25.79	25.79
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
7	Dx	28.71	28.71	28.71
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
8	Dx	31.01	31.01	31.01
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
9	Dx	32.60	32.60	32.60
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00
10	Dx	33.52	33.52	33.52
	Dy	0.00	0.00	0.00
	Rot	0.00	0.00	0.00

Notas:

Dx: Desplazamiento en dirección X (cm)

Dy: Desplazamiento en dirección Y (cm)

Rot: Rotación a nivel de piso (rad)

Tabla 5.2. Desplazamientos máximos totales. Sismo en X.
Sin considerar la excentricidad de diseño.

PROGRAMA	COLUMNA No.	NIVEL	EXTREMO	Mfy (t-m)	Vx (Ton)	N (Ton)

TORSION	1	1	A	-365.92	-116.08	-336.87
Y			B	-102.52	116.08	336.87

SUPER-ETABS (tridimensional y plano)		3	A	-115.24	-88.34	-206.65
			B	-135.4	88.34	206.65
		5	A	-97.49	-77.17	-104.36
			B	-122.65	77.17	104.36
		7	A	-63.84	-58.35	-31.16
			B	-102.23	58.35	31.16
		10	A	12	-7.34	7.73
			B	-28.1	7.34	-7.73

	2	1	A	0	0	-313.33
			B	0	0	313.33
		3	A	0	0	-272.9
			B	0	0	272.9
		5	A	0	0	-208.59
			B	0	0	208.59
		7	A	0	0	-136.7
			B	0	0	136.7
		10	A	0	0	-32.79
			B	0	0	32.79

	3	1	A	-366.16	-116.23	-283.99
			B	-102.52	116.23	283.99
		3	A	-113.28	-86.46	-158.63
			B	-132.65	86.46	158.63
		5	A	-92.48	-73.06	-68.42
			B	114.01	73.06	68.42
		7	A	-56.67	-52.77	-10.94
			B	-91.42	52.77	10.94
		10	A	14.61	-5.53	9.77
			B	-23.82	5.53	-9.77

- NOTAS: 1) A= extremo inferior ; B= extremo superior
2) Mfy=Momento flexionante ; V=Fuerza Cortante
N=Fuerza normal

Tabla 5.3. Elementos mecánicos en columnas; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

```

*****
PROGRAMA  COLUMNA  NIVEL  EXTREMO  Mfy      Vx      N
          No.
*****
TORSION   7        1        A        -429.31  -158.58  2.99
Y         7        1        B        -212.23  158.58   -2.99
SUPER-ETABS
(tridimensional
 y plano)
          3        1        A        -231.23  -169.01  -4.38
          3        1        B        -249.33  169.01   4.38
          5        1        A        -198.29  -147.12  -6.28
          5        1        B        -220.48  147.12   6.28
          7        1        A        -142.39  -112.18  -6.18
          7        1        B        -176.98  112.18   6.18
          10       1        A        -18.58   -28.82   -2.12
          10       1        B        61.38    28.82    2.12
*****
          8        1        A        -427.89  -157.63  28.15
          8        1        B        -208.96  157.63  -28.15
          3        1        A        -200.93  -149.03  21.04
          3        1        B        -223.21  149.03  -21.04
          5        1        A        -154.39  -114.81  14.19
          5        1        B        -172.43  114.81  -14.19
          7        1        A        -98.98   -74.66   5.45
          7        1        B        -113.56  74.66   -5.45
          10       1        A        -28.41   -24.03   -1.28
          10       1        B        -38.93   24.03    1.28
*****
          11       1        A        -425.88  -156.28  0
          11       1        B        -206.89  156.28  0
          3        1        A        -231.91  -169.37  0
          3        1        B        -249.56  169.37  0
          5        1        A        -200.3   -148.57  0
          5        1        B        -222.98  148.57  0
          7        1        A        -145.78  -114.59  0
          7        1        B        -180.93  114.59  0
          10       1        A        -25.25   -34.11  0
          10       1        B        -71.33   34.11  0
*****

```

NOTAS: 1) A= extremo inferior ; B= extremo superior
2) Mfy=Momento flexionante ; V=Fuerza Cortante
N=Fuerza normal

Tabla 5.3. Elementos mecánicos en columnas; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

```

*****
PROGRAMA COLUMNA NIVEL EXTREMO Mfy Vx N
          No.      (t-m) (Ton) (Ton)
*****
TORSION  12      1      A      -424.6 -155.43 0
Y        B      -203.84 155.43 0
SUPER-ETABS
(tridimensional
 y plano) 3      A      -199.23 -147.29 0
          B      -220.89 147.29 0
          5      A      -151.39 -112.28 0
          B      -168.56 112.28 0
          7      A      -95.77 -72.06 0
          B      -109.32 72.06 0
          10     A      -30.86 -26.06 0
          B      -42.86 26.06 0
*****

```

NOTAS: 1) A= extremo inferior ; B= extremo superior
2) Mfy=Momento flexionante ;V=Fuerza Cortante
N=Fuerza normal

Tabla 5.3. Elementos mecánicos en columnas; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

```

*****
PROGRAMA                TORSION                SUPER-ETABS                SUPER-ETABS
                        (3DIMENSIONAL)                (PLANOS)
*****
TRABE  NIVEL  EXT.  Mt      Mf      Mt      Mf      Mt      Mf
No.      (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)
*****
1       1      A    0.00   309.25  0.00   309.25  0.00   309.25
          B    291.21
          3      A    0.00   280.35  0.00   280.35  0.00   280.35
          B    269.98
          5      A    0.00   234.00  0.00   234.00  0.00   234.00
          B    225.10
          7      A    0.00   167.83  0.00   167.83  0.00   167.83
          B    160.23
          10     A    0.00   31.98   0.00   31.98   0.00   31.98
          B    28.56
*****
2       1      A    0.00   309.56  0.00   309.56  0.00   309.56
          B    292.06
          3      A    0.00   272.38  0.00   272.38  0.00   272.38
          B    255.39
          5      A    0.00   217.96  0.00   217.96  0.00   217.96
          B    196.52
          7      A    0.00   146.98  0.00   146.98  0.00   146.98
          B    123.89
          10     A    0.00   25.69   0.00   25.69   0.00   25.69
          B    19.26
*****

```

- Notas: 1) A= Extremo izquierdo
2) B= Extremo derecho
3) Mt = Momento torsionante
4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.4 Elementos mecánicos en trabes; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

```

*****
PROGRAMA                TORSION                SUPER-ETABS                SUPER-ETABS
                        (3DIMENSIONAL)                (PLANOS)
*****
TRABE  NIVEL  EXT.  Mt      Mf      Mt      Mf      Mt      Mf
No.      (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)    (T-m)
*****
5        1      A    0.00   280.61  0.00   280.61  0.00   280.61
          B    0.00   281.36  0.00   281.36  0.00   281.36
          3      A    0.00   276.25  0.00   276.25  0.00   276.25
          B    0.00   276.21  0.00   276.21  0.00   276.21
          5      A    0.00   237.52  0.00   237.52  0.00   237.52
          B    0.00   237.39  0.00   237.39  0.00   237.39
          7      A    0.00   177.56  0.00   177.56  0.00   177.56
          B    0.00   177.00  0.00   177.00  0.00   177.00
          10     A    0.00   49.56   0.00   49.56   0.00   49.56
          B    0.00   48.60   0.00   48.60   0.00   48.60
*****
6        1      A    0.00   282.35  0.00   282.35  0.00   282.35
          B    0.00   283.21  0.00   283.21  0.00   283.21
          3      A    0.00   254.35  0.00   254.35  0.00   254.35
          B    0.00   254.65  0.00   254.65  0.00   254.65
          5      A    0.00   193.67  0.00   193.67  0.00   193.67
          B    0.00   193.90  0.00   193.90  0.00   193.90
          7      A    0.00   121.59  0.00   121.59  0.00   121.59
          B    0.00   122.65  0.00   122.65  0.00   122.65
          10     A    0.00   34.50   0.00   34.50   0.00   34.50
          B    0.00   32.58   0.00   32.58   0.00   32.58
*****

```

- Notas: 1) A= Extremo izquierdo
2) B= Extremo derecho
3) Mt = Momento torsionante
4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.4 Elementos mecánicos en trabes; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

PROGRAMA			TORSION		SUPER-ETABS (3DIMENSIONAL)		SUPER-ETABS (PLANOS)	

TRABE No.	NIVEL	EXT.	Mt (T-m)	Mf (T-m)	Mt (T-m)	Mf (T-m)	Mt (T-m)	Mf (T-m)

9	1	A	0.00	281.36	0.00	281.36	0.00	281.36
		B		280.61		280.61		280.61
	3	A	0.00	276.21	0.00	276.21	0.00	276.21
		B		276.25		276.25		276.25
	5	A	0.00	237.39	0.00	237.39	0.00	237.39
		B		237.52		237.52		237.52
	7	A	0.00	177.00	0.00	177.00	0.00	177.00
		B		177.56		177.56		177.56
	10	A	0.00	48.60	0.00	48.60	0.00	48.60
		B		49.56		49.56		49.56

10	1	A	0.00	283.21	0.00	283.21	0.00	283.21
		B		282.35		282.35		282.35
	3	A	0.00	254.65	0.00	254.65	0.00	254.65
		B		254.35		254.35		254.35
	5	A	0.00	193.90	0.00	193.90	0.00	193.90
		B		193.67		193.67		193.67
	7	A	0.00	122.65	0.00	122.65	0.00	122.65
		B		121.59		121.59		121.59
	10	A	0.00	32.85	0.00	32.85	0.00	32.85
		B		34.50		34.50		34.50

