

15940  
261



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Estudio Experimental para Determinar el Compor-  
tamiento de un Edificio Dañado al Reestructurarlo  
con Muros de Concreto Reforzado en su  
Perimetro**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A ;

**JUAN CARLOS FUENTES ORRALA**

MEXICO, D. F.

1992

**FALLA DE ORIGEN**



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.

## INDICE

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| ASIGNACION DE TESIS.....        | 1  |
| DEDICATORIAS.....               | ii |
| INDICE DE TABLAS Y FIGURAS..... | 1: |

| CAPITULO   | pág. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCION.....   | 1    |
| 1.1 ANTECEDENTES.....  | 1    |
| 1.2 JUSTIFICACION.....   | 3    |
| 1.3 CONTENIDO.....   | 4    |
| 1.4 OBJETIVOS.....   | 6    |
| 2. GENERALIDADES.....  | 7    |
| 2.1 DIAGNOSTICO POR OBSERVACION DE DAÑOS<br>ESTRUCTURALES..... | 7    |
| 2.2 REHABILITACION TEMPORAL.....                               | 12   |
| 2.2.1 APUNTALAMIENTO VERTICAL.....                             | 12   |
| 2.2.2 APUNTALAMIENTO LATERAL.....                              | 13   |
| 2.3 FALLAS MAS COMUNES EN ELEMENTOS<br>ESTRUCTURALES.....      | 14   |
| 2.4 REESTRUCTURACION A BASE DE MUROS DE<br>CONCRETO.....       | 16   |
| 2.5 USO DE MODELOS.....  | 18   |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.5.1 | COMENTARIOS SOBRE EL ANALISIS ESTRUCTURAL DE MODELOS.....            | 19 |
| 2.5.2 | TEORIA DE LA SIMILITUD.....  | 20 |
| 2.5.3 | ESCALAS.....   | 22 |
| 2.6   | MICROCONCRETO.....   | 22 |
| 3.    | MODELO DE MICROCONCRETO.....   | 24 |
| 3.1   | HISTORIA DEL MODELO.....   | 24 |
| 3.2   | RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DURANTE SU ENSAYE EN ESTADO ORIGINAL..... | 25 |
| 3.3   | REESTRUCTURACION DEL MODELO.....                                     | 26 |
| 4.    | ANALISIS ESTRUCTURAL.....  | 30 |
| 4.1   | IDEALIZACION DE LA ESTRUCTURA PARA SU ANALISIS.....                  | 30 |
| 4.1.1 | ANALISIS DE CARGAS.....  | 30 |
| 4.2   | ANALISIS SISMICO ESTATICO.....                                       | 31 |
| 4.3   | ANALISIS ESTRUCTURAL DEL MODELO.....                                 | 34 |
| 5.    | PRUEBA DEL MODELO.....   | 63 |
| 5.1   | INSTRUMENTACION.....   | 63 |
| 5.1.1 | CALIBRACION DE LA INSTRUMENTACION..                                  | 64 |
| 5.2   | PRUEBA DEL MODELO.....   | 68 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 6.  | RESULTADOS.....   | 69  |
| 6.1 | RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL<br>MODELO.....  | 69  |
| 6.2 | COMPARACION DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL<br>ANALISIS ESTRUCTURAL CON LOS OBTENIDOS<br>DE LA PRUEBA Y CON LOS OBTENIDOS EN LA<br>PRUEBA ANTERIOR..... | 72  |
| 7.  | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 77  |
| 7.1 | CONCLUSIONES.....   | 77  |
| 7.2 | RECOMENDACIONES.....  | 79  |
|     | REFERENCIAS.....  | 106 |
|     | BIBLIOGRAFIA.....   | 107 |

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | DICTAMEN TECNICO PRELIMINAR.....                                      | 10 |
| 2.2  | DAÑOS ESTRUCTURALES MAS COMUNES.....                                  | 15 |
| 3.1  | DIMENSIONES EN PLANTA DEL MODELO.....                                 | 80 |
| 3.2  | DIMENSIONES EN ELEVACION EJES A, B, C, D.....                         | 81 |
| 3.3  | DIMENSIONES EN ELEVACION EJES 1 Y 3.....                              | 82 |
| 3.4  | DIMENSIONES DE VIGAS Y COLUMNAS.....                                  | 83 |
| 3.5  | ARMADO TIPO DE COLUMNAS.....  | 84 |
| 3.6  | ARMADO TIPO DE TRABES.....  | 85 |
| 3.7  | DEMOLICION DE MICROCONCRETO EN LOS NODOS.....                         | 86 |
| 3.8  | CIMBRA DE LOS NODOS.....  | 86 |
| 3.9  | ARMADO DE MUROS PERIMETRALES.....                                     | 87 |
| 3.10 | DETALLE DE ARMADO EN MUROS.....                                       | 87 |
| 3.11 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION DE ACERO UTILIZADO<br>EN LOS MUROS.....     | 88 |
| 3.12 | DIMENSIONES Y ARMADO DE LOS MUROS.....                                | 89 |
| 3.13 | MODELO REPARADO.....  | 90 |
| 3.14 | DETALLE FINAL DEL MODELO.....   | 90 |
| 3.15 | GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION DE LA MUESTRA 1 DE<br>MICROCONCRETO..... | 91 |
| 3.16 | GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION DE LA MUESTRA 2 DE<br>MICROCONCRETO..... | 92 |
| 3.17 | GRAFICA ESFUERZO DEFORMACION DE LA MUESTRA 3 DE<br>MICROCONCRETO..... | 93 |

|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 4.1 | VALORES DE CARGA-DEFORMACION EN ENSAYE ORIGINAL..                                | 94  |
| 4.2 | LECTURA DE MICROMETROS EN ENSAYE ORIGINAL.....                                   | 95  |
| 5.1 | MICROMETROS Y MANOMETROS.....  | 96  |
| 5.2 | GATOS HIDRAULICOS Y CELDAS DE CARGA.....   | 96  |
| 5.3 | PUENTE DE WHEASTONE, UNIDAD DE SWITCHEO,<br>IMPRESORA Y BUSCADOR DE CANALES..... | 97  |
| 5.4 | PRUEBA EN PROCESO.....   | 97  |
| 5.5 | CALIBRACION DE CELDAS DE CARGA.....  | 98  |
| 5.6 | MODELO FINALIZADA LA PRUEBA.....   | 99  |
| 6.1 | TABLA DE NIVELES DE CARGA.....   | 69  |
| 6.2 | TABLA DE DEFORMACIONES CORRESPONDIENTES A<br>NIVELES DE CARGA.....               | 70  |
| 6.3 | TABLA DE NIVELES DE CARGA FASE FINAL.....  | 71  |
| 6.4 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION PARA PRIMER NIVEL<br>FASE INICIAL.....                 | 100 |
| 6.5 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION PARA PRIMER NIVEL<br>FASE FINAL.....                   | 101 |
| 6.6 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION PARA SEGUNDO NIVEL<br>FASE INICIAL.....                | 102 |
| 6.7 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION PARA SEGUNDO NIVEL<br>FASE FINAL.....                  | 103 |
| 6.8 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION PARA TERCER NIVEL<br>FASE INICIAL.....                 | 104 |
| 6.9 | GRAFICA CARGA-DEFORMACION PARA TERCER NIVEL<br>FASE FINAL.....                   | 105 |

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

#### 1.1 ANTECEDENTES.

Los sismos intensos son los que más daños ocasionan en el desarrollo de un país, en un periodo muy pequeño de tiempo.

Específicamente, para la República Mexicana se ha determinado que en su mayoría los sismos de gran magnitud se presentan a lo largo de la costa del Pacífico; como ejemplo, basta decir que frente a las costas de Michoacán se registró el 19 de Septiembre de 1985 el segundo sismo más grande ocurrido en el presente siglo, después del sismo de 1932 en el estado de Jalisco.

Se ha estudiado que los sismos que se producen a lo largo de la costa del Pacífico se deben a la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa Americana. Esta placa tiene una velocidad relativa de subducción de entre 5 cm/año cerca de Manzanillo y 8 cm/año cerca de Tehuantepec. Asimismo, existe una placa que es relativamente pequeña y es conocida como la placa de Rivera, la cual se subduce por debajo del estado de Jalisco con una velocidad promedio

de 2.5 cm/año. El sismo se produce cuando se rompe la fricción que existe entre las placas, es decir, cuando se rebasa el esfuerzo cortante del material que compone a las placas.

Estudios realizados acerca de la sismicidad y las brechas existentes, demuestran que la brecha de Guerrero tiene un potencial sísmico muy alto, el cual puede romper con un sismo de magnitud 8.2 o en pequeños sismos durante los próximos 10 años. Por tal motivo y a partir del sismo de México del 19 de Septiembre de 1985, los trabajos e investigaciones referentes a reparación y reconstrucción de daños se han incrementado notablemente, ya que este sismo, que ha sido el segundo más grande registrado en este siglo en México, es el que más daños materiales y humanos ha cobrado dejando por consecuencia un saldo de varios miles de estructuras dañadas en la ciudad de México, principalmente en edificaciones de concreto y mampostería no reforzada.

Las experiencias dejadas por estos sismos nos han servido para adoptar las medidas necesarias ante estas adversidades, por lo que la reparación y reconstrucción de daños es un campo muy amplio por estudiar y por demás necesario para estar preparados ante la inminencia de futuros sismos.

## 1.2 JUSTIFICACION.

Lo anteriormente expuesto explica la importancia de realizar estudios que den un panorama más claro para efectuar en una forma más adecuada la reparación de una estructura dañada, por lo que el primer paso a realizar en la posible reparación de la estructura es el reconocimiento de los daños existentes en ella. La información de este reconocimiento puede servir para el desarrollo de las siguientes actividades:

- a). Evaluación preliminar de los daños. Permite establecer las medidas de emergencia adecuadas, así como definir si se requiere la demolición inmediata de la edificación, o si existe la factibilidad de una reparación.
- b). Determinación de la estrategia de reparación y los detalles de una rehabilitación temporal.
- c). Ejecución de la reparación.

En casos dudosos cuando no es posible definir por observación directa si se requiere una demolición inmediata y cuando las consecuencias de un posible derrumbe no sean peligrosas, se puede convenir en retrasar la decisión de demoler hasta contar con información más completa que la que resulta de la evaluación preliminar, por lo que tendrá que procederse inmediatamente a tomar las medidas de apuntalamiento necesarias que garanticen adecuadamente la seguridad temporal de la estructura.

En este caso y en otros en los que a pesar de no haber daño estructural pero si mucho daño en elementos no estructurales, es inminente la necesidad de reforzar la estructura para hacerla más resistente y/o darle mayor rigidez lateral. Para ello es necesario ejecutar procedimientos de reparación que no sean muy complicados y que cumplan totalmente con el objetivo de dar rigidez y/o resistencia a la estructura.

### 1.3 CONTENIDO.

El presente trabajo ha sido dividido en 7 capítulos que expresan la actitud a tomar cuando una estructura se encuentra dañada, así como los diferentes daños que se presentan en estructuras de concreto y la forma de reparar la estructura por medio de muros perimetrales de concreto reforzado. De igual manera la utilidad de manejar modelos para estimar el comportamiento de una estructura real.

#### Capítulo 2

##### Generalidades.

Se dan los lineamientos para realizar una revisión preliminar de daños estructurales, así como la importancia de realizar una rehabilitación temporal; también se exponen las fallas más comunes en elementos estructurales, la reestructuración con muros de concreto

reforzado, el uso de modelos y la aplicación del microconcreto.

### Capítulo 3

Modelo de microconcreto.

En este capítulo se hace una historia del modelo de microconcreto que se reforzará, se hace un resumen del comportamiento durante su ensayo en estado original y el proceso de reestructuración utilizado.

### Capítulo 4

Análisis estructural del modelo.

Se hace una idealización de la estructura para su análisis, se realiza el análisis sísmico; el análisis estructural y se obtienen los resultados teóricos.

### Capítulo 5

Prueba del modelo.

En este capítulo se explica como fueron aplicadas las cargas que simulan una sollicitación sísmica en el modelo, así como los instrumentos de medición utilizados.

## Capítulo 6

### Resultados.

Aquí se hace una comparación de los resultados obtenidos en la prueba del modelo, con los resultados obtenidos en el cálculo estructural, así como la comparación del comportamiento con el modelo original.

## Capítulo 7

### Conclusiones y recomendaciones.

Se estudian los resultados obtenidos y se elaboran las conclusiones correspondientes; de igual manera se dan una serie de comentarios y recomendaciones referentes a la investigación realizada en el presente trabajo.

### 1.4 OBJETIVOS.

- A) Determinar el comportamiento que presenta un edificio reestructurado con muros perimetrales de concreto reforzado ante una sollicitación sísmica.
- B) Comparar los resultados obtenidos del análisis estructural con pruebas de laboratorio.

## CAPITULO 2

### GENERALIDADES

#### 2.1 DIAGNOSTICO POR OBSERVACION DE DAÑOS ESTRUCTURALES.

Gran parte de la República Mexicana está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, como ejemplo de lo anterior basta decir que en la ciudad de México el período de retorno para sismos de magnitud 7 es de 3 años según estadísticas realizadas desde 1910; estos sismos son los jueces físicos implacables que expresan los errores y los aciertos, o la falta de juicio en un buen diseño, siendo la evidencia de la falla el resultado de haber hecho mal las cosas; teniendo en muchas ocasiones pérdidas y perjuicios a la vida humana. Estas consecuencias aumentan a medida que crece la falta de conocimiento de una forma adecuada de diagnosticar, así como por las medidas a realizar y lo que es más importante la forma de reparar una estructura que ha resultado con daños.

El conocimiento adquirido hace ver que es probable que ocurran sismos de igual o mayor intensidad al de 1985, por lo que es necesario que estructuras de importancia pública y privada sean revisadas y reestructuradas para

evitar su daño ante sismos futuros.

Generalmente la obras que requieren de algún tipo de reestructuración son aquellas que han sufrido un daño ante una sollicitación sísmica, o bien aquellas estructuras que fueron construidas con anterioridad a la publicación del nuevo reglamento de construcciones y sus normas técnicas complementarias, ya que en muchas ocasiones estas estructuras no cumplen con nuevos requisitos que impone el actual reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

Para lograr la identificación de los daños existentes en el concreto reforzado es necesario hacer primeramente una inspección preliminar, la cual consiste en una revisión ocular de toda la estructura; de esta revisión se identifica el sistema estructural para posteriormente evaluar su comportamiento ante el sismo.

