

45  
28



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**"EL COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DAÑADA  
POR LOS SISMOS DE SEPTIEMBRE DE 1985"**

**SEMINARIO DE TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A N :  
VICTOR MANUEL ESCOBAR LAGUNAS  
ENRIQUE MARIO DE COSS GOMEZ  
JUAN JOSE VEGA MARTINEZ**

**México, D. F.**

**1987**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

Pág.

|          |   |    |
|----------|---|----|
| CAP. I   | INTRODUCCION.....   | 1  |
| 1.1.-    | Generalidades.....  | 2  |
| 1.2.-    | Objetivos.....  | 6  |
| 1.3.-    | Metodología.....  | 8  |
| CAP. II  | RECONOCIMIENTO ESTRUCTURAL.....                             | 11 |
| 2.1.-    | Alcances.....   | 12 |
| 2.2.-    | Ubicación del inmueble.....                                 | 13 |
| 2.3.-    | Descripción del edificio.....                               | 15 |
| 2.4.-    | Características estructurales del edificio.....             | 22 |
| CAP. III | CLASIFICACION DE DAÑOS.....                                 | 31 |
| 3.1.-    | Inspección preliminar.....                                  | 32 |
| 3.2.-    | Levantamiento físico de daños.....                          | 33 |
| CAP. IV  | ESTUDIO ANALITICO.....                                      | 58 |
| 4.1.-    | Alcances.....   | 59 |
| 4.2.-    | Propiedades geométricas de los elementos estructurales..... | 61 |
| 4.3.-    | Propiedades de los materiales.....                          | 78 |
| 4.4.-    | Acciones que obran en la estructura.....                    | 79 |
| 4.4.1.-  | Carga muerta.....   | 80 |
| 4.4.2.-  | Carga Viva.....   | 85 |
| 4.4.3.-  | Sismo.....  | 86 |
| 4.5.-    | Datos generales del marco "C".....                          | 95 |

|  | Pág. |
|--|------|
| CAP. V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES..... | 100  |
| 5.1 Sinopsis.....                      | 101  |
| 5.2 Análisis de resultados.....        | 102  |
| 5.3 Conclusiones.....                  | 115  |
| BIBLIOGRAFIA.....                      | 127  |

CAPITULO I

INTRODUCCION

## 1.1 Generalidades.

El día 19 de septiembre de 1985 a las 7 hrs. con 17 min. y 47.8 seg. se originó cerca de la costa de Michoacán y Guerrero, un fuerte sismo registrado en la escala de Richter, con una magnitud  $M_s = 8.1$ . Este sismo es considerado como uno de los más importantes en la historia sísmica del país. El epicentro se localizó en el punto de coordenadas  $17.6^\circ\text{N}$  y  $102.5^\circ\text{W}$ , cerca de las ciudades de Lázaro Cárdenas y Melchor Ocampo, frente a la desembocadura del Río Balsas, unos 40 km mar adentro y a 33 km de profundidad, éste epicentro se localiza a unos 400 kms. de la Ciudad de México.

Considerando el análisis realizado posteriormente, mediante los registros de una red más amplia de sismógrafos, se ha establecido que el sismo del 19 de septiembre estuvo formado por dos eventos principales, el segundo de los cuales ocurrió 19 segundos después de iniciado el primero.

Al día siguiente (20 de Septiembre) a las 19 hrs. 37 min. y 13.8 seg. hora local, se presentó la réplica de mayor importancia registrada en la misma escala con una magnitud  $M_s = 7.5$ , localizándose su epicentro en el punto de coordenadas  $17.823^\circ\text{N}$  y  $101.671^\circ\text{W}$ , esto es a unos 340 km de la Ciudad de México y a 105 kms. del epicentro del evento mayor, como se representa en la Figura 1.1.

El sismo, ya mencionado, afectó ligeramente a las localidades cercanas al epicentro, pero sin duda alguna la ciudad que se vió severamente dañada fue el Distrito Federal. Lo anterior puede considerarse como una consecuencia lógica, si tomamos en cuenta que la Ciudad de México posee la mayor concentración poblacional del país y por ende el mayor número de edificios. Por otra parte, las características dinámicas del subsuelo del D.F. permitieron en algunas zonas que el movimiento se amplificara, provocando principalmente el mayor daño en el centro de la ciudad, en donde algunas estructuras fueron llevadas al colapso total y otra cantidad importante de edificios resultaran gravemente dañados, a tal grado que unas de éstas tuvieron que ser demolidas posteriormente, y otras tantas sometidas a un proceso de reparación o en su caso de reestructuración.

Al existir un número importante de estructuras dañadas esto provocó una gran incertidumbre en cuanto al comportamiento que éstas pudieran presentar, sobre todo desde el punto de vista estructural y por ende de seguridad para las personas que hacen uso de las mismas.

Por otra parte, una de las alternativas que proporcionan algunas estructuras dañadas es la de poder estudiarlas con el fin de conocer cual fue su posible comportamiento "real" durante el sismo. Como consecuencia, el Departamento del Distrito Federal encomendó a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, la --

realización de un estudio de este tipo a una estructura en particular.

El edificio asignado para la realización de este trabajo se encuentra ubicado en el centro de la Ciudad de México.

Desde la asignación propia del edificio se consideró que el estudio se realizaría en base a los criterios propios del Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal, vigente desde 1976 hasta la ocurrencia del sismo, ya que éste es el que se utilizó en el criterio de diseño del inmueble.

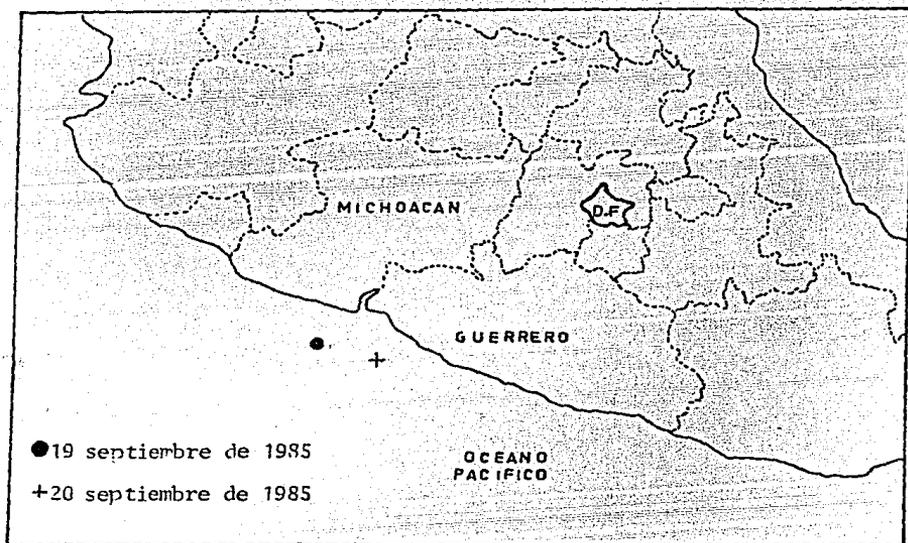


Fig. 1.1 Ubicación geográfica de los sismos de Septiembre de 1985.

## 1.2 Objetivos.

Generalmente las obras civiles se proyectan para que durante su vida útil, presenten un comportamiento adecuado al verse sometidas a una serie de sollicitaciones o acciones, tales como:

- . Cargas gravitacionales.
- . Sismo.
- . Viento.
- . Empujes, etc.

Este tipo de acciones son contempladas dentro de los requisitos para diseño de los reglamentos para construcción vigentes en cada localidad.

El uso de este tipo de reglamentos implica que el proyecto de una obra civil se conciba de la siguiente manera:

Acción ————— Estructura ————— Respuesta

Es por esto que para la realización de este trabajo, se -- plantearon los siguientes objetivos:

- 1.- Cotejar los desplazamientos sufridos por la estructura real, al someterla a una excitación dinámica teórica, contemplada por el Reglamento para las Construcciones

del Distrito Federal de 1976, con los desplazamientos permisibles por el mismo.

- 2.- Comparar las características dinámicas, propias de la estructura real, con las características dinámicas del sismo del día 19 de Septiembre de 1985.

### 1.3 Metodología.

Para poder alcanzar los objetivos planteados, se emplearon los registros de dicho sismo, mismos que se obtuvieron en diversos puntos del Distrito Federal (publicados por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México) Fig. 1.2.

En un principio, para efectuar este trabajo se pretendió llevar a cabo un reconocimiento físico de la estructura con el fin de conocer las características reales de la misma, hacer uso de información documental como lo sería la Memoria de Cálculo, Memoria Descriptiva, y los planos estructurales, esto con el fin de saber cual fue el criterio de diseño empleado en este edificio. Se pretendió también la realización de pruebas de laboratorio de los materiales para determinar las propiedades de los mismos; hacer un levantamiento físico de los daños de la estructura con el fin de determinar el estado actual de la misma y finalmente la realización de un estudio analítico para determinar el comportamiento que ésta pudiera presentar en un momento dado.

Desafortunadamente, por causas ajenas a nuestra voluntad, no fue posible conseguir la información documental requerida, así como tampoco se realizaron pruebas de ningún tipo por parte

nuestra en la estructura; por otra parte, debido a que la compañía encargada de la reestructuración del edificio se encontraba trabajando en la cimentación, no se nos permitió el acceso a esta zona, ya que se consideraba como una zona de alto riesgo.

En consecuencia, se modificó la manera para la realización del trabajo, efectuándose como a continuación se indica:

- Se realizó un reconocimiento estructural, consistente en:
  - . Clasificación de la estructura de acuerdo a su uso.
  - . Identificación del inmueble, tomando en cuenta sus características geométricas y sus propiedades estructurales.
- Clasificación de los daños sufridos por el edificio, tales como:
  - . Daños estructurales.
  - . Daños no estructurales.
- Estudio analítico, constituido por:
  - . Obtención de las propiedades geométricas de los elementos estructurales.
  - . Determinación de las acciones a las que se ve sujeta la estructura.
  - . Realización del Análisis Estructural de la misma.

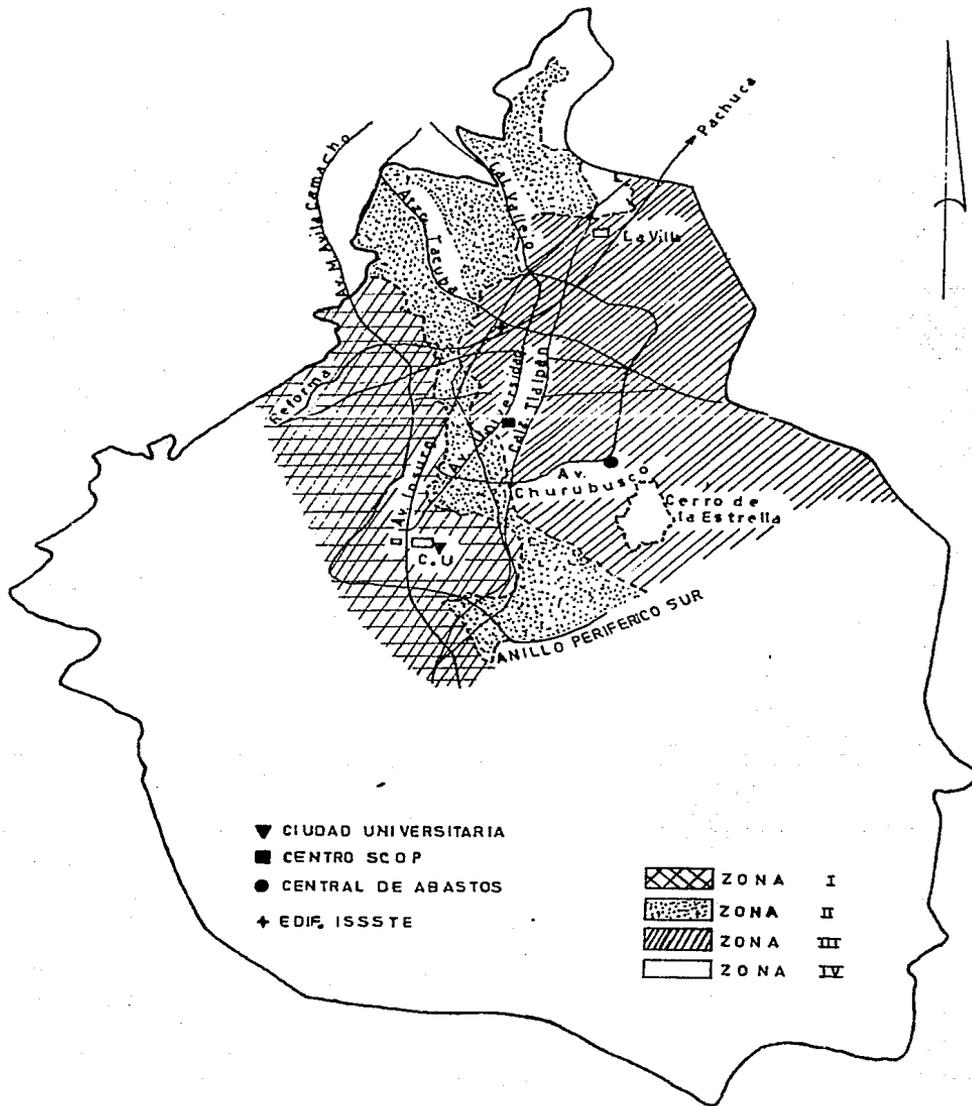


Fig. 1.2 Ubicación de las 3 estaciones sismográficas en el D.F.

CAPITULO II

RECONOCIMIENTO ESTRUCTURAL

## 2.1 Alcances.

La concepción física de una estructura es de vital importancia, ya que la configuración que se tenga, permite entender, de alguna manera, el por qué del comportamiento que ésta pueda presentar al verse sujeta a cierta sollicitación.

Es por ello que este capítulo adquiere gran relevancia ya que dependiendo de como se comprenda la estructuración del edificio, podrá emitirse un juicio acerca de la posible respuesta estructural del mismo.

## 2.2 Ubicación del Inmueble.

El edificio en cuestión, es propiedad del I.S.S.S.T.E., se encuentra en el centro de la Ciudad de México, ubicado en la Av. Juárez No. 140, cercano a la Plaza de la República, como se indica en la Fig. 2.1.

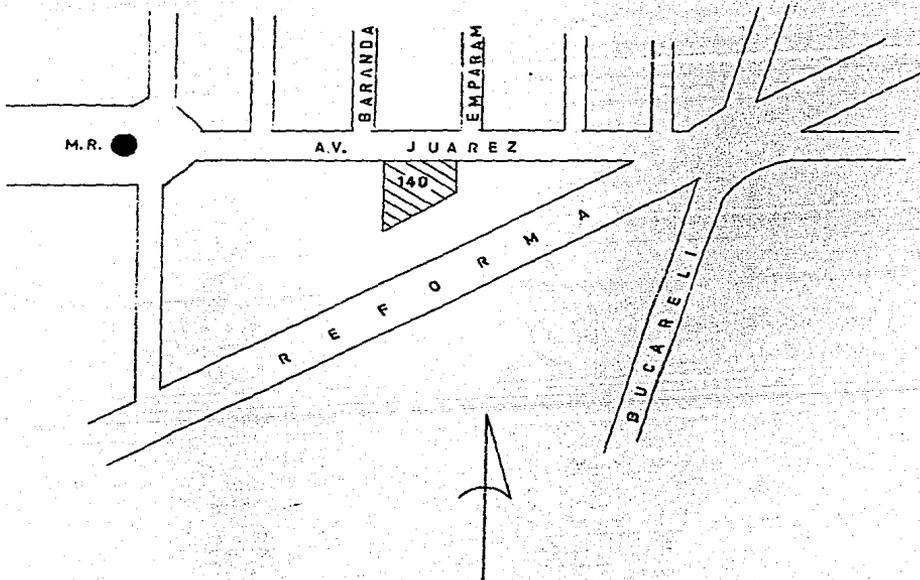
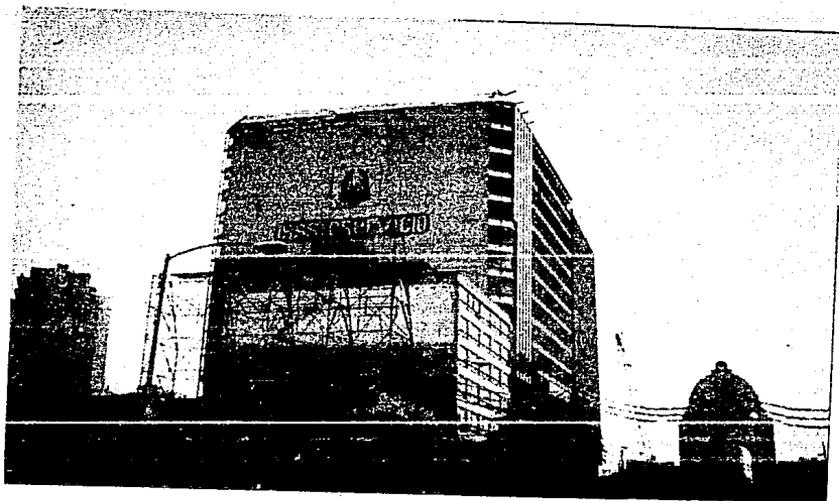


Fig. 2.1 Ubicación geográfica del inmueble.



Vista panorámica del edificio

### 2.3 Descripción del Edificio.

A continuación se pretende describir de una manera clara y sencilla las características del inmueble, tanto geométricas como del tipo de edificio que se tiene.

Se trata de un edificio de tipo urbano, destinado básicamente para oficinas. Está constituido por 18 niveles desde el nivel de banqueta, de los cuales 2 son destinados al cuarto de máquinas, lugar donde se encuentra el equipo de izaje de los elevadores, 11 se destinan para oficinas, 4 para ocho estacionamientos de "medios niveles", la planta baja es también para oficinas, anexando 2 sótanos los que se destinan en parte para cárcamos y en parte para estacionamientos.

Considerando una proyección en planta del inmueble, éste puede representarse por 3 plantas tipo:

- . Planta tipo 1. (De forma trapecial). La cual rige desde el nivel de sótano S-2, hasta los niveles de estacionamiento E-8 y E-7, Fig. 2.2.
- . Planta tipo 2. (De forma rectangular). La cual rige desde el primer nivel de oficinas, hasta la azotea del edificio, Fig. 2.3.

. Planta tipo 3 (De forma rectangular). Rige en la zona -  
destinada para el cuarto de máquinas. Fig.  
2.4.

Considerando el edificio en elevación, la fachada norte es de tipo regular, ya que en realidad es un rectángulo, presenta un remetimiento, esto es, una reducción en sus dimensiones a nivel de azotea, correspondiendo ésto al apéndice o cuarto de máquinas.

Las fachadas sur, este y oeste, además de tener el mismo remetimiento en la azotea, presentan otros en la zona correspondiente al cambio de sección de la planta trapecial a rectangular, esto se da terminando los entrepisos de estacionamiento e iniciando los de oficinas, Figuras 2.5 y 2.6.

Cabe mencionar, que como referencia, se han nombrado como ejes "número" a los ejes paralelos a la Av. Juárez, mientras -- que aquellos perpendiculares a ésta se han identificado como -- ejes "letra", por otra parte al hablar de losas y trabes, o sistema de piso, se hará referencia como "niveles", mientras que - al hablar de muros y columnas la referencia será como "entrepisos". Lo anterior puede observarse en las figuras antes mencionadas.

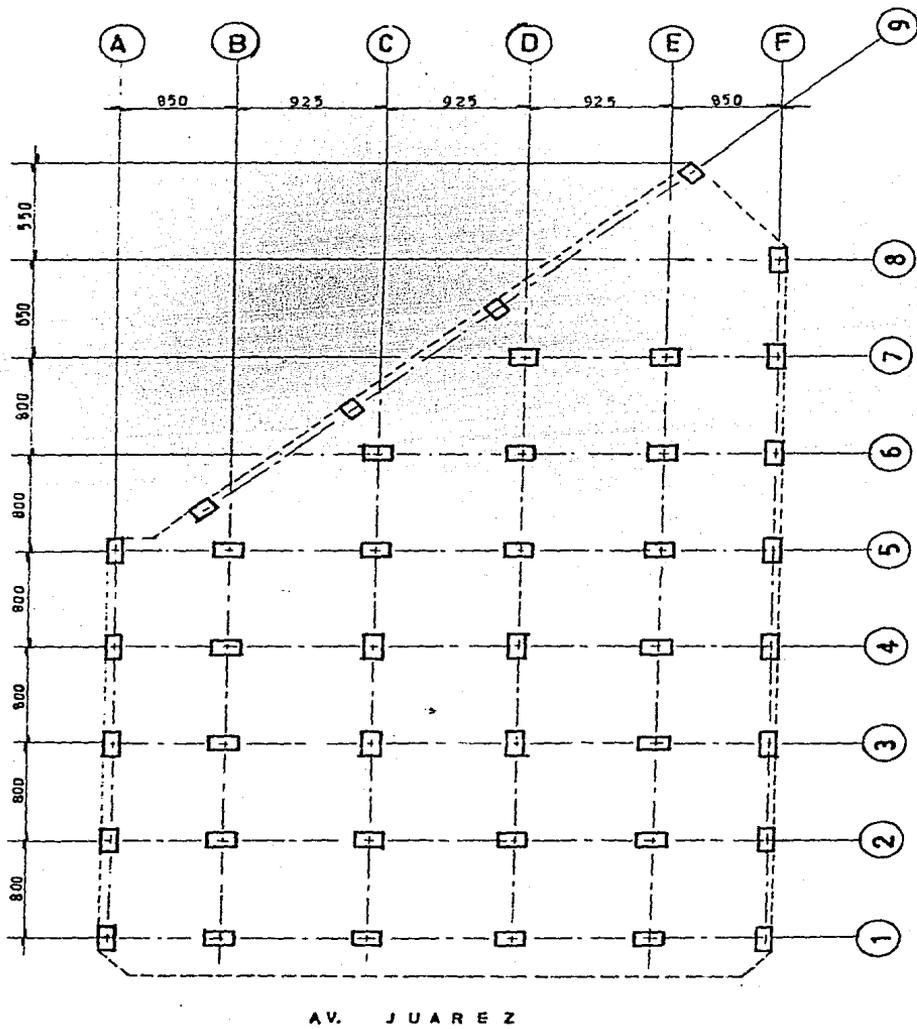
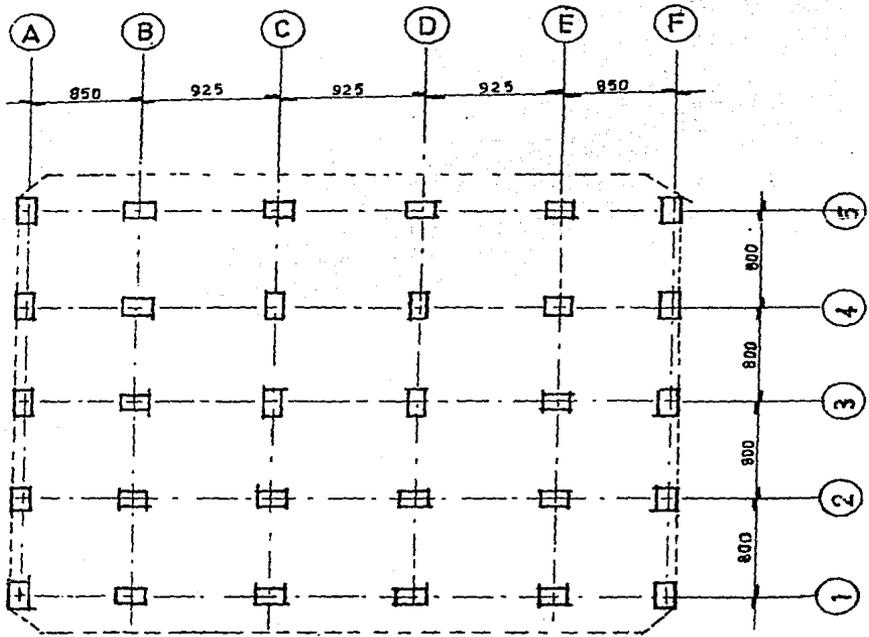


Fig. 2.2 Planta Tipo 1.