- Notas: 1) A= Extremo izquierdo
2) B= Extremo derecho
3) Mt = Momento torsionante
4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.4 Elementos mecánicos en trabes; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

```

*****
PROGRAMA                TORSION                SUPER-ETABS                SUPER-ETABS
                        (3DIMENSIONAL)                (PLANOS)
*****
TRABE  NIVEL  EXT.  Mt      Mf      Mt      Mf      Mt      Mf
No.    (T-m)   (T-m)   (T-m)   (T-m)   (T-m)   (T-m)   (T-m)
*****
13     1      A      0.00   291.21  0.00   291.21  0.00   291.21
        B      309.25
        3      A      0.00   269.98  0.00   269.98  0.00   269.98
        B      280.35
        5      A      0.00   225.10  0.00   225.10  0.00   225.10
        B      234.00
        7      A      0.00   160.23  0.00   160.23  0.00   160.23
        B      167.83
        10     A      0.00   28.56   0.00   28.56   0.00   28.56
        B      31.98
*****
14     1      A      0.00   292.06  0.00   292.06  0.00   292.06
        B      309.56
        3      A      0.00   255.39  0.00   255.39  0.00   255.39
        B      272.38
        5      A      0.00   196.52  0.00   196.52  0.00   196.52
        B      217.96
        7      A      0.00   123.89  0.00   123.89  0.00   123.89
        B      146.98
        10     A      0.00   19.26   0.00   19.26   0.00   19.26
        B      25.69
*****

```

- Notas: 1) A= Extremo izquierdo
2) B= Extremo derecho
3) Mt = Momento torsionante
4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.4 Elementos mecánicos en trabes; Análisis sísmico dirección X. Excentricidad de diseño nula

```

*****
PERIODOS (seg) DIR X1 (RDF)
*****
MODO  SUPER-ETABS  SUPER-ETABS  COMPONENTE
      TRIDIMENS.  PLANOS      PRINCIPAL
1      1.61         1.62         X
2      1.12         1.17         Y
3      0.75         0.80         0
4      0.53         0.53         X
5      0.30         0.30         X
6      0.25         0.25         Y
7      0.20         0.20         X
8      0.16         0.17         0
9      0.15         0.15         X
*****

```

Tabla 5.12. Periodos de vibración incluyendo excentricidad de diseño. Dirección X1 (opción 1)

NIVEL		TORSION	SUP-TRI	SUP-PLA

1	Dx	4.81	4.81	4.81
	Dy	0.085	0.085	0.085
	Rot	0.000047	0.000047	0.000047
2	Dx	9.96	9.96	9.96
	Dy	0.24	0.24	0.24
	Rot	0.00013	0.00013	0.00013
3	Dx	14.29	14.29	14.29
	Dy	0.43	0.43	0.43
	Rot	0.00024	0.00024	0.00024
4	Dx	18.27	18.27	18.27
	Dy	0.64	0.64	0.64
	Rot	0.00036	0.00036	0.00036
5	Dx	21.97	21.96	21.96
	Dy	0.89	0.89	0.89
	Rot	0.00049	0.00049	0.00049
6	Dx	25.21	25.21	25.21
	Dy	1.14	1.14	1.14
	Rot	0.00063	0.00063	0.00063
7	Dx	28.01	28	28
	Dy	1.4	1.4	1.4
	Rot	0.00078	0.00078	0.00078
8	Dx	30.18	30.17	30.17
	Dy	1.67	1.66	1.66
	Rot	0.00092	0.00092	0.00092
9	Dx	31.65	31.63	31.63
	Dy	1.92	1.91	1.91
	Rot	0.0011	0.0011	0.0011
10	Dx	32.43	32.43	32.43
	Dy	2.17	2.16	2.16
	Rot	0.0012	0.0012	0.0012

Notas:
Dx: Desplazamiento en dirección X (cm)
Dy: Desplazamiento en dirección Y (cm)
Rot: Rotación a nivel de piso (rad)

Tabla 5.13 Desplazamientos máximos totales. Sismo en X
Se considera la excentricidad de diseño.
Opción 1.

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL. NIV EXT. Mfx Mfy Vx Vy N Mt
 No. (T-m) (T-m) (Ton) (Ton) (Ton) (T-m)

1	1	A	0.00	363.26	115.43	0.00	363.95	0.18
		B	0.00	104.22				
	3	A	0.00	111.23	86.10	0.00	229.83	0.57
		B	0.00	134.14				
	5	A	0.00	92.94	74.24	0.00	121.66	0.73
		B	0.00	118.68				
	7	A	0.00	59.12	55.12	0.00	42.27	0.79
		B	0.00	97.98				
	10	A	0.00	16.87	3.37	0.00	4.89	0.76
		B	0.00	26.31				

2	1	A	1296.74	0.00	0.00	68.51	302.54	1.02
		B	957.60	0.00				
	3	A	510.27	0.00	0.00	57.62	262.72	2.94
		B	726.33	0.00				
	5	A	366.24	0.00	0.00	44.46	199.98	2.92
		B	199.52	0.00				
	7	A	112.38	0.00	0.00	29.29	130.47	2.42
		B	6.29	0.00				
	10	A	35.48	0.00	0.00	4.54	31.14	1.82
		B	18.70	0.00				

3	1	A	0.00	365.36	116.08	0.00	256.89	0.18
		B	0.00	104.76				
	3	A	0.00	112.48	86.11	0.00	136.84	0.57
		B	0.00	132.94				
	5	A	0.00	91.75	72.69	0.00	53.77	0.73
		B	0.00	115.43				
	7	A	0.00	56.07	52.46	0.00	2.79	0.79
		B	0.00	93.44				
	10	A	0.00	14.91	5.26	0.00	11.31	0.76
		B	0.00	29.64				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
 Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
 N=Fza. normal; Mt=momento torsionante

Tabla 5.14 Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección X1; se incluye excentricidad de diseño

 PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

 COL. NIV EXT. Mfx Mfy Vx Vy N Mt
 No. (T-m) (T-m) (Ton) (Ton) (Ton) (T-m)

4	1	A	0.00	366.94	116.38	0.00	311.73	0.18
		B	0.00	104.39				
	3	A	0.00	114.12	86.11	0.00	136.84	0.57
		B	0.00	133.44				
	5	A	0.00	93.19	73.51	0.00	83.69	0.73
		B	0.00	116.32				
	7	A	0.00	57.17	53.19	0.00	19.48	0.79
		B	0.00	94.41				
	10	A	0.00	14.14	5.92	0.00	8.22	0.76
		B	0.00	30.72				

5	1	A	1295.80	0.00	0.00	68.81	324.19	1.02
		B	955.35	0.00				
	3	A	726.54	0.00	0.00	59.23	283.04	2.94
		B	504.44	0.00				
	5	A	368.53	0.00	0.00	47.51	217.17	2.92
		B	190.39	0.00				
	7	A	117.23	0.00	0.00	32.67	142.91	2.42
		B	5.30	0.00				
	10	A	30.13	0.00	0.00	2.51	34.44	1.82
		B	39.41	0.00				

6	1	A	0.00	368.59	116.73	0.00	308.89	0.18
		B	0.00	104.17				
	3	A	0.00	119.10	90.49	0.00	182.54	0.57
		B	0.00	138.79				
	5	A	0.00	101.59	79.81	0.00	86.19	0.73
		B	0.00	125.87				
	7	A	0.00	67.74	61.08	0.00	19.50	0.79
		B	0.00	106.33				
	10	A	0.00	7.35	11.09	0.00	10.59	0.76
		B	0.00	38.41				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
 Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
 N=Fza. normal; Mt=momento torsionante

Tabla 5.14 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección X1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL. No.	NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
7	1	A	0.84	425.91	157.44	0.21	11.91	0.18
		B	0.01	21.71				
	3	A	1.17	225.25	165.45	0.64	17.32	0.57
		B	0.64	246.28				
	5	A	1.04	191.95	143.08	0.63	16.03	0.73
		B	0.76	215.82				
	7	A	0.75	136.33	108.18	0.50	12.47	0.79
		B	0.67	171.98				
	10	A	0.41	10.25	22.15	0.31	3.42	0.76
		B	0.46	51.78				
8	1	A	1.37	426.98	157.40	0.55	28.36	0.18
		B	0.87	210.48				
	3	A	3.41	198.75	147.52	2.28	21.08	0.47
		B	3.07	221.67				
	5	A	3.74	151.40	112.59	2.59	14.09	0.49
		B	3.65	169.50				
	7	A	3.52	95.64	72.16	2.47	5.35	0.40
		B	3.54	110.03				
	10	A	3.68	26.15	22.36	2.42	1.26	0.39
		B	4.00	36.46				
9	1	A	1.35	428.95	157.96	0.54	26.80	0.18
		B	0.83	210.80				
	3	A	3.57	201.57	149.26	2.41	19.83	0.47
		B	3.28	223.82				
	5	A	4.24	154.08	114.44	2.97	13.21	0.49
		B	4.21	172.06				
	7	A	4.33	97.85	73.74	3.07	4.83	0.40
		B	4.41	112.31				
	10	A	4.84	28.57	24.20	3.60	1.40	0.39
		B	5.24	39.18				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
N=Fza. normal; Mt=momento torsionante

Tabla 5.14 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección X1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL. No.	NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
10	1	A	1.25	432.56	159.63	0.48	18.40	0.18
		B	0.67	213.93				
	3	A	3.08	238.76	173.89	2.01	9.01	0.57
		B	2.65	256.84				
	5	A	3.74	207.95	153.86	2.56	3.92	0.73
		B	3.56	230.56				
	7	A	3.92	153.04	119.84	2.74	0.36	0.79
		B	3.87	188.49				
	10	A	4.40	29.12	37.02	3.39	0.80	0.76
		B	5.09	74.56				

11	1	A	0.00	422.52	155.24	0.00	0.00	0.18
		B	0.00	205.89				
	3	A	0.00	225.88	165.74	0.00	0.00	0.57
		B	0.00	246.48				
	5	A	0.00	193.80	144.37	0.00	0.00	0.73
		B	0.00	217.67				
	7	A	0.00	139.44	110.33	0.00	0.00	0.79
		B	0.00	175.01				
	10	A	0.00	16.97	27.52	0.00	0.00	0.76
		B	0.00	60.08				

12	1	A	0.00	423.62	155.14	0.00	0.00	0.18
		B	0.00	204.71				
	3	A	0.00	196.87	145.68	0.00	0.00	0.47
		B	0.00	218.31				
	5	A	0.00	148.29	110.02	0.00	0.00	0.49
		B	0.00	165.28				
	7	A	0.00	92.45	69.63	0.00	0.00	0.40
		B	0.00	106.00				
	10	A	0.00	28.18	24.08	0.00	0.00	0.39
		B	0.00	39.23				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
N=Fza. normal; Mt=momento torsionante