Durante la inspección es necesario revisar los desplomes y efectuar mediciones sobre los elementos más dañados; esta inspección preliminar deberá incluir los siguientes conceptos:

- a). Identificación del edificio.
- b). Identificación del sistema estructural.
- c). Identificación de daños en elementos estructurales.
- d). Identificación de daños en elementos no estructurales.
- e). Identificación de problemas de estructuración.
- f). Identificación de problemas en la cimentación.

g). Estimación de la posible causa de los daños.

Una vez efectuada esta inspección preliminar, se deberá realizar un dictámen técnico, el cual indique el estado de la estructura, la acción recomendada y el uso que se le pueda dar a la edificación (tabla 2.1), la cual es el resultado de la evaluación preliminar de daños. (ref.4).

| DIAGNOSTICO.                     |  |                   |                    |
|----------------------------------|--|-------------------|--------------------|
|                                  | ESTADO   | ACCION            | USO                |
| 1                                | SANO   | a                 | Se puede ocupar    |
| 2                                | DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES.   | b                 |                    |
| 3                                | DAÑOS ESTRUCTURALES LEVES  | b,c               |                    |
| 4                                | DAÑOS ESTRUCTURALES IMPORTANTES  | d,e,<br>f,g,<br>h | Acceso restringido |
| 5                                | COLAPSO INMINENTE  | h                 | Acceso prohibido   |
| <b>OBSERVACIONES IMPORTANTES</b> |  |                   |                    |
| <b>ACCION RECOMENDADA</b>        |  |                   |                    |
| a                                | Ninguna.   |                   |                    |
| b                                | Reparación de daños en elementos no estructurales.   |                   |                    |
| c                                | Re-evaluación estructural posterior al período de emergencia.  |                   |                    |
| d                                | Rescatar bienes y documentos vitales, extremando precauciones y control.   |                   |                    |
| e                                | Recopilar documentos de proyecto del edificio: planos arquitectónicos y estructurales, memoria de cálculo y estudio de mecánica de suelos. |                   |                    |
| f                                | Análisis estructural para peritaje, que recomiende reparar o demoler.  |                   |                    |
| g                                | Levantamiento detallado del estado actual.   |                   |                    |
| h                                | Proyecto de reparación estructural o demolición.   |                   |                    |

TABLA 2.1 DICTAMEN TECNICO PRELIMINAR.

Con referencia a la figura 2.1, en lo correspondiente al daño en elementos no estructurales, la capacidad sismo-resistente de la estructura, aparentemente no está afectada.

En lo referente a los daños estructurales leves, aparecen grietas de menos de 0.5 mm. de ancho en elementos de concreto, fisuras y caída de aplanado en paredes y techo, aparecen grietas de menos de 3 mm. de ancho en algunos muros de mampostería. En este tipo de daño no existe reducción importante en la capacidad sismo-resistente, aunque sí en su rigidez lateral.

En la parte correspondiente a los daños estructurales importantes, aparecen grietas de 0.5 mm. a 1.0 mm. de ancho en elementos de concreto, y aparecen grietas de 3.0 mm. a 10.0 mm de ancho en la mayoría de los muros de mampostería. Existe una reducción importante en la rigidez y su capacidad sismo-resistente.

Cuando los daños estructurales son graves, aparecen grietas de más de 1.0 mm. de ancho en elementos de concreto, desprendimiento del recubrimiento en columnas, aplastamiento del concreto, rotura de estribos, pandeo del refuerzo en columnas y muros de concreto, desplome en columnas de más de 1:100 de su altura, desplome en edificios de más de 1:100 de su altura, se presentan aberturas en muros de mampostería. Existe una reducción importante en la rigidez y su capacidad sismo-resistente.

## 2.2 REHABILITACION TEMPORAL.

El tema de rehabilitación temporal es muy grande y extenso, por tal motivo en este capítulo solo se darán algunos lineamientos generales correspondientes al tema, como una idea de los diferentes tipos de rehabilitación temporal existentes.

Una vez que se ha realizado la inspección preliminar y se ha decidido no demoler y además física y económicamente es factible hacer una reparación, entonces se debe proceder inmediatamente a hacer una rehabilitación temporal del edificio, con la finalidad de proporcionar resistencia provisional a aquellos elementos y conexiones de los cuales depende la seguridad del sistema estructural total; asimismo, se deberá incluir medidas que garanticen la seguridad de las personas en las zonas adyacentes al edificio y a los trabajadores que realicen las labores de rehabilitación.

### 2.2.1 APUNTALAMIENTO VERTICAL.

La primera medida a tomar al instalar un sistema de protección temporal es el apuntalamiento vertical; este no solo se deberá colocar en el piso dañado, sino que el apuntalamiento se llevará en todos los pisos abajo del dañado. Este tipo de apuntalamiento se utiliza para proporcionar apoyo vertical auxiliar a columnas y muros de carga. Cuando estos elementos que proporcionan apoyo

vertical se apoyan sobre losas, debe procurarse que no se presenten problemas de penetración; asimismo debe procurarse que en todos los niveles estos puntales sean colindantes. La distancia entre los elementos de apoyo provisional y el elemento dañado debe ser la mínima posible.

### 2.2.2 APUNTALAMIENTO LATERAL.

El apuntalamiento lateral sirve para proporcionar seguridad a la estructuración cuando esta sea sometida a réplicas del sismo o a otras acciones horizontales. Esto puede lograrse con puntales inclinados y con sistemas de contraventeo de diversos tipos.

El apuntalamiento lateral puede ser exterior o interior y sirve para proporcionar soporte lateral a muros de carga de mampostería y concreto a fin de que no caigan hacia afuera cuando se presente una sollicitación sísmica.

Se recomienda que los puntales estén colocados a distancias convenientes, según las fuerzas que se estima deban resistir; el apoyo debe ser sobre elementos verticales unidos al muro, el extremo inferior debe contar con un apoyo, la inclinación de los puntales con respecto a la horizontal no debe ser mayor de 45 grados.

Cuando no se dispone de espacio suficiente para colocar los puntales exteriores, se pueden utilizar cables

interiores que unan a los muros exteriores con muros interiores perpendiculares a ellos.

Cuando se trata de una estructuración a base de marcos, el sistema a utilizar puede ser mediante contraventeos; esto se puede realizar mediante miembros diagonales que trabajen a compresión, como puede ser la madera, el concreto y el acero. Si se desea que los miembros trabajen a tensión, se puede utilizar cables o perfiles laminados de acero. Los detalles de unión de los tirantes a la estructura sujeta a reparación debe estudiarse cuidadosamente.

### 2.3 FALLAS MAS COMUNES EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

En la tabla 2.2 se presentan los daños estructurales más comunes sobre los que se deberá hacer énfasis durante la inspección. (ref.2).

| ELEMENTO ESTRUCTURAL | TIPO DE DAÑO   | CAUSA   |
|----------------------|--|---|
| Columnas             | Grietas diagonales<br>Grietas verticales<br>Desprendimiento del recubrimiento.<br>Aplastamiento del --<br>concreto y pandeo de barras. | Cortante o torsión<br>Flexocompresión<br>Flexocompresión<br>Flexocompresión |
| Vigas                | Grietas diagonales<br>Rotura de estribos<br>Grietas verticales<br>Rotura del refuerzo<br>Aplastamiento del --<br>Concreto.             | Cortante o torsión<br>Cortante o torsión<br>Flexión<br>Flexión<br>Flexión   |
| Union viga-columnas  | Grietas diagonales<br>Falla por adherencia del refuerzo de vigas.  | Cortante<br>Flexión   |
| Sistemas de piso     | Grietas alrededor de columnas en losas o placas planas.<br>Grietas longitudinales.   | Penetración<br>Flexión.   |
| Muros de concreto    | Grietas diagonales<br>Grietas horizontales<br>Aplastamiento del --<br>concreto y pandeo de barras                                      | Cortante<br>Flexocompresión<br>Flexocompresión                              |
| Muros de mampostería | Grietas diagonales<br>Grietas verticales en las esquinas y --<br>centro<br>Grietas como placa perimetralmente --<br>apoyada            | Cortante<br>Flexión y volteo<br>Flexión                                     |

TABLA 2 .2 DAÑOS ESTRUCTURALES MAS COMUNES.

#### 2.4 REESTRUCTURACION A BASE DE MUROS DE CONCRETO.

Cuando la capacidad sismo resistente de una estructura, no es suficiente para garantizar la seguridad de la misma, es necesario modificar la estructuración, que permita aumentar la rigidez y resistencia de la estructura; la forma de hacer esto es incluyendo principalmente:

- a) Muros de concreto reforzado.
- b) Muros de mampostería.
- c) Marcos, armaduras y contraventeos.
- d) Contrafuertes.
- e) Refuerzo en vigas y columnas.

Ya que el objetivo del presente trabajo es determinar el comportamiento que tiene un edificio cuando se encuentra reestructurado con muros perimetrales de concreto reforzado, solo se hablará de la reestructuración con muros de concreto reforzado.

En este estudio, se entenderá por reparación local cuando se proceda a la remoción del material dañado y a la sustitución del mismo con materiales de igual o mejor calidad; el reforzamiento local será el aumento en su sección transversal y/o colocación de acero adicional, transversal y/o longitudinal. Se entenderá por reestructuración, el procedimiento de refuerzo donde además de la reparación o refuerzo local de los miembros estructurales, se procede a la adición o remoción de elementos estructurales para aumentar la seguridad de la

estructura. En los dos últimos casos, será necesario que se realice un nuevo análisis y dimensionamiento de la estructura.

La inclusión de muros de concreto reforzado es una de las soluciones más efectivas para reducir las excentricidades de una estructura y aumentar su rigidez y capacidad sismo-resistente; además, sirven para reducir los desplazamientos principalmente en estructuras esbeltas.

Los muros de concreto reforzado absorben la mayor parte de la fuerza cortante producida por un sismo y pueden tener comportamiento dúctil.

La alternativa más cómoda consiste en colocar los muros en la periferia del edificio sin interferir con el funcionamiento del mismo. En esta investigación el muro perimetral se ensayará a cortante puro y no se obtendrá la flexión del mismo.

El empleo de muros de concreto perimetrales es una técnica muy efectiva ya que se eliminan los problemas debidos a interferencias interiores en edificios existentes. La conexión a las losas debe hacerse mediante elementos capaces de transmitir las fuerzas a los muros perimetrales. El refuerzo longitudinal y transversal de los muros debe ser continuo en toda la altura del edificio.  
(ref. 3).

## 2.5 USO DE MODELOS.

En diversas ramas de la Ingeniería, se recurre a la ayuda de modelos para la solución de problemas, ya que a menudo estos son inabordables por vía analítica; en muchas otras ocasiones se recurre a ellos para comprobar los resultados que arroja la vía analítica, siendo la primera de las causas la principal por la cual se recurre al uso de modelos.

El utilizar modelos para la solución de problemas permite hacer útiles predicciones. Probablemente esta investigación resultaría totalmente impracticable a escala real o al menos excesivamente costosa.

Los ensayos en modelos sirven, tanto a efectos de diseño, como para verificar las características y funcionamiento del sistema de tamaño natural que se investiga.

El aparato, máquina o sistema de tamaño natural que ha de ser investigado se denomina PROTOTIPO y el modelo puede ser mayor, del mismo tamaño, o lo que es más común, menor que el prototipo.

Todos los modelos que se construyen teniendo una sola escala lineal, o sea que tanto para magnitudes horizontales, como para verticales se toma la misma escala de líneas, se llaman modelos no distorsionados o similares geoméricamente, que es el caso del modelo de estudio en el presente trabajo.

Cuando esto no sucede, es decir, que se tiene una escala para magnitudes lineales horizontales y otra diferente para magnitudes verticales lineales, se les llama modelos distorsionados.

#### 2.5.1 COMENTARIOS SOBRE EL ANALISIS ESTRUCTURAL DE MODELOS

El análisis estructural de modelos puede hacerse bajo cargas estáticas o bajo cargas dinámicas; sin embargo, no siempre es posible cargar al modelo de manera que su respuesta sea similar a la de la estructura que se supone está simulando, esto se debe al hecho de que varias condiciones que deben satisfacerse para obtener una similitud completa entre el modelo y el prototipo pueden ser incompatibles. Esta dificultad se encuentra más frecuentemente en el caso de cargas dinámicas.

Si el prototipo está sujeto a cargas estáticas, que es el caso del presente estudio, entonces el modelo estará cargado estáticamente. En este caso los principios en que se basa el diseño del modelo y las pruebas físicas son bastante simples.

Los diversos métodos para el análisis de modelos de estructuras sujetos a cargas estáticas se dividen convenientemente en dos clasificaciones: método indirecto y método directo.

En el tipo de análisis indirecto la carga del modelo no guarda relación con la carga del prototipo. En el método directo de análisis, el modelo se carga exactamente en la misma forma que el prototipo; se miden las deformaciones directamente sobre el modelo y los esfuerzos y deflexiones correspondientes en el prototipo se determinan de estas deformaciones y deflexiones en el modelo.

Independientemente del tipo de análisis que se use, el modelo debe diseñarse de acuerdo con ciertos principios con objeto de establecer relaciones o similitudes definidas entre la respuesta del modelo cargado y la respuesta del prototipo cargado. Los principios que establecen estas relaciones, se conocen como principios de similitud, los cuales gobiernan tanto el diseño del modelo como la extrapolación de resultados para predecir la respuesta del prototipo.

#### 2.5.2 TEORÍA DE LA SIMILITUD.

Para que los modelos reúnan las cualidades que permitan transferir las observaciones, resultados y conclusiones a su prototipo, es necesario que los sistemas sean semejantes; ello incluye semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

a) Similitud geométrica.

La similitud geométrica es similitud de forma. La característica de los sistemas geoméricamente similares es que la relación de cualquier longitud en un sistema con respecto a la longitud correspondiente en el otro sistema, es en todas partes igual.

b) Similitud cinemática.

La similitud cinemática es similitud de movimiento; esto implica similitud de longitudes (similitud geométrica) y en adición, similitud de intervalos de tiempo. Es decir, los desplazamientos, velocidades y aceleraciones en puntos homólogos guardan la misma relación. De igual forma las correspondientes direcciones del movimiento son iguales en ambos sistemas.

c) Similitud dinámica

La similitud dinámica es similitud de fuerzas. Si dos sistemas son dinámicamente similares, entonces las magnitudes de las fuerzas en los puntos similarmente localizados en cada sistema se encuentran en una relación fija.