AV. JUAREZ

Fig. 2.3 Planta Tipo 2.

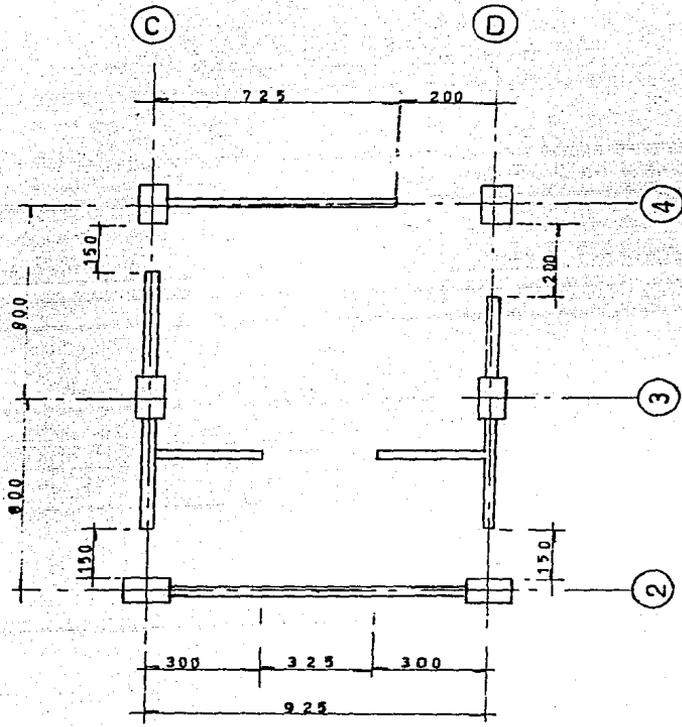


Fig. 2.4 Planta Tipo 3.

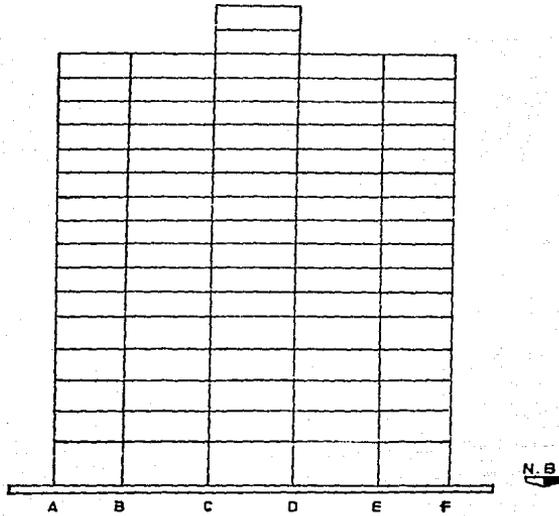


Fig. 2.5 Fachada Norte

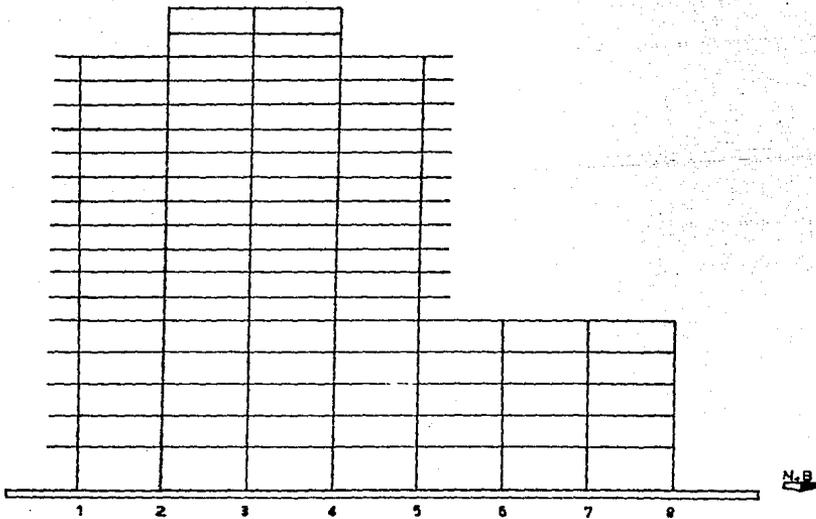
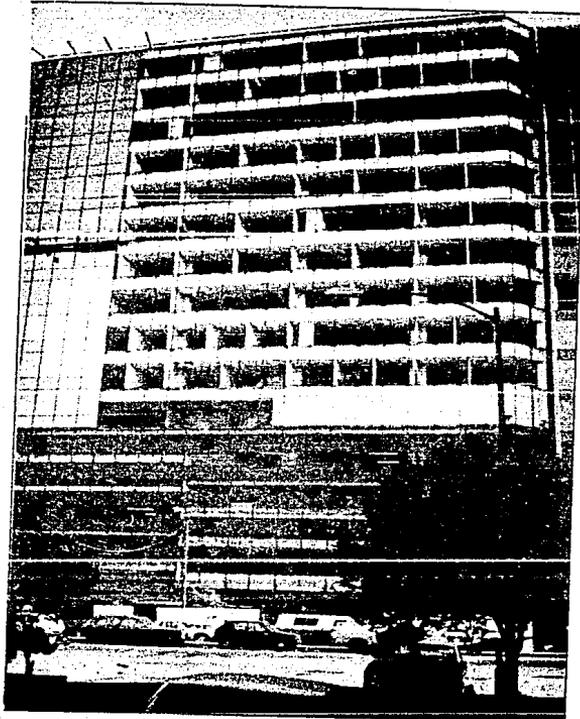


Fig. 2.6 Fachada Poniente.



Fachada Norte

## 2.4 Características Estructurales del Edificio.

Ahora corresponde hacer una descripción de las características estructurales del edificio, ésto consiste en identificar primero que tipo de estructura tiene el inmueble y luego ubicar la configuración estructural.

La estructura del edificio en cuestión es fundamentalmente a base de concreto reforzado, existiendo también muros de mampostería en algunos lugares, pero la manera en que se construyeron dichos muros permite deducir que no tienen participación estructural, ya que en la mayoría de los casos éstos se construyeron desligados de la estructura principal, lo cual se logra al dejar holguras de aproximadamente 3 cm, cubriendolas posteriormente con poliestireno, lo anterior permite que cuando la estructura se vea sujeta a acciones que le provoquen desplazamientos horizontales, y por lo tanto giros en sus nudos, los muros de mampostería no choquen materialmente con la estructura principal y por ende no provoquen fuerzas adicionales sobre ésta.

Para hablar de la configuración estructural, se ha dividido ésta en Zona de Cimentación y Zona de Superestructura.

Al tratar primero el tema de la cimentación y por los motivos anteriormente mencionados, sólo se hará una breve descripción de la misma.

Se trata de una cimentación del tipo semicompensada (o parcialmente compensada), ya que está constituida por un cajón el cual es en sí los dos niveles de sótanos; y de una serie de pilotes de fricción y punta penetrante. Como parte integrante del cajón de cimentación se encuentran contratraves en cada uno de los ejes.

Corresponde ahora, hablar de la Superestructura del Edificio, la cual está formada por un sistema de piso a base de losa plana aligerada (losa encasetonada o losa wafle), desde el nivel de cimentación hasta el nivel de azotea, este tipo de losa presenta un peralte de 45 cm, los casetones son de 60x60x40, siendo las nervaduras de un ancho de 10 cm, y tiene una capa de compresión de 5 cm, de espesor, además alrededor de cada columna se tiene una zona maciza (ábaco) de 3x3m, ver Fig. 2.7.

Por otra parte, el sistema de piso del cuarto de máquinas es a base de losa plana maciza, con un peralte de 20 cm.

Tomando en cuenta la estructuración en el sentido de los ejes letra, mismos que son perpendiculares a la Av. Juárez, el edificio tiene muros de concreto reforzado, de un espesor de 15 cm, en sus ejes A y F, mismos que se desplantan desde el nivel de cimentación hasta el último entrepiso de oficinas. Este muro se encuentra en todas las crujeas del eje A, mientras que en el Eje F, la crujea ubicada entre los ejes 1 y 2, es de muro de mampostería desligado de la estructura.

Mientras tanto en los ejes B, C, D y E la estructura es a base de marcos formados por columnas y traveses equivalentes del sistema de piso, siendo éste desde el nivel de cimentación hasta el último entrepiso de oficinas. Por otra parte, en la zona destinada al cubo de elevadores, ubicada entre los ejes C y D y la crujía 2-3, se tienen también muros de concreto reforzado, de un espesor de 15 cm, éstos se desplantan desde el nivel de cimentación hasta el primer nivel del cuarto de máquinas. El apéndice o cuarto de máquinas se ubica en la crujía C-D y en el otro sentido del eje 2 al 4, todos sus muros son fundamentalmente de concreto reforzado de 15 cm, de espesor.

Tratando ahora la estructuración del inmueble en el sentido paralelo a la Av. Juárez, el cual corresponde a los ejes -- identificados con números, se tiene en todos ellos un sistema formado a base de marcos, constituido por las columnas y una franja de viga equivalente del sistema de piso. Se debe aclarar que en el eje 2 se tienen dos muros de concreto reforzado correspondientes al cubo de elevadores, también se tienen 2 muros más en la crujía comprendida entre los ejes 2 y 3, los cuales también forman parte del cubo de elevadores.

Por otra parte, en el eje 4, entre los ejes C-D, correspondiente a la ubicación de un cubo de luz, se tiene también un muro de concreto reforzado de 15 cm, de espesor, todos estos muros se desplantan desde el nivel de cimentación hasta el segun-

do nivel del cuarto de máquinas.

Se propone ver las Figuras 2.8 y 2.9, en las cuales se hacen resaltar las características estructurales mencionadas anteriormente.

Generalmente al estructurar un edificio de concreto reforzado a base de marcos, siendo éste de varios niveles, por cuestiones más que nada de tipo económicas y debido a que las sollicitaciones tienden a ser menores en los pisos superiores; se suele disminuir la sección transversal de las columnas, a cada determinado número de niveles. En este sentido el edificio en estudio no es la excepción ya que éste presenta variación en la sección transversal de sus columnas, aproximadamente cada 3 niveles.

Para poder ilustrar con claridad esta característica, se presenta la tabla 2.1 y la Fig. 2.10.

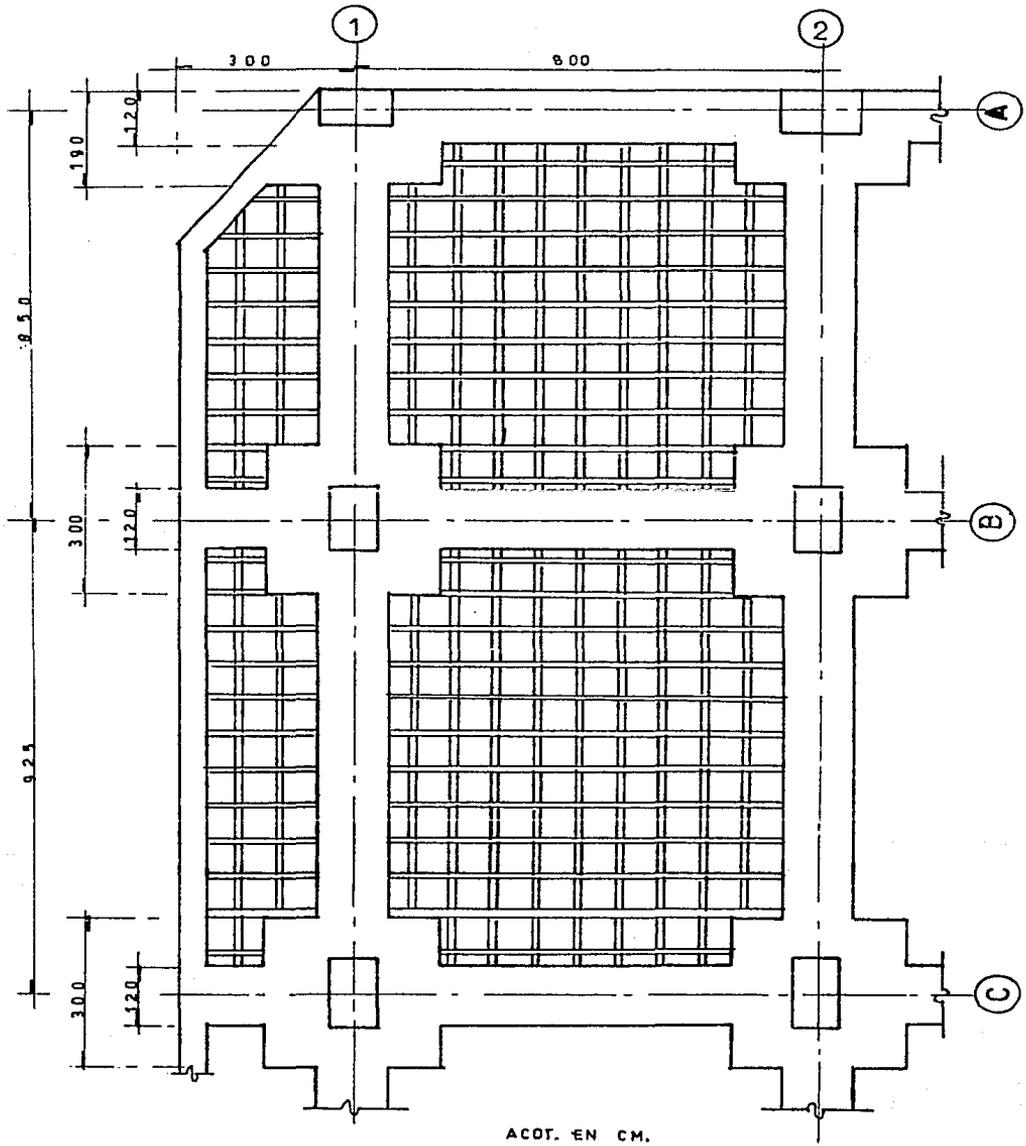


Fig. 2.7 Sistema de Piso.

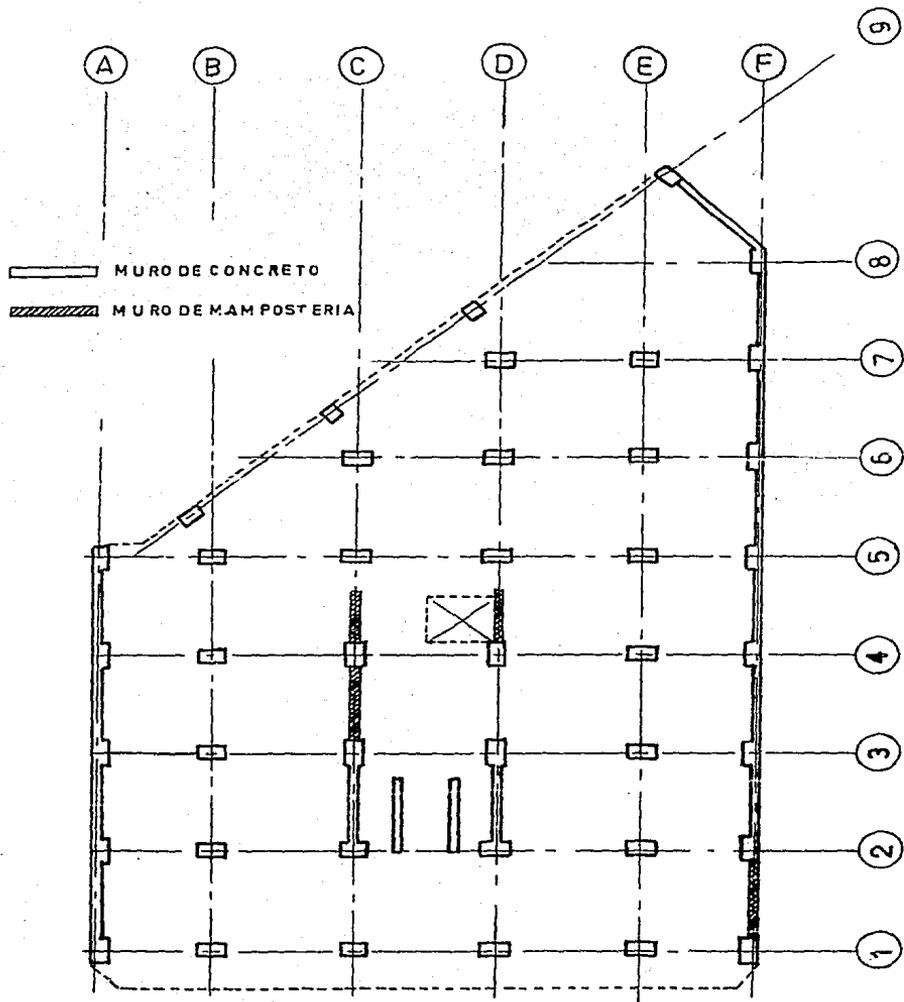


Fig. 2.8 Características Estructurales

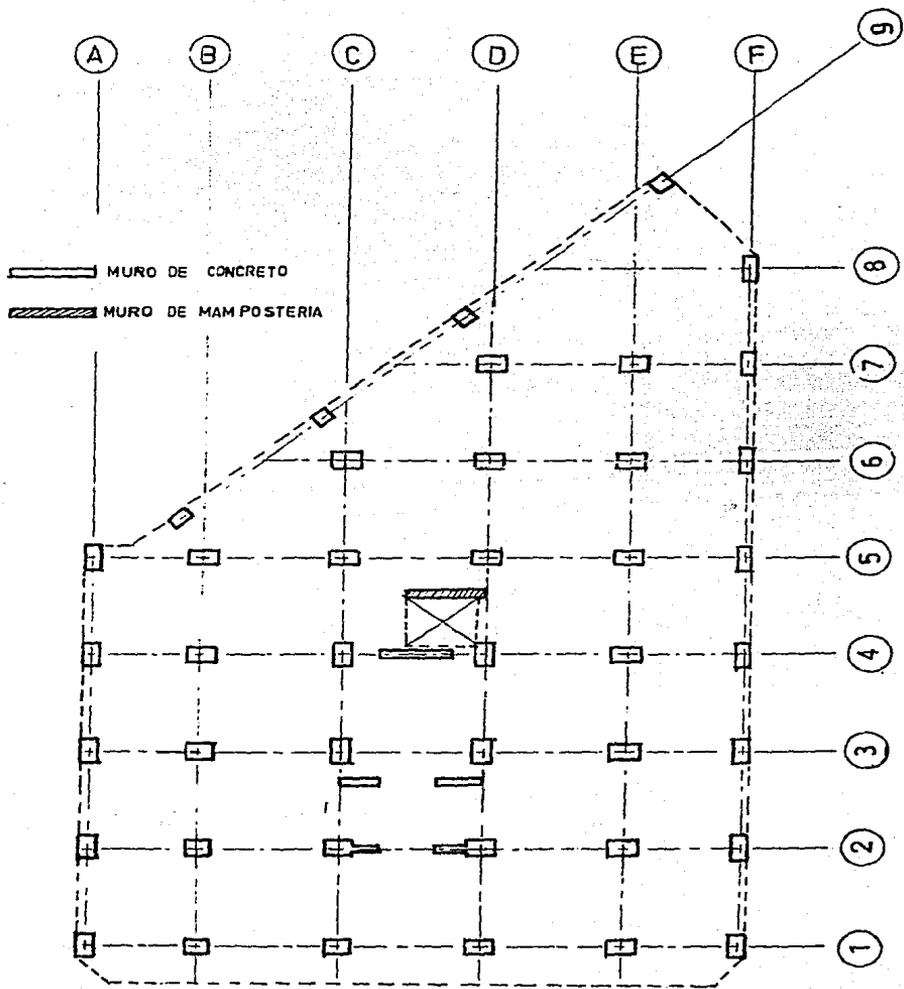


Fig. 2.9 Características Estructurales.