Tabla 5.14 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección X1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL. No.	NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
13	1	A	0.00	425.71	155.79	0.00	0.00	0.18
		B	0.00	205.24				
	3	A	0.00	200.24	147.83	0.00	0.00	0.47
		B	0.00	221.06				
	5	A	0.00	151.64	112.35	0.00	0.00	0.49
		B	0.00	168.56				
	7	A	0.00	95.32	71.69	0.00	0.00	0.40
		B	0.00	108.98				
	10	A	0.00	31.51	26.58	0.00	0.00	0.39
		B	0.00	42.94				
14	1	A	0.00	429.11	157.31	0.00	0.00	0.18
		B	0.00	208.01				
	3	A	0.00	239.27	174.10	0.00	0.00	0.57
		B	0.00	256.92				
	5	A	0.00	209.67	155.07	0.00	0.00	0.73
		B	0.00	232.29				
	7	A	0.00	156.05	121.92	0.00	0.00	0.80
		B	0.00	191.43				
	10	A	0.00	35.69	42.24	0.00	0.00	0.76
		B	0.00	82.58				

 Notas:Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
 Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
 N=Fza. normal; Mt=momento torsionante

Tabla 5.14 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección X1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA			TORSION		SUPER-ETABS (3DIMENSIONAL)		SUPER-ETABS (PLANOS)	
TRABE No.	NIVEL	EXT.	Mt (T-m)	Mf (T-m)	Mt (T-m)	Mf (T-m)	Mt (T-m)	Mf (T-m)

1	1	A	0.67	306.83	0.67	306.83	0.67	306.83
		B		288.89		288.89		288.89
	3	A	1.36	275.40	1.36	275.40	1.36	275.40
		B		265.22		265.22		265.22
	5	A	1.67	227.28	1.67	227.28	1.67	227.28
		B		218.48		218.48		218.48
	7	A	1.75	159.95	1.75	159.95	1.75	159.95
		B		153.35		153.35		153.35
	10	A	1.70	26.78	1.70	26.78	1.70	26.78
		B		24.57		24.57		24.57

2	1	A	0.66	310.43	0.66	310.43	0.66	310.43
		B		292.81		292.81		292.81
	3	A	1.29	274.35	1.29	274.35	1.29	274.35
		B		258.22		258.22		258.22
	5	A	1.49	221.16	1.49	221.16	1.49	221.16
		B		200.81		200.81		200.81
	7	A	1.46	151.10	1.46	151.10	1.46	151.10
		B		129.27		129.27		129.27
	10	A	1.37	31.35	1.37	31.35	1.37	31.35
		B		24.81		24.81		24.81

 Notas: 1) A= Extremo izquierdo
 2) B= Extremo derecho
 3) Mt = Momento torsionante
 4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.15 Elementos mecánicos en trabes; Análisis sísmico dirección X1. Se incluye excentricidad de diseño


```

*****
          PERIODOS (seg) DIR Y1 (RDF)
*****
MODO  SUPER-ETABS   SUPER-ETABS   COMPONENTE
      TRIDIMENS.    PLANOS        PRINCIPAL

  1    1.61          1.62          X
  2    1.16          1.22          Y
  3    0.73          0.77          0
  4    0.53          0.53          X
  5    0.30          0.30          X
  6    0.26          0.26          Y
  7    0.20          0.20          X
  8    0.16          0.16          0
  9    0.15          0.15          X
*****

```

Tabla 5.16 Periodos de vibración incluyendo excentricidad de diseño. Dirección Y1 (opción 1)

NIVEL		TORSION	SUPER-ETABS (TRIDIM.)	SUPER-ETABS (PLANOS)

1	Dx	0.085	0.085	0.085
	Dy	0.64	0.64	0.64
	Rot	0.000095	0.000095	0.000095
2	Dx	0.24	0.24	0.24
	Dy	1.78	1.78	1.78
	Rot	0.00027	0.00027	0.00027
3	Dx	0.43	0.43	0.43
	Dy	3.15	3.15	3.15
	Rot	0.00047	0.00047	0.00047
4	Dx	0.65	0.64	0.64
	Dy	4.74	4.74	4.74
	Rot	0.00072	0.00072	0.00072
5	Dx	0.89	0.89	0.89
	Dy	6.48	6.49	6.49
	Rot	0.00099	0.00098	0.00098
6	Dx	1.14	1.14	1.14
	Dy	8.31	8.32	8.32
	Rot	0.0013	0.0013	0.0013
7	Dx	1.41	1.4	1.4
	Dy	10.17	10.18	10.18
	Rot	0.0016	0.0016	0.0016
8	Dx	1.67	1.66	1.66
	Dy	12.01	12.03	12.03
	Rot	0.0019	0.0018	0.0018
9	Dx	1.92	1.91	1.91
	Dy	13.81	13.83	13.83
	Rot	0.0021	0.0021	0.0021
10	Dx	2.17	2.16	2.16
	Dy	15.54	15.56	15.56
	Rot	0.0024	0.0024	0.0024

Notas:
Dx: Desplazamiento en dirección X (cm)
Dy: Desplazamiento en dirección Y (cm)
Rot: Rotación a nivel de piso (rad)

Tabla 5.17 Desplazamientos máximos totales. Sismo en Y
Se considera la excentricidad de diseño.
Opción 1.

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL.	NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)

1	1	A	0.00	5.07	1.13	0.00	307.14	0.36
		B	0.00	0.50				
	3	A	0.00	6.65	3.51	0.00	263.25	1.13
		B	0.00	3.36				
	5	A	0.00	6.89	4.30	0.00	196.21	1.47
		B	0.00	5.36				
	7	A	0.00	6.48	4.44	0.00	124.58	1.58
		B	0.00	6.17				
	10	A	0.00	6.50	5.31	0.00	28.21	1.51
		B	0.00	8.36				

2	1	A	9674.20	0.00	0.00	542.03	4.22	2.03
		B	6991.15	0.00				
	3	A	5209.55	0.00	0.00	434.72	1.00	5.88
		B	3579.35	0.00				
	5	A	2531.76	0.00	0.00	332.78	1.77	5.83
		B	1283.84	0.00				
	7	A	692.50	0.00	0.00	213.17	2.87	4.84
		B	106.88	0.00				
	10	A	308.10	0.00	0.00	34.69	1.16	3.64
		B	179.75	0.00				

3	1	A	0.00	2.31	0.79	0.00	180.21	0.36
		B	0.00	0.89				
	3	A	0.00	4.99	3.16	0.00	143.42	1.13
		B	0.00	4.02				
	5	A	0.00	6.10	4.13	0.00	94.88	1.47
		B	0.00	5.68				
	7	A	0.00	6.49	4.50	0.00	51.30	1.58
		B	0.00	6.35				
	10	A	0.00	7.97	6.39	0.00	9.32	1.51
		B	0.00	9.92				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
N=Fza. normal en ton; Mt=momento torsionante

Tabla 5.18 Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección Y1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL.	NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
7	1	A	17.71	6.43	2.04	5.72	249.79	0.36
		B	5.46	1.84				
	3	A	34.09	12.43	7.66	21.16	217.67	1.13
		B	26.22	9.41				
	5	A	37.75	14.46	9.69	25.24	164.21	1.47
		B	34.18	13.15				
	7	A	36.47	14.88	10.37	25.29	105.23	1.58
		B	35.60	14.66				
	10	A	36.85	16.42	12.98	28.47	20.70	1.51
		B	42.87	19.92				
8	1	A	23.18	2.59	0.98	9.28	4.31	0.36
		B	14.40	1.38				
	3	A	57.20	5.56	3.77	38.32	3.17	0.95
		B	52.01	5.17				
	5	A	64.62	6.16	4.38	45.02	2.43	0.97
		B	63.68	6.34				
	7	A	62.85	5.75	4.15	44.43	1.41	0.81
		B	63.78	6.07				
	10	A	67.27	7.20	5.40	50.15	0.73	0.77
		B	73.14	7.91				
11	1	A	19.61	6.59	2.15	6.28	277.38	0.36
		B	5.82	2.12				
	3	A	37.61	13.38	8.36	23.29	241.54	1.13
		B	28.76	10.44				
	5	A	41.82	15.87	10.70	27.94	182.09	1.47
		B	37.80	14.62				
	7	A	40.65	16.62	11.59	28.19	116.59	1.58
		B	39.68	16.42				
	10	A	41.65	18.72	14.72	32.22	22.90	1.51
		B	48.58	22.50				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
N=Fza. normal en ton; Mt=momento torsionante

Tabla 5.18 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección Y1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL. No.	NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
12	1	A	25.70	2.09	0.65	10.24	8.07	0.36
		B	15.78	0.53				
	3	A	63.20	3.37	2.15	42.28	8.00	0.95
		B	57.31	2.75				
	5	A	71.39	3.35	2.33	49.71	6.48	0.97
		B	70.29	3.23				
	7	A	69.46	2.87	2.05	49.10	4.70	0.81
		B	70.48	2.98				
	10	A	74.40	3.33	2.51	55.48	0.87	0.78
		B	80.95	3.70				
15	1	A	21.89	6.87	2.34	7.08	310.41	0.36
		B	6.80	2.60				
	3	A	42.60	14.59	9.23	26.46	270.48	1.13
		B	32.80	11.71				
	5	A	47.31	17.54	11.89	31.62	204.12	1.47
		B	42.82	16.34				
	7	A	45.82	18.54	12.95	31.76	130.88	1.58
		B	44.69	18.35				
	10	A	46.46	21.32	16.77	35.87	25.94	1.51
		B	53.99	25.64				
16	1	A	28.63	1.34	0.14	11.46	7.41	0.36
		B	17.80	0.76				
	3	A	71.18	0.07	0.28	47.68	5.66	0.95
		B	64.71	0.87				
	5	A	80.58	0.79	0.70	56.14	4.19	0.97
		B	79.41	1.20				
	7	A	78.54	1.33	1.00	55.52	2.44	0.81
		B	79.68	1.51				
	10	A	84.31	2.35	1.72	62.84	1.01	0.78
		B	91.63	2.47				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
N=Fza. normal en ton; Mt=momento torsionante