### 2.5.3 ESCALAS.

Para conocer la semejanza entre modelo y prototipo, se deben saber las relaciones entre los diversos elementos homólogos, las cuales deben siempre mantenerse constante. A estas relaciones se les llama ESCALAS. En general escala es la relación entre una magnitud cualquiera del prototipo y la correspondiente del modelo.

$$\text{ESCALA} = \frac{\text{Magnitud del prototipo}}{\text{Magnitud del modelo}}$$

En el presente trabajo la escala utilizada es 1:16

### 2.6 MICROCONCRETO.

Como se ha mencionado anteriormente el empleo de modelos es común para la investigación sistemática de fenómenos estructurales y el diseño de estructuras especiales.

Los modelos estructurales son utilizados para proporcionar datos sobre patrones generales de comportamiento y comprobar experimentalmente los resultados de procedimientos analíticos. Para modelar estructuras de concreto reforzado, se han empleado normalmente morteros reforzados que reproducen el comportamiento del material original y que se denominan MICROCONCRETOS.

La granulometría de los agregados del concreto prototipo se reduce a escala y en cierta forma también el

cemento, de tal forma que se tiene como resultado un mortero que al reproducir las características de resistencia y la curva esfuerzo-deformación en compresión, son semejantes a la del prototipo. A este mortero se le denomina microconcreto.

Se ha comprobado que se puede reproducir la resistencia, el comportamiento y la forma de agrietamiento de vigas con fallas por flexión y por cortante, empleando modelos reducidos hasta una escala 1:10, por tal razón en el presente trabajo se utilizará la escala 1:8 que ha sido ampliamente estudiada en modelos de vigas de microconcreto; así mismo es de comprenderse que el tamaño de las mallas no siempre se tiene, por lo que se usará el tamaño de malla inmediato inferior. El proporcionamiento de las mezclas se hace por peso. (ref.4).

La granulometría que se empleará para la elaboración del microconcreto es la siguiente:

| Escala | Porcentaje retenido en la malla número |    |    |    |    |    |     |         |
|--------|--|----|----|----|----|----|-----|---------|
| 1:8    | 8                                      | 10 | 16 | 20 | 30 | 50 | 100 | Charola |
|        | 6                                      | 15 | 10 | 16 | 21 | 7  | 20  | 5       |

## CAPITULO 3

### MODELO DE MICROCONCRETO.

#### 3.1 HISTORIA DEL MODELO

El modelo de microconcreto tiene una escala de 1:16. Cabe mencionar que no existe prototipo de este modelo; está formado por un sistema de marcos en dos direcciones perpendiculares, es una estructura completamente simétrica. Los marcos están formados por 3 crujiás en una dirección y 4 en la otra lo que da un total de 12 columnas por entrepiso; consta de 3 entrepisos, los claros entre columnas son de 25 y 31.25 cm. respectivamente, lo que en el prototipo sería de 4 y 5 m. respectivamente; en cuanto a la altura de los entrepisos es de 18.75 cm., lo que en el prototipo sería de 3 m.

Cabe destacar que se consideraron 2 tipos diferentes de trabes, para los marcos exteriores se utilizaron secciones de 2.5x3.1 cm. (40x50 cm. en el prototipo) y para los interiores las secciones son de 2.5x3.8 cm. (40x60 cm. en el prototipo); las secciones de las columnas son de 2.5x2.5 cm. (40x40 cm. en el prototipo). Los sistemas de piso son de 0.6 cm. de espesor (10 cm. en el prototipo).

En las figuras 3.1 a 3.6 se detallan las dimensiones del modelo, tanto en geometría como en secciones.

Es importante resaltar que esta tesis es continuación de una investigación realizada por alumnos de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M. en el año de 1990. La construcción y ensaye de este modelo se realizó en 2 años.

### 3.2 RESUMEN DEL COMPORTAMIENTO DURANTE SU ENSAYE EN ESTADO ORIGINAL

El principal objetivo de la investigación anterior fué el de comparar la respuesta del modelo, al ensayarlo en el laboratorio, con los resultados obtenidos en el análisis estructural del mismo.

Las pruebas consistieron en aplicarle a la estructura una carga vertical constante y varios niveles de carga horizontal, mediante celdas de carga, simulando un efecto de sismo. Se midieron las deformaciones del modelo por medio de micrómetros.

El ensaye consistió en lo siguiente:

Inicialmente se cargó verticalmente al modelo; después se comenzó a aplicar los incrementos de carga horizontal de manera proporcional a la altura del edificio; se calculó que los incrementos de carga serían de 7 Kg. para el primer entrepiso, de 14 Kg. para el segundo y de 21 para el tercero.

Una vez que se tuvo todo listo, se procedió a realizar los ensayes de los cuales se obtuvieron las lecturas para

cada incremento o decremento de carga de cada celda, así como de cada uno de los micrómetros. La identificación fue secuencial y al mismo tiempo se tomaban las lecturas de micrómetros y celdas de carga. El modelo se llevó a un estado avanzado de daño, principalmente las columnas.

### 3.3 REESTRUCTURACION DEL MODELO.

Después del ensaye en estado original se procedió a la reparación y reconstrucción del modelo; la reparación consistió de las siguientes etapas:

a) Nivelación de la estructura. Ya que en el ensaye original la estructura quedó seriamente dañada, además de estar desplomada, se procedió a nivelarla. La forma para proceder a nivelarla fue aplicando carga en la dirección contraria al ensaye mediante gatos hidráulicos en cada uno de los entrepisos. Esto se hizo en etapas dejando cargada la estructura durante 24 horas y observando su recuperación; este proceso fue iterativo, hasta que se logró nivelar satisfactoriamente la estructura. Cabe mencionar que no se obtuvo una recuperación total.

b) Demolición del microconcreto en los nodos. Durante esta etapa se procedió a descubrir los nodos, debido a que con el primer ensaye y con la nivelación quedaron dañados. Se descubrieron los nodos, se acomodaron y restauraron los

estribos y donde hubo ruptura de varillas en columnas se procedió a añadirle una longitud de desarrollo para garantizar la continuidad del acero de refuerzo (fig 3.7).

c) Cimbra de los nodos. Terminada la reparación y restauración de estribos y de varillas rotas, se procedió a cimbrar los nodos; además de que se siguió nivelando la estructura aplicándole carga ya que esta se fué recuperando poco a poco. Durante esta etapa se procedió al apuntalamiento del edificio para garantizar su estabilidad (fig. 3.8).

d) Colado de nodos, columnas y vigas dañadas. Una vez que se terminaron de cimbrar los nodos se procedió a colarlos con un mortero estabilizador de volúmen, con el objeto de que los nodos quedaran bien restaurados. Debido a que el mortero contenía limadura de hierro en partículas demasiado grandes para poder ser coladas se procedió a cribarlo; únicamente se utilizó el mortero que pasó la malla número 8, con el objeto de que no quedaran huecos en los nodos, trabes y columnas reparadas.

Una vez terminadas todas estas etapas de restauración del modelo se procedió a la reestructuración propiamente dicha mediante muros perimetrales de microconcreto reforzado. Las etapas a seguir fueron:

1) Demolición de vigas. La demolición de vigas se hizo con el objeto de que por ahí se pasara el acero de refuerzo de los muros perimetrales. La demolición debe ser parcial pero, en este caso, no se le pudo hacer orificios tan pequeños por lo que se procedió a demoler totalmente las vigas (fig.3.9).

2) Armado de muros perimetrales. El armado de los muros se hizo pasando el acero de refuerzo vertical interior por dentro de la viga y el acero de refuerzo exterior fuera de la misma; además de que el refuerzo horizontal del muro se colocó por fuera del vertical (figs. 3.9 y 3.10).

Es importante mencionar que el acero de refuerzo utilizado para el armado de los muros está formado por dos alambres trensados para lograr la adherencia con el microconcreto ya que el diámetro del alambre por utilizar en el modelo es muy pequeño y no se le podía dar la corrugación necesaria. Se le hicieron pruebas en la máquina universal del laboratorio de las cuales se observó que tenía un esfuerzo de tensión de  $7000 \text{ kg/cm}^2$  por lo que se le tuvo que dar un tratamiento térmico para reducirle el  $f_y$ , lográndose un  $f_y$  de  $4000 \text{ kg/cm}^2$ , que fué el que se utilizó para el armado. La curva carga deformación y los resultados se observan en la figura 3.11.

En la figura 3.12 se muestran las dimensiones y el armado del muro.

3) Cimbrado y colado de muros. Una vez que se armaron los muros se procedió a cimbrarlos de tal forma que se pudieran colar al mismo tiempo con el objeto de no tener variaciones del microconcreto. Se colaron los muros con el microconcreto; una semana después se descimbraron y a los 28 días de colado el modelo estaba listo para ser probado (figs. 3.13 y 3.14).

Se tomaron tres muestras del microconcreto y se probaron a compresión el mismo día de la prueba del modelo, obteniéndose los resultados siguientes:

|           | fecha de colado | fecha de prueba | f'c<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| muestra 1 | 5 de mayo 02    | 5 de junio 02   | 228                          |
| muestra 2 | 5 de mayo 02    | 5 de junio 02   | 232                          |
| muestra 3 | 5 de mayo 02    | 5 de junio 02   | 150                          |

Obteniendo un promedio de las tres muestras se obtiene que el f'c del concreto es de: 202 kg/cm<sup>2</sup>. Las gráficas correspondientes de la curva esfuerzo deformación se muestran en las figuras 3.15 a 3.17.

## CAPITULO 4

ANALISIS ESTRUCTURAL.

## 4.1 IDEALIZACION DE LA ESTRUCTURA PARA SU ANALISIS

## 4.1.1 ANALISIS DE CARGAS

## Cargas muertas

|                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Impermeabilizante.....     | 10 kg/m <sup>2</sup> |
| Enladrillado.....          | 30 id.               |
| Mortero cemento-arena..... | 30 id.               |
| Relleno de tezontle.....   | 155 id.              |
| Losa h=10 cm.....          | 240 id.              |
| Aplanado de yeso.....      | 30 id.               |
| Carga por reglamento.....  | 40 id.               |
| TOTAL.....                 | 535 id.              |

## AZOTEA

Carga muerta=535 kg/m<sup>2</sup>

Carga viva = 70 id.

-----  
TOTAL=605\*1.1=665 id.

## ENTREPISO

Carga muerta=535 kg/m<sup>2</sup>

Carga viva =180 id.

-----  
TOTAL=715\*1.1=786.5 id.

La carga viva en ambos casos es la correspondiente a la carga viva instantánea; la carga viva de entrepiso es la correspondiente a oficinas.

Con estas cargas y con el área correspondiente a cada entrepiso se obtiene el peso de cada nivel y además con el peso de columnas y muros se obtienen los pesos totales por cada entrepiso, los cuales son:

TERCER NIVEL= 98.611 TON.

SEGUNDO NIVEL= 126.437 TON.

PRIMER NIVEL= 126.437 TON.

#### 4.2 ANALISIS SISMICO ESTATICO.

El R.C.D.F. permite, en su artículo 203, que el análisis sísmico de edificios cuya altura no exceda de 60 m. se efectue de acuerdo con el método estático, descrito en la sección 8 de las Normas técnicas complementarias por sismo.

Para efectuar el análisis se procede de la manera siguiente:

- a) Se considera que las fuerzas cortantes en los diferentes niveles de la estructura, forman un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se suponen concentradas las masas, incluyendo los apéndices.
- b) Cada una de estas fuerzas se toma igual al peso de la masa que corresponde multiplicado por un coeficiente proporcional a la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales son apreciables).

La forma como se especifica el cálculo de fuerzas horizontales expresa en forma algebraica la variación lineal de aceleraciones, de magnitud ajustada para que la fuerza cortante en la base sea igual a  $(c/Q)W$ .

La aplicación de lo estipulado en la sección 8.1 de las Normas técnicas complementarias de Sismo, conduce a que la fuerza horizontal  $P_i$ , aplicada en el centro del nivel  $n$  está dada por la expresión:

$$P_i = \frac{c}{Q} \cdot \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i h_i} \cdot \frac{W_t}{F_I}$$

Donde:

$Q$  Factor de comportamiento sísmico que se fija en la sección 5 de las Normas técnicas de sismo.

$c$  Coeficiente sísmico que se establece en el artículo 206 del R.C.D.F. y en la sección 8.1 de las Normas técnicas por sismo.

$h_i$  Altura del nivel sobre el desplante.

$W_i$  Peso del nivel  $i$ .

$W_t$  Peso total de la estructura.

$F_I$  Factor de irregularidad.

Suponiendo que el modelo se encuentra ubicado en terreno tipo 3 (zona de lago) el coeficiente sísmico ( $c$ ) corresponde a 0.4 y el factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ) es igual a 2 por las características del modelo.

Ya que el modelo presenta características de regularidad, el FI es igual a 1.

La aplicación de esta expresión se ejemplifica a continuación; además se calculó el cortante en la base de cada nivel.

| NIVEL    | $W_i$<br>(ton) | $h_i$<br>(m) | $W_i h_i$ | $P_i$<br>(ton) | $V_i$<br>(ton) |
|----------|----------------|--------------|-----------|----------------|----------------|
| 3        | 98.611         | 9            | 887.499   | 30.802         | 30.802         |
| 2        | 126.437        | 6            | 758.622   | 26.330         | 57.132         |
| 1        | 126.437        | 3            | 379.311   | 13.165         | 70.297         |
| $\Sigma$ | 351.485        |              | 2025.432  |                |                |

Reduciendo las fuerzas sísmicas entre la escala al cuadrado se obtienen las fuerzas que deben aplicarse al modelo y estas son:

$F_1 = 51,426 \text{ kg.}$

$F_2 = 102.852 \text{ kg.}$

$F_3 = 120.320 \text{ kg.}$

Con estos datos ya es posible hacer el análisis estructural, sin embargo para poder hacer la comparación de la respuesta del modelo con la respuesta que tuvo en el primer ensayo, fué necesario aplicar al modelo las mismas cargas que se le aplicaron durante la primera prueba, y estas son las siguientes:

#### Carga gravitacional

Para el primer piso: 77.625 Kg. es decir  $147.91 \text{ Kg/m}^2$

Para el segundo piso: 70.0 Kg. es decir  $133.38 \text{ Kg/m}^2$

Para el tercer piso: 82.87 Kg. es decir  $157.91 \text{ Kg/m}^2$

En lo correspondiente a las fuerzas laterales, se trataron de aplicar los mismos niveles de carga que se aplicaron durante la primera prueba. Las tablas 4.1 y 4.2 muestran algunas de las cargas que se aplicaron en cada piso, así como su correspondiente deformación.

Las fuerzas laterales que se aplicaron al modelo para el nivel de carga 3 son muy parecidas a las calculadas anteriormente, por lo que el análisis estructural se realizó con las fuerzas aplicadas al modelo.