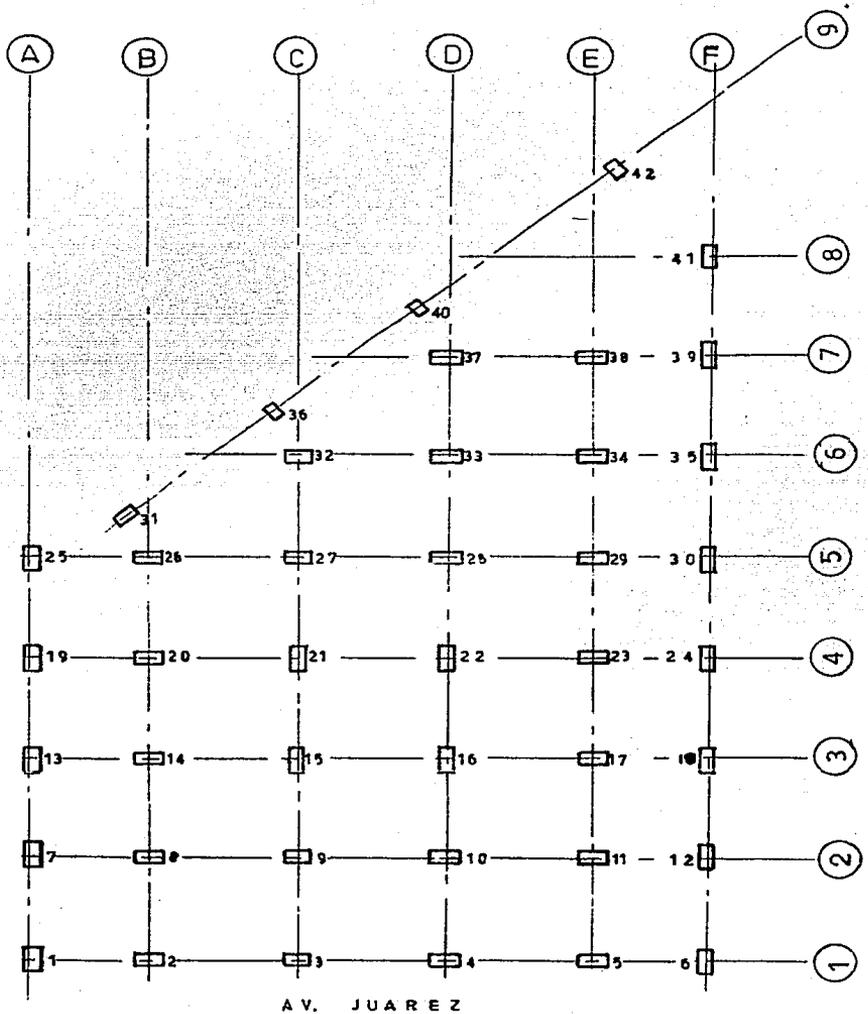


Fig. 2.10 Secciones de Columnas

TABLA 2.1 VARIACION DE LAS SECCIONES DE COLUMNAS

| COLUMNA | DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS (C M) |                                 |         |         |         |         |         |         |         |
|---------|-----------------------------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|         | No.                               | ENTREPISOS CON LA MISMA SECCION |         |         |         |         |         |         |         |
|         |                                   | C.M.                            | 11-9    | 8-5     | 4-3     | 2-1     | E8-E7   | E6-E5   | E4-E3   |
| 1       |                                   | 60x70                           | 70x 80  | 70x 90  | 70x100  | 75x100  | 75x110  | 75x120  | 75x120  |
| 2       |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 3       |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 140x 80 |
| 4       |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 140x 80 |
| 5       |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 140x 80 |
| 6       |                                   | 60x70                           | 70x 80  | 70x 90  | 70x100  | 75x100  | 75x120  | 75x120  | 75x120  |
| 7       |                                   | 60x90                           | 70x100  | 70x100  | 70x110  | 85x110  | 95x140  | 95x140  | 95x140  |
| 8       |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 9       | 90x60                             | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 140x 80 | 140x 90 | 140x 90 |
| 10      | 90x60                             | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 140x 80 | 140x 90 | 140x 90 |
| 11      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 12      |                                   | 60x90                           | 70x100  | 70x100  | 70x110  | 75x130  | 80x140  | 80x140  | 90x140  |
| 13      |                                   | 60x90                           | 70x100  | 70x100  | 70x110  | 75x110  | 75x110  | 75x110  | 75x120  |
| 14      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 15      | 60x90                             | 60x90                           | 70x100  | 80x110  | 80x120  | 80x130  | 80x140  | 90x140  | 90x140  |
| 16      | 60x90                             | 60x90                           | 70x100  | 80x110  | 80x120  | 80x130  | 80x140  | 90x140  | 90x140  |
| 17      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 18      |                                   | 60x90                           | 70x100  | 70x100  | 70x110  | 70x120  | 70x120  | 70x120  | 75x120  |
| 19      |                                   | 60x90                           | 70x100  | 70x100  | 70x110  | 70x110  | 70x110  | 75x110  | 75x120  |
| 20      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 21      | 60x90                             | 60x90                           | 70x100  | 80x110  | 80x120  | 80x130  | 80x140  | 90x140  | 90x140  |
| 22      | 60x90                             | 60x90                           | 70x100  | 80x110  | 80x120  | 80x130  | 80x140  | 90x140  | 90x140  |
| 23      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 24      |                                   | 60x90                           | 70x100  | 70x100  | 70x110  | 70x110  | 70x120  | 70x120  | 75x120  |
| 25      |                                   | 60x70                           | 70x 80  | 70x 90  | 70x100  | 75x130  | 80x140  | 90x140  | 90x140  |
| 26      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 27      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 140x 80 |
| 28      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 140x 80 |
| 29      |                                   | 90x60                           | 100x 70 | 110x 80 | 120x 80 | 120x 80 | 130x 80 | 130x 80 | 130x 80 |
| 30      |                                   | 60x70                           | 70x 80  | 70x 90  | 70x100  | 75x130  | 80x140  | 90x140  | 90x140  |
| 31      |                                   |                                 |         |         |         |         | 90x140  | 90x140  | 90x140  |
| 32      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 33      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 34      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 35      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 36      |                                   |                                 |         |         |         |         | 75x100  | 75x100  | 75x100  |
| 37      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 38      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 39      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |
| 40      |                                   |                                 |         |         |         |         | 75x100  | 75x100  | 80x100  |
| 41      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 80 | 100x 80 |
| 42      |                                   |                                 |         |         |         |         | 100x 75 | 100x 75 | 100x 75 |

NOTAS: La dimensión marcada en primer término es paralela a la Av. Juárez

C.M.: Cuarto de máquinas. Ei-Ej: Estacionamientos. Si: Sótano íésimo.

### C A P I T U L O   I I I

## C L A S I F I C A C I O N   D E   D A Ñ O S

### 3.1 Inspección Preliminar.

Se realizó una inspección preliminar consistente en una revisión ocular de toda la estructura, con el fin de lograr identificar los posibles daños existentes, así como para poder comprender el sistema estructural y su comportamiento ante el sismo.

Para realizar una correcta evaluación de los daños y sus causas, se requiere identificar el sistema estructural empleado en el edificio en cuestión. Debiendo investigar cuál fue el sistema utilizado: marcos rígidos con o sin contravientos, con sistemas de piso de vigas y losas o de losas planas sin vigas, macizas o aligeradas; muros de concreto reforzado, muros de mampostería con o sin contravientos, elementos precolados, o alguna posible combinación de estos sistemas. También es importante tomar nota del sistema de cimentación utilizado: zapatas aisladas o corridas, sistemas reticulares total o parcialmente compensados, pilotes de fricción de apoyo directo, etc. o alguna combinación de estos sistemas.

### 3.2 Levantamiento Físico de Daños.

Al no contar con información sobre el proyecto estructural original del edificio, ésto complicó la evaluación estructural e hizo necesario el levantamiento de datos en el lugar.

Para poder llevar a cabo el levantamiento físico de daños en la estructura se consideró necesario emplear un formato que permitiera tener un registro práctico, uniforme, completo y sencillo de los daños, para poder interpretarlos, determinar su magnitud y, para la clasificación de los mismos.

Los daños fueron clasificados en dos grandes grupos, siendo éstos:

- . Daños no estructurales, los cuales solo se presentan en elementos de mampostería, encontrándose únicamente en la superestructura y como anteriormente se mencionó estos elementos no tienen participación estructural.
- . Daños de tipo estructural, siendo aquellos que se presentan en los elementos destinados a resistir las solicitaciones a las que se ve sujeta la estructura. En este trabajo se tratan por separado los daños en la cimentación y los daños en la superestructura.

El formato utilizado para el levantamiento de los daños, se basó en el formato elaborado por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (Revista INCYC 184).

Resulta conveniente plantear la definición de la magnitud de los daños, siendo ésta de la siguiente manera:

Ligeramente dañado (LD): El elemento o la estructura prácticamente no requieren reparación.

Moderadamente dañado (MD): El elemento o estructura requieren reparación de daños menores.

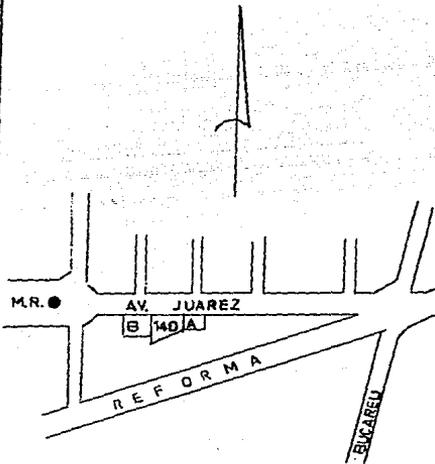
Fuertemente dañado (FD): El elemento o la estructura necesita refuerzo y reparación de daños mayores locales.

Severamente dañado (SD): El elemento o la estructura requieren reconstrucción, se observan daños mayores globales.

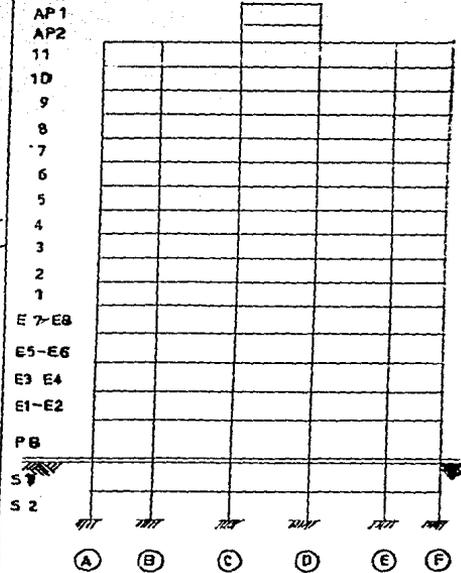
Para efectuar la localización, orientación y observaciones exteriores del inmueble se utilizó el formato F-1, el cual tiene como objetivo, obtener un croquis de localización y orientación del inmueble, en donde se identifican también los edificios colindantes y se describe el estado ocupacional y de daños de los mismos, con base en observaciones exteriores.

FORMATO F-1 LOCALIZACION, ORIENTACION y OBSERVACIONES  
EXTERNAS DEL INMUEBLE

Croquis de localización



Elevación



AV. JUAREZ

Edificios colindantes.

- A: Edificio de 7 niveles, de concreto reforzado, de menor altura que el inmueble en estudio, se construyó antes de éste es un edificio destinado para oficinas y en la actualidad se encuentra deshabitado, resultó ligeramente dañado por el sismo.
- B: Edificio de 18 niveles a partir del nivel de banquetta, es destinado para oficinas del ISSSTE, al igual que el inmueble en estudio, se encuentra deshabitado y en proceso de reparación, presenta desplome y hundimiento en la dirección oriente, originándose un impacto entre las dos estructuras, provocando fuertes daños en ambas, en sus últimos niveles.

Observaciones Exteriores del Inmueble en estudio.

Edificio de 18 niveles, a partir del nivel de banquetta, es destinado para oficinas, con sótano de estacionamiento. Su estructura es constituida por columnas y losa plana aligerada como sistema de piso, con muros de concreto reforzado en algunos de sus ejes, se encuentra habitado en la planta baja. Está fuertemente dañado en algunos puntos en la superestructura y en la cimentación, además presenta desplome y hundimiento en la dirección oeste llegando a impactarse con

el edificio colindante (B).

Se presentó la necesidad de realizar un croquis de una planta tipo, para lo cual se empleo el formato F-2, cuyo objetivo es obtener el croquis de la planta tipo del inmueble, en donde se definen los ejes de referencia y la distancia entre ellos.

Formato F-2 Croquis de Plantas Tipo.

Ver las Figuras 2.2, 2.3 y 2.4 del capítulo anterior.



Edificio colindante "B"

Procede ahora hacer la descripción de los daños en la estructura, empleando para ello el Formato F-3, mismo que consiste en un registro general de daños, teniendo como objetivo el registrar de una manera práctica, completa y sencilla, los elementos estructurales y no estructurales, dañados; por niveles (N-Sistema de piso), o por entrepisos (E-Muros y columnas).

Así mismo se hizo uso del Formato F-4, mismo que consiste en un registro detallado de los daños, teniendo así como objetivo el registrar los croquis y daños de los principales elementos estructurales, incluye un plano de daños y fotografías de los mismos.

Se realizó primero la revisión de los daños de tipo no estructural:

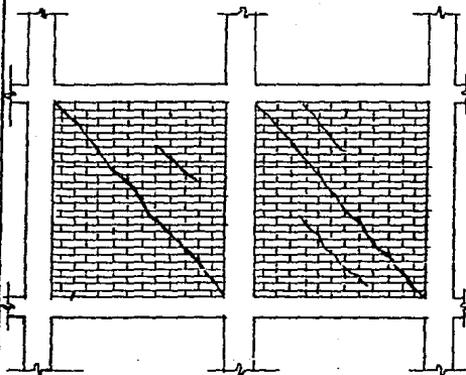
| FORMATO F-3 REGISTRO GENERAL DE DAÑOS  |                   |  |
|--|-------------------|--|
| Elemento Estructural                   | Magnitud de Daños | Observaciones  |
| Nivel o Entrepiso<br>Localización tipo | LB MD FD SD       |  |
| E PB, 5/B-C y C-D,<br>MM               | FD                | Grietas diagonales en una sola dirección..                     |
| E1-E11, D/4-5, MM                      | MD                | Grietas en una dirección y desprendimiento de recubrimiento.   |
| E1-E11, 4-5/C-D,<br>MM                 | MD                | Grietas en una dirección - y desprendimiento de recubrimiento. |

NOTA: MM: Muro de Mampostería.

FORMATO F-4 REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

Elemento estructural: E PB, 5/ B-C y C-D, MM

Croquis detallado



Observaciones

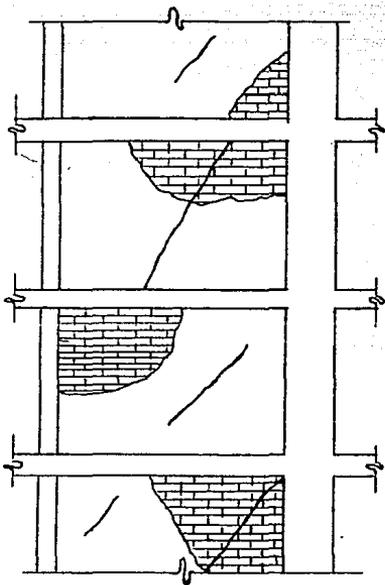
Este muro resulto fuertemente dañado debido a que se construyó sin dejar la holgura necesaria entre él y la estructura. Lo que provocó que éste trabajara estructuralmente, viéndose sometido a esfuerzos de tensión diagonal capaces de provocarle este tipo de falla.

FORMATO F-4: REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

Elemento estructural: E1-E11, D/4-5, MM

Croquis detallado

Observaciones

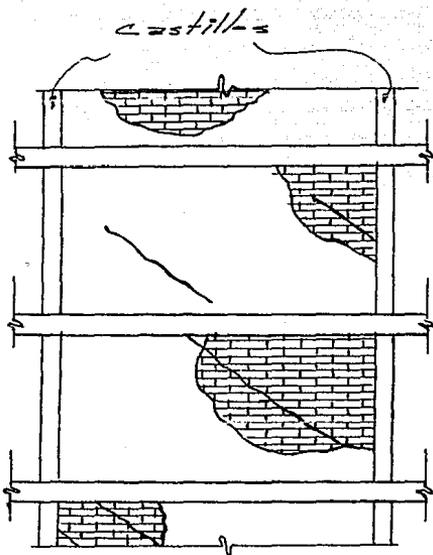


Este muro resulto modera  
damente dañado ya que so  
lo presentó desprendimien  
to de recubrimiento y pe  
queñas grietas.

FORMATO F-4 REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

Elemento estructural: E1-E11, 4-5/C-D, MM

Croquis detallado



Observaciones

Este muro resulto moderadamente dañado ya que solo presento desprendimiento de recubrimiento y algunas grietas en la mayoría de los niveles.

Como se mencionó anteriormente los daños estructurales se dividieron en daños en la superestructura y en la cimentación, para la descripción de los daños de la superestructura se emplearon los formatos: F-3 y F-4 descritos anteriormente.

| FORMATO F-3: REGISTRO GENERAL DE DAÑOS |                   |    |    |    |  |
|--|-------------------|----|----|----|--|
| Elemento Estructural                   | Magnitud de Daños |    |    |    | Observaciones  |
| Nivel o entrepiso<br>Localización tipo | LD                | MD | FD | SD |  |
| E-11, E10, E9, F/2-3 y<br>3-4 MCR      |                   |    |    | SD | Daños producidos por choque con la colindancia B durante el sismo. |
| EPB, E E1-2, E E3-4,<br>4/C-D, MCR     |                   |    |    | SD | Agrietamientos diagonales y horizontales debidos al sismo.         |
| E E5-6, E E7-8, 4/C-D<br>MCR           |                   | MD |    |    | Agrietamientos leves en una dirección.                             |
| N PB-N11, 4/C-D, T1                    |                   |    |    | SD | Presenta facturas y dislocaciones de material.                     |

NOTA: MCR: Muro de concreto reforzado.

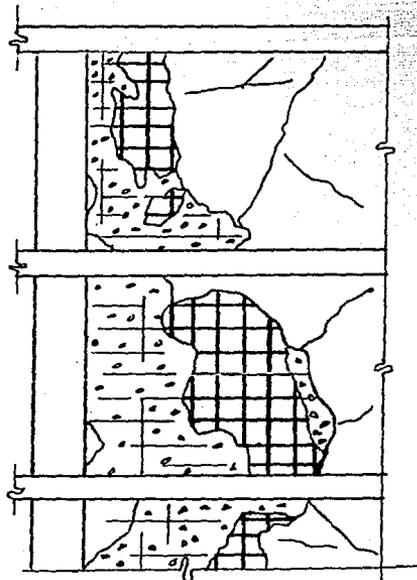
T1: Trabe uno.

FORMATO F-4: REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

Elemento estructural: E11, E10, E9, F/2-3 y 3-4, MCR

Croquis detallado

Observaciones

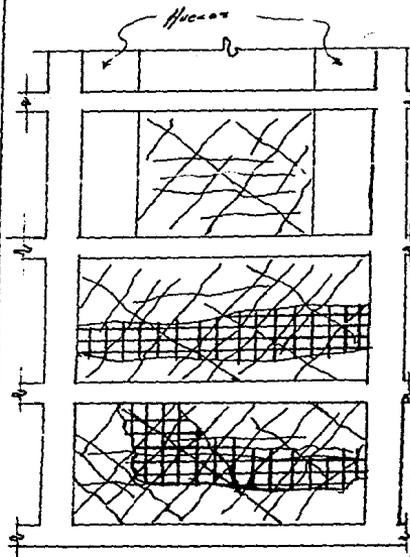


1. Estos muros resultaron severamente dañados debido - al choque que se dió entre el inmueble en estudio y - el edificio B, ya que éste quedo materialmente incrustado en el primero.
2. Se tuvo desprendimiento de concreto en varias zonas.

FORMATO F-4: REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

Elemento estructural: E PB, E E1-2, E E3-4, 4/C-D, MCR

Croquis detallado



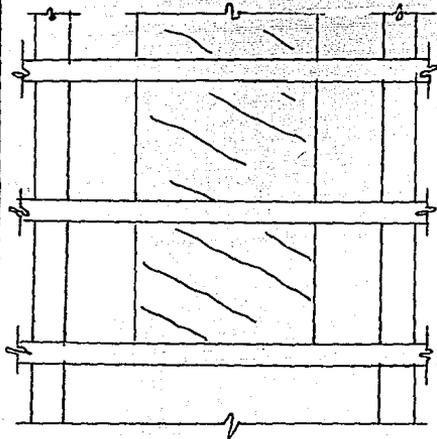
Observaciones

1. Muros severamente dañados, agrietamiento diagonal en ambas direcciones, debido a esfuerzos cortantes provocados por el sismo..
2. Presentaron grietas horizontales por efectos de flexocompresión .

FORMATO F-4: REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

Elemento estructural: E E5-6, E E7-8, 4/C-D, MCR

Croquis detallado



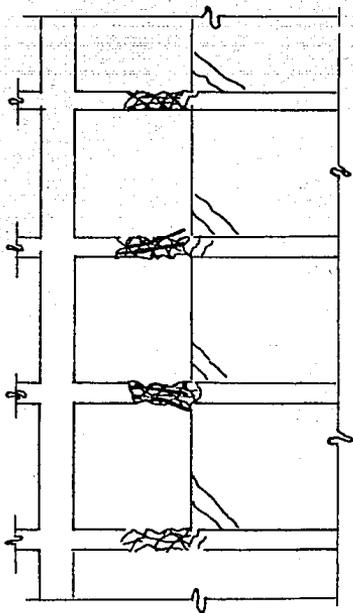
Observaciones

1. Muros moderadamente dañados con grietas diagonales en una dirección, debidas a esfuerzos cortantes provocados por el sismo.

FORMATO F-4: REGISTRO DETALLADO DE DAÑOS

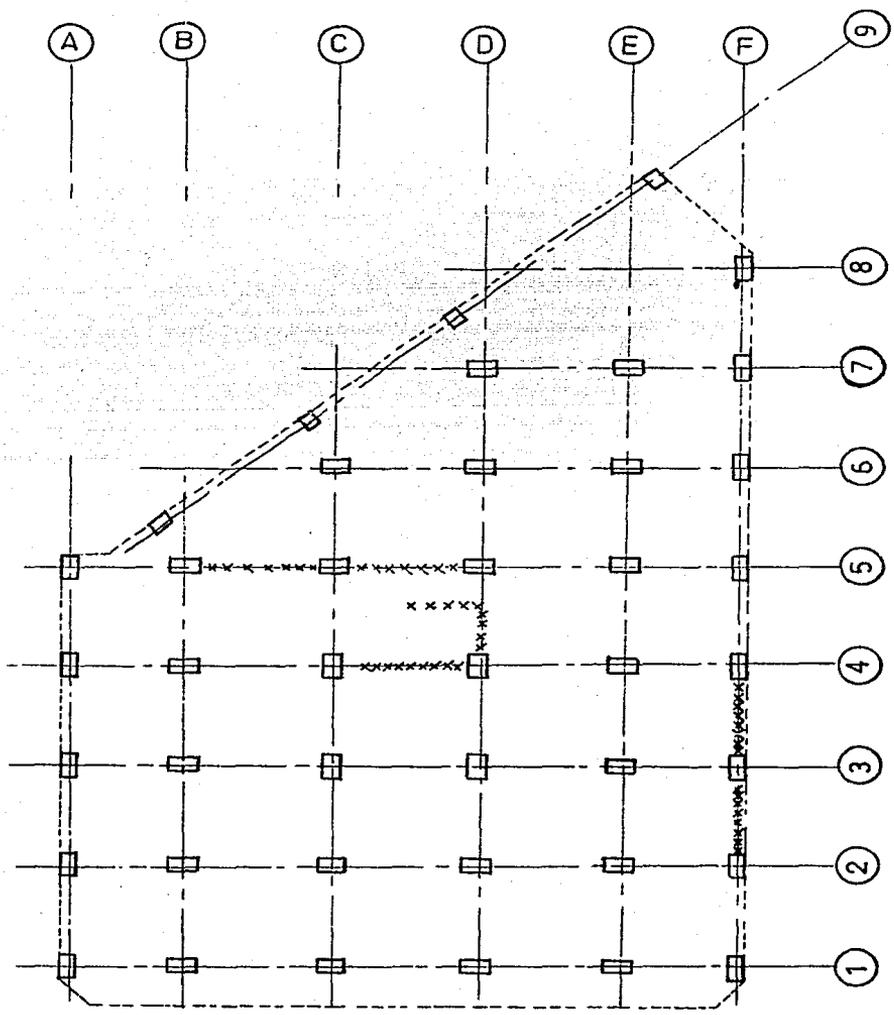
Elemento estructural: N PB-N11, 4/C-D, T1.

Croquis detallado



Observaciones

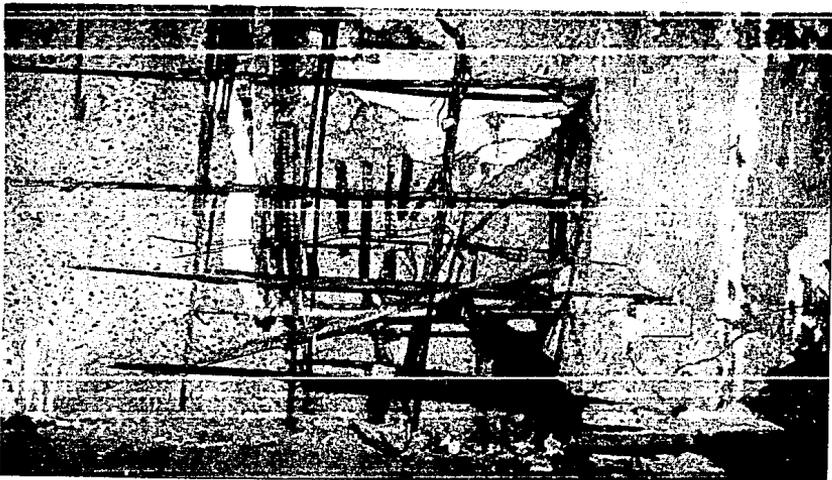
1. Trabe de borde del sistema de piso, severamente dañada, materialmente destruida, debido a combinación de esfuerzos - de cortante, torsión, flexión y por aplastamiento del concreto.
2. Desprendimiento del armado horizontal en algunos casos.