Tabla 5.18 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección Y1; se incluye excentricidad de diseño

PROGRAMA: TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COL. NIV	EXT.	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)	
19	1	A	0.00	5.59	1.48	0.00	417.26	0.36
		B	0.00	0.40				
	3	A	0.00	9.10	5.27	0.00	357.83	1.13
		B	0.00	5.93				
	5	A	0.00	10.41	6.82	0.00	267.16	1.47
		B	0.00	9.03				
	7	A	0.00	10.76	7.47	0.00	170.13	1.58
		B	0.00	10.53				
	10	A	0.00	12.54	10.13	0.00	39.59	1.51
		B	0.00	15.83				
20	1	A	14859.20	0.00	0.00	816.63	39.15	2.03
		B	10817.00	0.00				
	3	A	8115.27	0.00	0.00	668.44	39.90	5.88
		B	5608.79	0.00				
	5	A	4001.31	0.00	0.00	516.71	36.14	5.83
		B	2063.66	0.00				
	7	A	1151.72	0.00	0.00	335.10	27.74	4.84
		B	104.89	0.00				
	10	A	439.31	0.00	0.00	38.75	7.78	3.64
		B	295.95	0.00				
21	1	A	0.00	0.84	0.19	0.00	290.05	0.36
		B	0.00	1.62				
	3	A	0.00	1.71	1.64	0.00	232.09	1.13
		B	0.00	3.02				
	5	A	0.00	3.22	2.50	0.00	154.72	1.47
		B	0.00	3.91				
	7	A	0.00	4.28	3.05	0.00	84.69	1.58
		B	0.00	4.42				
	10	A	0.00	6.42	5.06	0.00	15.49	1.51
		B	0.00	7.75				

Notas: Mfx=momento flexionante X; Mfy=momento flexionante Y
Vx=Fza. cortante X; Vy=Fza. cortante Y
N=Fza. normal en ton; Mt=momento torsionante

Tabla 5.18 (cont.) Elementos mecánicos en columnas; análisis sísmico dirección Y1; se incluye excentricidad de diseño

```

*****
PROGRAMA                TORSION                SUPER-ETABS                SUPER-ETABS
                        3DIMENSIONAL                PLANOS
*****
TRABE  NIVEL  EXT.  Mt      Mf      Mt      Mf      Mt      Mf
No.    (T-m)  (T-m)  (T-m)  (T-m)  (T-m)  (T-m)  (T-m)
*****
17     1      A    0.29   2.22   0.29   2.22   0.29   2.22
        B    45.82
        3      A    0.57   3.94   0.57   3.94   0.57   3.94
        B    84.67
        5      A    0.71   4.40   0.71   4.40   0.71   4.40
        B    94.51
        7      A    0.75   4.12   0.75   4.12   0.75   4.12
        B    -88.77
        10     A    0.73   3.96   0.73   3.96   0.73   3.96
        B    74.30
*****
18     1      A    0.29   53.26  0.29   53.26  0.29   53.26
        B    -5.55
        3      A    0.57  101.15  0.57  101.15  0.57  101.15
        B    -16.11
        5      A    0.71  117.68  0.71  117.68  0.71  117.68
        B    -25.44
        7      A    0.75  116.77  0.75  116.77  0.75  116.77
        B    -32.58
        10     A    0.73  105.44  0.73  105.44  0.73  105.44
        B    -38.29
*****

```

- Notas: 1) A= Extremo izquierdo
2) B= Extremo derecho
3) Mt = Momento torsionante
4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.19. Elementos mecánicos en traves; Análisis sísmico dirección Y1. Se incluye excentricidad de diseño.

PROGRAMA	TORSION		SUPER-ETABS 3DIMENSIONAL		SUPER-ETABS PLANOS		*****		
TRABE No.	NIVEL	EXT.	Mt (T-m)	Mf (T-m)	Mt (T-m)	Mf (T-m)	Mt (T-m)	Mf (T-m)	

31	1	A	0.19	4.07	0.19	4.07	0.19	4.07	
		B		73.74		73.74		73.74	
	3	A	0.41	7.53	0.41	7.53	0.41	7.53	
		B		138.84		138.84		138.84	
	5	A	0.50	8.70	0.50	8.70	0.50	8.70	
		B		158.17		158.17		158.17	
	7	A	0.51	8.49	0.51	8.49	0.51	8.49	
		B		152.26		152.26		152.26	
	10	A	0.30	8.14	0.30	8.14	0.30	8.14	
		B		131.79		131.79		131.79	

	32	1	A	0.19	81.29	0.19	81.29	0.19	81.29
B				9.53		9.53		9.53	
3		A	0.41	155.20	0.41	155.20	0.41	155.20	
		B		26.90		26.90		26.90	
5		A	0.50	181.38	0.50	181.38	0.50	181.38	
		B		41.86		41.86		41.86	
7		A	0.51	180.83	0.51	180.83	0.51	180.83	
		B		53.12		53.12		53.12	
10		A	0.30	164.16	0.30	164.16	0.30	164.16	
		B		61.89		61.89		61.89	

- Notas: 1) A= Extremo izquierdo
2) B= Extremo derecho
3) Mt = Momento torsionante
4) Mf = Momento flexionante

Tabla 5.19. Elementos mecánicos en traves; Análisis sísmico dirección Y1. Se incluye excentricidad de diseño.

PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COLUMNA No. 1

NIVEL	COND	EXT	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
1	ed=0	A	0.00	-365.92	-116.08	0.00	-336.87	0.00
	ed=n	A	0.00	-363.26	-115.43	0.00	-363.95	0.18
	ed=0	B	0.00	-102.52				
	ed=n	B	0.00	-104.22				
3	ed=0	A	0.00	-115.24	-88.34	0.00	-206.65	0.00
	ed=n	A	0.00	-111.23	-86.10	0.00	-229.83	0.57
	ed=0	B	0.00	-135.40				
	ed=n	B	0.00	-134.14				
5	ed=0	A	0.00	-97.49	-77.17	0.00	-104.36	0.00
	ed=n	A	0.00	-92.94	-74.24	0.00	-121.66	0.73
	ed=0	B	0.00	-122.65				
	ed=n	B	0.00	-118.68				
7	ed=0	A	0.00	-63.84	-58.35	0.00	-31.16	0.00
	ed=n	A	0.00	-59.12	-55.12	0.00	-42.27	0.79
	ed=0	B	0.00	-102.23				
	ed=n	B	0.00	-97.98				
10	ed=0	A	0.00	12.00	-7.34	0.00	7.73	0.00
	ed=n	A	0.00	16.87	-3.37	0.00	4.89	0.76
	ed=0	B	0.00	-28.10				
	ed=n	B	0.00	-26.31				

Notas:

- Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
- Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
- Vx : Fuerza cortante X
- Vy : Fuerza cortante Y
- N : Fuerza normal
- Mt : Momento torsionante
- ed=0 : excentricidad de diseño nula
- ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
- A : Extremo inferior
- B: Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 1 con y sin la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

```

*****
PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)
*****
COLUMNA No. 2
*****
NIVEL  COND  EXT      Mfx      Mfy      Vx      Vy      N      Mt
          (T-m)    (T-m)    (Ton)   (Ton)   (Ton)   (T-m)
*****
1      ed=0  A      0.00     0.00     0.00     0.00    -313.33  0.00
      ed=n  A     -1296.74  0.00     0.00     -68.51   -302.54  1.02

      ed=0  B      0.00     0.00
      ed=n  B     -957.60  0.00

3      ed=0  A      0.00     0.00     0.00     0.00    -272.90  0.00
      ed=n  A     -510.27  0.00     0.00     -57.62   -262.72  2.94

      ed=0  B      0.00     0.00
      ed=n  B     -726.33  0.00

5      ed=0  A      0.00     0.00     0.00     0.00    -208.59  0.00
      ed=n  A     -366.24  0.00     0.00     -44.46   -199.98  2.92

      ed=0  B      0.00     0.00
      ed=n  B     -199.52  0.00

7      ed=0  A      0.00     0.00     0.00     0.00    -136.70  0.00
      ed=n  A     -112.38  0.00     0.00     -29.29   -130.47  2.42

      ed=0  B      0.00     0.00
      ed=n  B     -6.29    0.00

10     ed=0  A      0.00     0.00     0.00     0.00    -32.79  0.00
      ed=n  A     -35.48  0.00     0.00     -4.54    -31.14  1.82

      ed=0  B      0.00     0.00
      ed=n  B     18.70
*****

```

Notas:

- Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
- Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
- Vx : Fuerza cortante X
- Vy : Fuerza cortante Y
- N : Fuerza normal
- Mt : Momento torsionante
- ed=0 : excentricidad de diseño nula
- ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
- A : Extremo inferior
- B: Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 2 con y sin (cont.) la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COLUMNA No. 7

NIVEL	COND	EXT	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
1	ed=0	A	0.00	-429.31	-158.58	0.00	2.99	0.00
	ed=n	A	0.84	-425.91	-157.44	-0.20	-11.91	0.18
	ed=0	B	0.00	-212.23				
	ed=n	B	0.01	-211.71				
3	ed=0	A	0.00	-231.23	-169.01	0.00	-4.38	0.00
	ed=n	A	1.17	-225.25	-165.45	-0.06	-17.32	0.57
	ed=0	B	0.00	-249.33				
	ed=n	B	0.64	-246.28				
5	ed=0	A	0.00	-198.29	-147.12	0.00	-6.28	0.00
	ed=n	A	1.04	-191.95	-143.08	-0.63	-16.03	0.73
	ed=0	B	0.00	-220.48				
	ed=n	B	0.76	-215.82				
7	ed=0	A	0.00	-142.39	-112.18	0.00	-6.18	0.00
	ed=n	A	0.75	-136.33	-108.18	-0.50	-12.47	0.79
	ed=0	B	0.00	-176.98				
	ed=n	B	0.67	-171.98				
10	ed=0	A	0.00	-18.58	-28.82	0.00	-2.12	0.00
	ed=n	A	0.41	-10.25	-22.15	-0.31	-3.42	0.76
	ed=0	B	0.00	61.38				
	ed=n	B	0.46	51.78				