### 4.3 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL MODELO

En el presente trabajo se realizó el análisis estructural para 5 diferentes niveles de carga, tres de los cuales corresponden a niveles de carga utilizados durante la prueba en estado original, con el objeto de comparar los resultados obtenidos con los de esa primera prueba.

El análisis estructural se realizó en el espacio, tomando en consideración las losas y los muros.

Para realizar el análisis estructural se utilizó el programa SAP-90, obteniéndose de este, las deformaciones y elementos mecánicos para cada nivel de carga. Los niveles de carga utilizados en el análisis son los siguientes:

| NIVEL DE CARGA | PISO 1  | PISO 2  | PISO 3  |
|----------------|---------|---------|---------|
|                | F en kg | F en kg | F en kg |
| 1              | 14      | 28      | 42      |
| 2              | 28      | 56      | 84      |
| 3              | 42      | 84      | 126     |
| 4              | 98      | 196     | 294     |
| 5              | 210     | 420     | 630     |

Es importante resaltar que los niveles de carga 4 y 5 corresponden en la prueba a los niveles 5 y 13 respectivamente.

En este estudio se realizó el cálculo de la rigidez efectiva para el muro con un método desarrollado en la ref.5 (tabla 1), que se basa en la suposición de que la rigidez total del elemento es la suma de la rigidez proporcionada por el acero  $(EI)_s$ , más la del concreto  $(EI)_c$ , multiplicadas por el factor  $\phi$ , criterio que siguen tanto el R.C.D.D.F. como el ACI.

$$(EI)_{ef} = \phi * (R_s + R_c), \text{ donde:}$$

$$R_s = 1.25 * (7/19 * q'_1 * 1/e_y * (d/t - 1/2)^2),$$

$$R_c = 0.10 * K \text{ y } \phi = b * t^3 * f'_c; \text{ siendo:}$$

$$b = 1.5 \text{ cm.}, \quad t = 18.75 \text{ cm.}, \quad d/t = 0.975, \quad e_y = 0.002,$$

$$f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2, \quad K = 50, \quad f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2, \quad f^*_c = 160 \text{ kg/cm}^2,$$

$$q'_1 = (A_{s1}/b*t) * (f_y/f^*_c) \text{ y } A_{s1} = 0.1544 \text{ cm}^2.$$

Sustituyendo valores, la rigidez efectiva del muro es:

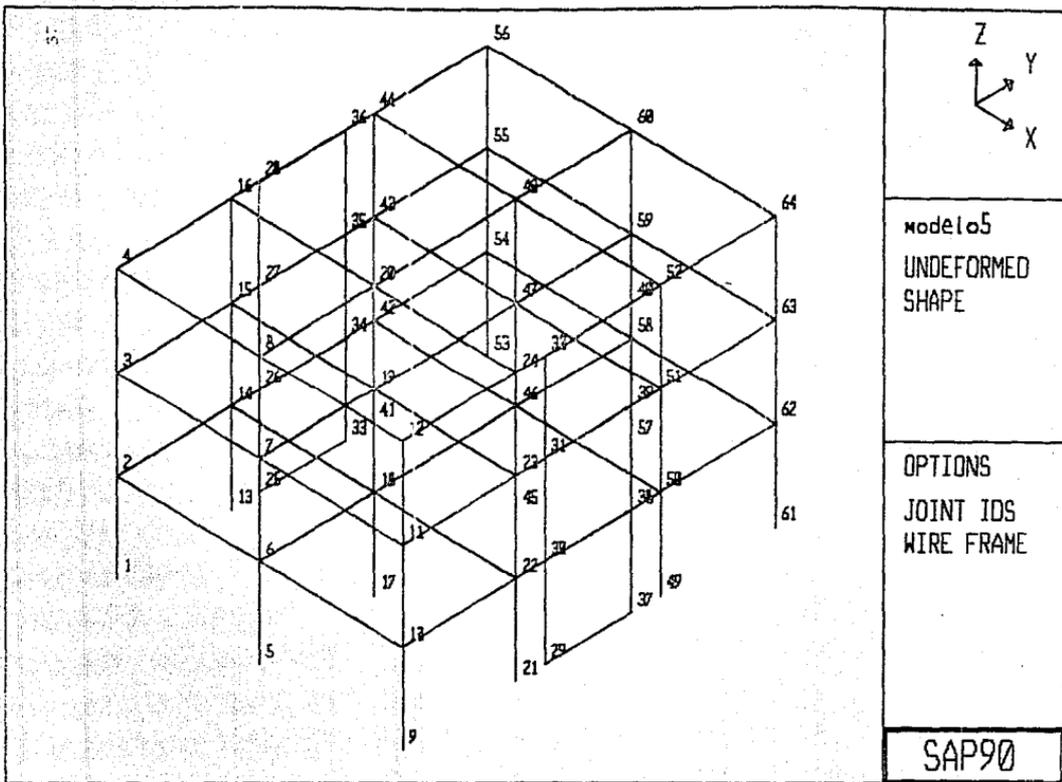
$$(EI)_{ef} = 23'987,642 \text{ kg/cm.}$$

Dividiendo entre la inercia del muro, obtenemos un módulo de elasticidad hipotético con el que se trabajará en el análisis estructural del modelo.

$$I_{muro} = 824 \text{ cm}^4. \text{ Por lo tanto:}$$

$$(E)_{muro} = 29,111 \text{ kg/cm}^2$$

Los resultados del programa se observan a continuación:



MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

PROGRAM: SAP90/FILE:

## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 2     | .004154 | -.000226 | -.000255 | .000050  | -.000011 |
| 3     | .009177 | -.000306 | -.000177 | .000019  | -.000015 |
| 4     | .013427 | -.000363 | -.000141 | .000079  | -.000025 |
| 5     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 6     | .004006 | -.000576 | -.000256 | .000000  | .000000  |
| 7     | .008938 | -.000790 | -.000193 | .000000  | .000000  |
| 8     | .013014 | -.000938 | -.000190 | .000000  | .000000  |
| 9     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 10    | .004154 | -.000226 | -.000255 | -.000050 | .000011  |
| 11    | .009177 | -.000306 | -.000177 | -.000019 | .000015  |
| 12    | .013427 | -.000363 | -.000141 | -.000079 | .000025  |
| 13    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 14    | .003979 | .000561  | .000007  | .000110  | .000003  |
| 15    | .008943 | .000713  | -.000005 | .000064  | .000003  |
| 16    | .013064 | .000682  | .000025  | .000193  | .000004  |
| 17    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 18    | .004027 | -.001624 | -.000197 | .000000  | .000000  |
| 19    | .008952 | -.002217 | -.000144 | .000000  | .000000  |
| 20    | .013029 | -.002607 | -.000127 | .000000  | .000000  |
| 21    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 22    | .003979 | .000561  | .000007  | -.000110 | -.000003 |
| 23    | .008943 | .000713  | -.000005 | -.000064 | -.000003 |
| 24    | .013064 | .000682  | .000025  | -.000193 | -.000004 |
| 25    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 26    | .003886 | .001487  | .000000  | .000000  | -.000001 |
| 27    | .008880 | .001247  | .000000  | .000000  | -.000001 |
| 28    | .012986 | .000996  | .000000  | .000000  | -.000001 |
| 29    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 30    | .003886 | .001487  | .000000  | .000000  | .000001  |
| 31    | .008880 | .001247  | .000000  | .000000  | .000001  |
| 32    | .012986 | .000996  | .000000  | .000000  | .000001  |
| 33    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 34    | .003916 | -.002133 | .000000  | .000000  | -.000001 |
| 35    | .008862 | -.002333 | .000000  | .000000  | -.000001 |
| 36    | .012916 | -.002255 | .000000  | .000000  | -.000002 |
| 37    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 38    | .003916 | -.002133 | .000000  | .000000  | .000001  |
| 39    | .008862 | -.002333 | .000000  | .000000  | .000001  |
| 40    | .012916 | -.002255 | .000000  | .000000  | .000002  |
| 41    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 42    | .003959 | -.001523 | -.000052 | .000093  | .000002  |
| 43    | .008873 | -.002025 | -.000039 | .000032  | .000003  |
| 44    | .012920 | -.002233 | -.000044 | .000134  | .000005  |
| 45    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 46    | .004020 | -.001601 | -.000112 | .000000  | .000000  |
| 47    | .008936 | -.002194 | -.000081 | .000000  | .000000  |
| 48    | .012982 | -.002588 | -.000001 | .000000  | .000000  |
| 49    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 50    | .003959 | -.001523 | -.000052 | -.000093 | -.000002 |
| 51    | .008873 | -.002025 | -.000039 | -.000032 | -.000003 |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED

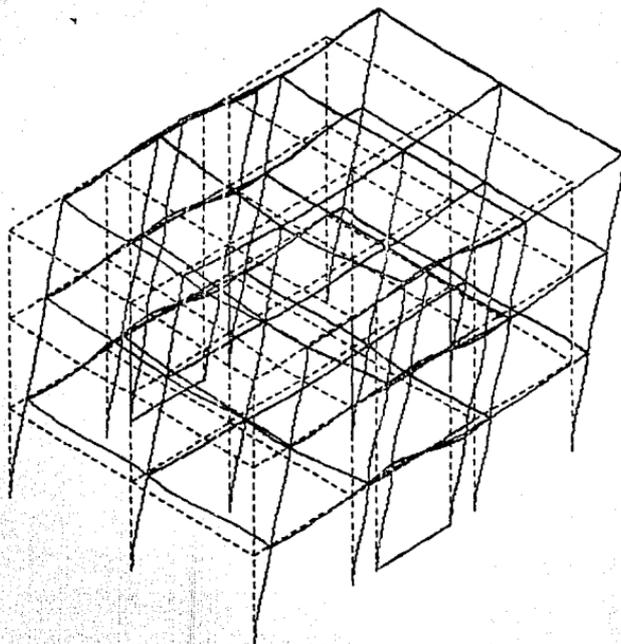
PROGRAM:SAP90/FILE:

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 52    | .012920 | -.002233 | -.000044 | -.000134 | -.000005 |
| 53    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 54    | .003982 | -.000488 | -.000191 | .000050  | -.000001 |
| 55    | .008887 | -.000673 | -.000148 | .000020  | .000001  |
| 56    | .012908 | -.000777 | -.000041 | .000079  | .000004  |
| 57    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 58    | .004016 | -.000869 | -.000155 | .000000  | .000000  |
| 59    | .008927 | -.001191 | -.000124 | .000000  | .000000  |
| 60    | .012957 | -.001382 | -.000020 | .000000  | .000000  |
| 61    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 62    | .003982 | -.000488 | -.000191 | -.000050 | .000001  |
| 63    | .008887 | -.000673 | -.000148 | -.000020 | -.000001 |
| 64    | .012908 | -.000777 | -.000041 | -.000079 | -.000004 |



modelo5

DEFORMED  
SHAPE

LOAD 1

MINIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z -.2607E-02

MAXIMA

X .0000E+00

Y .1343E-01

Z .1487E-02

SAP90

## MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## JOINT DISPLACEMENTS

## LOAD CONDITION 2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 2     | .008339 | .000265  | -.000453 | -.000000 | -.000023 |
| 3     | .018368 | .000371  | -.000331 | -.000000 | -.000031 |
| 4     | .026843 | .000419  | -.000189 | -.000000 | -.000048 |
| 5     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 6     | .008035 | .000293  | -.000411 | .000000  | .000000  |
| 7     | .017882 | .000402  | -.000317 | .000000  | .000000  |
| 8     | .026001 | .000444  | -.000210 | .000000  | .000000  |
| 9     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 10    | .008339 | .000265  | -.000453 | .000000  | .000023  |
| 11    | .018368 | .000371  | -.000331 | .000000  | .000031  |
| 12    | .026843 | .000419  | -.000189 | .000000  | .000048  |
| 13    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 14    | .007989 | .002089  | -.000046 | .000017  | .000005  |
| 15    | .017902 | .002747  | -.000045 | .000032  | .000006  |
| 16    | .026134 | .002929  | -.000016 | .000059  | .000007  |
| 17    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 18    | .008063 | -.000023 | -.000309 | .000000  | .000000  |
| 19    | .017906 | -.000023 | -.000225 | .000000  | .000000  |
| 20    | .026043 | -.000019 | -.000128 | .000000  | .000000  |
| 21    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 22    | .007989 | .002089  | -.000046 | -.000017 | -.000005 |
| 23    | .017902 | .002747  | -.000045 | -.000032 | -.000006 |
| 24    | .026134 | .002929  | -.000016 | -.000059 | -.000007 |
| 25    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 26    | .007821 | .003618  | .000000  | .000000  | -.000002 |
| 27    | .017780 | .003585  | .000000  | .000000  | -.000002 |
| 28    | .025979 | .003282  | .000000  | .000000  | -.000002 |
| 29    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 30    | .007821 | .003618  | .000000  | .000000  | .000002  |
| 31    | .017780 | .003585  | .000000  | .000000  | .000002  |
| 32    | .025979 | .003282  | .000000  | .000000  | .000002  |
| 33    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 34    | .007783 | -.003622 | .000000  | .000000  | -.000002 |
| 35    | .017705 | -.003574 | .000000  | .000000  | -.000002 |
| 36    | .025825 | -.003220 | .000000  | .000000  | -.000003 |
| 37    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 38    | .007783 | -.003622 | .000000  | .000000  | .000002  |
| 39    | .017705 | -.003574 | .000000  | .000000  | .000002  |
| 40    | .025825 | -.003220 | .000000  | .000000  | .000003  |
| 41    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 42    | .007887 | -.002080 | -.000043 | -.000017 | .000005  |
| 43    | .017731 | -.002730 | -.000042 | -.000031 | .000006  |
| 44    | .025834 | -.002902 | -.000022 | -.000059 | .000009  |
| 45    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 46    | .008032 | .000023  | -.000309 | .000000  | .000000  |
| 47    | .017870 | .000024  | -.000224 | .000000  | .000000  |
| 48    | .025979 | .000019  | -.000127 | .000000  | .000000  |
| 49    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 50    | .007887 | -.002080 | -.000043 | .000017  | -.000005 |
| 51    | .017731 | -.002730 | -.000042 | .000031  | -.000006 |