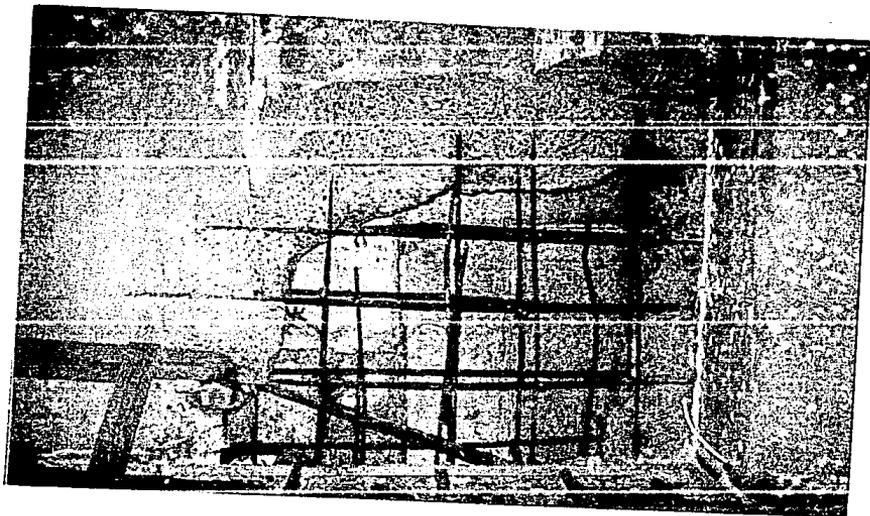
UBICACION DE DAÑOS ESTRUCTURALES



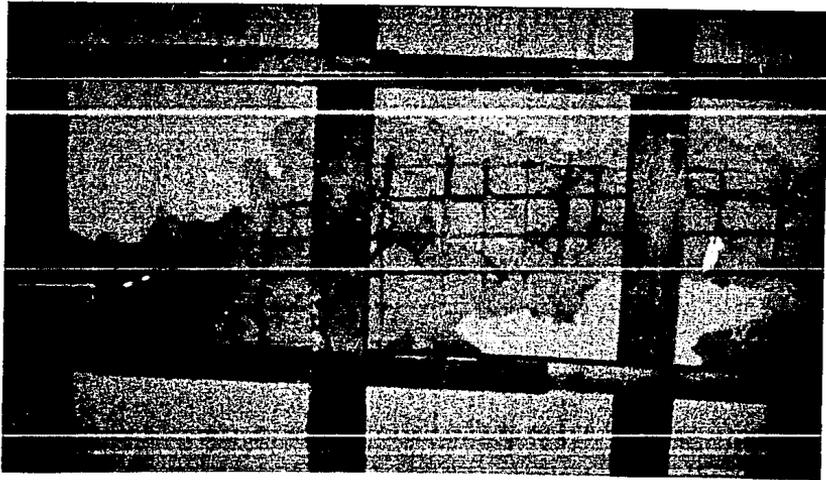
Aspecto de Falla en el Muro ubicado en el Eje F, entrepiso  
No. 11, Crujía 3-4



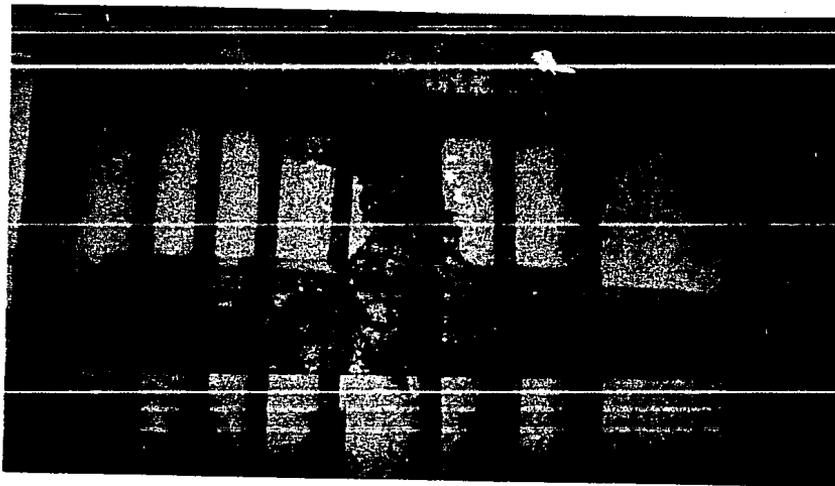
Aspecto de Falla en el Muro ubicado en el Eje F,  
Entrepiso No. 10, Crujía 3-4



Aspecto de Falla en el Muro ubicado en el Eje F,  
Entrepiso No. 9, Crujía 2-3



Aspecto de Falla en el Muro ubicado en el Eje 4,  
Entrepiso P.B., Crujía C-D



Aspecto de Falla en el Muro ubicado en el Eje 4,  
Entrepisos E1-E2, Crujía C-D

Por los motivos expuestos con anterioridad los daños estructurales presentados en la cimentación se conocieron mediante un reporte proporcionado por el Dr. Porfirio Ballesteros, mismo - que manifiesta lo siguiente:

A) Estudios realizados.

1. Se ordenó un levantamiento de daños en el edificio.
2. Se ordenaron calas en las zonas dañadas de la cimentación, para conocer el estado y las causas de las fallas.
3. Se realizaron pruebas de laboratorio consistentes en pruebas del concreto.

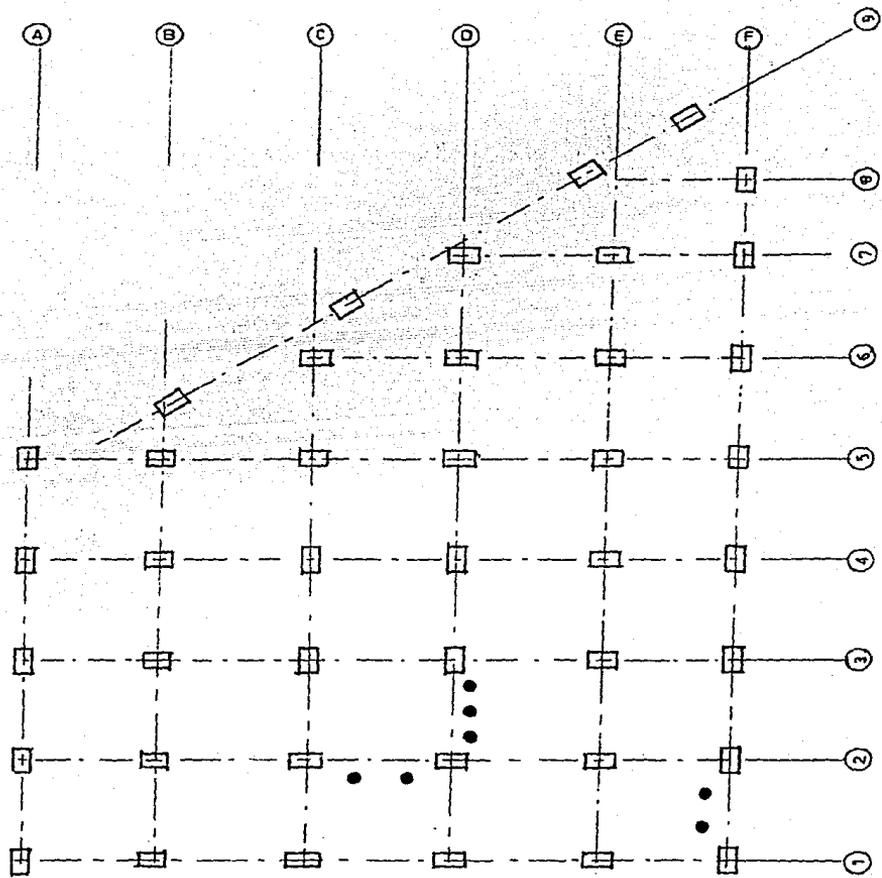
B) Observaciones a los estudios y calas.

1. Se encontró que el armado de la losa de cimentación, no tenía el anclaje y traslapes, conforme marca el - reglamento.
2. Se observó que no existen cajones de cimentación en el perímetro del edificio, por lo que se ordenó la construcción de los mismos.
3. La losa de piso no estaba ligada, mediante el acero, a las contratrabes.
4. Algunas contratrabes se encontraron falladas al grado de que las varillas están desprendidas de las columnas, debido a que carecieron de anclaje y/o soldadura, adecuados.

5. Se encontraron deficiencias en los colados.
6. Se encontraron pilotes fuera del eje de las contratr bes, en los siguientes casos:
  - a) En la contratrabe del Eje F, en la crujía 1-2.
  - b) En la contratrabe del Eje D, en la crujía 2-3, del cajón localizado entre los ejes E-D y 2-3, se encontraron tres pilotes fuera de eje.
  - c) En el cajón 4, localizado entre los ejes C-D y -- 1-2, se encontraron dos pilotes apoyados en una trabe colapsada, paralela a la contratrabe del -- eje 2 en la crujía C-D.

Consultar Figura 3.1.

Así como también se repórtó que se realizó una nivelación del edificio, encontrando que éste tiene un hundimiento de -- aproximadamente 50cm, en dirección de la Av. Juárez, evidentemente el mismo hundimiento provocó un desplome en la misma di rección.



AV. JUAREZ.

● PILOTES FUERA DE EJE.

Fig. 3.1

## CAPITULO IV

### ESTUDIO ANALITICO

#### 4.1 Alcances.

El no contar con la información documental requerida, tal como, Memorias de cálculo y descriptiva, hizo necesario el levantamiento físico de las características geométricas del inmueble (medición de columnas, ábacos, traveses de borde y de eje, nervaduras, alturas de entrepisos, distancias entre ejes, etc.)

En este capítulo se describe la forma en que se determinaron las propiedades geométricas de los elementos estructurales que forman parte del inmueble, acompañada de ejemplos representativos, ya que el describir la determinación numérica de las propiedades geométricas de todos los elementos estructurales es redundante.

Se mencionan las propiedades de los materiales de interés para este estudio. Así mismo se determinan las diferentes acciones que pueden actuar sobre la estructura.

Cabe enfatizar el uso de los aspectos reglamentarios empleados para la obtención de las propiedades geométricas de los elementos estructurales, de los materiales y de las acciones que obran en la estructura.

Una vez determinadas las acciones que actúan sobre la estructura, se procedió a realizar el análisis estructural, tanto por cargas gravitacionales como por sismo en dos direcciones ortogona

les, considerando las combinaciones de los dos tipos de cargas; para esto se utilizó un programa de computadora que hace el análisis en forma tridimensional, éste es llamado "SUPER ETABS".

#### 4.2 Propiedades Geométricas de los Elementos Estructurales.

Como se mencionó en el capítulo II, la concepción de una estructura es parte integral para comprender el por qué de su comportamiento ante una acción determinada. El edificio se encuentra estructurado a base de columnas y losa plana aligerada con casetones y la cimentación a base de cajones con contratrabes y pilotes. En primer lugar, se definieron 2 ejes ortogonales de referencia, el eje "X" paralelo a la dirección de la Av. Juárez y el eje "Y" perpendicular a ésta.

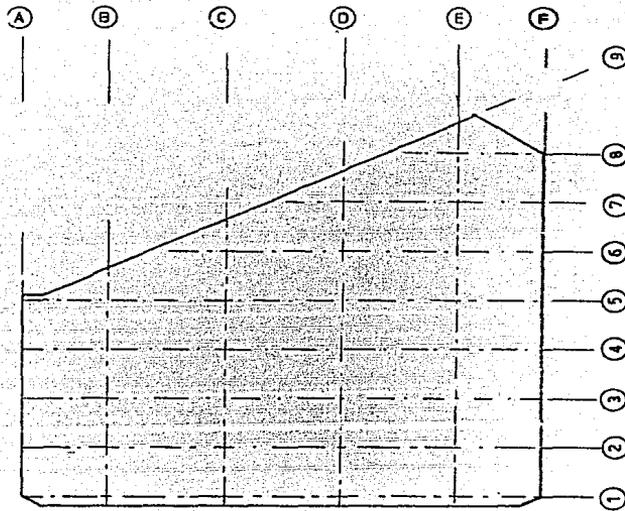
El edificio, se constituye por 13 marcos ortogonales definidos por su ubicación respecto a los ejes "número" y "letra", en la figura 4.1 se muestran los marcos en planta y la elevación de dos de ellos en particular.

Las propiedades geométricas de interés de las columnas son:

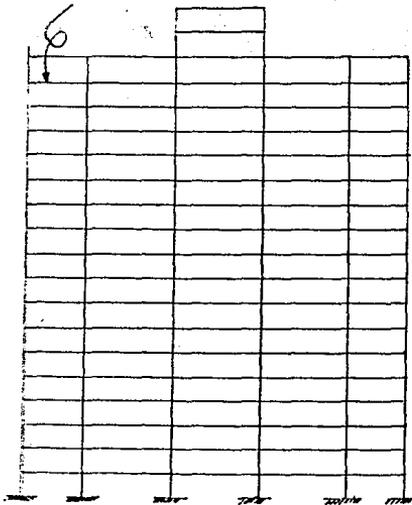
- . Area de su sección transversal.
- . Altura.
- . Momentos de inercia y módulos de sección, alrededor de -- dos ejes ortogonales.

Para ejemplificar lo anterior se tomó una columna al azar (columna C-1 de la figura 4.1).

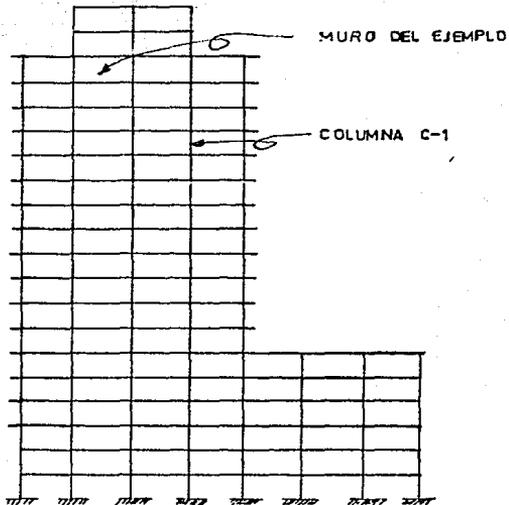
La columna elegida tiene las siguientes características geométricas:



TRABE V-1



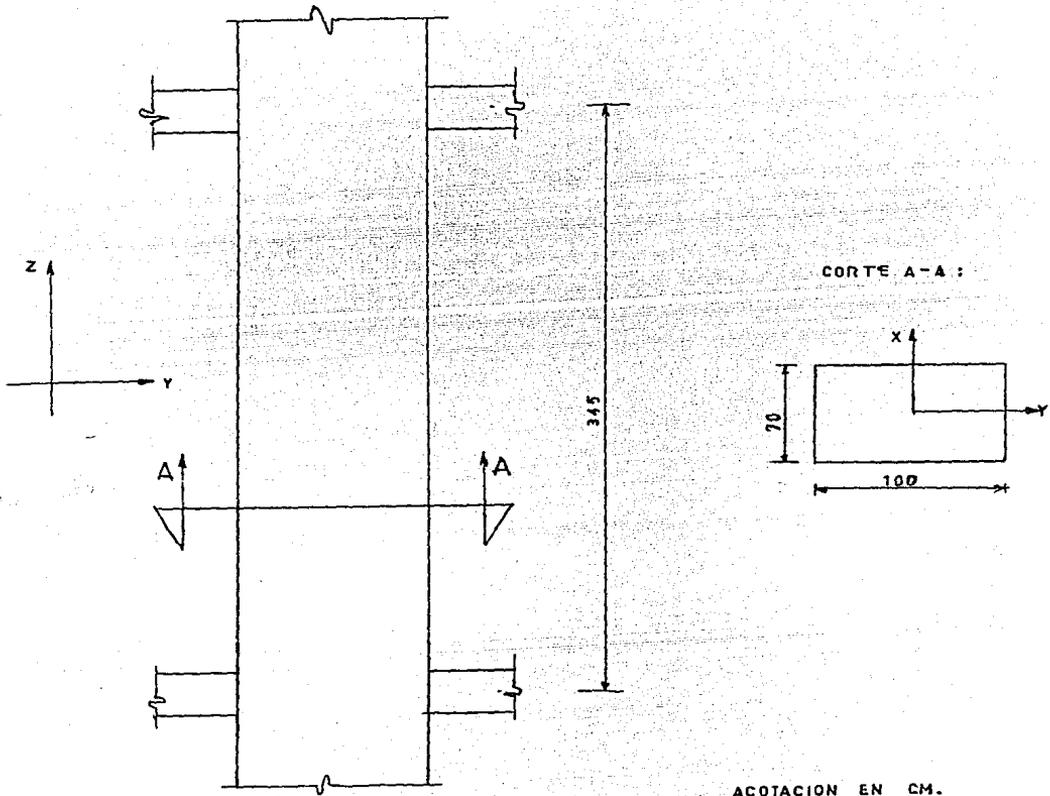
MARCO 3



MARCO F

Fig. 4.1

# COLUMNA C-1



. Area de su sección transversal (A).

$$A = (1.00 \text{ m}) (0.7 \text{ m}) = 0.7 \text{ m}^2$$

. Altura (h)

h = 3.45 m, esta altura es de eje a eje del sistema de piso.

. Momentos de inercia y módulos de sección ( $I_i$ ,  $S_i$ )

$$I_x = \frac{0.7 \text{ m} (1.0 \text{ m})^3}{12} = 0.0583 \text{ m}^4$$

$$S_x = \frac{0.0583 \text{ m}^4}{0.5 \text{ m}} = 0.1167 \text{ m}^3$$

$$I_y = \frac{1.00 \text{ m} (0.7 \text{ m})^3}{12} = 0.0286 \text{ m}^4$$

$$S_y = \frac{0.0286 \text{ m}^4}{0.35} = 0.0817 \text{ m}^3$$

Como se mencionó, los marcos están formados a base de columnas, "vigas equivalentes" y muros en algunos de ellos. La determinación de estas vigas se hizo necesaria debido a que el sistema de piso está constituido por losa plana aligerada con casetones, mismo que transfiere la carga directamente sobre las columnas. Para configurar a estas vigas, se empleó el método de la estructura equivalente, referido en la parte 1-4.3.6 de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcciones de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1976.

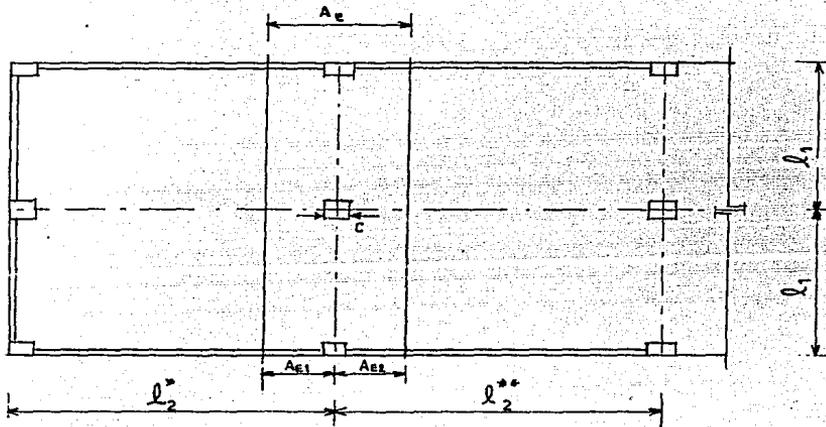
En las normas antes citadas, dice: "El momento de inercia de cualquier sección (de columnas o de trabes) puede tomarse como el de la sección de concreto no agrietado y sin considerar el refuerzo. Además, se deben tener en cuenta los requisitos siguientes:

Para valuar el momento de inercia de las losas, se considera un ancho equivalente a cada lado del eje de columnas igual a:

$$A_E = \frac{0.5 L_2}{1 + 1.67 \frac{L_2}{L_1}} + 0.3 C \leq 0.5 L_2$$

Donde  $L_2$  es el claro del tablero que se considera, en la dirección en que se mide el ancho equivalente y  $L_1$  es el claro en la dirección que se analiza. Si no hay capitel,  $C$  es la dimensión de la columna en la dirección de  $L_2$ . Debe tenerse presente la variación del momento de inercia a lo largo de los ejes de los miembros, debida a capitel y "ábacos".

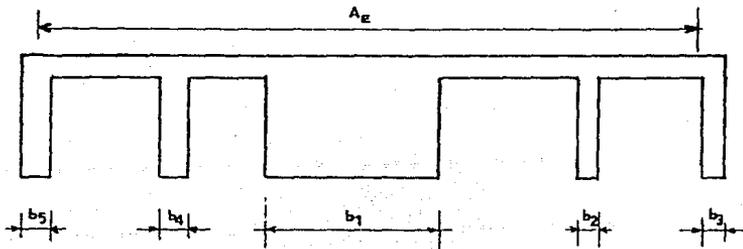
Representando ésto de una manera gráfica se tiene:

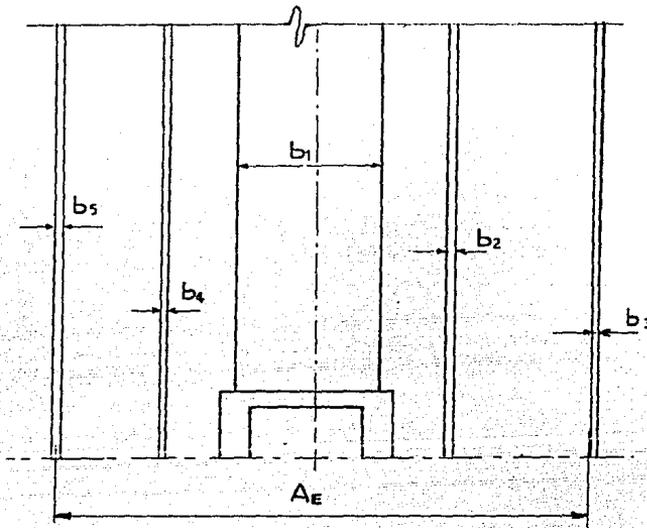


$$A_{E_L} = \frac{0.5 l_2}{1 + 1.67 \frac{l_2}{l_1}} + 0.3 C \leq 0.5 l_2$$

$$A_E = A_{E1} + A_{E2}$$

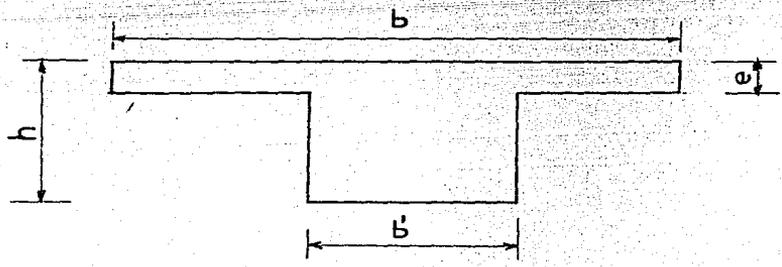
Teniendo definido este "ancho equivalente" ( $A_E$ ), se determina el número de nervaduras que caen dentro del mismo:





$$b' = b_1 + b_2 + b_4 + \frac{1}{2} b_5 \quad (\text{Para este ejemplo})$$

Y de esta manera se obtiene una viga con la siguiente sección:



Con una longitud igual a la distancia comprendida entre los ejes de las columnas, entre los que se encuentra ésta.