Notas:

- Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
- Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
- Vx : Fuerza cortante X
- Vy : Fuerza cortante Y
- N : Fuerza normal
- Mt : Momento torsionante
- ed=0 : excentricidad de diseño nula
- ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
- A : Extremo inferior
- B: Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 7 con y sin
(cont.) la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)

COLUMNA No. 8

NIVEL	COND	EXT	Mfx (T-m)	Mfy (T-m)	Vx (Ton)	Vy (Ton)	N (Ton)	Mt (T-m)
1	ed=0	A	0.00	-427.89	-157.63	0.00	28.15	0.00
	ed=n	A	1.37	-426.98	-157.40	-0.55	28.36	0.18
	ed=0	B	0.00	-208.96				
	ed=n	B	0.87	-210.48				
3	ed=0	A	0.00	-200.93	-149.03	0.00	21.04	0.00
	ed=n	A	3.41	-198.75	-147.52	-2.28	21.08	0.47
	ed=0	B	0.00	-223.31				
	ed=n	B	3.07	-221.67				
5	ed=0	A	0.00	-154.31	-114.18	0.00	14.19	0.00
	ed=n	A	3.74	-151.40	-112.59	-2.59	14.09	0.49
	ed=0	B	0.00	-172.43				
	ed=n	B	3.65	-169.50				
7	ed=0	A	0.00	-98.98	-74.66	0.00	5.45	0.00
	ed=n	A	3.52	-95.64	-72.16	-2.47	5.35	0.40
	ed=0	B	0.00	-113.56				
	ed=n	B	3.54	-110.03				
10	ed=0	A	0.00	-28.41	-24.03	0.00	-1.28	0.00
	ed=n	A	3.68	-26.15	-22.36	-2.42	-1.26	0.39
	ed=0	B	0.00	-39.93				
	ed=n	B	4.00	-36.46				

Notas:

- Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
- Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
- Vx : Fuerza cortante X
- Vy : Fuerza cortante Y
- N : Fuerza normal
- Mt : Momento torsionante
- ed=0 : excentricidad de diseño nula
- ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
- A : Extremo inferior
- B: Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 8 con y sin
(cont.) la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

```

*****
PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)
*****
COLUMNA No. 3
*****
NIVEL  COND  EXT      Mfx      Mfy      Vx      Vy      N      Mt
          (T-m)  (T-m)    (Ton)   (Ton)   (Ton)   (T-m)
*****
1      ed=0  A      0.00    -366.16  -116.23  0.00    -283.99  0.00
      ed=n  A      0.00    -365.36  -116.08  0.00    -256.89  0.18

      ed=0  B      0.00    -102.52
      ed=n  B      0.00    -104.76

3      ed=0  A      0.00    -113.28  -86.46   0.00    -158.63  0.00
      ed=n  A      0.00    -112.48  -86.11   0.00    -136.84  0.57

      ed=0  B      0.00    -132.65
      ed=n  B      0.00    -132.94

5      ed=0  A      0.00    -92.48   -73.06   0.00    -68.42   0.00
      ed=n  A      0.00    -91.75   -72.69   0.00    -53.77   0.73

      ed=0  B      0.00    -114.01
      ed=n  B      0.00    -115.43

7      ed=0  A      0.00    -56.67   -52.77   0.00    -10.94   0.00
      ed=n  A      0.00    -56.07   -52.46   0.00     -2.79   0.79

      ed=0  B      0.00    -91.42
      ed=n  B      0.00    -93.44

10     ed=0  A      0.00     14.61   -5.53    0.00     9.77    0.00
      ed=n  A      0.00    -14.91   -5.26    0.00    11.31    0.76

      ed=0  B      0.00    -23.82
      ed=n  B      0.00    -29.64
*****

```

Notas:

- Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
- Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
- Vx : Fuerza cortante X
- Vy : Fuerza cortante Y
- N : Fuerza normal
- Mt : Momento torsionante
- ed=0 : excentricidad de diseño nula
- ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
- A : Extremo inferior
- B: Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 3 con y sin (cont.) la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

```

*****
PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)
*****
COLUMNA No.  11
*****
NIVEL  COND  EXT      Mfx      Mfy      Vx      Vy      N      Mt
          (T-m)    (T-m)    (Ton)   (Ton)   (Ton)   (T-m)
*****
1      ed=0  A      0.00    -425.88  -156.28  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -422.52  -155.24  0.00    0.00    0.18

      ed=0  B      0.00    -206.89
      ed=n  B      0.00    -205.89

3      ed=0  A      0.00    -231.91  -169.37  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -225.88  -165.74  0.00    0.00    0.57

      ed=0  B      0.00    -249.56
      ed=n  B      0.00    -246.48

5      ed=0  A      0.00    -200.30  -148.57  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -193.80  -144.37  0.00    0.00    0.73

      ed=0  B      0.00    -222.98
      ed=n  B      0.00    -217.67

7      ed=0  A      0.00    -145.78  -114.59  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -139.44  -110.33  0.00    0.00    0.79

      ed=0  B      0.00    -180.93
      ed=n  B      0.00    -175.01

10     ed=0  A      0.00    -25.25   -34.11   0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -16.97   -27.52   0.00    0.00    0.76

      ed=0  B      0.00    -71.33
      ed=n  B      0.00    -60.08
*****

```

Notas:

- Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
- Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
- Vx : Fuerza cortante X
- Vy : Fuerza cortante Y
- N : Fuerza normal
- Mt : Momento torsionante
- ed=0 : excentricidad de diseño nula
- ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
- A : Extremo inferior
- B: Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 11 con y sin (cont.) la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

```

*****
PROGRAMA : TORSION Y SUPER-ETABS (TRIDIMENSIONAL Y PLANO)
*****
COLUMNA No. 12
*****
NIVEL  COND  EXT      Mfx      Mfy      Vx      Vy      N      Mt
          (T-m)  (T-m)    (Ton)   (Ton)   (Ton)   (T-m)
*****
1      ed=0  A      0.00    -424.60  -155.43  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -423.62  -155.14  0.00    0.00

      ed=0  B      0.00    -203.84
      ed=n  B      0.00    -204.71

3      ed=0  A      0.00    -199.23  -147.29  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -197.87  -145.68  0.00    0.00

      ed=0  B      0.00    -220.89
      ed=n  B      0.00    -218.31

5      ed=0  A      0.00    -151.39  -112.28  0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -148.29  -110.02  0.00    0.00

      ed=0  B      0.00    -168.56
      ed=n  B      0.00    -165.28

7      ed=0  A      0.00    -95.77   -72.06   0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -92.45   -69.63   0.00    0.00

      ed=0  B      0.00    -109.32
      ed=n  B      0.00    -106.00

10     ed=0  A      0.00    -30.86   -26.06   0.00    0.00    0.00
      ed=n  A      0.00    -28.18   -24.08   0.00    0.00

      ed=0  B      0.00    -42.86
      ed=n  B      0.00    -39.23
*****

```

Notas:

Mfx: Momento flexionante con respecto al eje X
Mfy: Momento flexionante con respecto al eje Y
Vx : Fuerza cortante X
Vy : Fuerza cortante Y
N : Fuerza normal
Mt : Momento torsionante
ed=0 : excentricidad de diseño nula
ed=n : opción 1 de la excentricidad de diseño
A : Extremo inferior
B : Extremo superior

Tabla 5.20 Comparación de elementos mecánicos en la columna 12 con y sin (cont.) la excentricidad de diseño. Sismo dirección X

```

*****
NIVEL          SIN ed          CON ed
*****
1      Dx      4.85              4.81
      Dy      0.00              0.085
      Rot     0.00              0.000047
2      Dx     10.08             9.96
      Dy      0.00              0.240
      Rot     0.00              0.000130
3      Dx     14.50             14.29
      Dy      0.00              0.430
      Rot     0.00              0.000240
4      Dx     18.59             18.27
      Dy      0.00              0.640
      Rot     0.00              0.000360
5      Dx     22.41             21.97
      Dy      0.00              0.890
      Rot     0.00              0.000490
6      Dx     25.79             25.21
      Dy      0.00              1.140
      Rot     0.00              0.000630
7      Dx     28.71             28.01
      Dy      0.00              1.400
      Rot     0.00              0.000780
8      Dx     31.01             30.18
      Dy      0.00              1.670
      Rot     0.00              0.000920
9      Dx     32.60             31.65
      Dy      0.00              1.920
      Rot     0.00              0.001100
10     Dx     33.52             32.43
      Dy      0.00              2.170
      Rot     0.00              0.001900
*****

```

Notas:

Dx: Desplazamiento en dirección X (cm)

Dy: Desplazamiento en dirección Y (cm)

Rot: Rotación a nivel de piso (rad)

Tabla 5.20 Comparación de desplazamientos con y sin la excentricidad de diseño. Sismo en X.

VI.- DISEÑO SISMICO DE ELEMENTOS TIPO.

Utilizando los resultados de los análisis sísmicos del capítulo III, se realiza a continuación el diseño de algunos elementos tipo (columna y trabe), con el objeto de comparar posteriormente las diferencias que se presentan al considerar o no la excentricidad de diseño.

El diseño de estos elementos, está basado en las "Normas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto, 1987". La metodología seguida se presenta de manera bastante resumida debido a que el objetivo principal de este trabajo es el análisis y no el diseño de la estructura.

La estructura elegida para diseño de elementos tipo fue la tipo C, presentada en el capítulo III, debido a que fue la que presentó mayores diferencias en los resultados con y sin ed.

VI.1. DISEÑO DE ELEMENTOS TIPO. ESTRUCTURA C SIN RDF Y CON RDF.

VI.1.1. COLUMNA TIPO.

Se eligió la columna No. 1; es una columna de esquina y sus propiedades geométricas se presentan en la tabla 3.35, correspondiente al capítulo III.

Los elementos mecánicos M-N para que se diseña se presentan en las tablas 3.39 y 3.49.

VI.1.2. TRABE TIPO.