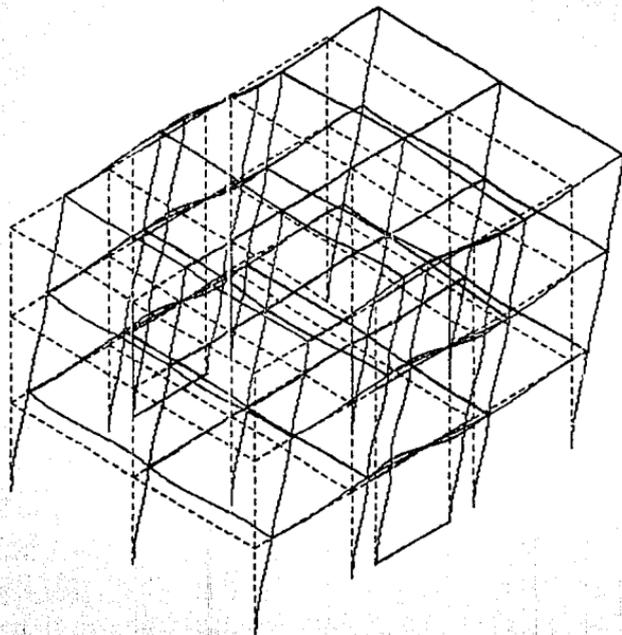
EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 PROGRAM: SAP90/FILE:

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

J O I N T   D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION    2 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 52    | .025834 | -.002902 | -.000022 | .000059  | -.000009 |
| 53    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 54    | .007931 | -.000259 | -.000439 | .000000  | .000000  |
| 55    | .017758 | -.000362 | -.000320 | .000000  | .000002  |
| 56    | .025825 | -.000408 | -.000174 | .000001  | .000006  |
| 57    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 58    | .008010 | -.000292 | -.000410 | .000000  | .000000  |
| 59    | .017848 | -.000400 | -.000316 | .000000  | .000000  |
| 60    | .025940 | -.000443 | -.000210 | .000000  | .000000  |
| 61    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 62    | .007931 | -.000259 | -.000439 | -.000000 | -.000000 |
| 63    | .017758 | -.000362 | -.000320 | -.000000 | -.000002 |
| 64    | .025825 | -.000408 | -.000174 | -.000001 | -.000006 |



modelo5

DEFORMED  
SHAPE

LOAD 2

MINIMA

X .0000E+00

Y .0000E+00

Z -.3622E-02

MAXIMA

X .0000E+00

Y .2684E-01

Z .3618E-02

SAP90

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 2     | .012509 | .000398  | -.000679 | -.000000 | -.000035 |
| 3     | .027553 | .000557  | -.000496 | -.000000 | -.000046 |
| 4     | .040266 | .000628  | -.000284 | -.000001 | -.000072 |
| 5     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 6     | .012053 | .000440  | -.000616 | .000000  | .000000  |
| 7     | .026823 | .000603  | -.000475 | .000000  | .000000  |
| 8     | .039003 | .000667  | -.000315 | .000000  | .000000  |
| 9     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 10    | .012509 | .000398  | -.000679 | .000000  | .000035  |
| 11    | .027553 | .000557  | -.000496 | .000000  | .000046  |
| 12    | .040266 | .000628  | -.000284 | .000001  | .000072  |
| 13    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 14    | .011983 | .003133  | -.000069 | .000026  | .000008  |
| 15    | .026854 | .004120  | -.000067 | .000047  | .000008  |
| 16    | .039202 | .004393  | -.000025 | .000089  | .000010  |
| 17    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 18    | .012095 | -.000034 | -.000464 | .000000  | .000000  |
| 19    | .026861 | -.000035 | -.000337 | .000000  | .000000  |
| 20    | .039065 | -.000029 | -.000192 | .000000  | .000000  |
| 21    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 22    | .011983 | .003133  | -.000069 | -.000026 | -.000008 |
| 23    | .026854 | .004120  | -.000067 | -.000047 | -.000008 |
| 24    | .039202 | .004393  | -.000025 | -.000089 | -.000010 |
| 25    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 26    | .011732 | .005427  | .000000  | .000000  | -.000003 |
| 27    | .026670 | .005377  | .000000  | .000000  | -.000003 |
| 28    | .038970 | .004924  | .000000  | .000000  | -.000003 |
| 29    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 30    | .011732 | .005427  | .000000  | .000000  | .000003  |
| 31    | .026670 | .005377  | .000000  | .000000  | .000003  |
| 32    | .038970 | .004924  | .000000  | .000000  | .000003  |
| 33    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 34    | .011675 | -.005434 | .000000  | .000000  | -.000003 |
| 35    | .026558 | -.005362 | .000000  | .000000  | -.000003 |
| 36    | .038739 | -.004830 | .000000  | .000000  | -.000005 |
| 37    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 38    | .011675 | -.005434 | .000000  | .000000  | .000003  |
| 39    | .026558 | -.005362 | .000000  | .000000  | .000003  |
| 40    | .038739 | -.004830 | .000000  | .000000  | .000005  |
| 41    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 42    | .011830 | -.003120 | -.000065 | -.000026 | .000008  |
| 43    | .026597 | -.004095 | -.000063 | -.000047 | .000010  |
| 44    | .038752 | -.004354 | -.000033 | -.000088 | .000014  |
| 45    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 46    | .012048 | .000034  | -.000463 | .000000  | .000000  |
| 47    | .026806 | .000035  | -.000336 | .000000  | .000000  |
| 48    | .038970 | .000029  | -.000191 | .000000  | .000000  |
| 49    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 50    | .011830 | -.003120 | -.000065 | .000026  | -.000008 |
| 51    | .026597 | -.004095 | -.000063 | .000047  | -.000010 |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED

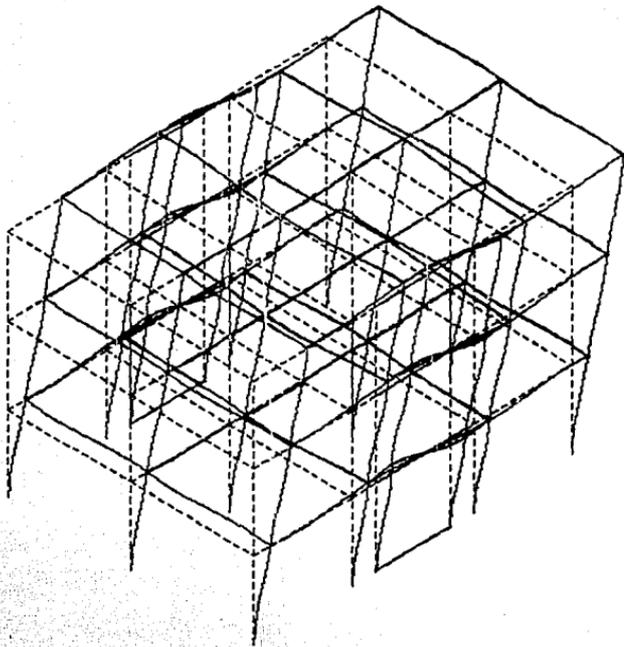
MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

PROGRAM: SAP90/FILE:

## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 3 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 52    | .038752 | -.004354 | -.000033 | .000088  | -.000014 |
| 53    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 54    | .011897 | -.000388 | -.000659 | .000000  | .000000  |
| 55    | .026638 | -.000544 | -.000480 | .000001  | .000003  |
| 56    | .038739 | -.000613 | -.000261 | .000001  | .000010  |
| 57    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 58    | .012015 | -.000458 | -.000615 | .000000  | .000000  |
| 59    | .026772 | -.000601 | -.000474 | .000000  | .000000  |
| 60    | .038911 | -.000664 | -.000314 | .000000  | .000000  |
| 61    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 62    | .011897 | -.000388 | -.000659 | -.000000 | -.000000 |
| 63    | .026638 | -.000544 | -.000480 | -.000001 | -.000003 |
| 64    | .038739 | -.000613 | -.000261 | -.000001 | -.000010 |



modelo5  
DEFORMED  
SHAPE  
LOAD 3

MINIMA  
X .0000E+00  
Y .0000E+00  
Z -.5434E-02  
MAXIMA  
X .0000E+00  
Y .4027E-01  
Z .5427E-02

SAP90

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 4 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

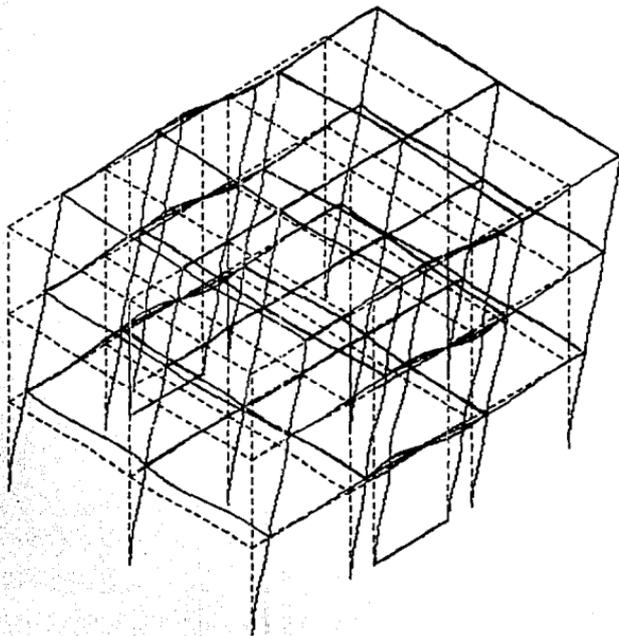
| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 2     | .029187 | .000929  | -.001585 | -.000001 | -.000082 |
| 3     | .064288 | .001300  | -.001157 | -.000001 | -.000167 |
| 4     | .093952 | .001466  | -.000662 | -.000002 | -.000168 |
| 5     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 6     | .028123 | .001026  | -.001438 | .000000  | .000000  |
| 7     | .062585 | .001406  | -.001108 | .000000  | .000000  |
| 8     | .091004 | .001556  | -.000736 | .000000  | .000000  |
| 9     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 10    | .029187 | .000929  | -.001585 | .000001  | .000082  |
| 11    | .064288 | .001300  | -.001157 | .000001  | .000167  |
| 12    | .093952 | .001466  | -.000662 | .000002  | .000168  |
| 13    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 14    | .027960 | .007311  | -.000161 | .000061  | .000018  |
| 15    | .062656 | .009613  | -.000156 | .000111  | .000020  |
| 16    | .091468 | .010250  | -.000057 | .000207  | .000024  |
| 17    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 18    | .028221 | -.000079 | -.001083 | .000000  | .000000  |
| 19    | .062672 | -.000082 | -.000786 | .000000  | .000000  |
| 20    | .091150 | -.000067 | -.000448 | .000000  | .000000  |
| 21    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 22    | .027960 | .007311  | -.000161 | -.000061 | -.000018 |
| 23    | .062656 | .009613  | -.000156 | -.000111 | -.000020 |
| 24    | .091468 | .010250  | -.000057 | -.000207 | -.000024 |
| 25    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 26    | .027373 | .012662  | .000000  | .000000  | -.000006 |
| 27    | .062229 | .012547  | .000000  | .000000  | -.000006 |
| 28    | .090927 | .011488  | .000000  | .000000  | -.000008 |
| 29    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 30    | .027373 | .012662  | .000000  | .000000  | .000006  |
| 31    | .062229 | .012547  | .000000  | .000000  | .000006  |
| 32    | .090927 | .011488  | .000000  | .000000  | .000008  |
| 33    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 34    | .027241 | -.012679 | .000000  | .000000  | -.000006 |
| 35    | .061967 | -.012510 | .000000  | .000000  | -.000008 |
| 36    | .090387 | -.011271 | .000000  | .000000  | -.000011 |
| 37    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 38    | .027241 | -.012679 | .000000  | .000000  | .000006  |
| 39    | .061967 | -.012510 | .000000  | .000000  | .000008  |
| 40    | .090387 | -.011271 | .000000  | .000000  | .000011  |
| 41    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 42    | .027603 | -.007279 | -.000151 | -.000060 | .000019  |
| 43    | .062058 | -.009556 | -.000148 | -.000110 | .000022  |
| 44    | .090419 | -.010158 | -.000076 | -.000205 | .000033  |
| 45    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 46    | .028112 | .000079  | -.001081 | .000000  | .000000  |
| 47    | .062544 | .000082  | -.000785 | .000000  | .000000  |
| 48    | .090928 | .000068  | -.000446 | .000000  | .000000  |
| 49    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 50    | .027603 | -.007279 | -.000151 | .000060  | -.000019 |
| 51    | .062058 | -.009556 | -.000148 | .000110  | -.000022 |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL. PROGRAM: SAP90/FILE:

J O I N T   D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION    4 -    D I S P L A C E M E N T S "U" A N D R O T A T I O N S "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 52    | .090419 | -.010158 | -.000076 | .000205  | -.000033 |
| 53    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 54    | .027758 | -.000906 | -.001537 | .000001  | .000001  |
| 55    | .062154 | -.001268 | -.001121 | .000001  | .000006  |
| 56    | .090389 | -.001429 | -.000609 | .000002  | .000023  |
| 57    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 58    | .028035 | -.001023 | -.001436 | .000000  | .000000  |
| 59    | .062466 | -.001401 | -.001106 | .000000  | .000000  |
| 60    | .090789 | -.001550 | -.000733 | .000000  | .000000  |
| 61    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 62    | .027758 | -.000906 | -.001537 | -.000001 | -.000001 |
| 63    | .062154 | -.001268 | -.001121 | -.000001 | -.000006 |
| 64    | .090389 | -.001429 | -.000609 | -.000002 | -.000023 |