Donde:

b = ancho equivalente.

h = espesor de losa.

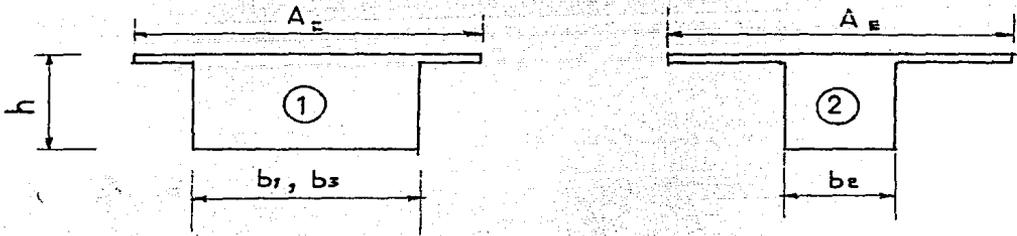
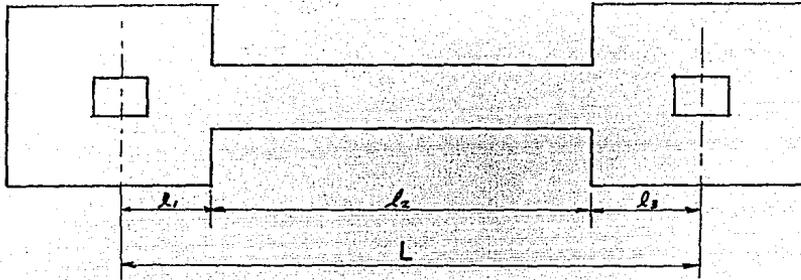
e = espesor de la capa de compresión.

b' = sumatoria de anchos de nervaduras que caen dentro del ancho equivalente.

La "viga equivalente" que forma parte de un marco "es una viga de sección transversal rectangular", de peralte igual al peralte total de la losa y de "base equivalente", por lo tanto se trata de una viga idealizada. Para obtener esta viga se requiere obtener el momento de inercia equivalente, correspondiente a la sección anterior.

Tomando en cuenta que alrededor de cada columna se tiene una zona maciza, la cual se ha llamado "ábaco", ésto implica que el momento de inercia equivalente, deberá considerar esta variación de la sección transversal. En este caso en particular el momento de inercia equivalente se calculó de la siguiente manera:

$$I_{eq} = \frac{I_1 \ell_1 + I_2 \ell_2 + I_3 \ell_3}{L}$$

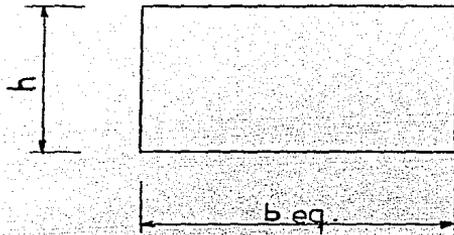


Para el cálculo respectivo de cada uno de estos valores:  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ , es necesario determinar primero la posición del eje neutro de las secciones 1 y 2 y posteriormente aplicar en cada caso el teorema de los "ejes paralelos".

De esta manera, una vez obtenido el valor de  $I_{eq}$ , se procede a determinar el ancho de la viga equivalente:

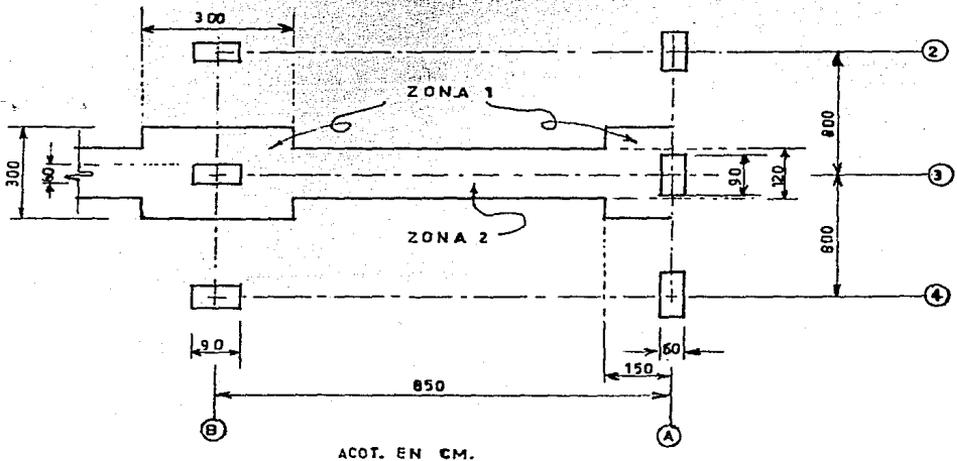
$$b_{eq} = \frac{12 I_{eq}}{h^3}$$

Con lo cual la viga equivalente para cada caso particular queda de la siguiente manera:



Para ejemplificar lo anteriormente expuesto se tomó la viga V-1 del marco 3 de la figura 4.1:

Trabe del marco 3 cruzía A-B, entrepisos 9, 10 y 11:



NOTA: Habiendo medido un alto número de ábacos y traves de eje, se determinó que en promedio sus dimensiones son de 3x3 (m) y 1.2m. de ancho, respectivamente.

Para la trabe en cuestión, se calculó en primer lugar su -  
ancho equivalente ( $A_E$ ):

$$A_E = A_{E1} + A_{E2}$$

Para este caso en particular,  $A_{E1} = A_{E2}$

$$A_{E1} = A_{E2} = \frac{0.5 \ell_2}{1 + 1.67 \frac{\ell_2}{\ell_1}} + 0.3 C \leq 0.5 \ell_2 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

$$\ell_1 = 8.50 \text{ m}$$

$$\ell_2 = 8.00 \text{ m}$$

$$C = 0.60 \text{ m (caso más desfavorable).}$$

Substituyendo en la ecuación (1).

$$A_{E1} = A_{E2} = \frac{0.5 (8.00)}{1 + 1.67 \frac{8.00}{8.50}} + 0.3 (0.60) \leq 0.5 (8.00)$$

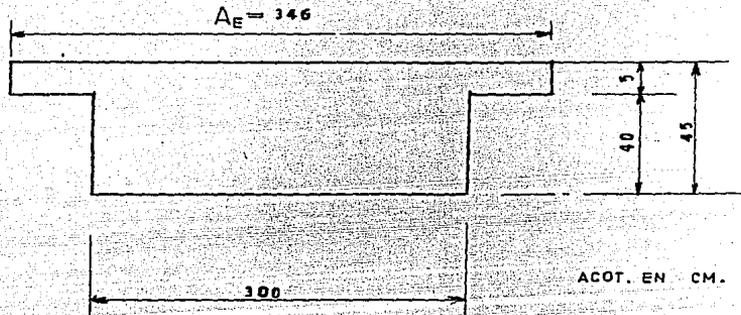
$$A_{E1} = A_{E2} = 1.73 \text{ m} \leq 4.00 \text{ m}$$

$$A_E = A_{E1} + A_{E2} = 1.73 + 1.73 = 3.46 \text{ m}$$

Ahora bien, en esta viga se tienen dos zonas:

- a) Zona de ábacos.
- b) Zona de trabe de eje.

Siendo la sección transversal de esta viga, en la zona de ábacos, como se muestra:



. Determinación de la posición del eje neutro:

$$Y_c = \frac{3.46 (0.05) (0.425) + 3 (0.4) (0.20)}{3.46 (0.05) + 3 (0.4)} = 0.22 \text{ m}$$

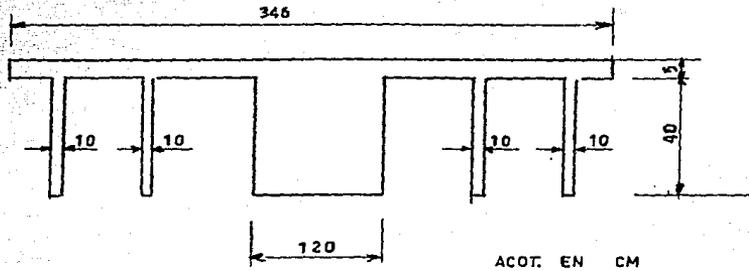
. Cálculo del momento de inercia:

$$I_{1-3} = \frac{3(0.4)^3}{12} + (3(0.4))(0.22-0.2)^2 + \frac{3.46(0.05)^3}{12} + (3.46(0.05))(0.425-0.22)^2$$

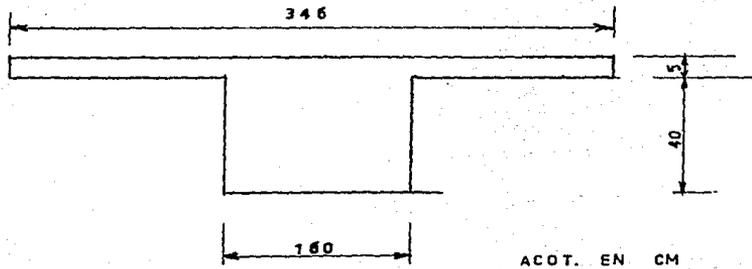
$$I_{1-3} = 0.02378 \text{ m}^4$$

NOTA: Para ver cuantas nervaduras caen dentro del ancho equivalente, ver la figura 2.7, donde se muestra el sistema de piso.

Para la zona de trabe de eje:



Se tiene la siguiente viga:



. Determinación de la posición del eje neutro:

$$Y_c = \frac{3.46 (0.05) (0.425) + 1.6 (0.4) (0.2)}{3.46 (0.05) + 1.6 (0.4)} = 0.25 \text{ m}$$

. Cálculo del momento de Inercia:

$$I_2 = \frac{1.6 (0.4)^3}{12} + (1.6 (0.4)) (0.25 - 0.2)^2 + \frac{3.46 (0.05)^3}{12} + (3.46 (0.05)) (0.25 - 0.425)^2$$

$$I_2 = 0.01546 \text{ m}^4$$

Por consiguiente, el momento de inercia equivalente será:

$$I_{eq} = \frac{I_1 \ell_1 + I_2 \ell_2 + I_3 \ell_3}{L}$$

Debido a que  $\ell_1 = \ell_3$ ,  $I_1 = I_3$ :

$$I = \frac{2 I_1 \ell_1 + I_2 \ell_2}{L}$$

Substituyendo valores:

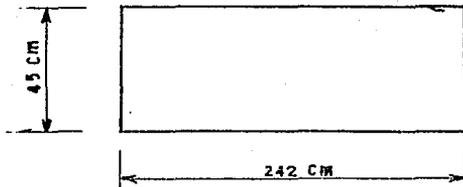
$$I_{eq} = \frac{2 (0.02378) (1.5) + 0.01546 (5.5)}{8.50} = 0.01839 \text{ m}^4$$

Calculado este momento de inercia equivalente, se obtiene la "viga equivalente de sección rectangular":

$$I_{eq} = \frac{b_{eq} h^3}{12}$$

$$b_{eq} = \frac{12 I_{eq}}{h^3} = \frac{12 (0.01839)}{(0.45)^3} = 2.42 \text{ m}$$

Por consiguiente, la sección de la viga equivalente es:



Así se tiene que:

. Área de la sección transversal de la "viga equivalente":

$$A_{eq} = (0.45 \text{ m}) (2.42 \text{ m}) = 1.089 \text{ m}^2$$

. Momento de Inercia de la "viga equivalente":

$$I_{eq} = 0.01839 \text{ m}^4$$

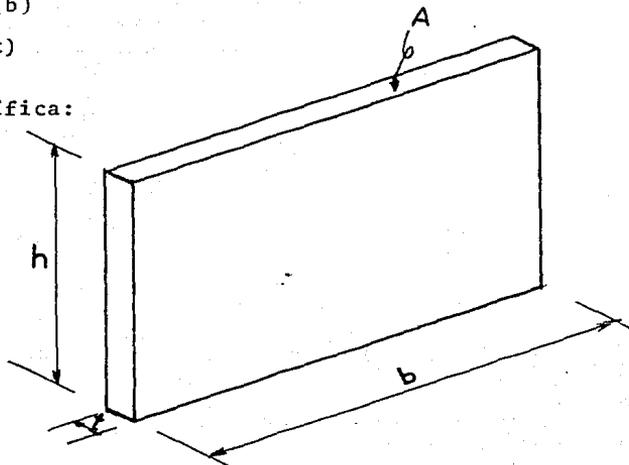
. Módulo de sección de la "viga equivalente":

$$S_{eq} = \frac{0.01839 \text{ m}^4}{0.225 \text{ m}} = 0.0817 \text{ m}^3$$

Para los muros, se definieron las siguientes características geométricas:

- . Area de su sección transversal longitudinal trabajando a flexión (A)
- . Momento de inercia de la sección transversal longitudinal trabajando a flexión (I).
- . Altura (h).
- . Longitud (b)
- . Espesor (t)

En forma gráfica:



Para este caso:

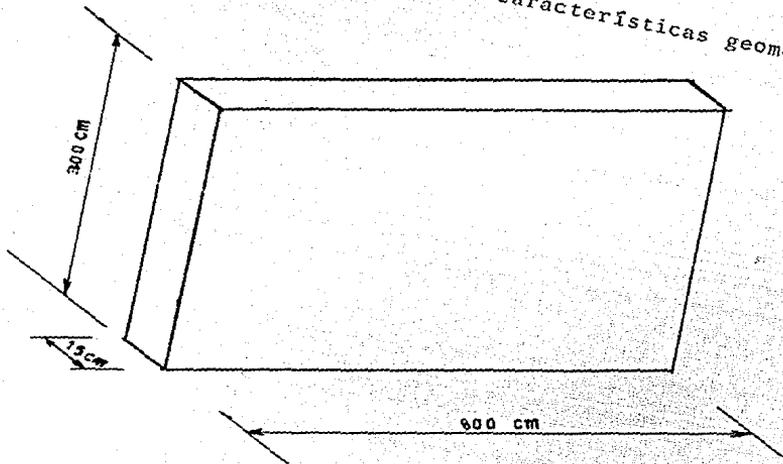
$$A = (b) (t)$$

$$I = \frac{t (b)^3}{12}$$

Este fue el procedimiento a seguir para cada muro de la estructura; a manera de ilustración se muestra un muro en particular, este muro se encuentra en el marco F, crujía 2-3, entrepiso

11 (señalado en la figura 4.1)

Este muro tiene las siguientes características geométricas:



$$\cdot A = 8 (0.15) = 1.2 \text{ m}^2$$

$$\cdot I = \frac{0.15 (8)^3}{12} = 6.4 \text{ m}^4$$

$$\cdot h = 3.00 \text{ m}$$

$$\cdot b = 8.0 \text{ m}$$

$$\cdot t = 0.15 \text{ m}$$

#### 4.3 Propiedades de los Materiales.

Como se hizo mención, el edificio es de concreto reforzado y una de las propiedades más importantes de este material es su resistencia a la compresión ( $f'_c$ ).

La compañía encargada en la reestructuración del inmueble, proporcionó el dato de este parámetro, siendo éste de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , obtenido por medio de ensayos de pruebas de laboratorio.

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

Otra propiedad importante, es la especificada en la parte 1 de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de 1976: No. 401 Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto: "Para concretos de peso normal (mayor o igual a  $2 \text{ ton/m}^3$ ), el módulo de elasticidad se pondrá igual a  $10,000 \sqrt{f'_c}$ , en  $\text{kg/cm}^2$ . Pueden usarse otros valores de  $E_c$  que estén suficientemente respaldados por resultados de laboratorio".

Para este edificio se tomó el valor de:

$$E_c = 10,000 \sqrt{250} = 158,113.88 \text{ kg/cm}^2.$$

El mismo reglamento, considera que, el módulo de cortante se tome como el 40% del valor del módulo de elasticidad:

$$G = 0.4 E_c = 0.4(158113.88) = 63,245.55 \text{ kg/cm}^2.$$

#### 4.4 Acciones que obran en la Estructura.

Las acciones que obran sobre la estructura en estudio, se determinaron considerando el artículo 209:

- Acciones gravitacionales, constituídas por:
  - . Acciones permanentes (carga muerta)
  - . Acciones variables (carga viva).
- Acciones accidentales (sismo).

La carga viva tiene 3 posibles intensidades (art. 211):

- . Intensidad media: Cuyo valor nominal se suma a la carga muerta, para efectos a largo plazo.
- . Intensidad instantánea: Se emplea para combinaciones que incluyan acciones permanentes y accidentales.
- . Intensidad máxima: Para combinaciones que incluyan exclusivamente acciones permanentes.

La seguridad de la estructura, debe verificarse para las siguientes combinaciones, factorizadas por el respectivo factor de carga (arts. 215 y 220):

- . (carga muerta + carga viva máxima) (1.4)
- . (carga muerta + carga viva instantánea + sismo) (1.1)

NOTA: Los artículos que se mencionan en esta Sección, corresponden a los Requisitos de Seguridad y Servicio para las Estructuras. Título IV del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1976. Publicación No. 400 del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

#### 4.4.1 Carga Muerta.

Se tomó como base la distribución de casetones mostrada en la figura 4.2 y se determinó un total de 1965 casetones para el área de oficinas.

El volumen de un casetón (V) es:

$$V = (0.6 \text{ m})(0.6 \text{ m})(0.4 \text{ m}) = 0.144 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, el volumen total de casetones ( $V_{tc}$ ) para el área de oficinas es:

$$V_{tc} = (1965)(0.144 \text{ m}^3) = 282.96 \text{ m}^3$$

El área de oficinas es de  $1600.76 \text{ m}^2$  (tomando en cuenta los huecos existentes).

De esta manera, el volumen de losa sin considerar casetones ( $V_{lsc}$ ) es:

$$V_{lsc} = (1600.76 \text{ m}^2)(0.45 \text{ m}) = 720.34 \text{ m}^3$$

Restando el volumen total de casetones, se tiene el volumen de losa neto ( $V_{ln}$ ):

$$V_{ln} = 720.34 \text{ m}^3 - 282.96 \text{ m}^3 = 437.38 \text{ m}^3$$

Multiplicando este volumen neto de losa ( $V_{1n}$ ), por el peso volumétrico del concreto reforzado ( $\gamma_c = 2.4 \text{ ton/m}^3$ ) se obtuvo el peso de la losa aligerada ( $W_1$ ):

$$W_1 = (437.38 \text{ m}^3) (2.4 \text{ ton/m}^3) = 1049.712 \text{ ton.}$$

Para obtener el peso por unidad de área, de la losa aligerada ( $W_{1a}$ ), se dividió el peso de la losa ( $W_1$ ) entre el área de oficinas:

$$W_{1a} = \frac{1049.712 \text{ ton}}{1600.76 \text{ m}^2} = 0.655 \text{ ton/m}^2$$

El art. 224, considera que el peso muerto calculado para losas de concreto de peso normal, se incrementa en  $20 \text{ kg/m}^2$ , - además,  $20 \text{ kg/m}^2$  adicionales cuando se coloque sobre la losa - una capa de mortero; de esta manera, el incremento total es de  $40 \text{ kg/m}^2$ .

Las losas cuentan con plafón de yeso de  $2.5 \text{ cm}$  de espesor, el cual tiene un peso volumétrico máximo de  $1.5 \text{ ton/m}^3$  (art. -- 223).

Por lo tanto, se tiene que el peso por unidad de área debido a carga muerta para oficinas ( $W_{m1}$ ), estacionamientos y sótanos excepto azotea y apéndices es:

|  |   |        |                    |
|--|---|--------|--------------------|
| $W_{1a}$   | = | 0.6550 | ton/m <sup>2</sup> |
| Sobrecarga por reglamento                            | = | 0.0400 | "                  |
| Firme de 5 cm<br>(0.05 m)(2.4 ton/m <sup>3</sup> )   | = | 0.1200 | "                  |
| Plafón de 2.5 cm<br>(0.025)(1.5 ton/m <sup>3</sup> ) | = | 0.0375 | "                  |
|  |   | <hr/>  |                    |
| $W_{m1}$   | = | 0.8525 | ton/m <sup>2</sup> |

Para determinar el peso por unidad de área debido a carga muerta para azotea ( $W_{m2}$ ), se consideró, adicional al peso obtenido para oficinas, un relleno de 10 cm de espesor y un entortado de mortero de cemento y arena de 5 cm sobre la losa. Este entortado tiene un peso volumétrico de 2.1 ton/m<sup>3</sup> (art. 223). El relleno se consideró de tezontle y se empleó un peso volumétrico de 1.55 ton/m<sup>3</sup> (art. 223), así se tiene:

|  |   |        |                    |
|--|---|--------|--------------------|
| $W_{m1}$   | = | 0.8525 | ton/m <sup>2</sup> |
| Entortado de 5 cm<br>(0.5 m)(2.1 ton/m <sup>3</sup> )    | = | 0.1051 | "                  |
| Relleno de tezontle<br>(0.1 m)(1.55 ton/m <sup>3</sup> ) | = | 0.1550 | "                  |
|  |   | <hr/>  |                    |
| $W_{m2}$   | = | 1.1126 | ton/m <sup>2</sup> |

El apéndice cuenta con dos losas de un espesor de 20 cm cada una, de esta manera, el peso por unidad de área debido a carga para el apéndice ( $W_{m3}$ ) es:

$$\text{Peso de la losa} \\ (0.2 \text{ m})(2.4 \text{ ton/m}^3) = 0.48 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Sobrecarga por re-} \\ \text{glamento } 20 \text{ kg/ m}^2 = \frac{0.02}{\text{ton/m}^2}$$
$$W_{m3} = 0.50 \text{ ton/m}^2$$



#### 4.4.2 Carga Viva.

Para ejemplificar la "bajada de cargas", se tom6 el marco C, de esta forma, la carga viva se determin6 en sus intensidades m6xima e instant6nea (art. 227):

$$\text{CARGA VIVA en Kg/m}^2 \cdot Z = \frac{420}{\sqrt{A}}$$

| CARGA VIVA  | AZOTEA | OFICINAS | ESTACS. | AP-1  | AP-2          |               |
|-------------|--------|----------|---------|-------|---------------|---------------|
|             |        |          |         |       | CRUJIA<br>2-3 | CRUJIA<br>3-4 |
| MAXIMA      | 100    | 120+2    | 150     | 120+2 | 120+2+108     | 120+2         |
| INSTANTANEA | 70     | 90       | 100     | 70    | 100           | 100           |

Para el AP-2, se consider6 el peso de 4 malacates de 2 ton cada una para el izaje de los elevadores, de esta forma la carga viva se increment6 en:

$$4 \text{ malacates (2000)} = \frac{8000 \text{ kg}}{9.25\text{m (8m)}} = 108 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.4.3 Sismo.

El sismo es una excitación que se presenta en la base de las estructuras. Esta excitación se mide con el desplazamiento, la velocidad y la aceleración que sufre el suelo en diferentes direcciones. Parámetros medidos con aparatos, como son el sismógrafo y el acelerógrafo.

Para la generación de fuerzas laterales, se empleó el método estático propuesto por el Reglamento de Construcciones para el -- Distrito Federal de 1976.

Este método, se basa en la determinación de la Fuerza lateral total (cortante en la base "V") a partir de la fuerza de inercia que se induce en un sistema equivalente de un grado de libertad, para después distribuir este cortante en fuerzas concentradas a diferentes alturas de la estructura, obtenidas suponiendo que ésta va a vibrar esencialmente en su primer modo natural.