La trabe elegida para diseño fue la No. 1 (ver capítulo III) y sus propiedades se presentan en la tabla 3.35 (cont.) del mismo capítulo.

Los elementos mecánicos para diseño se muestran en las tablas 3.40 y 3.50 del capítulo III.

Los armados resultantes se muestran en las figuras 6.1 para columnas con y sin RDF y en la figura 6.2 para trabes con y sin RDF.

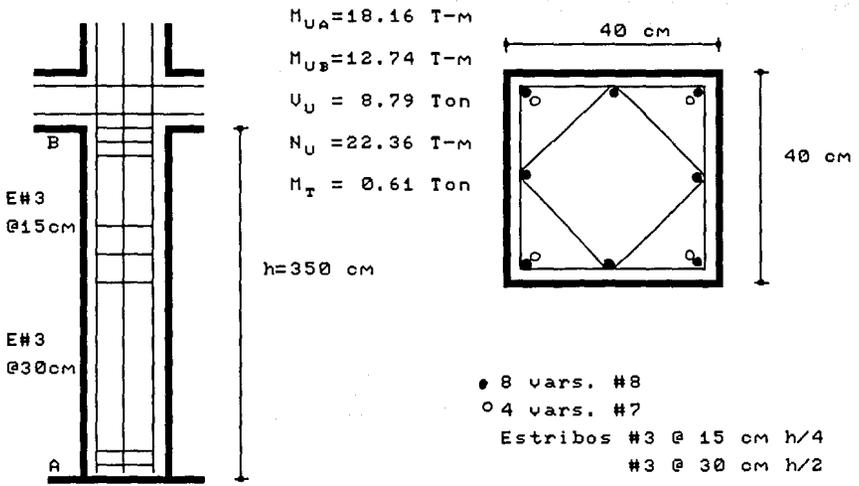


FIG. 6.1. COLUMNA No. 1, NIVEL 1, SIN RDF.

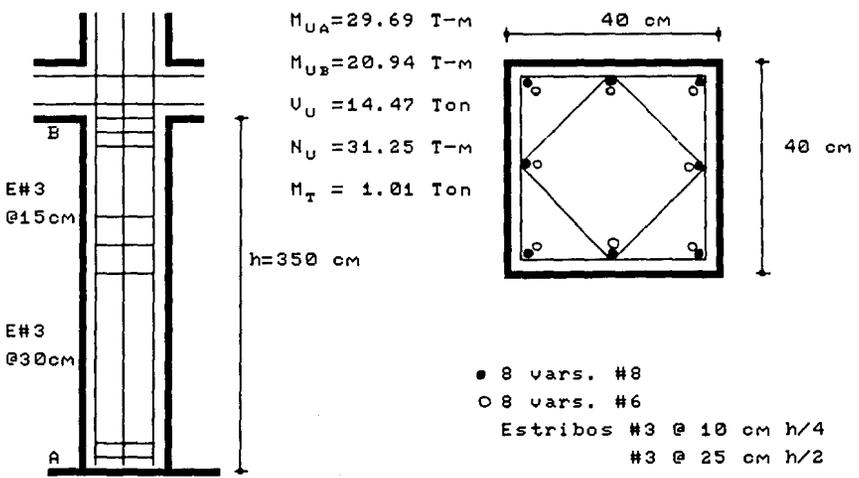
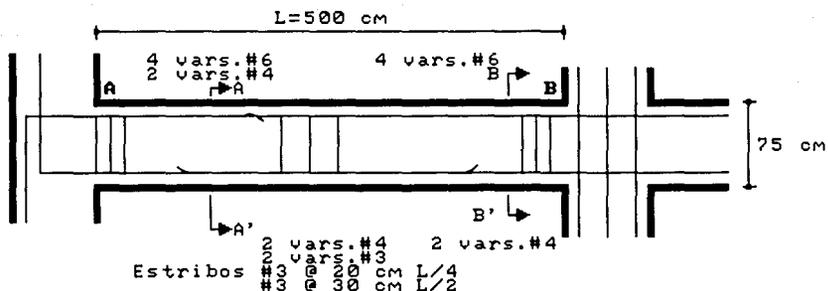
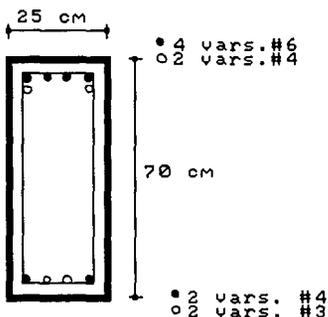


FIG. 6.1 (CONT.) COLUMNA No. 1, NIVEL 1, CON RDF.



A-A'

$M_{U_A} = 29.2 \text{ Ton-m}$
 $M_{U_B} = 22.9 \text{ Ton-m}$
 $M_T = 0.21 \text{ Ton-m}$



B-B'

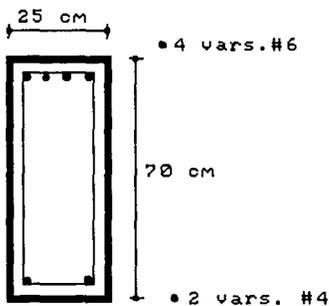
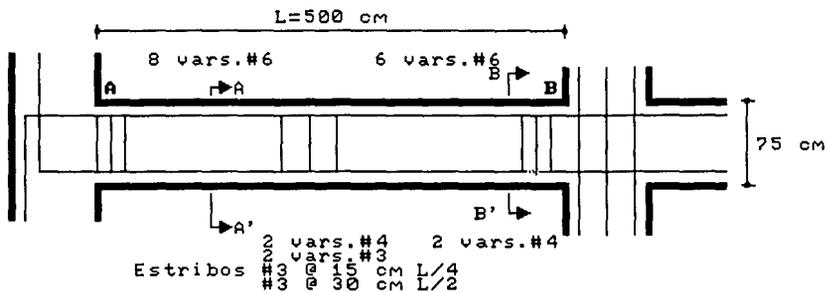


FIG. 6.2. TRABE No. 13, NIVEL 1, SIN RDF.



A-A'

$M_{UA} = 47.20 \text{ Ton-m}$

$M_{UB} = 37.14 \text{ Ton-m}$

$M_T = 0.49 \text{ Ton-m}$

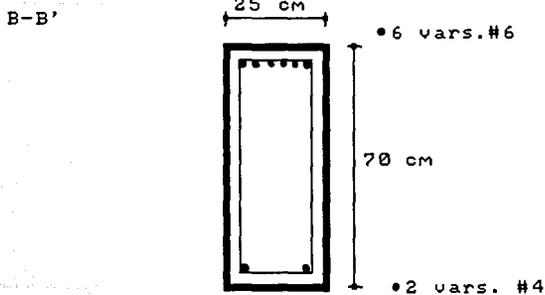
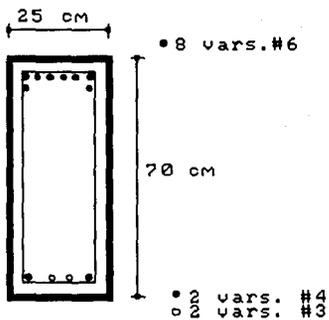


FIG. 6.2. (CONT.) TRABE No. 13, NIVEL 1, CON RDF.

VII.- ANALISIS DE RESPUESTAS SISMICAS.

En este capitulo se complementan los comentarios realizados en el capitulo III, referentes a los resultados obtenidos de los análisis de las cuatro estructuras propuestas. Asimismo, se analiza la respuesta sismica de la estructura de 10 niveles del capitulo anterior.

los comentarios se enfatizan en dos aspectos:

a) Comparación de resultados de un mismo tipo de análisis pero con diferentes programas (TORSION, TABS-77 y SUPER-ETABS), tanto sin excentricidad de diseño como con ella. Lo anterior se realizó en el capitulo III con las estructuras de 5 niveles para observar la validez de la metodología propuesta para incluir los requisitos que establece el RDF, en cuanto a torsión se refiere, al emplear programas del tipo TABS-77 y SUPER-ETABS. En el presente capitulo se "refuerzan" dichos comentarios y además se realizan los referentes a la estructura de 10 niveles.

b) Comparación de resultados de un mismo programa pero con condiciones de excentricidad de diseño distintas, con el fin de observar la influencia de dichas condiciones, tanto en las estructuras de 5 niveles como en la de 10, en los elementos mecánicos de sus miembros y en los desplazamientos horizontales máximos.

VII.1. COMPARACION DE RESPUESTAS SISMICAS OBTENIDAS CON LOS DIFERENTES PROGRAMAS, PARA UN MISMO TIPO DE ANALISIS.

VII.1.1. ESTRUCTURAS DE 5 NIVELES.

VII.1.1.1. ESTRUCTURA TIPO A.

A) Análisis sismico estático sin incluir reglamento.

Con base en los resultados obtenidos en el capitulo III, con los diversos programas (TORSION, SUPER-ETABS y TABS-77), se puede afirmar que todos emiten los mismos resultados en cuanto a desplazamientos y elementos mecánicos se refiere, por tanto, no existen desviaciones importantes en las respuestas sismicas de la estructura obtenidas los mencionados programas. De lo anterior, el uso de un programa u otro depende ya de otros factores, entre los que se cuentan: la disponibilidad de equipo de cómputo con determinadas características, ya que por ejemplo, el programa TORSION funciona, hasta el momento, en "supercomputadora" (Burroughs) y los programas del tipo TABS-77 y SUPER-ETABS funcionan en microcomputadoras, las cuales son de uso más generalizado.

B) Análisis Sísmico estático incluyendo reglamento.

Los resultados y notas de la sección correspondiente del capítulo III, permiten aseverar que las respuestas sísmicas que se obtienen de cada uno de los programas (desplazamientos y elementos mecánicos) concuerdan perfectamente entre sí. Lo anterior da pie a considerar la metodología propuesta para incluir la norma de torsión del RDF, como admisible para ser empleada, en la obtención de respuestas sísmicas de estructuras, con los programas del tipo TABS y SUPER-ETABS.

VII.1.1.2. ESTRUCTURA TIPO B.

A) Análisis Sísmico Estático sin incluir Reglamento.