MODEL05  
DEFORMED  
SHAPE  
LOAD 4

MINIMA  
X .0000E+00  
Y .0000E+00  
Z -.1268E-01  
MAXIMA  
X .0000E+00  
Y .9395E-01  
Z .1266E-01

SAP90

## MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## JOINT DISPLACEMENTS

## LOAD CONDITION 5 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

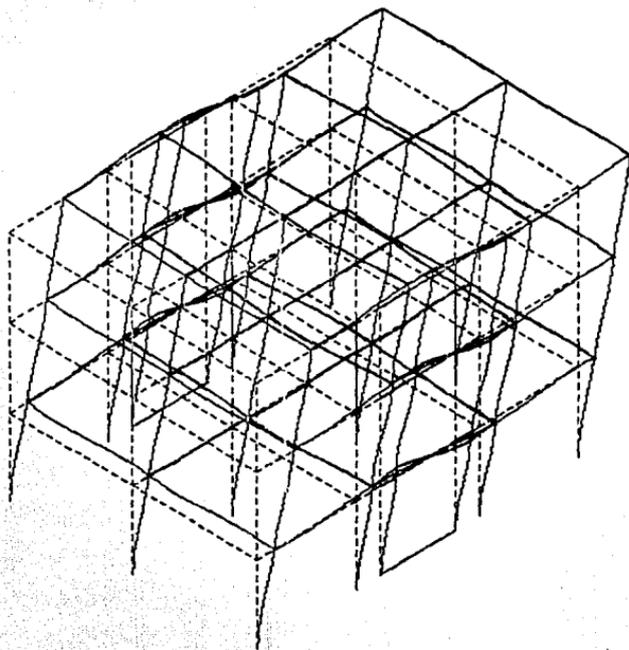
| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 1     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 2     | .062544 | .001990  | -.003396 | -.000002 | -.000175 |
| 3     | .137761 | .002786  | -.002480 | -.000002 | -.000230 |
| 4     | .201325 | .003141  | -.001419 | -.000003 | -.000361 |
| 5     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 6     | .060264 | .002199  | -.003082 | .000000  | .000000  |
| 7     | .134111 | .003013  | -.002374 | .000000  | .000000  |
| 8     | .195009 | .003333  | -.001577 | .000000  | .000000  |
| 9     | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 10    | .062544 | .001990  | -.003396 | .000002  | .000175  |
| 11    | .137761 | .002786  | -.002480 | .000002  | .000230  |
| 12    | .201325 | .003141  | -.001419 | .000003  | .000361  |
| 13    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 14    | .059914 | .015665  | -.000345 | .000130  | .000038  |
| 15    | .134262 | .020600  | -.000335 | .000237  | .000042  |
| 16    | .196002 | .021964  | -.000123 | .000444  | .000052  |
| 17    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 18    | .060473 | -.000169 | -.002321 | .000000  | .000000  |
| 19    | .134298 | -.000176 | -.001685 | .000000  | .000000  |
| 20    | .195320 | -.000144 | -.000960 | .000000  | .000000  |
| 21    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 22    | .059914 | .015665  | -.000345 | -.000130 | -.000038 |
| 23    | .134262 | .020600  | -.000335 | -.000237 | -.000042 |
| 24    | .196002 | .021964  | -.000123 | -.000444 | -.000052 |
| 25    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 26    | .058655 | .027134  | .000000  | .000000  | .000013  |
| 27    | .133347 | .026886  | .000000  | .000000  | -.000014 |
| 28    | .194844 | .024617  | .000000  | .000000  | -.000017 |
| 29    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 30    | .058655 | .027134  | .000000  | .000000  | .000013  |
| 31    | .133347 | .026886  | .000000  | .000000  | .000014  |
| 32    | .194844 | .024617  | .000000  | .000000  | .000017  |
| 33    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 34    | .058374 | -.027168 | .000000  | .000000  | -.000014 |
| 35    | .132786 | -.026808 | .000000  | .000000  | -.000016 |
| 36    | .193686 | -.024151 | .000000  | .000000  | -.000024 |
| 37    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 38    | .058374 | -.027168 | .000000  | .000000  | .000014  |
| 39    | .132786 | -.026808 | .000000  | .000000  | .000016  |
| 40    | .193686 | -.024151 | .000000  | .000000  | .000024  |
| 41    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 42    | .059149 | -.015599 | -.000324 | -.000129 | .000040  |
| 43    | .132982 | -.020477 | -.000317 | -.000236 | .000048  |
| 44    | .193755 | -.021767 | -.000164 | -.000440 | .000071  |
| 45    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 46    | .060240 | .000169  | -.002317 | .000000  | .000000  |
| 47    | .134023 | .000176  | -.001682 | .000000  | .000000  |
| 48    | .194845 | .000145  | -.000955 | .000000  | .000000  |
| 49    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 50    | .059149 | -.015599 | -.000324 | .000129  | -.000040 |
| 51    | .132982 | -.020477 | -.000317 | .000236  | -.000048 |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL. PROGRAM: SAP90/FILE:

J O I N T   D I S P L A C E M E N T S

LOAD CONDITION    5 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

| JOINT | U(Y)    | U(Z)     | R(X)     | R(Y)     | R(Z)     |
|-------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 52    | .193755 | -.021767 | -.000164 | .000440  | -.000071 |
| 53    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 54    | .059482 | -.001941 | -.003294 | .000002  | .000002  |
| 55    | .133187 | -.002718 | -.002401 | .000003  | .000013  |
| 56    | .193690 | -.003063 | -.001306 | .000004  | .000048  |
| 57    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 58    | .060074 | -.002192 | -.003077 | .000000  | .000000  |
| 59    | .133856 | -.003003 | -.002370 | .000000  | .000000  |
| 60    | .194547 | -.003322 | -.001571 | .000000  | .000000  |
| 61    | .000000 | .000000  | .000000  | .000000  | .000000  |
| 62    | .059482 | -.001941 | -.003294 | -.000002 | -.000002 |
| 63    | .133187 | -.002718 | -.002401 | -.000003 | -.000013 |
| 64    | .193690 | -.003063 | -.001306 | -.000004 | -.000048 |



MODELOS  
DEFORMED  
SHAPE  
LOAD 5

MINIMA  
X .0000E+00  
Y .0000E+00  
Z -.2717E-01  
MAXIMA  
X .0000E+00  
Y .2013E+00  
Z .2713E-01

SAP90

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)    | F(Y)     | F(Z)     | M(X)     | M(Y)    |
|-------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 1     | .1989   | -.7522   | 5.4137   | 10.2388  | 1.2434  |
| 2     | 1.9421  | 6.9400   | .0000    | .0000    | .0000   |
| 3     | 2.8949  | 13.9000  | .0000    | .0000    | .0000   |
| 4     | 4.2640  | 20.8300  | .0000    | .0000    | .0000   |
| 5     | .0000   | -.6852   | 13.8200  | 9.6234   | .0000   |
| 6     | .0000   | .1200    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 7     | .0000   | .2000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 8     | .0000   | .3400    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 9     | -.1989  | -.7522   | 5.4137   | 10.2388  | -1.2434 |
| 10    | -1.9421 | 6.9400   | .0000    | .0000    | .0000   |
| 11    | -2.8949 | 13.9000  | .0000    | .0000    | .0000   |
| 12    | -4.2640 | 20.8300  | .0000    | .0000    | .0000   |
| 13    | .4397   | -1.7257  | -13.4688 | 16.0902  | 2.7482  |
| 14    | .4466   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 15    | -.0545  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 16    | -1.7526 | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 17    | .0000   | -.9282   | 38.9696  | 11.1700  | .0000   |
| 18    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 19    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 20    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 21    | -.4397  | -1.7257  | -13.4688 | 16.0902  | -2.7482 |
| 22    | -.4466  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 23    | .0545   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 24    | 1.7526  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 25    | .0000   | -15.4684 | -24.9395 | -7.1414  | .0000   |
| 26    | .1586   | .0000    | .0000    | -.5195   | .0000   |
| 27    | .2810   | .0000    | .0000    | -15.9460 | .0000   |
| 28    | .2919   | .0000    | .0000    | 5.8380   | .0000   |
| 29    | .0000   | -15.4684 | -24.9395 | -7.1414  | .0000   |
| 30    | -.1586  | .0000    | .0000    | -.5195   | .0000   |
| 31    | -.2810  | .0000    | .0000    | -15.9460 | .0000   |
| 32    | -.2919  | .0000    | .0000    | 5.8380   | .0000   |
| 33    | .0000   | -19.6482 | 40.2130  | -42.1750 | .0000   |
| 34    | -.1068  | .0000    | .0000    | 13.5964  | .0000   |
| 35    | -.2626  | .0000    | .0000    | 8.9757   | .0000   |
| 36    | -.3454  | .0000    | .0000    | 13.3464  | .0000   |
| 37    | .0000   | -19.6482 | 40.2130  | -42.1750 | .0000   |
| 38    | .1068   | .0000    | .0000    | 13.5964  | .0000   |
| 39    | .2626   | .0000    | .0000    | 8.9757   | .0000   |
| 40    | .3454   | .0000    | .0000    | 13.3464  | .0000   |
| 41    | .3706   | -1.4824  | 36.5539  | 14.5432  | 2.3162  |
| 42    | .6276   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 43    | .4798   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 44    | -.2172  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 45    | .0000   | -1.2685  | 38.4284  | 13.2885  | .0000   |
| 46    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 47    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 48    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 49    | -.3706  | -1.4824  | 36.5539  | 14.5432  | -2.3162 |
| 50    | -.6276  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |
| 51    | -.4798  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000   |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 PROGRAM: SAP90/FILE:  
 MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)       | F(Y)      | F(Z)      | M(X)      | M(Y)      |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 52    | .2172      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 53    | .1998      | -.9346    | 11.7021   | 11.1498   | 1.2490    |
| 54    | .6565      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 55    | .6184      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 56    | .2890      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 57    | .0000      | -1.0952   | 20.8458   | 12.1995   | .0000     |
| 58    | .0000      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 59    | .0000      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 60    | .0000      | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 61    | -.1998     | -.9346    | 11.7021   | 11.1498   | -1.2490   |
| 62    | -.6565     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 63    | -.6184     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 64    | -.2890     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| TOTAL | -.2151E-12 | .1118E-11 | .2230E+03 | .1023E+03 | .1843E-13 |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED

PROGRAM: SAP90/FILE:

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)    | F(Y)     | F(Z)     | M(X)     | M(Y)   |
|-------|---------|----------|----------|----------|--------|
| 1     | -.0008  | -1.7466  | -6.3670  | 22.0342  | -.0051 |
| 2     | 3.5673  | 13.8700  | .0000    | .0000    | .0000  |
| 3     | 5.7321  | 27.7900  | .0000    | .0000    | .0000  |
| 4     | 9.7183  | 41.6600  | .0000    | .0000    | .0000  |
| 5     | .0000   | -1.7846  | -7.0369  | 21.8669  | .0000  |
| 6     | .0000   | .2600    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 7     | .0000   | .4200    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 8     | .0000   | .6800    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 9     | .0008   | -1.7466  | -6.3670  | 22.0342  | .0051  |
| 10    | -3.5673 | 13.8700  | .0000    | .0000    | .0000  |
| 11    | -5.7321 | 27.7900  | .0000    | .0000    | .0000  |
| 12    | -9.7183 | 41.6600  | .0000    | .0000    | .0000  |
| 13    | .0692   | -3.2241  | -50.1293 | 30.8011  | .4328  |
| 14    | -.0439  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 15    | -.4312  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 16    | -1.2520 | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 17    | .0000   | -2.2022  | .5409    | 24.5136  | .0000  |
| 18    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 19    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 20    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 21    | -.0692  | -3.2241  | -50.1293 | 30.8011  | -.4328 |
| 22    | .0439   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 23    | .4312   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 24    | 1.2520  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 25    | .0000   | -34.8054 | -64.9617 | -49.9234 | .0000  |
| 26    | .2600   | .0000    | .0000    | 11.2720  | .0000  |
| 27    | .5159   | .0000    | .0000    | -10.1541 | .0000  |
| 28    | .5633   | .0000    | .0000    | 26.2579  | .0000  |
| 29    | .0000   | -34.8054 | -64.9617 | -49.9234 | .0000  |
| 30    | -.2600  | .0000    | .0000    | 11.2720  | .0000  |
| 31    | -.5159  | .0000    | .0000    | -10.1541 | .0000  |
| 32    | -.5633  | .0000    | .0000    | 26.2579  | .0000  |
| 33    | .0000   | -35.4277 | 65.3431  | -48.7093 | .0000  |
| 34    | -.2710  | .0000    | .0000    | 14.8819  | .0000  |
| 35    | -.5714  | .0000    | .0000    | -3.7865  | .0000  |
| 36    | -.7113  | .0000    | .0000    | 12.1108  | .0000  |
| 37    | .0000   | -35.4277 | 65.3431  | -48.7093 | .0000  |
| 38    | .2710   | .0000    | .0000    | 14.8819  | .0000  |
| 39    | .5714   | .0000    | .0000    | -3.7865  | .0000  |
| 40    | .7113   | .0000    | .0000    | 12.1108  | .0000  |
| 41    | -.0690  | -3.1921  | 49.9163  | 30.4656  | -.4312 |
| 42    | .3158   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 43    | .6359   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 44    | 1.8189  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 45    | .0000   | -2.1913  | -.5414   | 24.4042  | .0000  |
| 46    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 47    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 48    | .0000   | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 49    | .0690   | -3.1921  | 49.9163  | 30.4656  | .4312  |
| 50    | -.3158  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |
| 51    | -.6359  | .0000    | .0000    | .0000    | .0000  |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL. PROGRAM: SAP90/FILE:

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 2 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)       | F(Y)      | F(Z)       | M(X)      | M(Y)      |
|-------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 52    | -1.8189    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 53    | .0010      | -1.6269   | 6.2099     | 20.7424   | .0061     |
| 54    | 1.0007     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 55    | 1.1834     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 56    | 1.7683     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 57    | .0000      | -1.7762   | 7.0147     | 21.7806   | .0000     |
| 58    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 59    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 60    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 61    | -.0010     | -1.6269   | 6.2099     | 20.7424   | -.0061    |
| 62    | -1.0007    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 63    | -1.1834    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 64    | -1.7683    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| TOTAL | -.3859E-12 | .2434E-11 | -.4974E-13 | .2046E+03 | .4167E-14 |

## MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

## LOAD CONDITION 3 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)      | F(Y)      | F(Z)      | M(X)      | M(Y)      |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1     | -0.012    | -2.6200   | -9.5508   | 33.0529   | -0.0077   |
| 2     | 5.3529    | 20.8100   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 3     | 8.5992    | 41.6900   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 4     | 14.5775   | 62.4900   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 5     | .0000     | -2.6769   | -10.5557  | 32.8008   | .0000     |
| 6     | .0000     | .3800     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 7     | .0000     | .6300     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 8     | .0000     | 1.0200    | .0000     | .0000     | .0000     |
| 9     | .0012     | -2.6200   | -9.5508   | 33.0529   | .0077     |
| 10    | -5.3529   | 20.8100   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 11    | -8.5992   | 41.6900   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 12    | -14.5775  | 62.4900   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 13    | .1039     | -4.8363   | -75.1964  | 46.2035   | .6492     |
| 14    | -.0674    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 15    | -.6470    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 16    | -1.8780   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 17    | .0000     | -3.3033   | .8114     | 36.7715   | .0000     |
| 18    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 19    | .0000E+00 | .1967E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 20    | .0000E+00 | .1421E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 21    | -.1039    | -4.8363   | -75.1964  | 46.2035   | -.6492    |
| 22    | .0674     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 23    | .6470     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 24    | 1.8780    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 25    | .0000     | -52.2102  | -97.4463  | -74.8881  | .0000     |
| 26    | .3899     | .0000     | .0000     | 16.9082   | .0000     |
| 27    | .7739     | .0000     | .0000     | -15.2314  | .0000     |
| 28    | .8450     | .0000     | .0000     | 39.3882   | .0000     |
| 29    | .0000     | -52.2102  | -97.4463  | -74.8881  | .0000     |
| 30    | -.3899    | .0000     | .0000     | 16.9082   | .0000     |
| 31    | -.7739    | .0000     | .0000     | -15.2314  | .0000     |
| 32    | -.8450    | .0000     | .0000     | 39.3882   | .0000     |
| 33    | .0000     | -53.1437  | 98.0185   | -73.0665  | .0000     |
| 34    | -.4065    | .0000     | .0000     | 22.3238   | .0000     |
| 35    | -.8572    | .0000     | .0000     | -5.6805   | .0000     |
| 36    | -1.0670   | .0000     | .0000     | 18.1671   | .0000     |
| 37    | .0000     | -53.1437  | 98.0185   | -73.0665  | .0000     |
| 38    | .4065     | .0000     | .0000     | 22.3238   | .0000     |
| 39    | .8572     | .0000     | .0000     | -5.6805   | .0000     |
| 40    | 1.0670    | .0000     | .0000     | 18.1671   | .0000     |
| 41    | -.1035    | -4.7884   | 74.8767   | 45.7002   | -.6468    |
| 42    | .4733     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 43    | .9540     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 44    | 2.7283    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 45    | .0000     | -3.2870   | -.8121    | 36.6075   | .0000     |
| 46    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 47    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 48    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 49    | -.1035    | -4.7884   | 74.8767   | 45.7002   | .6468     |
| 50    | -.4733    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 51    | -.9540    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED

PROGRAM: SAP90/FILE:

MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 3 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)       | F(Y)      | F(Z)       | M(X)      | M(Y)      |
|-------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 52    | -2.7283    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 53    | .0015      | -2.4405   | 9.3152     | 31.1147   | .0091     |
| 54    | 1.5009     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 55    | 1.7753     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 56    | 2.6525     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 57    | .0000      | -2.6644   | 10.5224    | 32.6720   | .0000     |
| 58    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 59    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 60    | .0000E+00  | .0000E+00 | .0000E+00  | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 61    | -.0015     | -2.4405   | 9.3152     | 31.1147   | -.0091    |
| 62    | -1.5009    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 63    | -1.7753    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 64    | -2.6525    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| TOTAL | -.6151E-12 | .2930E-11 | -.7150E-13 | .3068E+03 | .1769E-13 |

## MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL.

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

## LOAD CONDITION 4 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)      | F(Y)      | F(Z)      | M(X)      | M(Y)      |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1     | -.0029    | -6.1132   | -22.2844  | 77.1210   | -.0179    |
| 2     | 12.4907   | 48.5580   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 3     | 20.0634   | 97.2680   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 4     | 34.0134   | 145.8080  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 5     | .0000     | -6.2459   | -24.6293  | 76.5321   | .0000     |
| 6     | .0000     | .8840     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 7     | .0000     | 1.4640    | .0000     | .0000     | .0000     |
| 8     | .0000     | 2.3840    | .0000     | .0000     | .0000     |
| 9     | .0029     | -6.1132   | -22.2844  | 77.1210   | .0179     |
| 10    | -12.4907  | 48.5580   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 11    | -20.0634  | 97.2680   | .0000     | .0000     | .0000     |
| 12    | -34.0134  | 145.8080  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 13    | .7424     | -11.2543  | -175.4526 | 107.8040  | 1.5148    |
| 14    | -.1577    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 15    | -1.5100   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 16    | -4.3815   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 17    | .0000     | -7.7075   | 1.8932    | 85.7969   | .0000     |
| 18    | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 19    | .0000E+00 | .2855E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 20    | .1147E-11 | .2878E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 21    | -.2424    | -11.2843  | -175.4526 | 107.8040  | -1.5148   |
| 22    | .1577     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 23    | 1.5100    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 24    | 4.3815    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 25    | .0000     | -121.8189 | -227.3658 | -174.7326 | .0000     |
| 26    | .9098     | .0000     | .0000     | 39.4518   | .0000     |
| 27    | 1.8056    | .0000     | .0000     | -35.5385  | .0000     |
| 28    | 1.9717    | .0000     | .0000     | 91.9024   | .0000     |
| 29    | .0000     | -121.8189 | -227.3658 | -174.7326 | .0000     |
| 30    | -.9098    | .0000     | .0000     | 39.4518   | .0000     |
| 31    | -1.8056   | .0000     | .0000     | -35.5385  | .0000     |
| 32    | -1.9717   | .0000     | .0000     | 91.9024   | .0000     |
| 33    | .0000     | -123.9972 | 228.7010  | -170.4818 | .0000     |
| 34    | -.9486    | .0000     | .0000     | 52.0867   | .0000     |
| 35    | -2.0000   | .0000     | .0000     | -13.2536  | .0000     |
| 36    | -2.4896   | .0000     | .0000     | 42.3880   | .0000     |
| 37    | .0000     | -123.9972 | 228.7010  | -170.4818 | .0000     |
| 38    | .9486     | .0000     | .0000     | 52.0867   | .0000     |
| 39    | 2.0000    | .0000     | .0000     | -13.2536  | .0000     |
| 40    | 2.4896    | .0000     | .0000     | 42.3880   | .0000     |
| 41    | -.2414    | -11.1725  | 174.7068  | 106.6294  | -1.5090   |
| 42    | 1.1043    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 43    | 2.2254    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 44    | 6.3662    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 45    | .0000     | -7.6694   | -1.8948   | 85.4142   | .0000     |
| 46    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 47    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 48    | .1062E-11 | .2237E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 49    | .2414     | -11.1725  | 174.7068  | 106.6294  | 1.5090    |
| 50    | -1.1043   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 51    | -2.2254   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 MODELO DE MICROCONCRETO, TESIS PROFESIONAL. PROGRAM: SAP90/FILE:

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 4 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)       | F(Y)      | F(Z)       | M(X)      | M(Y)      |
|-------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| 52    | -6.3662    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 53    | .0034      | -5.6943   | 21.7348    | 72.5982   | .0212     |
| 54    | 3.5019     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 55    | 4.1418     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 56    | 6.1892     | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 57    | .0000      | -6.2167   | 24.5515    | 76.2318   | .0000     |
| 58    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 59    | .0000E+00  | .2116E-11 | .0000E+00  | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 60    | .0000      | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 61    | -.0034     | -5.6943   | 21.7348    | 72.5982   | -.0212    |
| 62    | -3.5019    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 63    | -4.1418    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| 64    | -6.1892    | .0000     | .0000      | .0000     | .0000     |
| TOTAL | -.1680E-11 | .8849E-11 | -.2309E-13 | .7159E+03 | .2908E-13 |

MODELO DE MICROCONCRETO, TESIS PROFESIONAL.

## REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 5 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)      | F(Y)      | F(Z)      | M(X)      | M(Y)      |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1     | -.0061    | -13.0997  | -47.7524  | 165.2593  | -.0384    |
| 2     | 26.7654   | 104.0520  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 3     | 42.9932   | 208.4320  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 4     | 72.8856   | 312.4450  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 5     | .0000     | -13.3840  | -52.7771  | 163.9976  | .0000     |
| 6     | .0000     | 1.8960    | .0000     | .0000     | .0000     |
| 7     | .0000     | 3.1360    | .0000     | .0000     | .0000     |
| 8     | .0000     | 5.1100    | .0000     | .0000     | .0000     |
| 9     | .0061     | -13.0997  | -47.7524  | 165.2593  | .0384     |
| 10    | -26.7654  | 104.0520  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 11    | -42.9932  | 208.4320  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 12    | -72.8856  | 312.4450  | .0000     | .0000     | .0000     |
| 13    | .5194     | -24.1805  | -375.9698 | 231.0086  | 3.2460    |
| 14    | -.3376    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 15    | -3.2359   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 16    | -9.3888   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 17    | .0000     | -16.5160  | 4.0569    | 183.8505  | .0000     |
| 18    | .0000E+00 | .1368E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 19    | .0000E+00 | .9351E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 20    | .1158E-11 | .9685E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 21    | -.5194    | -24.1805  | -375.9698 | 231.0086  | -3.2460   |
| 22    | .3376     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 23    | 3.2359    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 24    | 9.3888    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 25    | .0000     | -261.0405 | -487.2124 | -374.4270 | .0000     |
| 26    | 1.9497    | .0000     | .0000     | 84.5394   | .0000     |
| 27    | 3.8691    | .0000     | .0000     | -76.1540  | .0000     |
| 28    | 4.2252    | .0000     | .0000     | 196.9337  | .0000     |
| 29    | .0000     | -261.0405 | -487.2124 | -374.4270 | .0000     |
| 30    | -1.9497   | .0000     | .0000     | 84.5394   | .0000     |
| 31    | -3.8691   | .0000     | .0000     | -76.1540  | .0000     |
| 32    | -4.2252   | .0000     | .0000     | 196.9337  | .0000     |
| 33    | .0000     | -265.7082 | 490.0735  | -365.3182 | .0000     |
| 34    | -2.0326   | .0000     | .0000     | 111.6144  | .0000     |
| 35    | -4.2857   | .0000     | .0000     | -28.4006  | .0000     |
| 36    | -5.3348   | .0000     | .0000     | 90.8315   | .0000     |
| 37    | .0000     | -265.7082 | 490.0735  | -365.3182 | .0000     |
| 38    | 2.0326    | .0000     | .0000     | 111.6144  | .0000     |
| 39    | 4.2857    | .0000     | .0000     | -28.4006  | .0000     |
| 40    | 5.3348    | .0000     | .0000     | 90.8315   | .0000     |
| 41    | -.5174    | -23.9410  | 374.3717  | 228.4917  | -3.2337   |
| 42    | 2.3665    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 43    | 4.7686    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 44    | 13.6420   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 45    | .0000     | -16.4345  | -4.0603   | 183.0305  | .0000     |
| 46    | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 47    | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 48    | .0000E+00 | .3006E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 |
| 49    | .5174     | -23.9410  | 374.3717  | 228.4917  | 3.2337    |
| 50    | -2.3665   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |
| 51    | -4.7686   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000     |

EDUCATIONAL VERSION OF SAP90 - COMMERCIAL USE PROHIBITED  
 MODELO DE MICROCONCRETO. TESIS PROFESIONAL. PROGRAM: SAP90/FILE:

REACTIONS AND APPLIED FORCES

LOAD CONDITION 5 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

| JOINT | F(X)       | F(Y)      | F(Z)      | M(X)      | M(Y)       |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 52    | -13.6420   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| 53    | .0073      | -12.2021  | 46.5745   | 155.5675  | .0455      |
| 54    | 7.5041     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| 55    | 8.8752     | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| 56    | 13.2626    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| 57    | .0000      | -13.3216  | 52.6103   | 163.3539  | .0000      |
| 58    | -.1128E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00  |
| 59    | -.1827E-11 | .1029E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00  |
| 60    | .0000E+00  | .6144E-11 | .0000E+00 | .0000E+00 | .0000E+00  |
| 61    | -.0073     | -12.2021  | 46.5745   | 155.5675  | -.0455     |
| 62    | -7.5041    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| 63    | -8.8752    | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| 64    | -13.2626   | .0000     | .0000     | .0000     | .0000      |
| TOTAL | -.2068E-11 | .1873E-10 | .6004E-12 | .1534E+04 | -.6171E-13 |

## CAPITULO 5

PRUEBA DEL MODELO

## 5.1 INSTRUMENTACION.

La instrumentación utilizada en esta prueba fué:

- a) Gatos hidráulicos de 10, 20 y 50 ton., con los cuales se fué aplicando la carga en cada uno de los entrepisos de la estructura .
- a) 3 manómetros, dos de 24 y 42 kg/cm<sup>2</sup> y uno de 600 lb/in<sup>2</sup>, los cuales fueron conectados a los gatos hidráulicos.
- a) Tres celdas de carga de 500, 1000 y 2000 lbs. respectivamente junto con un puente de Wheastone, una unidad de switcheo, una impresora y un block de conexiones.
- 4) Nueve micrómetros colocados en cada nodo de la parte lateral del modelo, con los cuales se midieron las deformaciones en cada uno de los entrepisos del modelo.

El procedimiento utilizado para la instrumentación del modelo se menciona a continuación:

Primeramente, el modelo se colocó en un marco formado por perfiles de acero que se encuentra en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería; se fijó por medio de unos pernos de 1" de diámetro con el

objeto de que no se deslizara ni se levantara la cimentación al momento de aplicarle las fuerzas laterales que simulan el sismo. Una vez fijado el modelo cerca de la orilla del marco se procedió a instalar los gatos con los cuales se aplicó la carga. Se instalaron las celdas de carga (que trabajaron a compresión) entre los gatos y los perfiles que reparten uniformemente la carga aplicada en todo el entrepiso; estas celdas se conectaron a un puente de Wheastone, por medio de una unidad de switcheo, ya que el puente solo puede tomar la lectura de una sola celda y con la unidad mencionada se pueden conectar las tres celdas, seleccionando por medio de interruptores la lectura de cualquiera de las celdas de carga. Por último, se colocaron los micrómetros en los marcos exteriores en el sentido de la carga para medir las deformaciones de cada entrepiso, mediante un marco en el que se apoyaron estos.

En las figuras 5.1 a 5.4 se observa claramente como fué instrumentado el modelo. Terminado todo el proceso de instrumentación se procedió a la prueba del modelo.