La fuerza cortante en la base se determina como:

$$V = \frac{C}{Q} W$$

donde:

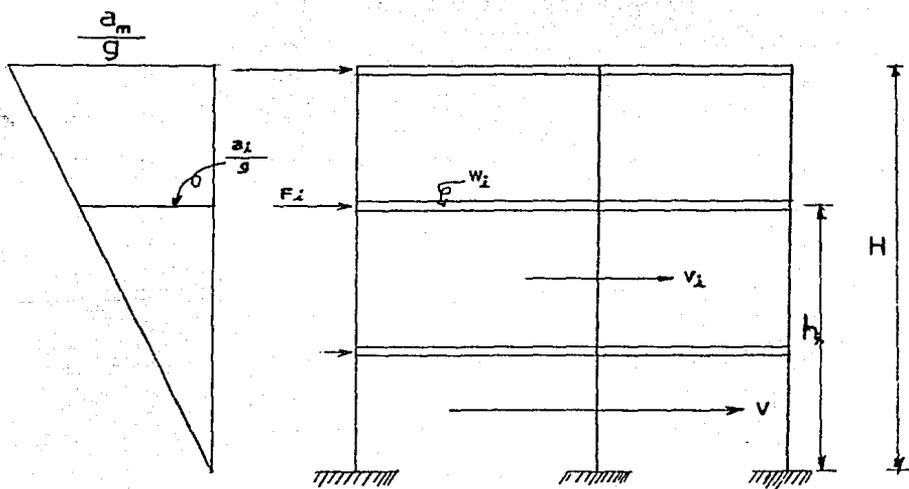
V = Fuerza cortante en la base.

C = Coeficiente sísmico, definido por el art. 234.

Q = Factor de ductilidad, definido por el art. 235.

W = Peso total de la estructura.

Una vez determinada la fuerza cortante en la base, debe definirse cuales son las fuerzas individuales aplicadas en cada masa, las que sumadas dan lugar a dicha cortante total. El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1976, acepta la hipótesis de que la distribución de aceleraciones en los diferentes niveles de la estructura es lineal, partiendo de cero en la base hasta un máximo,  $\frac{a_m}{g}$ , de ello resulta que la fuerza lateral en cada piso vale:



La fuerza aplicada a un piso cualquiera es:

$$F_i = W_i \frac{a_i}{g} \dots\dots\dots (1)$$

De triángulos semejantes:

$$\frac{a_m}{gH} = \frac{a_i}{gh_i}$$

$$\frac{a_i}{g} = \frac{a_m}{g} \frac{h_i}{H}$$

Sustituyendo  $\frac{a_i}{g}$  en (1):

$$F_i = W_i \frac{a_m}{g} \frac{h_i}{H} \dots\dots\dots (2)$$

La fuerza cortante en la base es:

$$V = \sum_{i=1}^n F_i = \frac{a_m}{gH} \sum_{i=1}^n W_i h_i \dots\dots\dots (3)$$

Despejando  $\frac{a_m}{gH}$  de (3) y de (2):

$$\frac{a_m}{gH} = \frac{V}{\sum_{i=1}^n W_i h_i}$$

$$\frac{a_m}{gH} = \frac{F_i}{W_i h_i}$$

Igualándolos:

$$\frac{V}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} = \frac{F_i}{W_i h_i}$$

Despejando  $F_i$ :

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} V \quad \text{que es la fuerza lateral actuando en cada piso } i.$$

Para determinar las fuerzas laterales se procedió como indica el método.

Primero se determinaron las siguientes cargas verticales:

. Apéndice (A = 148 m<sup>2</sup>):

Azotea: carga viva = 70 kg/m<sup>2</sup>

carga muerta = 760 kg/m<sup>2</sup>

Entrepiso: carga viva = 100 kg/m<sup>2</sup>

carga muerta = 500 kg/m<sup>2</sup>

. Edificio (sección rectangular, A = 1618.76 m<sup>2</sup>):

Azotea: carga viva = 70 kg/m<sup>2</sup>

carga muerta = 1,112 kg/m<sup>2</sup>

Oficinas: carga viva = 90 kg/m<sup>2</sup>

carga muerta = 852.5 kg/m<sup>2</sup>

Estac. 8-7: carga viva =  $100 \text{ kg/m}^2$   
carga muerta =  $852.5 \text{ kg/m}^2$

. Edificio (sección trapecial,  $A = 2,245.26 \text{ m}^2$ ):

Estac. 6-5 a P.B.: carga viva =  $100 \text{ kg/m}^2$   
carga muerta =  $852.5 \text{ kg/m}^2$

Lo anterior dió lugar a los siguientes pesos:

. Apéndice.

Azotea,  $W = (0.83 \text{ ton/m}^2)(148 \text{ m}^2) = 122.84 \text{ ton.}$

Entrepiso,  $W = (0.60 \text{ ton/m}^2)(148 \text{ m}^2) = 88.8 \text{ ton.}$

. Edificio (sección rectangular)

Azotea:  $W = (1.182 \text{ ton/m}^2)(1618.76 \text{ m}^2) = 1913.4 \text{ ton.}$

Nivel 11 al 1:

$W = (0.9425 \text{ ton/m}^2)(1618.76 \text{ m}^2) = 1525.7 \text{ ton.}$

Estac. 8-7:

$W = (0.9525 \text{ ton/m}^2)(1618.76 \text{ m}^2) = 1541.86 \text{ ton.}$

. Edificio (Sección trapecial):

Estac. 6-5 a P.B.:  $W = (0.9525 \text{ ton/m}^2)(2245.26 \text{ m}^2) = 2138.6 \text{ ton.}$

De acuerdo al art. 232, el edificio en estudio pertenece, según su uso, al grupo B.

La zona en que se ubica es de terreno compresible, por lo tanto, según el art. 234, le corresponde un coeficiente sísmico (C) igual a 0.24.

Por su estructuración, le correspondió un factor de ductilidad (Q) igual a 4 en ambas direcciones ya que se trata de un edificio en que la resistencia es suministrada por marcos no contraventeados o con muros de concreto.

El edificio en estudio, cuenta con apéndice; para determinar las fuerzas en éste, se aplicó el párrafo V del art. 240, según el cual se consideró actuando sobre dicho apéndice la misma distribución de aceleraciones que le correspondería si se apoya directamente en el suelo multiplicada por  $(C' + a_0)/a_0$ , donde  $C'$  es el factor por el que se multiplica el peso del nivel de desplante del apéndice cuando se valúan los cálculos sobre toda la construcción.

Las fuerzas sísmicas de los niveles P.B. a Azotea son proporcionales a los productos de los pesos  $W_i$  por las alturas  $h_i$ . Sea  $\alpha$  la constante de proporcionalidad, entonces:

$$P_{11} = \alpha W_{11} h_{11} = 1913.4 (55.95\alpha) = 107054.73\alpha$$

$$P_{10} = \alpha W_{10} h_{10} = 1525.7 (52.5 \alpha) = 80099.25\alpha$$

$$P_9 = \alpha W_9 h_9 = 1525.7 (49.05\alpha) = 74835.58\alpha$$

$$P_8 = \alpha W_8 h_8 = 1525.7 (45.6 \alpha) = 69571.92\alpha$$

$$P_7 = \alpha W_7 h_7 = 1525.7 (42.15\alpha) = 64308.25 \alpha$$

$$\begin{aligned}
P_6 &= \alpha W_6 h_6 = 1525.7 (38.70 \alpha) = 59044.59\alpha \\
P_5 &= \alpha W_5 h_5 = 1525.7 (35.25 \alpha) = 53780.92\alpha \\
P_4 &= \alpha W_4 h_4 = 1525.7 (31.80 \alpha) = 48517.26\alpha \\
P_3 &= \alpha W_3 h_3 = 1525.7 (28.35 \alpha) = 43253.59\alpha \\
P_2 &= \alpha W_2 h_2 = 1525.7 (24.90 \alpha) = 37989.93\alpha \\
P_1 &= \alpha W_1 h_1 = 1525.7 (21.45 \alpha) = 32726.26\alpha \\
P_{E87} &= \alpha W_{E87} h_{E87} = 1541.86(18.00 \alpha) = 27753.48\alpha \\
P_{E65} &= \alpha W_{E65} h_{E65} = 2138.61(14.50 \alpha) = 31009.84\alpha \\
P_{E43} &= \alpha W_{E43} h_{E43} = 2138.61(11.00 \alpha) = 23524.71\alpha \\
P_{E21} &= \alpha W_{E21} h_{E21} = 2138.61(7.50 \alpha) = 16039.57\alpha \\
P_{PB} &= \alpha W_{PB} h_{PB} = 2138.61(4.00 \alpha) = \frac{8554.44\alpha}{778064.32\alpha}
\end{aligned}$$

Si los apéndices estuviesen apoyados directamente en el suelo tendrían unas fuerzas sísmicas iguales a:

$$\begin{aligned}
P'_{AP-1} &= 0.06 W_{AP-1} = 0.06 (122.84) = 7.37 \\
P'_{AP-2} &= 0.06 W_{AP-2} = 0.06 (88.80) = 5.33
\end{aligned}$$

Para el apéndice que pesa  $W_{AP-2}$ , el valor de  $C'$  es el factor por el cual se multiplica  $W_{11}$  para obtener la fuerza  $P_{11}$ , es decir:

$$C'_{AP-2} = ah_{11} = 55.95 \alpha$$

Análogamente:

$$C'_{AP-1} = 58.2 \alpha$$

Las fuerzas  $P'_{AP-1}$  y  $P'_{AP-2}$  deben multiplicarse por  $(C'+a_0)/a_0$ :

$$P_{AP-1} = 7.37 \frac{(58.2 \alpha + 0.06)}{0.06} = 7148.9 \alpha + 7.37$$

$$P_{AP-2} = 5.33 \frac{(55.95 \alpha + 0.06)}{0.06} = 4970.225 \alpha + 5.33$$

Para calcular  $\alpha$ , se emplea la condición de que la suma de las fuerzas  $P_{PB}$  a  $P_{AP-1}$  entre la suma de los pesos  $W_{PB}$  a  $W_{AP-1}$  deben ser igual a  $\frac{C}{Q} = 0.06$ , esto es:

$$790219.45 \alpha + 12.7 = 0.06 (27478.34)$$

de donde:

$$\alpha = \frac{1648.7-12.7}{790219.45} = 0.0020703$$

Multiplicando las fuerzas por  $\alpha$ , se tiene:

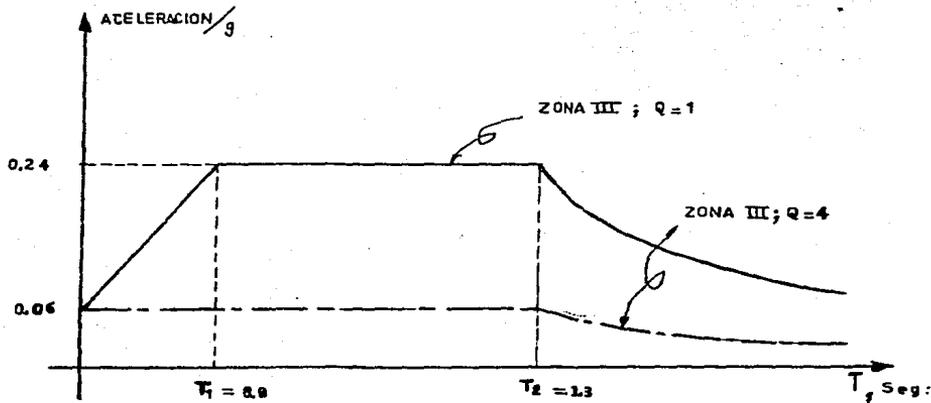
$$P_{AP-1} = 22.32 \text{ ton.}$$

$$P_{AP-2} = 15.62 \text{ "}$$

$P_{11} = 221.63 \text{ ton.}$   
 $P_{10} = 165.82 \text{ ''}$   
 $P_9 = 154.93 \text{ ''}$   
 $P_8 = 144.03 \text{ ''}$   
 $P_7 = 133.13 \text{ ''}$   
 $P_6 = 122.23 \text{ ''}$   
 $P_5 = 111.34 \text{ ''}$   
 $P_4 = 100.44 \text{ ''}$   
 $P_3 = 89.54 \text{ ''}$   
 $P_2 = 78.65 \text{ ''}$   
 $P_1 = 67.75 \text{ ''}$   
 $P_{E87} = 57.46 \text{ ''}$   
 $P_{E65} = 64.20 \text{ ''}$   
 $P_{E43} = 48.70 \text{ ''}$   
 $P_{E21} = 33.21 \text{ ''}$   
 $P_{PB} = 17.71 \text{ ''}$

Para realizar el análisis estructural del edificio, al utilizar el programa de computadora, requirió que se le suministra la siguiente información:

- . Datos generales del edificio (número de marcos, niveles, contravientos, muros, etc.)
- . Datos de pisos (fuerzas actuando por nivel, generadas por el método estático).
- . Datos de marcos (cargas gravitacionales y propiedades geométricas de los elementos estructurales).
- . Datos de muros.
- . Ubicación de los marcos.
- . Espectro de diseño, el del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal de 1976:



- . Factores de carga, para las combinaciones descritas con anterioridad.

4.5.- A continuación, se proporcionan los datos generales del marco C.

# TESIS CON FALLAS DE ORIGEN

|                               |    | COORDENADAS DE EJES DE COLUMNAS |         |
|-------------------------------|----|---------------------------------|---------|
|                               |    | EJE                             | EJE     |
| NUMERO DE MARCO (ID) -----    | 7  |                                 |         |
| NUMERO DE NIVELES -----       | 20 | 1                               | 1775,00 |
| NUMERO DE EJES DE COLUMNA --  | 2  | 2                               | 1775,00 |
| NUMERO DE CRUJIAS -----       | 7  | 3                               | 1775,00 |
| NUMERO DE PROF. DIF. COL. --- | 14 | 4                               | 1775,00 |
| NUMERO DE PROF. DIF. VIGAS =  | 14 | 5                               | 1775,00 |
| NUMERO DE CARGAS DIFERENTES=  | 6  | 6                               | 1775,00 |
| NUMERO DE PANELES -----       | 20 | 7                               | 1775,00 |
| NUMERO DE CONTRAVIENTOS ----  | 0  | 8                               | 1775,00 |

## LOCALIZACION DE COLUMNAS

|  | EJE | NIV | IDC | KCOL | REP |
|--|-----|-----|-----|------|-----|
|  | 1   | 20  | 16  | 2    | 19  |
|  | 2   | 20  | 16  | 3    | 1   |
|  | 2   | 19  | 1   | 3    | 2   |
|  | 2   | 15  | 4   | 3    | 3   |
|  | 2   | 11  | 5   | 3    | 1   |
|  | 2   | 9   | 7   | 3    | 2   |
|  | 2   | 6   | 9   | 3    | 1   |
|  | 2   | 4   | 13  | 3    | 3   |
|  | 3   | 20  | 1   | 4    | 4   |
|  | 3   | 15  | 4   | 4    | 3   |
|  | 3   | 11  | 5   | 4    | 1   |
|  | 3   | 9   | 7   | 4    | 1   |
|  | 3   | 7   | 9   | 4    | 0   |
|  | 3   | 6   | 13  | 4    | 0   |
|  | 3   | 5   | 15  | 4    | 4   |
|  | 4   | 20  | 2   | 5    | 4   |
|  | 4   | 15  | 3   | 5    | 3   |
|  | 4   | 11  | 6   | 5    | 1   |
|  | 4   | 9   | 8   | 5    | 1   |
|  | 4   | 7   | 10  | 5    | 0   |
|  | 4   | 6   | 12  | 5    | 0   |
|  | 4   | 5   | 14  | 5    | 4   |
|  | 5   | 20  | 2   | 6    | 4   |
|  | 5   | 15  | 3   | 6    | 3   |
|  | 5   | 11  | 6   | 6    | 1   |
|  | 5   | 9   | 8   | 6    | 1   |
|  | 5   | 7   | 10  | 6    | 0   |
|  | 5   | 6   | 12  | 6    | 0   |
|  | 5   | 5   | 14  | 6    | 4   |
|  | 6   | 20  | 16  | 7    | 1   |
|  | 6   | 18  | 1   | 7    | 2   |
|  | 6   | 15  | 4   | 7    | 3   |
|  | 6   | 11  | 5   | 7    | 1   |
|  | 6   | 9   | 7   | 7    | 2   |
|  | 6   | 6   | 9   | 7    | 5   |
|  | 7   | 20  | 16  | 8    | 19  |
|  | 8   | 20  | 16  | 7    | 13  |
|  | 8   | 6   | 11  | 7    | 5   |

LOCALIZACION DE VIGAS

| CRUJIA | NIV | CI | CL | TEPO | REP | CV1 | CV2 | CV3 |
|--------|-----|----|----|------|-----|-----|-----|-----|
| 1      | 20  | 1  | 2  | 15   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 1      | 18  | 1  | 2  | 1    | 0   | 4   | 0   | 0   |
| 1      | 17  | 1  | 2  | 1    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 1      | 15  | 1  | 2  | 4    | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 1      | 11  | 1  | 2  | 7    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 1      | 9   | 1  | 2  | 10   | 2   | 6   | 0   | 0   |
| 1      | 6   | 1  | 2  | 11   | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 1      | 4   | 1  | 2  | 14   | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 2      | 20  | 2  | 3  | 15   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 2      | 18  | 2  | 3  | 1    | 0   | 4   | 0   | 0   |
| 2      | 17  | 2  | 3  | 1    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 2      | 15  | 2  | 3  | 4    | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 2      | 11  | 2  | 3  | 7    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 2      | 9   | 2  | 3  | 10   | 2   | 6   | 0   | 0   |
| 2      | 6   | 2  | 3  | 11   | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 2      | 4   | 2  | 3  | 14   | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 3      | 20  | 3  | 4  | 16   | 0   | 1   | 0   | 0   |
| 3      | 19  | 3  | 4  | 16   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 3      | 18  | 3  | 4  | 2    | 0   | 3   | 0   | 0   |
| 3      | 17  | 3  | 4  | 2    | 1   | 5   | 0   | 0   |
| 3      | 15  | 3  | 4  | 5    | 3   | 5   | 0   | 0   |
| 3      | 11  | 3  | 4  | 8    | 5   | 5   | 0   | 0   |
| 3      | 5   | 3  | 4  | 12   | 4   | 5   | 0   | 0   |
| 4      | 20  | 4  | 5  | 16   | 1   | 1   | 0   | 0   |
| 4      | 18  | 4  | 5  | 3    | 0   | 4   | 0   | 0   |
| 4      | 17  | 4  | 5  | 3    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 4      | 15  | 4  | 5  | 6    | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 4      | 11  | 4  | 5  | 9    | 5   | 6   | 0   | 0   |
| 4      | 5   | 4  | 5  | 12   | 4   | 6   | 0   | 0   |
| 5      | 20  | 5  | 6  | 15   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 5      | 18  | 5  | 6  | 3    | 0   | 4   | 0   | 0   |
| 5      | 17  | 5  | 6  | 3    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 5      | 15  | 5  | 6  | 6    | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 5      | 11  | 5  | 6  | 9    | 5   | 6   | 0   | 0   |
| 5      | 5   | 5  | 6  | 12   | 4   | 6   | 0   | 0   |
| 6      | 20  | 6  | 7  | 15   | 1   | 0   | 0   | 0   |
| 6      | 18  | 6  | 7  | 3    | 0   | 4   | 0   | 0   |
| 6      | 17  | 6  | 7  | 3    | 1   | 6   | 0   | 0   |
| 6      | 15  | 6  | 7  | 6    | 3   | 6   | 0   | 0   |
| 6      | 11  | 6  | 7  | 9    | 5   | 6   | 0   | 0   |
| 6      | 5   | 6  | 7  | 12   | 4   | 6   | 0   | 0   |
| 7      | 20  | 7  | 8  | 15   | 13  | 0   | 0   | 0   |
| 7      | 6   | 7  | 8  | 4    | 5   | 6   | 0   | 0   |

| YD WISA   | E      | AV       | I TORS   | I FLEY     | KII  | KJJ         | KJJ         |
|-----------|--------|----------|----------|------------|------|-------------|-------------|
| 1         | 158.00 | 10922.00 | .00      | 1838183.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 2         | 158.00 | 5492.00  | .00      | 926873.00  | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 3         | 158.00 | 10717.00 | .00      | 1808577.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 4         | 158.00 | 10950.00 | .00      | 1847928.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 5         | 158.00 | 5332.00  | .00      | 899858.00  | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 6         | 158.00 | 10774.00 | .00      | 1818508.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 7         | 158.00 | 11008.00 | .00      | 1837613.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 8         | 158.00 | 5551.00  | .00      | 936847.00  | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 9         | 158.00 | 11408.00 | .00      | 1958953.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 10        | 158.00 | 11539.00 | .00      | 1943758.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 11        | 158.00 | 11329.00 | .00      | 1955664.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 12        | 158.00 | 5580.00  | .00      | 941789.00  | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 13        | 158.00 | 10892.00 | .00      | 1838183.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 14        | 158.00 | 11447.00 | .00      | 1965512.00 | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 15        | 158.00 | .00      | .00      | .00        | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| 16        | 158.00 | 3516.00  | .00      | 117200.00  | 4.00 | 4.00        | 2.00        |
| ID COLUMN |        |          |          |            |      |             |             |
| 1         | 158.00 | 5400.00  | 4500.00  | 4500.00    | .00  | 142000.00   | 3645000.00  |
| 2         | 158.00 | 5400.00  | 4500.00  | 4500.00    | .00  | 345000.00   | 1420000.00  |
| 3         | 158.00 | 7000.00  | 5833.00  | 5833.00    | .00  | 5033333.00  | 2858333.00  |
| 4         | 158.00 | 7000.00  | 5833.00  | 5833.00    | .00  | 2858333.00  | 5833333.00  |
| 5         | 158.00 | 8600.00  | 7333.00  | 7333.00    | .00  | 4673333.00  | 8873333.00  |
| 6         | 158.00 | 8800.00  | 7333.00  | 7333.00    | .00  | 8873333.00  | 4673333.00  |
| 7         | 158.00 | 9600.00  | 8000.00  | 8000.00    | .00  | 5120000.00  | 11520000.00 |
| 8         | 158.00 | 9600.00  | 8000.00  | 8000.00    | .00  | 11520000.00 | 5120000.00  |
| 9         | 158.00 | 10400.00 | 8666.00  | 8666.00    | .00  | 5746666.00  | 1446666.00  |
| 10        | 158.00 | 10400.00 | 8666.00  | 8666.00    | .00  | 1446666.00  | 5746666.00  |
| 11        | 158.00 | 7500.00  | 6250.00  | 6250.00    | .00  | 3515625.00  | 4250000.00  |
| 12        | 158.00 | 11200.00 | 9333.00  | 9333.00    | .00  | 18293330.00 | 5973333.00  |
| 13        | 158.00 | 11200.00 | 9333.00  | 9333.00    | .00  | 5973333.00  | 18293330.00 |
| 14        | 158.00 | 12600.00 | 10500.00 | 10500.00   | .00  | 20580000.00 | 2580000.00  |
| 15        | 158.00 | 12600.00 | 10500.00 | 10500.00   | .00  | 2580000.00  | 20580000.00 |
| 16        | 158.00 | .00      | .00      | .00        | .00  | .00         | .00         |

| ID CARGA | CODIGO | MI   | VI   | MJ   | VJ   | W    |
|----------|--------|------|------|------|------|------|
| 1        | 1      | .000 | .000 | .000 | .000 | .014 |
| 2        | 1      | .000 | .000 | .000 | .000 | .014 |
| 3        | 1      | .000 | .000 | .000 | .000 | .098 |
| 4        | 1      | .000 | .000 | .000 | .000 | .112 |
| 5        | 1      | .000 | .000 | .000 | .000 | .082 |
| 6        | 1      | .000 | .000 | .000 | .000 | .092 |

DATOS PANEL

| NIVEL | COL | I | COL | J | E      | V        | I            | AV       | B     |
|-------|-----|---|-----|---|--------|----------|--------------|----------|-------|
| 20    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 19    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 18    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 17    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 16    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 15    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 14    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 13    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 12    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 11    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 10    | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 9     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 8     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 7     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 6     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 5     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 4     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 3     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 2     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |
| 1     | 4   | 4 | 4   | 4 | 158.00 | 16000.00 | 853333300.00 | 13333.00 | 63.20 |

C A P I T U L O V

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

## 5.1 Sinopsis.

Este capítulo comprende una revisión de los resultados obtenidos del análisis estructural. Para ésto, se consideró únicamente los resultados que involucran las características dinámicas de la estructura, tales como: desplazamientos laterales, modos y períodos naturales de vibración.