Los resultados mostrados en las tablas correspondientes y las notas realizadas en el mismo subcapítulo nos llevan a la conclusión de que las respuestas sísmicas (desplazamientos y elementos mecánicos) que se obtienen con los tres programas son similares. Analizando los periodos de vibración, se observa, por ejemplo, en el primer modo los siguientes valores: 0.85seg, 0.84seg y 0.84seg (tabla 3.20) que se obtienen con los programas TABS-77, SUPER-ETABS (planos) y SUPER-ETABS (tridimensional), respectivamente, lo cual, de entrada, nos permite suponer que la estructura tratada con diversos programas es en esencia la misma.

Asimismo, en los desplazamientos se observa buena concordancia: en el nivel 5 se obtienen, por ejemplo, los desplazamientos en X siguientes: 6.43cm, 6.38cm y 6.60cm (tabla 3.21) con los programas SUPER-ETABS (tridimensional) y TORSION, SUPER-ETABS (planos) y TABS-77 respectivamente, valores que desde el punto de vista práctico son iguales.

En lo referente a elementos mecánicos en columnas, se advierten, por ejemplo, en la columna 1 (tabla 3.22) los siguientes valores de momento flexionante: 15.77T-m, 15.56T-m y 16.03T-m para los mismos programas arriba mencionados; la diferencia en dichos valores no es significativa prácticamente.

A pesar de que los valores obtenidos son prácticamente similares, es notoria la diferencia (pequeña) que se presenta en las respuestas sísmicas entre los programas de modelado tridimensional (TORSION y SUPER-ETABS) y los programas de modelado plano (SUPER-ETABS y TABS-77) al introducirse, como en este caso, una excentricidad estática.

B) Análisis Sísmico Estático incluyendo Reglamento.

Como era de esperarse, a pesar de que desde un enfoque pragmático las diferencias son aceptables, persisten en este análisis las desviaciones entre los programas de modelado tridimensional y plano, siendo como ya se mencionó, intrascendentes para efectos de diseño.

Consecuentemente, la metodología propuesta en este trabajo es aplicable, con suficiente aproximación, para incluir los requisitos señalados por el RDF-87 en lo que a torsión se refiere, en los análisis sísmicos con programas como el TABS-77 y SUPER-ETABS, para estructuras con excentricidad calculada no despreciable y geometría regular.

VII.1.1.3. ESTRUCTURA TIPO C.

A) Análisis Sísmico Estático sin incluir Reglamento.

El empleo de cualquiera de los programas mencionados es indistinto para obtener la respuesta sísmica, tomando en cuenta que las desviaciones mostradas en los resultados (desplazamientos y elementos mecánicos) no son notables. Se observan nuevamente las discrepancias entre los valores que arrojan los programas de modelado tridimensional y los que se obtienen de los programas de modelado plano. Por ejemplo, en los desplazamientos, el valor en X obtenido con los programas de modelado tridimensional (TORSION y SUPER-ETABS) es de 5.87cm y el obtenido con un programa de modelado plano (TABS-77) es de 6.24cm en el nivel 5. En general se observa lo mismo en el caso de elementos mecánicos en los miembros de la estructura.

B) Análisis Sísmico Estático incluyendo Reglamento.

No obstante las diferencias encontradas entre los valores (desplazamientos y elementos mecánicos) dados por los programas de modelado tridimensional y los de modelado plano, dichas desviaciones son poco significativas desde un enfoque práctico, este caso es análogo al caso anterior B: estructura con excentricidad estática no despreciable y geometría regular. Son, por tanto, aplicables los pasos para considerar la excentricidad de diseño, propuestos en este trabajo, en la obtención de la respuesta sísmica de estructuras del tipo de la aquí presentada, con los programas del tipo TABS y SUPER-ETABS (modelo tridimensional y plano).

VII.1.1.4. ESTRUCTURA TIPO D.

Como se anotó en el capítulo III, subcapítulo correspondiente a los comentarios de la estructura D, en esta planta se presentan problemas de modelado debido a la forma irregular (presencia de un marco diagonal). Dicho problema se soluciona con los modelados tridimensionales de los programas TORSION y SUPER-ETABS, ya que con los programas de modelado plano, los valores de la respuesta sísmica (elementos mecánicos en los miembros pertenecientes al marco diagonal) no son consistentes con los valores obtenidos de programas cuyo modelado es tridimensional (y que no representan ningún problema para analizar una planta irregular, por lo comentado en el capítulo III), presentando en general, valores menos conservadores.

Lo anterior conduce a afirmar que para la obtención de la respuesta sísmica de una estructura con forma irregular es imprescindible modelarla de forma tridimensional (programas TORSION Y SUPER-ETABS) y evitar modelados poco consistentes (modelado con base en marcos planos).

B) Análisis Sísmico Estático incluyendo Reglamento.

Al considerar la excentricidad de diseño en la obtención de la respuesta sísmica, se advierte que no existen problemas desde el punto de vista práctico, al emplear la metodología expresada en III.6.2 con los programas TORSION y SUPER-ETABS (tridimensional), los valores obtenidos entre ambos (desplazamientos y elementos mecánicos) concuerdan aceptablemente, mientras que el mismo método, aplicado en la obtención de la respuesta sísmica con los programas TABS-77 (modelado plano) y SUPER-ETABS (modelado plano) presentan problemas debido a las limitaciones de éste tipo de modelado para considerar estructuras de forma irregular.

VII.1.2. ESTRUCTURA SIMETRICA DE 10 NIVELES.

A) Análisis Sísmico sin incluir Reglamento.

Desplazamientos.- Se analizó el sismo en dirección X. Como es obvio, al no existir excentricidad, los desplazamientos son en una sola dirección (X para este caso), sin existir rotaciones a nivel de piso. Se presenta un desplazamiento mínimo en el nivel 1 de 4.85 cm y un máximo en el nivel 10 de 33.52 cm (tabla 5.2). Además, se observa que no existen diferencias entre los valores dados por los tres programas [TORSION, SUPER-ETABS (tridimensional) y SUPER-ETABS (plano)]. Adicionalmente, se hace la observación de que los periodos obtenidos con los programas SUPER-ETABS (tridimensional y plano) son esencialmente los mismos.

Elementos Mecánicos en Columnas.- (tabla 5.3). Puede observarse que los mayores momentos flexionantes se presentan en los primeros niveles, su valor va disminuyendo conforme aumenta el número de nivel. Como era de esperarse, en el muro (columna 2) no se presenta este elemento mecánico. El mayor valor de momento flexionante se presenta en columnas de borde (7, 10, 18, 15). En columnas de esquina el valor del momento flexionante es mínimo. En cuanto a fuerza cortante, se observa un comportamiento análogo al elemento mecánico anterior. La fuerza normal aparece mayor en las columnas 1 y 3, es decir, las columnas que están en los extremos del muro; no existe fuerza normal en las columnas centrales (eje C).

Como ocurrió en la estructura A (simétrica), no se presentan diferencias entre los valores de la respuesta sísmica de los tres programas.

Elementos mecánicos en trabes.- (tabla 5.4) Se observa la ausencia de momentos torsionantes en los miembros; los momentos flexionantes máximos se presentan en las vigas de la primera crujía (1, 2, 3, 4) y los mínimos en las vigas de la segunda crujía.

No se observan diferencias significativas entre los valores dados por los diferentes programas.

B) Análisis Sísmico incluyendo Reglamento.

Obtención del centro de torsión con el método propuesto en la sección III.6.2.- Con base en la experiencia tenida con la estructura A, también simétrica, eran de esperarse los resultados aceptables obtenidos en esta estructura de 10 niveles. Al aplicar los pasos sugeridos para obtener la posición del centro de torsión, se obtienen resultados similares con los tres programas ya mencionados, como se observa en las tablas 5.7 y 5.8; consecuentemente, los pasos posteriores para incluir la excentricidad de diseño en el análisis son, desde el punto de vista de los valores, los mismos para cada uno de los tres programas, sin ninguna diferencia (tablas 5.9 a 5.11).

Desplazamientos.-

Para sismo en dirección X, opción 1; se observa un desplazamiento mínimo en el primer nivel de 4.81cm y un máximo en el nivel 10 de 32.43cm, ambos en dirección X. Debido a la excentricidad de diseño incluida, se advierte la aparición de desplazamientos en la dirección perpendicular al sismo y rotaciones a nivel de piso (tabla 5.13). No existen diferencias significativas entre los los desplazamientos dados por los tres programas.

Para sismo en dirección Y, opción 1; existe un desplazamiento máximo en el nivel 10 de 15.54cm y un mínimo de 0.64cm en el nivel 1, en la dirección Y; se observa, además la presencia de desplazamientos en la dirección perpendicular a la de análisis, así como rotaciones a nivel de piso; adicionalmente se anota que los desplazamientos máximos en esta dirección son menores que los máximos presentados en la dirección X, debido, lógicamente, a la presencia de los muros en la dirección Y, no ocurre lo mismo con las rotaciones, las cuales son mayores cuando ocurre el sismo en la dirección Y, lo cual es obvio, ya que la planta es más alargada en dicha dirección y posee una mayor excentricidad de diseño.

Elementos mecánicos en columnas.- (tablas 5.14 y 5.18)
Sismo en dirección X, opción 1.- Debido a la excentricidad de diseño incluida, se presentan elementos mecánicos en ambas direcciones (momentos flexionantes, cortantes) y se advierte la existencia de momento torsionante. En las columnas del marco A (en donde se incluyen los muros idealizados como columnas anchas) se presentan elementos mecánicos sólo en las direcciones para las que se le dieron propiedades geométricas a las columnas; se aprecia un valor máximo de la fuerza normal en la columna 1. Los momentos flexionantes máximos se presentan en las columnas 7 y 8, pertenecientes ambas al marco B. En las columnas del marco central (C) no aparecen fuerzas normales ni cortantes en dirección Y. Las fuerzas cortantes mayores en dirección X aparecen en las columnas 10 y 14.

Se observa la concordancia que existe entre los resultados obtenidos con cada uno de los tres programas, no obstante la excentricidad de diseño incluida.