Como se mencionó en el Capítulo IV, los resultados que se presentan se obtuvieron al someter a la estructura a una excitación en su base, sismo, en cada una de las dos direcciones ortogonales X y Y. Esto se hizo considerando un tipo de análisis dinámico modal.

Finalmente, se pretende dar una conclusión respecto a los objetivos planteados al inicio de este trabajo; para lo cual, se utilizan el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal de 1976 y los registros del sismo medidos en los tres puntos del D.F., referidos en el Capítulo I, en la figura 1.2; publicado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

## 5.2 Análisis de Resultados.

De acuerdo con la elección del tipo de análisis, Art. 238 del reglamento, la estructura tiene una altura a partir del nivel de banqueta igual a 60.95 m; por lo tanto, al ser mayor de 60 m, el análisis sísmico a emplear fue el dinámico modal, Art. 241 del mismo.

El programa (SUPER-ETABS) empleado para el análisis estructural, requirió para la realización del análisis sísmico generar dos tipos de acciones laterales:

- . Las debidas al método estático (Art. 240) y
- . Las correspondientes al método dinámico (Art. 241)

La respuesta dinámica, "desplazamientos", de la estructura debida a las fuerzas estáticas, se muestra en la tabla 5.1

# TESIS CON FALLAS DE ORIGEN

TABLA 5.1  
COMPLEMENTO 1980

| NIVEL | ID   | DISH | 4       | 5       |    |      |      |
|-------|------|------|---------|---------|----|------|------|
| 20    | AP-1 | Y    | 24,1784 | -1,5713 | 11 | N-04 | Y    |
| 20    | AP-1 | Y    | -1,6779 | 4,2557  | 11 | N-04 | Y    |
| 20    | AP-1 | ROTN | .0004   | -1,0003 | 11 | N-04 | ROTN |
| 19    | AP-2 | X    | 25,2473 | -1,4133 | 10 | N-03 | Y    |
| 19    | AP-2 | Y    | -1,6558 | 4,0350  | 10 | N-03 | Y    |
| 19    | AP-2 | ROTN | .0004   | -1,0003 | 10 | N-03 | ROTN |
| 19    | N-10 | Y    | 23,5332 | -1,5735 | 9  | N-02 | Y    |
| 19    | N-10 | Y    | -1,4917 | 3,9370  | 9  | N-02 | Y    |
| 19    | N-10 | ROTN | .0004   | -1,0003 | 9  | N-02 | ROTN |
| 17    | N-10 | X    | 22,9411 | -1,6444 | 8  | N-01 | X    |
| 17    | N-10 | Y    | -1,4524 | 3,7174  | 8  | N-01 | Y    |
| 17    | N-10 | ROTN | .0004   | -1,0003 | 8  | N-01 | ROTN |
| 16    | N-09 | X    | 22,0039 | -1,5149 | 7  | E-37 | X    |
| 16    | N-09 | Y    | -1,4133 | 3,4532  | 7  | E-37 | Y    |
| 16    | N-09 | ROTN | .0004   | -1,0003 | 7  | E-37 | ROTN |
| 15    | N-08 | X    | 21,1113 | -1,5341 | 6  | E-35 | X    |
| 15    | N-08 | Y    | -1,5517 | 3,2401  | 6  | E-35 | Y    |
| 15    | N-08 | ROTN | .0004   | -1,0003 | 6  | E-35 | ROTN |
| 14    | N-07 | X    | 19,9970 | -1,5409 | 5  | E-43 | X    |
| 14    | N-07 | Y    | -1,5424 | 2,9711  | 5  | E-43 | Y    |
| 14    | N-07 | ROTN | .0003   | -1,0002 | 5  | E-43 | ROTN |
| 13    | N-06 | X    | 18,6289 | -1,5120 | 4  | E-21 | X    |
| 13    | N-06 | Y    | -1,5345 | 2,7344  | 4  | E-21 | Y    |
| 13    | N-06 | ROTN | .0003   | -1,0002 | 4  | E-21 | ROTN |
| 12    | N-05 | X    | 17,2420 | -1,4737 | 3  | FR   | X    |
| 12    | N-05 | Y    | -1,4444 | 2,4793  | 3  | FR   | Y    |
|       |      |      |         |         | 3  | FR   | ROTN |

Col. 4) Desplazamiento en la dirección "X"

Col. 5) Desplazamiento en la dirección "Y"

Los valores mostrados en la tabla anterior, corresponden a las fuerzas estáticas afectadas por el factor de ductilidad empleado,  $Q = 4$  (capítulo IV). Por consiguiente, estos desplazamientos no son los "reales", deben ser multiplicados por dicho factor para obtener los desplazamientos esperados, que se representan gráficamente en la figura 5.1.

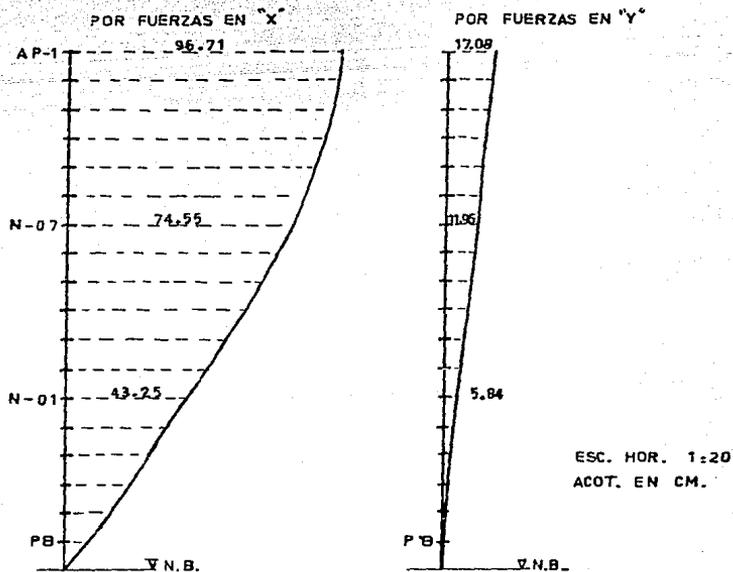


Fig. 5.1 Desplazamientos estáticos.

NOTA: Debido a que no se proporcionó la información documental adecuada, se optó por un coeficiente de ductilidad  $Q = 4$ , considerando para ello las restricciones que marca el reglamento.

El uso del espectro de diseño mostrado en el capítulo IV, fue en base al Art. 235 del reglamento; esto es, afectando las ordenadas espectrales por el factor de ductilidad empleado.

La respuesta estructural correspondiente se muestra en -- las tablas 5.2 y 5.3.

TABLA 5.2

COEFICIENTES DE CORRELACION

--- RESPUESTA GLOBAL ---

EL NUMERO DE COLUMNA INDICA

| NIVEL | ID   | DIRN | 1       | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-------|------|------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 20    | AP-1 | Y    | 14.2114 | .0019 | -.0039 | .1574  | -.0003 | -.0495 |
| 20    | AP-1 | Y    | -.5242  | .1191 | -.0183 | .0315  | -.0016 | .0007  |
| 20    | AP-1 | ROTN | .0001   | .0100 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 19    | AP-1 | Y    | 14.0234 | .0016 | -.7598 | .1425  | -.0003 | -.0414 |
| 19    | AP-1 | Y    | -.5214  | .1144 | -.0332 | -.0304 | -.0130 | .0018  |
| 19    | AP-1 | ROTN | .0003   | .0100 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 18    | H-11 | Y    | 15.8395 | .0011 | -.7137 | .1260  | -.0003 | -.0325 |
| 18    | H-11 | Y    | -.5475  | .1164 | -.0010 | -.0032 | -.0135 | .0025  |
| 18    | H-11 | ROTN | .0001   | .0100 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 17    | H-10 | Y    | 15.4319 | .0015 | -.6076 | .0816  | -.0002 | -.0126 |
| 17    | H-10 | Y    | -.5221  | .1044 | -.0026 | -.0024 | -.0028 | .0017  |
| 17    | H-10 | ROTN | .0003   | .0100 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 14    | H-09 | Y    | 14.9254 | .0020 | -.4707 | .0304  | .0000  | .0105  |
| 14    | H-09 | Y    | -.4908  | .0980 | -.0047 | -.0013 | -.0020 | .0008  |
| 14    | H-09 | ROTN | .0003   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 15    | H-08 | Y    | 14.3063 | .0023 | -.3073 | -.0252 | .0001  | .0276  |
| 15    | H-08 | Y    | -.4450  | .0912 | -.0072 | -.0002 | -.0012 | .0020  |
| 15    | H-08 | ROTN | .0003   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 14    | H-07 | Y    | 13.5944 | .0027 | -.4329 | .0720  | .0002  | .0329  |
| 14    | H-07 | Y    | -.4352  | .0843 | -.0098 | .0119  | -.0003 | .0014  |
| 14    | H-07 | ROTN | .0002   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 13    | H-06 | Y    | 12.7854 | .0029 | .0454  | -.1043 | .0002  | .0261  |
| 13    | H-06 | Y    | -.4047  | .0772 | -.0125 | .0017  | .0005  | .0009  |
| 13    | H-06 | ROTN | .0002   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |

|    |      |      |         |       |        |        |        |        |
|----|------|------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 12 | H-05 | Y    | 11.2794 | .0030 | .2165  | -.1162 | .0031  | .0097  |
| 12 | H-05 | Y    | -.3727  | .0799 | -.3249 | .0021  | .0012  | -.0010 |
| 12 | H-05 | ROTN | .0122   | .0030 | .0000  | .0030  | .0000  | .0030  |
| 11 | H-04 | Y    | 10.2321 | .0031 | .3278  | -.1054 | .0000  | -.0101 |
| 11 | H-04 | Y    | -.3400  | .0622 | -.0170 | .0121  | .0017  | -.0010 |
| 11 | H-04 | ROTN | .0002   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 10 | H-03 | X    | 9.2226  | .0030 | .4654  | -.0757 | -.0031 | -.0256 |
| 10 | H-03 | Y    | -.3347  | .0555 | -.0125 | .0018  | .0025  | -.0009 |
| 10 | H-03 | ROTN | .0002   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 9  | H-02 | X    | 2.7940  | .0022 | .5740  | -.0327 | -.0001 | -.0323 |
| 9  | H-02 | Y    | -.2735  | .0424 | -.0194 | .0012  | .0029  | -.0010 |
| 9  | H-02 | ROTN | .0001   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 8  | H-01 | X    | 7.5409  | .0025 | .3195  | .0127  | -.0002 | -.0282 |
| 8  | H-01 | Y    | -.2405  | .0414 | -.0195 | .0004  | .0031  | -.0011 |
| 8  | H-01 | ROTN | .0001   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 7  | E-27 | Y    | 6.3715  | .0021 | .6240  | .0555  | -.0001 | -.0155 |
| 7  | E-27 | Y    | -.2081  | .0347 | -.0129 | -.0003 | .0032  | -.0014 |
| 7  | E-27 | ROTN | .0001   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 6  | E-65 | Y    | 5.1232  | .0034 | .5518  | .0045  | .0002  | .0019  |
| 6  | E-65 | Y    | -.1551  | .0275 | -.0153 | -.0009 | .0030  | .0016  |
| 6  | E-65 | ROTN | .0001   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 5  | E-43 | X    | 3.9953  | .0028 | .5059  | .0994  | .0002  | .0167  |
| 5  | E-43 | Y    | -.1234  | .0215 | -.0143 | -.0013 | .0027  | -.0020 |
| 5  | E-43 | ROTN | .0001   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 4  | E-21 | X    | 2.9096  | .0020 | .4025  | .0981  | .0002  | .0253  |
| 4  | E-21 | Y    | -.0940  | .0159 | -.0116 | -.0014 | .0023  | -.0020 |
| 4  | E-21 | ROTN | .0000   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |
| 3  | PR   | X    | 1.0956  | .0013 | .2215  | .0756  | .0001  | .0254  |
| 3  | PR   | Y    | -.0665  | .0109 | -.0086 | -.0012 | .0019  | -.0017 |
| 3  | PR   | ROTN | .0000   | .0000 | .0000  | .0000  | .0000  | .0000  |

TABLE 5.3  
 RESULTADOS COMBINADOS

| NIVEL | ID   | LIGA | I       |    |      |      |         |
|-------|------|------|---------|----|------|------|---------|
| 20    | AP-1 | X    | 16.2521 | 11 | N-04 | X    | 13.8389 |
| 20    | AP-1 | Y    | .5179   | 11 | N-04 | Y    | .7462   |
| 20    | AP-1 | ROTH | .0002   | 11 | N-04 | ROTH | .0002   |
| 19    | AP-2 | X    | 11.0511 | 10 | N-03 | X    | 9.8350  |
| 19    | AP-2 | Y    | .5439   | 10 | N-03 | Y    | .7122   |
| 19    | AP-2 | ROTH | .0003   | 10 | N-03 | ROTH | .0002   |
| 18    | N-11 | X    | 15.3561 | 9  | N-02 | X    | 3.7230  |
| 18    | N-11 | Y    | .5396   | 9  | N-02 | Y    | .2785   |
| 18    | N-11 | ROTH | .0003   | 9  | N-02 | ROTH | .0001   |
| 17    | N-10 | X    | 15.4440 | 8  | N-01 | X    | 7.5743  |
| 17    | N-10 | Y    | .5324   | 8  | N-01 | Y    | .2446   |
| 17    | N-10 | ROTH | .0003   | 8  | N-01 | ROTH | .0001   |
| 16    | N-09 | X    | 14.9329 | 7  | E-07 | X    | 5.4022  |
| 16    | N-09 | Y    | .5044   | 7  | E-07 | Y    | .2119   |
| 16    | N-09 | ROTH | .0003   | 7  | E-07 | ROTH | .0001   |
| 15    | N-08 | X    | 14.3095 | 6  | E-65 | X    | 5.1569  |
| 15    | N-08 | Y    | .4749   | 6  | E-65 | Y    | .1585   |
| 15    | N-08 | ROTH | .0003   | 6  | E-65 | ROTH | .0001   |
| 14    | N-07 | X    | 13.5955 | 5  | E-43 | X    | 4.0284  |
| 14    | N-07 | Y    | .4440   | 5  | E-43 | Y    | .1261   |
| 14    | N-07 | ROTH | .0002   | 5  | E-43 | ROTH | .0001   |
| 13    | N-06 | X    | 12.7859 | 4  | E-21 | X    | 2.9390  |
| 13    | N-06 | Y    | .4182   | 4  | E-21 | Y    | .0561   |
| 13    | N-06 | ROTH | .0002   | 4  | E-21 | ROTH | .0000   |
| 12    | N-05 | X    | 11.8920 | 3  | PB   | X    | 1.9181  |
| 12    | N-05 | Y    | .3795   | 3  | PB   | Y    | .0479   |
| 12    | N-05 | ROTH | .0002   | 3  | PB   | ROTH | .0000   |

La tabla 5.2, corresponde a la configuración de los seis modos solicitados, mientras que, la tabla 5.3 corresponde a la participación de cada modo natural, utilizando para ello el Art. 241 del reglamento, esto es,  $R = (\sum R_i^2)^{1/2}$

Como puede observarse en la tabla 5.2, el período fundamental de la estructura es el debido al primer modo natural de vibración; cumpliendo así una de las características dinámicas de las estructuras.

Los resultados de la tabla 5.3, deben ser multiplicados por el factor de ductilidad para obtener los desplazamientos "reales" de la estructura, como se indica en la figura 5.2:

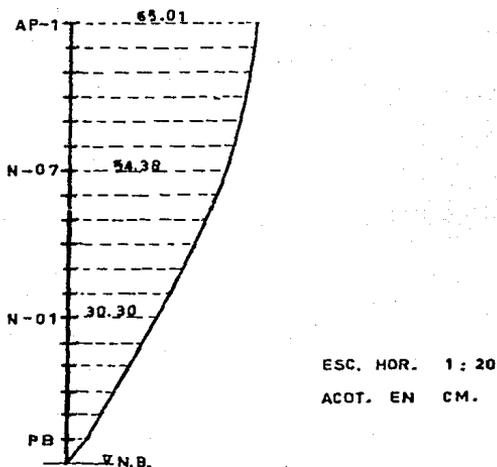


Fig. 5.2 Desplazamiento dinámico en X.

Esta respuesta estructural es debida al aplicar el sismo en la dirección X.

Se estimó de una manera práctica, para confirmar que estos resultados son confiables, considerar el espectro de diseño en el análisis dinámico modal sin afectar por el factor de ductilidad  $Q = 4$ , esto es, usar un factor  $Q = 1$ . Por lo que, los desplazamientos proporcionados al usar este último factor, serían los "reales" o esperados de la estructura; si estos son iguales o semejantes a los de la Fig. 5.2, se confirma que, aquellos corresponden a la respuesta dinámica de la misma.

Los resultados de considerar  $Q = 1$ , se muestran en las tablas 5.4, 5.5.

TABLA 5.4

--- RESULTADOS COMBINADOS ---

| NIVEL | ID   | DIRN | 1       |    |      |      |         |
|-------|------|------|---------|----|------|------|---------|
| 20    | AP-1 | X    | 43.5332 | 11 | N-04 | X    | 42.1519 |
| 20    | AP-1 | Y    | 2.1022  | 11 | N-04 | Y    | 1.3132  |
| 20    | AP-1 | ROTN | .0012   | 11 | N-04 | ROTN | .0007   |
| 19    | AP-2 | X    | 62.7210 | 10 | N-03 | X    | 37.0453 |
| 19    | AP-2 | Y    | 2.1276  | 10 | N-03 | Y    | 1.3117  |
| 19    | AP-2 | ROTN | .0012   | 10 | N-03 | ROTN | .0004   |
| 18    | N-11 | X    | 61.9448 | 9  | N-02 | X    | 33.8500 |
| 18    | N-11 | Y    | 2.1971  | 9  | N-02 | Y    | 1.0773  |
| 18    | N-11 | ROTN | .0012   | 9  | N-02 | ROTN | .0005   |
| 17    | N-10 | X    | 60.1041 | 8  | N-01 | X    | 28.9970 |
| 17    | N-10 | Y    | 2.0935  | 8  | N-01 | Y    | .7215   |
| 17    | N-10 | ROTN | .0011   | 8  | N-01 | ROTN | .0005   |
| 16    | N-09 | X    | 58.2669 | 7  | E-87 | X    | 24.3626 |
| 16    | N-09 | Y    | 1.9727  | 7  | E-87 | Y    | .8141   |
| 16    | N-09 | ROTN | .0011   | 7  | E-87 | ROTN | .0004   |
| 15    | N-08 | X    | 55.7918 | 6  | E-65 | X    | 19.4629 |
| 15    | N-08 | Y    | 1.8559  | 6  | E-65 | Y    | .6052   |
| 15    | N-08 | ROTN | .0010   | 6  | E-65 | ROTN | .0003   |
| 14    | N-07 | X    | 52.9346 | 5  | E-43 | X    | 15.0460 |
| 14    | N-07 | Y    | 1.7335  | 5  | E-43 | Y    | .4774   |
| 14    | N-07 | ROTN | .0009   | 5  | E-43 | ROTN | .0002   |
| 13    | N-06 | X    | 49.7079 | 4  | E-21 | X    | 10.8250 |
| 13    | N-06 | Y    | 1.6074  | 4  | E-21 | Y    | .3599   |
| 13    | N-06 | ROTN | .0008   | 4  | E-21 | ROTN | .0002   |
| 12    | N-05 | X    | 46.1073 | 3  | PR   | X    | 6.0422  |
| 12    | N-05 | Y    | 1.4778  | 3  | PR   | Y    | .2507   |
| 12    | N-05 | ROTN | .0008   | 3  | PR   | ROTN | .0001   |

Desplazamientos en "X" al considerar el sismo en la misma dirección.

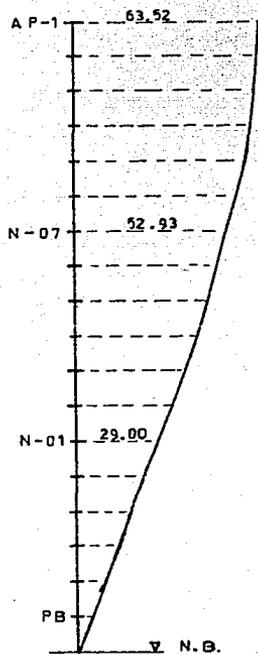
TABLA 5.5

DESPLAZAMIENTOS CONSIDERADOS

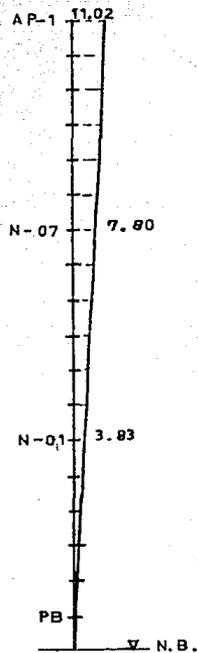
| NIVEL | ID   | DIRN | I       |  |    |      |      |        |
|-------|------|------|---------|--|----|------|------|--------|
| 20    | AP-1 | X    | 2.3891  |  | 11 | N-04 | X    | 1.4057 |
| 20    | AP-1 | Y    | 11.3297 |  | 11 | N-04 | Y    | 5.0042 |
| 20    | AP-1 | ROTN | .0000   |  | 11 | N-01 | ROTN | .0000  |
| 19    | AP-2 | X    | 2.2123  |  | 10 | N-03 | X    | 1.0718 |
| 19    | AP-2 | Y    | 10.4129 |  | 10 | N-03 | Y    | 5.1355 |
| 19    | AP-2 | ROTN | .0000   |  | 10 | N-02 | ROTN | .0000  |
| 19    | N-11 | X    | 2.3312  |  | 9  | N-02 | X    | 1.2250 |
| 19    | N-11 | Y    | 10.2401 |  | 9  | N-02 | Y    | 4.4740 |
| 19    | N-11 | ROTN | .0000   |  | 9  | N-02 | ROTN | .0000  |
| 17    | N-10 | Y    | 1.9787  |  | 8  | N-01 | X    | .9784  |
| 17    | N-10 | Y    | 9.6674  |  | 8  | N-01 | Y    | 3.0084 |
| 17    | N-10 | ROTN | .0000   |  | 8  | N-01 | ROTN | .0000  |
| 14    | N-09 | X    | 1.8140  |  | 7  | E-97 | Y    | .6057  |
| 14    | N-09 | Y    | 9.0193  |  | 7  | E-87 | Y    | 2.2045 |
| 14    | N-09 | ROTN | .0000   |  | 7  | E-97 | ROTN | .0000  |
| 15    | N-08 | X    | 1.6355  |  | 6  | E-65 | X    | .7191  |
| 15    | N-08 | Y    | 8.4454  |  | 6  | E-65 | Y    | 2.5444 |
| 15    | N-08 | ROTN | .0000   |  | 6  | E-65 | ROTN | .0000  |
| 14    | N-07 | X    | 1.7461  |  | 5  | E-43 | Y    | .5594  |
| 14    | N-07 | Y    | 7.8042  |  | 5  | E-43 | Y    | 1.9240 |
| 14    | N-07 | ROTN | .0000   |  | 5  | E-43 | ROTN | .0000  |
| 13    | N-06 | X    | 1.6449  |  | 4  | E-21 | X    | .4035  |
| 13    | N-06 | Y    | 7.1464  |  | 4  | E-21 | Y    | 1.4395 |
| 13    | N-06 | ROTN | .0000   |  | 4  | E-21 | ROTN | .0000  |
| 12    | N-05 | X    | 1.5314  |  | 3  | PE   | X    | .2522  |
| 12    | N-05 | Y    | 6.4778  |  | 3  | PE   | Y    | .9947  |
| 12    | N-05 | ROTN | .0000   |  | 3  | PE   | ROTN | .0000  |

Desplazamientos en "Y" al considerar el sismo en la misma dirección.