Sismo en dirección Y, opción 1.- Para esta dirección de análisis se presentan, obviamente, elementos mecánicos en ambas direcciones, así como momentos torsionantes. Los momentos flexionantes mayores se presentan en la columna 16 así como el cortante mayor; se aprecian las fuerzas normales máximas en las columnas de esquina. Caso especial son los muros, que debido a su gran rigidez en dirección Y, toman grandes momentos flexionantes, torsionantes y cortantes. En general, los momentos torsionantes en columnas son significativamente mayores en este caso que con sismo en dirección X, lo cual es evidente, ya que la excentricidad de diseño es mayor cuando el sismo actúa en dirección Y.

Al igual que el sismo en dirección X, los resultados no se desvían entre los tres programas empleados.

Elementos mecánicos en trabes.- (tablas 5.15 y 5.19)
Sismo en dirección X, opción 1.- De los elementos mecánicos analizados, se observa la "aparición" de los momentos

torsionantes en las vigas; se observan valores mayores de momento flexionante en las vigas de la cruzía que está entre los ejes A y B; en las cruzías siguientes, los valores disminuyen aunque no significativamente.

Nuevamente se observa concordancia entre los resultados de uno y otro programa.

Sismo en dirección Y, opción 1.- En este caso, lo más significativo es nuevamente la "aparición" de momentos torsionantes al incluirse la excentricidad de diseño.

VII.2. COMPARACION DE RESPUESTAS SISMICAS OBTENIDAS CON UN MISMO PROGRAMA CON CONDICIONES DE EXCENTRICIDAD DIFERENTES.

VII.2.1. ESTRUCTURAS DE 5 NIVELES.

VII.2.1.1. ESTRUCTURA TIPO A.

Se presenta un incremento en el valor de los desplazamientos, momentos flexionantes y cortantes de columnas de un 17% al considerar la excentricidad de diseño.

La fuerza normal en columnas no varía con y sin e_d .

Al considerar la excentricidad de diseño, las columnas presentan momento torsionante.

Los desplazamientos en el nivel 5 (dirección X), son 4.42 veces mayores de los presentados en el nivel 1.

VII.2.1.2. ESTRUCTURA TIPO B.

Los desplazamientos considerando excentricidad de diseño, se incrementan un 38% en el nivel 1 respecto a no considerar la e_d .

Los desplazamientos en el nivel 5 (dirección X), son 5 veces mayores de los presentados en el nivel 1.

La fuerza normal en columnas aumenta del orden del 10% en el nivel 1 al considerar la e_d .

El momento torsionante en columnas se incrementa en un 100% al considerar la excentricidad de diseño.

Los momentos flexionantes en columnas se incrementa en un 38% en el nivel 1 respecto a los obtenidos sin considerar la e_d .

VII.2.1.3. ESTRUCTURA TIPO C.

Los desplazamientos considerando e_d , se incrementan en un 63% en el nivel 1, respecto a los obtenidos sin considerar la e_d .

Los desplazamientos en el nivel 5, son 5 veces mayores a los presentados en el nivel 1.

La fuerza normal en columnas se incrementa en un 45% al considerar la e_d .

Los momentos torsionantes en columnas se incrementan en un 70% al considerar la e_d .

El momento flexionante y cortante presentado en columnas se incrementa en un 64% al considerar la e_d .

VII.2.1.4. ESTRUCTURA TIPO D.

El incremento en desplazamientos es en promedio del 17% en todos los niveles respecto al no considerar la e_d .

Los desplazamientos en el nivel 5 (dirección X), son 4.42 veces mayores a los presentados en el nivel 1.

Los elementos mecánicos en columnas (momento flexionante y cortantes) se incrementan en un 17% en promedio al considerar la e_d .

La fuerza normal en columnas considerando la excentricidad de diseño presentan un incremento del 100% a las obtenidas sin considerarla.

Lo mismo sucede con los momentos torsionantes en columnas cuyo aumento es del 70% en promedio.

VII.2.2. ESTRUCTURA DE 10 NIVELES.

Los desplazamientos en dirección X, para la misma dirección de análisis, por ejemplo, son del orden sin y con e_d , pero al considerarla se presentan desplazamientos en la dirección Y además de las rotaciones a nivel de piso. Lo mismo ocurre en la dirección de análisis Y.

Los elementos mecánicos en columnas, M_f y V , son prácticamente iguales con y sin e_d .

Con respecto a la fuerza normal se observan en algunos casos aumentos al considerar la e_d (por ejemplo columnas 1, 7, con sismo en dirección X); en otros casos se observa un decremento (por ejemplo columnas 8 y 3 con sismo en X).

En todos los casos se presenta momento torsionante al considerar la excentricidad de diseño.

El hecho de considerar la excentricidad de diseño en una dirección (X ó Y) provoca la aparición de elementos mecánicos en la dirección perpendicular al análisis que inicialmente (sin e_d) no se presentaban.

VIII. CONCLUSIONES.

En este último capítulo se hacen comentarios relativos a los capítulos presentados en este trabajo.

1) Debido a los variados factores difíciles de evaluar, que intervienen en el fenómeno de la torsión, los valores obtenidos empleando los métodos mencionados en el capítulo I (Rigideces, matricial, Vezina-Stafford), están limitados por sus hipótesis de partida. Sin embargo, son los usados con mayor frecuencia actualmente.

2) Para tomar en cuenta los efectos de la torsión empleando programas de computación (TORSION, TABS-77, SUPER-ETABS), se puede concluir lo siguiente:

2.1) Programa TORSION. Tiene implícito en su algoritmo la consideración del efecto Torsión según el RDF-76, que aún sigue siendo válido para el RDF-87. Su análisis únicamente es de tipo estático. Su uso es posible, hasta el momento, empleando sólo "supercomputadoras".

2.2) Programa TABS-77. Con este programa es posible considerar los efectos de torsión según el RDF-87, empleando la metodología propuesta por Stafford-Vezina, con aproximación aceptable en términos prácticos. Tiene la ventaja de poderse usar tanto en "supercomputadoras" como en "microcomputadoras" y adaptar posibles modificaciones respecto a la norma de torsión en futuros reglamentos. Se tiene la posibilidad de realizar un análisis tanto estático como dinámico.

2.3) Programa SUPER-ETABS. Al igual que el programa TABS-77, este puede evaluar los efectos de la torsión según el RDF-87 basado en el método Stafford-Vezina. Presenta la ventaja de realizar el análisis con un modelo tridimensional de la estructura en una computadora personal. Adicionalmente, se tiene la ventaja de poder elegir el tipo de análisis (dinámico o estático).

3) En ciertos casos, el considerar el efecto de la torsión en estructuras según la norma del RDF, puede incrementar notablemente los elementos mecánicos en sus miembros y consecuentemente los requerimientos de acero en su diseño.

4) Se recomienda el uso de la metodología propuesta en este trabajo (basada en Stafford-Vezina) para considerar el efecto de la torsión, según el Reglamento de Construcciones del D.F. de 1987 en los siguientes casos:

- Para estructuras simétricas empleando el TABS-77 ó el SUPER-ETABS modelado con base en planos o marco tridimensional.

- Para cualquier tipo de estructura (incluyendo las de forma irregular) se recomienda el uso del programa SUPER-ETABS modelado con base en un marco tridimensional.

5) No obstante lo dicho en el párrafo anterior, se recomienda evitar en lo posible las estructuraciones "raras" que puedan dificultar la evaluación del efecto de torsión como son: estructuras con marcos no ortogonales entre sí; estructuras con forma variable con la altura; etc.

6) Es de llamar la atención que todo esfuerzo encaminado al refinamiento de los resultados obtenidos de la respuesta sísmica (desplazamientos, elementos mecánicos) es inútil en tanto que no se consideren en su análisis el mayor número de variables que intervengan en el fenómeno (el de torsión en el caso de este trabajo) además de un adecuado modelado de la estructura.

REFERENCIAS.

- 1.- Figueroa A. "Sismicidad en la Cuenca del Valle de México". Instituto de Ingeniería, Informe No. 289, UNAM. México, D.F. 1971.
- 2.- Rosenblueth E., Newmark N.M. "Fundamentos de Ingeniería Sísmica". Ed. Diana. México, D.F. 1976.
- 3.- Newmark N. M. "Torsion in symmetrical buildings". Proc. Fourth World Conf. Earthq. Engrg. Santiago, Chile. 1969.
- 4.- Meli R., "Diseño Estructural". Ed. Limusa. México, D.F. 1985.
- 5.- Penzien J. "Dynamic Response of structures in the plastic range under earthquake loading". II congreso Mundial de Ingeniería Sísmica. Tokio, 1960.
- 6.- Bazán E., Meli R., "Manual de Diseño Sísmico de Edificios". Ed. Limusa. México, D.F. Ed. Limusa 1984.
- 7.- Smith B.S. y Vezina M.S. "Evaluación de Centros de Torsión". revista IMCYC No. 195. México D.F., 1997.
- 8.- Dany J., Paulsen M. "Programa de Computadora para el análisis sísmico tridimensional de edificios". Reporte Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F. 1985.
- 9.- Gómez R., Ayala G. "Influencia de la excentricidad en resistencias de los elementos estructurales, sobre la respuesta sísmica de edificios". Memorias del VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Querétaro, México, 1987.
- 10.- Wilson E.L., Dovey H. "Three Dimensional Analysis of Building Systems. TABS-77". Earthquake Engineering Research Center, Universidad de California, Berkeley, 1972.
- 11.- Bazán E. "Análisis Sísmico de Edificios con muros rigidizantes". Revista IMCYC No. 41, México, D.F. 1978.
- 12.- Alcocer M.S. "Centro de Torsión de Edificios obtenido matricialmente", Tesis profesional, Fac. de Ingeniería, UNAM. 1986.
- 13.- Maison B.F. y Neuss C.F. "SUPER-ETABS. An enhanced version of the ETABS program". Earthquake Engineering Research center, Universidad de California, Berkeley, 1985.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Rosenblueth E., Esteva L. "Diseño Sísmico de Edificios". Folleto complementario al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. México, D.F. 1962.
- 2.- Manual de Diseño por Sismo, según el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. Instituto de Ingeniería, UNAM. 406. México D.F., 1977.
- 3.- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. D.D.F. México, 1987.