Gráficamente, estos valores se aprecian en la figura 5.3.



(a) Considerando  
el sismo en la dirección  
"X"



(b) Considerando  
el sismo en la dirección  
"Y"

Fig. 5.3 Respuesta Estructural del Edificio.

Haciendo una comparación práctica de los desplazamientos máximos, se ve que:

| Factor de ductilidad<br>$Q$ | Desplazamiento<br>máximo<br>(cm) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 4                           | 65.01                            |
| 1                           | 63.52                            |

La diferencia es 1.5 cm, lo cual, indica que los resultados obtenidos en los dos casos son confiables.

Por consiguiente, puede considerarse que la respuesta estructural del edificio es la mostrada en la figura 5.3.

### 5.3 Conclusiones.

El primer objetivo que se planteó al realizar este trabajo fue:

Cotejar los desplazamientos sufridos por la estructura -- real, al someterla a una excitación dinámica teórica, contemplada por el Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal de 1976, con los desplazamientos permisibles por el mismo.

Considerando la estructura en la dirección "X", el desplazamiento máximo acumulado es de 63.52 cm.

El Artículo 242 del reglamento, correspondiente al estado límite por desplazamientos horizontales, admite que las deformaciones horizontales debidas a fuerzas cortantes no excedan de 0.008 de su altura de entrepiso (h) o en caso de que aquellos elementos no estructurales esten ligados a la estructura, de manera que no sufran daños con los desplazamientos de ésta, se admitirá una deformación de entrepiso igual a 0.016 de su altura de entrepiso (h).

Por consiguiente, al revisar la tabla 5.6 se ve como todos los niveles satisfacen la segunda condición expuesta; así como también, se satisface para el caso del desplazamiento máximo acumulado.

$$63.52 \text{ cm} < 97.52 \text{ cm}$$

TABLA 5.6  
DEFORMACIONES LATERALES POR ENTREPISO

| DIRECCION X |                     |         |         | DIRECCION Y |                     |             |
|-------------|---------------------|---------|---------|-------------|---------------------|-------------|
| Entrepiso   | Desplazamiento<br>d | 0.008 h | 0.016 h | Entrepiso   | Desplazamiento<br>d | 0.008 h(cm) |
| P.B.        | 6.94                | 3.2     | 6.4     | P.B.        | 0.995               | 3.2         |
| E-2-1       | 3.88                | 2.8     | 5.6     | E-2-1       | 0.475               | 2.8         |
| E-4-3       | 4.22                | 2.8     | 5.6     | E-4-3       | 0.5195              | 2.8         |
| E-5-6       | 4.42                | 2.8     | 5.6     | E-5-6       | 0.555               | 2.8         |
| E-8-7       | 4.89                | 2.8     | 5.6     | E-3-7       | 0.660               | 2.8         |
| N-01        | 4.63                | 2.76    | 5.52    | N-01        | 0.624               | 2.76        |
| N-02        | 4.55                | 2.76    | 5.52    | N-02        | 0.645               | 2.76        |
| N-03        | 4.41                | 2.76    | 5.52    | N-03        | 0.6615              | 2.76        |
| N-04        | 4.19                | 2.76    | 5.52    | N-04        | 0.671               | 2.76        |
| N-05        | 3.95                | 2.76    | 5.52    | N-05        | 0.673               | 2.76        |
| N-06        | 3.60                | 2.76    | 5.52    | N-06        | 0.668               | 2.76        |
| N-07        | 3.23                | 2.76    | 5.52    | N-07        | 0.658               | 2.76        |
| N-08        | 2.84                | 2.76    | 5.52    | N-08        | 0.6412              | 2.76        |
| N-09        | 2.48                | 2.76    | 5.52    | N-09        | 0.623               | 2.76        |
| N-10        | 2.03                | 2.76    | 5.52    | N-10        | 0.598               | 2.76        |
| N-11        | 1.64                | 2.76    | 5.52    | N-11        | 0.543               | 2.76        |
| AP-2        | 0.77                | 1.8     | 4.00    | AP-2        | 0.375               | 1.80        |
| AP-1        | 0.79                | 1.8     | 4.00    | AP-1        | 0.415               | 1.80        |

Considerando el desplazamiento máximo acumulado  $D = 63.52$  cm

Tomando la altura total  $H = 6095$  cm  
 $0.008 (6095) = 48.76$  cm  
 $0.016 (6095) = 97.52$  cm

Considerando el desplazamiento máximo acumulado  $D = 11.03$  cm

Tomando la altura total  $H = 6095$  cm  
 $0.008 (6095) = 48.75$  cm  
 $0.016 (6095) = 97.52$  cm

En el caso particular de este edificio, es válido tomar en cuenta la segunda condición del Art. 242, ya que como se mencionó con oportunidad, la mayoría de los elementos no estructurales, se encuentran desligados de la estructura y en el caso contrario es posible que se deba a un error de construcción.

Mientras tanto, al revisar la estructura en la dirección -- "Y", de la tabla 5.6, se concluye que en esta dirección la estructura cumple con la primera condición del Artículo 242.

Por consiguiente, puede afirmarse que el edificio del ISSSTE ubicado en Av. Juárez No. 140, si cumple con el Reglamento para las Construcciones del Distrito Federal de 1976, en lo concerniente a los desplazamientos horizontales permisibles.

Haciendo una observación con respecto al Artículo 244; este establece un límite por choques contra estructuras adyacentes, manifiesta que toda estructura deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos, una distancia igual al desplazamiento horizontal -- acumulado, aumentando en 0.002, para la zona III o en su defecto: 0.008 H, siendo H su altura total. Esta separación en ningún caso será inferior a 5 cm.

$$= 75.71 \text{ cm}$$

1er. caso:  $63.52 + 0.002 (6095) = 75.71 \text{ cm}$

2do. caso:  $0.008 (6095) = 48.76 \text{ cm}$

Lo anterior indica que este edificio debería estar separado

cuando menos 50 cm del edificio vecino; sin embargo, en la Ciudad de México es común que los edificios no cumplan con esta restricción, lo cual propicia que sucedan "choques físicos", entre las estructuras, al momento de un sismo; fenómeno que se presentó en el caso del edificio de Av. Juárez No. 140 y el colindante en la dirección poniente.

El segundo objetivo de este trabajo consistió en: comparar las características dinámicas, propias de la estructura real, con las características dinámicas del sismo del día 19 de septiembre, de 1985.

En la tabla 5.7 se muestra primero un resumen de los datos de los tres registros de "campo libre" obtenidos del temblor del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México.

TABLA 5.7

| Variable                                 | Dirección | I. de I.<br>(INAM) | C. de A. |                    | S C T  |               | Máx. mt./ Fecha |
|--|-----------|--------------------|----------|--------------------|--------|---------------|-----------------|
|  |           |                    | /máx./   | C. de A. /I. de I. | /Máx./ | SCT /I. de I. |                 |
| Aceleración<br>(gals-cm/s <sup>2</sup> ) | NS        | 32                 | 81       | 2.53               | 98     | 3.06          | 34 24-10-80     |
|  | EW        | 34                 | 95       | 2.79               | 168    | 4.94          | 30 14-03-79     |
|  | V         | 22                 | 27       | 1.23               | 36     | 1.64          | 15 14-03-79     |
| Velocidad<br>(cm/s)                      | NS        | 10                 | 25       | 2.5                | 39     | 3.9           |                 |
|  | EW        | 9                  | 38       | 4.26               | 61     | 6.77          |                 |
|  | V         | 8                  | 9        | 1.13               | 9      | 1.13          |                 |
| Desplazam.<br>(cm)                       | NS        | 6                  | 15       | 2.50               | 7      | 2.83          |                 |
|  | EW        | 8                  | 19       | 2.38               | 21     | 2.65          |                 |
|  | V         | 7                  | 8        | 1.14               | 7      | 1.00          |                 |

Al ser obtenidos estos resultados en campo libre, esto es sin la intervención o influencia del movimiento de construcciones cercanas, se considera que los acelerogramas obtenidos representan fielmente el movimiento en el lugar.

Las aceleraciones consignadas en la tabla 5.7 resultan ser las mayores registradas hasta ahora en la S.C.T. (Sra. de Comunicaciones y Transportes) e I.I. (Instituto de Ingeniería), como puede verse en dicha tabla; para la S.C.T. la máxima aceleración excede en 5.5 veces el máximo valor obtenido con anterioridad, lo cual puede considerarse como un indicador que marca que la diferencia entre este sismo y los anteriores.

En la Fig. 5.4 se muestra el registro de la aceleración en el I.I. donde se aprecia una cierta diversidad de frecuencias, el registro de la traza E-W tiene una apariencia muy caótica, característico de un registro en terreno firme, mismas características en el sentido N-S, con cierta tendencia a marcar un período de 2 segundos.

La figura 5.5 muestra el registro obtenido en la Central de Abastos, lugar con una capa superior de arcilla del orden de 50 m de espesor; se ve como las oscilaciones del terreno se acercan más a un movimiento armónico, presentándose un período de 3 seg. y/o mayor.

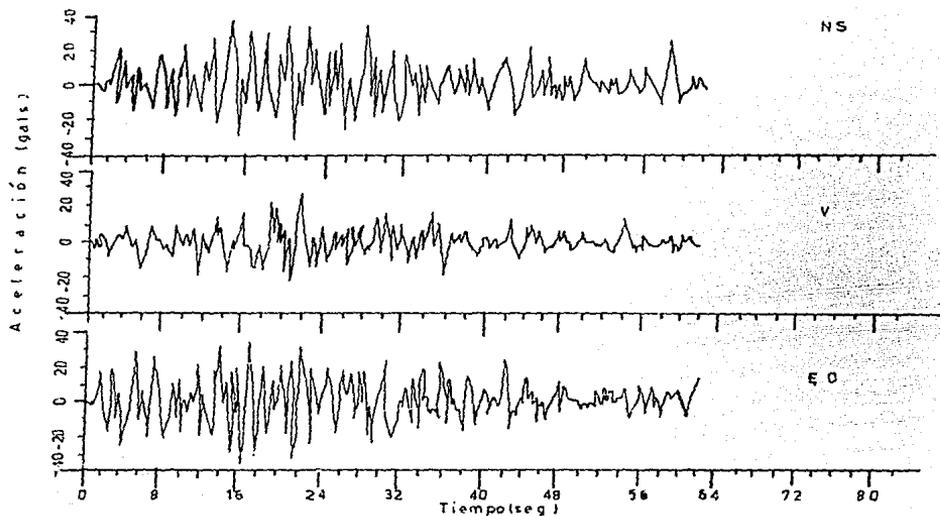


Fig. 5.4 Aceleración del terreno en el Instituto de Ingeniería (UNAM) durante el sismo del 19 de septiembre de 1985.

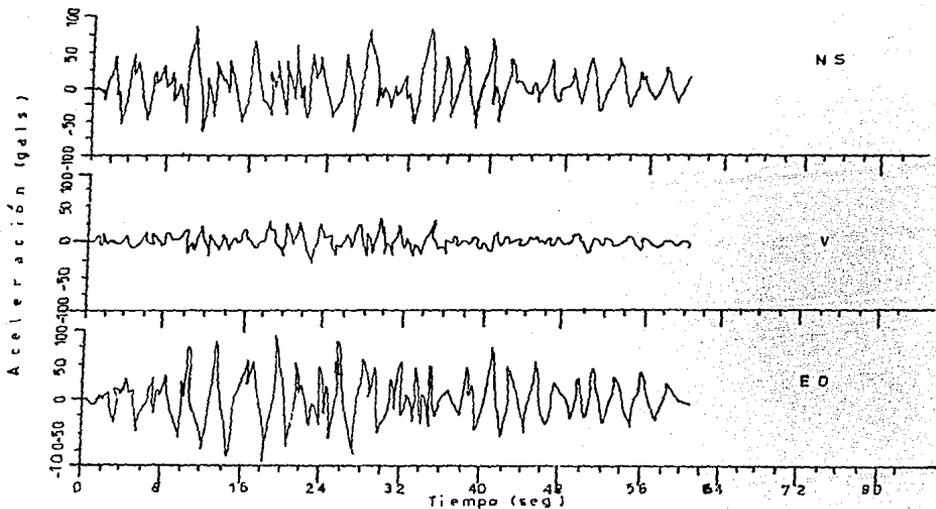


Fig. 5.5 Aceleración del terreno en la Central de Abastos, durante el sismo del 19 de septiembre de 1985.

Considerando la naturaleza análoga del terreno, los daños a construcciones aledañas y su relativa cercanía a algunas de las zonas de la ciudad más afectadas por el sismo es por que se ha considerado el registro obtenido en la S.C.T., como el que mejor representa el movimiento sísmico del 19 de septiembre de 1985.

Como puede apreciarse en la fig. 5.6 la componente horizontal en la dirección E-W, el movimiento muestra características adversas particularmente para las estructuras con periodo fundamental que cae cerca del dominante del terreno, o sea alrededor de 2 segundos.

Primero que nada, la amplitud va creciendo paulatinamente en forma casi lineal durante los 40 seg. que tarda en llegar al máximo, formado por 3 ciclos más fuertes de la excitación.

En la Fig. 5.7 se reproduce nuevamente la componente E-W en la S.C.T., se muestran también la velocidad y el desplazamiento asociados.

La traza de los desplazamientos esclarece de una manera el porqué de los daños, la doble amplitud del movimiento en la base de los edificios llego hasta 42 cm, lo cual da una idea de la magnitud de los desplazamientos que se tendrían en las partes superiores de los edificios que llegaron a entrar en resonancia.

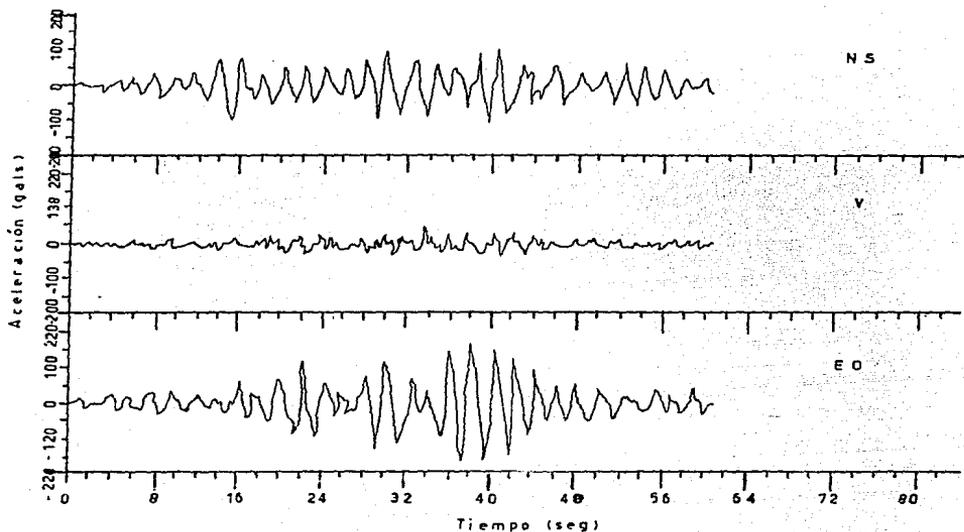


Fig. 5.6 Aceleración del terreno (SCT) durante el sismo del 19 septiembre 1985.

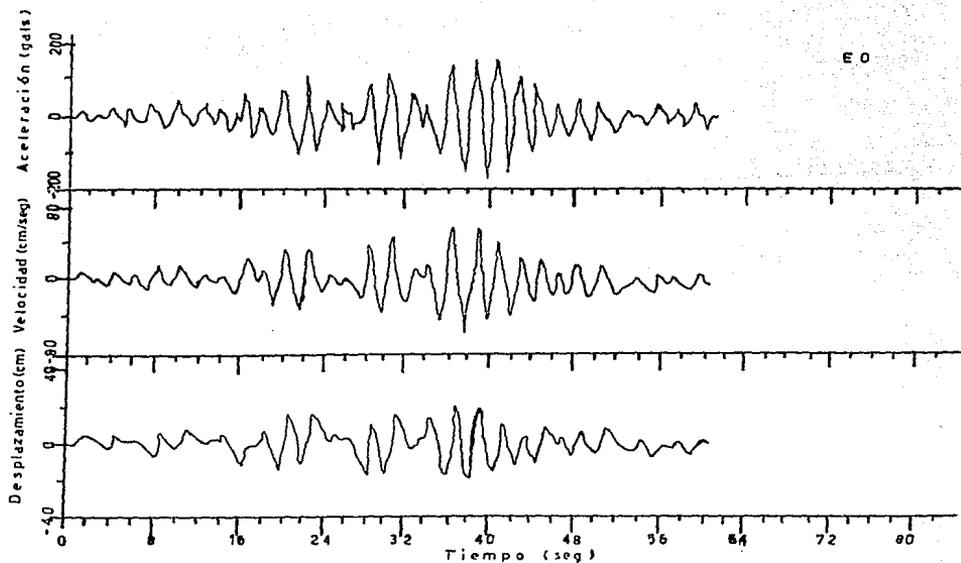


Fig. 5.7 Aceleración, Velocidad y Desplazamiento de la Componente E-W en 'SCT.

En base a lo expresado aquí y conociendo las características dinámicas del edificio en cuestión, las cuales se muestran en las tablas 5.8 y 5.9.

|   | PERIODO  |
|---|----------|
| 1 | 2.781521 |
| 2 | 1.677494 |
| 3 | .893457  |
| 4 | .477575  |
| 5 | .255467  |
| 6 | .296171  |

|   | PERIODO  |
|---|----------|
| 1 | 2.744970 |
| 2 | 1.671580 |
| 3 | .891501  |
| 4 | .473381  |
| 5 | .244189  |
| 6 | .294624  |

| MODO<br>NUMERO | NATURAL<br>PERIODO | FRECUENCIA<br>(HZ) | CIRCULAR<br>FRECUENCIA |
|----------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 1              | 2.781521           | .3594              | 2.2597                 |
| 2              | 1.677494           | .5981              | 3.8112                 |
| 3              | .893457            | 1.1192             | 7.0124                 |
| 4              | .477575            | 2.0939             | 13.1564                |
| 5              | .255467            | 3.9199             | 19.9171                |
| 6              | .296171            | 3.3764             | 21.2147                |

| MODO<br>NUMERO | NATURAL<br>PERIODO | FRECUENCIA<br>(HZ) | CIRCULAR<br>FRECUENCIA |
|----------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 1              | 2.744970           | .3640              | 2.3271                 |
| 2              | 1.675714           | .5976              | 3.8402                 |
| 3              | .891503            | 1.1244             | 7.1277                 |
| 4              | .473329            | 2.1131             | 13.2773                |
| 5              | .244617            | 4.0785             | 19.9709                |
| 6              | .294624            | 3.3942             | 21.3161                |

TABLA 5.8: Características Dinámicas en la dirección "X"

TABLA 5.9: Características Dinámicas en la dirección "Y"

Puede concluirse el presente trabajo de la siguiente manera:

El edificio en estudio presenta el mismo periodo natural de vibración en las dos direcciones ortogonales, siendo este de  $T = 2.7$  seg. mismo que guarda una relación del orden de  $0.15N$ , donde  $N$  es el número de pisos del inmueble; esta relación concuerda con la proporcionada por las misiones japoneses que vinieron a medir los periodos naturales de vibración de algunos edificios a raíz del sismo del 19 de septiembre de 1985.

Al cotejar el valor de  $T = 2.7$  seg. con el período dominante de los registros del sismo, mostrados en las figuras: 5.4, 5.5 y 5.6 mismos que se obtuvieron en 3 diferentes puntos del D.F., se deduce que aparentemente el edificio no entraría en resonancia y por consiguiente sería difícil que colapsara por este motivo, debido a que el período dominante del sismo es:

$$T_1 = 2 \text{ seg.} \neq T = 2.7 \text{ seg.}$$

Lo anterior no implica que sea imposible que se presente un sismo cuyas características dinámicas se conjuguen con las de este edificio y por consiguiente éste entre en resonancia; sobre todo si se recuerda que antes de la presencia de este sismo se llegó a considerar que era prácticamente imposible la ocurrencia de algo parecido.

Por otra parte el período  $T = 2.7$  seg. y el desplazamiento que el edificio mostraría para el sismo de diseño,  $D \approx 64$  cm, implican que se tiene un edificio muy flexible, esto es, una estructura que se mueve mucho y lo cual no es muy recomendable en una zona donde el suelo es también muy flexible, pues una buena recomendación suele ser aquella que manifiesta que en zonas de terreno flexible se tengan estructuras rígidas, mientras que en terreno "firme" o rígido se tengan estructuras flexibles.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- REQUISITOS DE SEGURIDAD Y SERVICIO PARA LAS ESTRUCTURAS: Título IV del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Ed. Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 400, 1977.
- 2.- DISEÑO Y CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO: Normas -- Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Ed. Instituto de Ingeniería UNAM No. 401, 1977.
- 3.- GONZALEZ CUEVAS, Oscar M.: Concreto Reforzado, Ed. Limusa, - México 1985. P. 509 a la 511.
- 4.- MELI PIRALLA, Roberto: Diseño Estructural, Ed. Limusa, México 1985. P. 420 a la 426.
- 5.- MELI PIRALLA, Roberto: Manual de Diseño Sísmico de Edificios, Ed. Limusa, México 1985. P. 133 a la 138.
- 6.- MARTINEZ I: Dinámica Estructural, Ed. U.A.Z., Zacatecas -- 1983, P. 113, 114, 117.
- 7.- IGLESIAS J. Jesús: Reparación de Estructuras de Concreto y Mampostería, Ed. U.A.M., México 1985. P. 11 a la 23.
- 8.- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA: Información Científica y Tecnológica, México, Noviembre 1985, Vol. 7, No. 110, P. 25 a la 28.
- 9.- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO: Revista IM-CYC 176, México 1986, Vol. 23, P. 43 a la 48.
- 10.- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO: Revista IM-CYC 184, México 1986, Vol. 24, P. 15 a la 28.