#### 5.1.1 CALIBRACION DE LA INSTRUMENTACION.

La calibración de los manómetros colocados en los gatos se realizó en el laboratorio utilizando la máquina universal para medir la carga aplicada a estos y las lecturas obtenidas fueron las siguientes:

a) Gato de 10 ton. con manómetro de 42 Kg/cm<sup>2</sup>

| Lectura manómetro<br>( kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga<br>( kg ) |
|---|-----------------|
| 0   | 0               |
| 2.5   | 0               |
| 5.0   | 30              |
| 7.5   | 60              |
| 10.0  | 90              |
| 12.5  | 130             |
| 15.0  | 160             |
| 17.5  | 200             |
| 20.0  | 235             |
| 22.5  | 270             |
| 25.0  | 310             |
| 27.5  | 345             |
| 30.0  | 375             |
| 32.5  | 405             |
| 35.0  | 445             |
| 37.5  | 475             |
| 40.0  | 515             |
| 42.0  | 545             |

a) Gato de 20 ton. con manómetro de 600 lb/in<sup>2</sup>

| Lectura manómetro<br>( lb/in <sup>2</sup> ) | Carga<br>( kg ) |
|---|-----------------|
| 0   | 0               |
| 25  | 10              |
| 50  | 90              |
| 75  | 165             |
| 100   | 230             |
| 125   | 305             |
| 150   | 370             |
| 175   | 440             |
| 200   | 510             |
| 225   | 580             |
| 250   | 660             |
| 275   | 725             |
| 300   | 800             |

a) Gato de 50 ton. con manómetro de 24 Kg/cm<sup>2</sup>

| Lectura manómetro<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Carga<br>(kg) |
|--|---------------|
| 0  | 0             |
| 1  | 30            |
| 2  | 75            |
| 3  | 115           |
| 4  | 150           |
| 5  | 190           |
| 6  | 220           |
| 7  | 270           |
| 8  | 310           |
| 9  | 350           |
| 10   | 390           |

Por lo que respecta a la calibración de las celdas de carga, estas se conectaron a un block de conexiones para varias celdas, del cual manda la señal de las celdas de carga a una unidad de switcheo y de ahí a lo que propiamente es el puente de Wheastone. Además se utilizaron una impresora y un selector de celdas, con el cual se selecciona la lectura de las celdas y se manda a imprimir.

Las lecturas obtenidas de la calibración son:

i) Celda Lebow de 500 lbs..

| P ( kg ) | Lecturas |
|----------|----------|
| 0        | 0        |
| 50       | 501      |
| 100      | 1085     |
| 150      | 1466     |
| 200      | 1957     |

z) Celda Lebow de 1000 lbs..

| P ( kg ) | Lecturas |
|----------|----------|
| 0        | 0        |
| 50       | 282      |
| 100      | 518      |
| 150      | 764      |
| 200      | 1019     |
| 250      | 1243     |
| 300      | 1505     |
| 350      | 1743     |
| 400      | 1977     |

a) Celda Lebow de 2000 lbs..

| P ( kg ) | Lecturas |
|----------|----------|
| 0        | 0        |
| 50       | 83       |
| 100      | 165      |
| 150      | 236      |
| 200      | 310      |
| 250      | 388      |
| 300      | 454      |
| 350      | 524      |
| 400      | 594      |
| 450      | 668      |
| 500      | 738      |
| 550      | 796      |
| 600      | 854      |
| 650      | 928      |
| 700      | 1001     |
| 750      | 1062     |
| 800      | 1135     |
| 850      | 1203     |

La gráfica de la calibración de las celdas se muestran en la figura 5.5 . Como puede observarse, tienen un comportamiento lineal, con lo que se simplifica el trabajo para transformar las lecturas del puente durante la prueba del modelo, ya que únicamente se tendrán que multiplicar dichas lecturas por las siguientes constantes:

para la celda de 500 lbs. la constante es,  $200/1977=0.102$ ;  
para la celda de 1000 lbs. es,  $400/1977=0.2023$  y por  
último, para la celda de 2000 lbs. es,  $800/1135=0.7048$  .

## 4.2 PRUEBA DEL MODELO

Una vez que se tuvo el modelo completamente instrumentado se procedió a cargarlo mediante los gatos hidráulicos. Para cada incremento o decremento de carga se fueron midiendo las deformaciones en cada marco y en cada entrepiso, además de que con el puente se fueron obteniendo los registros de cada uno de los incrementos de carga aplicados al modelo.

Los incrementos de carga para la prueba fueron de 14 kg para el primer nivel, 28 para el segundo y 42 para el tercero.

En la figura 5.6 se muestra el modelo una vez finalizada la prueba observándose la falla de los muros.

## CAPITULO 6

RESULTADOS

## 6.1 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DEL MODELO

Las cargas aplicadas al modelo así como las deformaciones en cada marco y entrepiso se muestran en las tablas 6.1 a 6.3, en las cuales se indican las lecturas del puente ya transformadas a fuerzas horizontales en kg., con su respectiva deformación en milímetros calculada de los micrómetros.

| NIVEL DE CARGA | 1ER NIVEL<br>(kg) | 2DO NIVEL<br>(kg) | 3ER NIVEL<br>(kg) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1              | 14                | 28                | 42                |
| 2              | 28                | 56                | 84                |
| 3              | 42                | 84                | 126               |
| 4              | 56                | 112               | 168               |
| 5              | 98                | 196               | 294               |
| 6              | 112               | 224               | 336               |
| 7              | 126               | 252               | 378               |
| 8              | 140               | 280               | 420               |
| 9              | 154               | 308               | 462               |
| 10             | 168               | 336               | 504               |
| 11             | 182               | 364               | 546               |
| 12             | 196               | 392               | 588               |
| 13             | 210               | 420               | 630               |

TABLA 6.1 NIVELES DE CARGA

| LECTURA | MICROMETROS    |     |      |                |     |     |                |     |     | NIVEL<br>DE<br>CARGA |
|---------|----------------|-----|------|----------------|-----|-----|----------------|-----|-----|----------------------|
|         | EJE 1<br>NIVEL |     |      | EJE 2<br>NIVEL |     |     | EJE 3<br>NIVEL |     |     |                      |
|         | 1              | 2   | 3    | 1              | 2   | 3   | 1              | 2   | 3   |                      |
| 1       | 000            | 000 | 000  | 000            | 000 | 000 | 000            | 000 | 000 | CERO                 |
| 2       | 003            | 010 | 016  | 002            | 004 | 013 | 002            | 008 | 012 | 1                    |
| 3       | 000            | 002 | 003  | 000            | 000 | 001 | 000            | 000 | 000 | CERO                 |
| 4       | 004            | 011 | 016  | 003            | 005 | 013 | 001            | 006 | 010 | 1                    |
| 5       | 008            | 021 | 031  | 006            | 014 | 028 | 005            | 017 | 026 | 2                    |
| 6       | 008            | 021 | 016  | 006            | 014 | 028 | 005            | 017 | 026 | 1                    |
| 7       | 001            | 005 | 007  | 000            | 000 | 005 | 000            | 001 | 003 | CERO                 |
| 8       | 005            | 014 | 021  | 003            | 006 | 017 | 002            | 009 | 014 | 1                    |
| 9       | 009            | 022 | 032  | 006            | 013 | 028 | 005            | 017 | 025 | 2                    |
| 10      | 001            | 006 | 008  | 001            | 004 | 005 | 000            | 001 | 003 | CERO                 |
| 11      | 005            | 014 | 020  | 002            | 005 | 015 | 001            | 008 | 012 | 1                    |
| 12      | 009            | 022 | 032  | 006            | 013 | 028 | 004            | 016 | 025 | 2                    |
| 13      | 014            | 035 | 050  | 012            | 027 | 047 | 010            | 030 | 045 | 3                    |
| 14      | 003            | 009 | 014  | 001            | 002 | 010 | 000            | 005 | 008 | CERO                 |
| 15      | 015            | 036 | 052  | 012            | 027 | 048 | 011            | 032 | 046 | 3                    |
| 16      | 013            | 030 | 042  | 011            | 024 | 038 | 009            | 024 | 035 | 2                    |
| 17      | 010            | 022 | 031  | 008            | 021 | 027 | 007            | 016 | 022 | 1                    |
| 18      | 004            | 010 | 015  | 003            | 007 | 012 | 007            | 006 | 009 | CERO                 |
| 19      | 007            | 018 | 026  | 005            | 010 | 021 | 007            | 012 | 018 | 1                    |
| 20      | 011            | 028 | 040  | 009            | 019 | 035 | 008            | 023 | 033 | 2                    |
| 21      | 015            | 036 | 052  | 013            | 028 | 048 | 011            | 032 | 045 | 3                    |
| 22      | 018            | 042 | 060  | 015            | 033 | 056 | 014            | 037 | 053 | 4                    |
| 23      | 009            | 020 | 026  | 006            | 008 | 020 | 007            | 010 | 013 | CERO                 |
| 24      | 036            | 072 | 096  | 028            | 059 | 085 | 022            | 056 | 072 | 3                    |
| 25      | 063            | 131 | 178  | 056            | 121 | 171 | 052            | 122 | 063 | 5                    |
| 26      | 070            | 149 | 203  | 063            | 138 | 195 | 059            | 138 | 087 | 6                    |
| 27      | 081            | 174 | 237  | 074            | 162 | 225 | 069            | 160 | 117 | 7                    |
| 28      | 094            | 201 | 273  | 086            | 188 | 260 | 080            | 185 | 149 | 8                    |
| 29      | 031            | 069 | 088  | 026            | 054 | 026 | 018            | 049 | 060 | CERO                 |
| 30      | 100            | 212 | 291  | 090            | 198 | 375 | 085            | 192 | 158 | 8                    |
| 31      | 032            | 071 | 091  | 029            | 058 | 080 | 022            | 054 | 068 | CERO                 |
| 32      | 102            | 220 | 351  | 094            | 206 | 387 | 087            | 202 | 172 | 8                    |
| 33      | 113            | 242 | 430  | 104            | 228 | 415 | 097            | 222 | 200 | 9                    |
| 34      | 127            | 273 | 472  | 118            | 258 | 355 | 110            | 254 | 240 | 10                   |
| 35      | 143            | 307 | 518  | 133            | 292 | 500 | 123            | 285 | 280 | 11                   |
| 36      | 157            | 335 | 558  | 144            | 315 | 533 | 131            | 305 | 308 | 12                   |
| 37      | 160            | 347 | 575  | 146            | 325 | 549 | 135            | 312 | 323 | 13                   |
| 38      | 177            | 383 | 526  | 160            | 360 | 595 | 150            | 345 | 368 | A*                   |
| 39      | 192            | 415 | 671  | 173            | 387 | 635 | 160            | 368 | 400 | B*                   |
| 40      | 207            | 449 | 722  | 186            | 417 | 682 | 172            | 395 | 440 | C*                   |
| 41      | 226            | 501 | 793  | 206            | 468 | 746 | 194            | 441 | 502 | D*                   |
| 42      | 256            | 571 | 897  | 230            | 528 | 835 | 214            | 492 | 580 | E*                   |
| 43      | 302            | 679 | 1052 | 270            | 629 | 978 | 254            | 585 | 708 | F*                   |

TABLA 6.2 DEFORMACIONES CORRESPONDIENTES A NIVELES DE CARGA EN CENTESIMAS DE MM.

Después del nivel de carga 13, las lecturas de las celdas de carga de los entrepisos 1 y 2 rebasaron la capacidad del rango de carga previamente establecido en el puente de Wheastone, por lo que se siguió incrementando la carga únicamente al tercer entrepiso, perdiéndose la relación de carga en cada entrepiso; sin embargo, se siguieron tomando lecturas, las cuales se mencionan a continuación:

| NIVEL DE CARGA | 1ER NIVEL<br>(kg) | 2DO NIVEL<br>(kg) | 3ER NIVEL<br>(kg) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A*             | 190               | 330               | 675               |
| B*             | 180               | 315               | 715               |
| C*             | 185               | 315               | 770               |
| D*             | 205               | 330               | 802               |
| E*             | 185               | 320               | 890               |
| F*             | 185               | 390               | 965               |

TABLA 6.3 NIVELES DE CARGA

La primer grieta apareció en el nivel de carga 6 que corresponde a las siguientes cargas:

F1 = 112 kg (primer entrepiso)

F2 = 224 kg (segundo entrepiso)

F3 = 336 kg (tercer entrepiso)

En las figuras 6.4 a 6.9 se muestran las gráficas carga-deformación para cada uno de los entrepisos en su fase inicial y final.

6.2 COMPARACION DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANALISIS ESTRUCTURAL CON LOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA Y CON LOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA ANTERIOR.

La comparación se realizó tomando un promedio de las deformaciones obtenidas en cada entrepiso, tanto en el análisis estructural, como en las dos pruebas realizadas y para cada uno de los niveles de carga seleccionados en el análisis estructural. Los resultados se observan en las siguientes tablas:

NIVEL DE CARGA 1

(deformaciones en mm)

| NIVEL | ANALISIS EST. | PRUEBA CON MURO | PRUEBA ANTERIOR |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 0.0399        | 0.0233          | 0.1630          |
| 2     | 0.0890        | 0.0733          | 0.3000          |
| 3     | 0.1292        | 0.1367          | 0.4100          |

NIVEL DE CARGA 2

(deformaciones en mm)

| NIVEL | ANALISIS EST. | PRUEBA CON MURO | PRUEBA ANTERIOR |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 0.0796        | 0.0633          | 0.3650          |
| 2     | 0.1779        | 0.1733          | 0.6300          |
| 3     | 0.2586        | 0.2833          | 0.8600          |

## NIVEL DE CARGA 3

(deformaciones en mm)

| NIVEL | ANALISIS EST. | PRUEBA CON MURO | PRUEBA ANTERIOR |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 0.1194        | 0.1200          | 0.5400          |
| 2     | 0.2668        | 0.3067          | 1.0240          |
| 3     | 0.3880        | 0.4733          | 1.3800          |

## NIVEL DE CARGA 4

(deformaciones en mm)

| NIVEL | ANALISIS EST. | PRUEBA CON MURO | PRUEBA ANTERIOR |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 0.2785        | 0.5900          | ---             |
| 2     | 0.6226        | 1.2467          | ---             |
| 3     | 0.9052        | 1.3933          | ---             |

## NIVEL DE CARGA 5

(deformaciones en mm)

| NIVEL | ANALISIS EST. | PRUEBA CON MURO | PRUEBA ANTERIOR |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|
| 1     | 0.5968        | 1.4700          | ---             |
| 2     | 1.3341        | 3.2800          | ---             |
| 3     | 1.9398        | 4.8233          | ---             |

Debido a que no se llegó a los niveles de carga 4 y 5 en la prueba anterior no se pudieron comparar los resultados por lo que en las tablas aparece en blanco.

Con estos resultados se puede comparar la distorsión del modelo contra lo que establece el Reglamento de construcciones.

El reglamento establece que cuando existen muros, la distorsión ( $\Delta/h$ ) debe ser igual o menor a 0.006, por lo tanto se tiene lo siguiente:

| NIVEL DE CARGA | DISTORSION POR ENTREPISO |          |          |
|----------------|--------------------------|----------|----------|
|                | 1                        | 2        | 3        |
| 1              | 0.000124                 | 0.000267 | 0.000338 |
| 2              | 0.000338                 | 0.000587 | 0.000587 |
| 3              | 0.000640                 | 0.000996 | 0.000888 |
| 4              | 0.003200                 | 0.003450 | 0.000782 |
| 5              | 0.007840                 | 0.009653 | 0.008338 |
| A*             | 0.008558                 | 0.010684 | 0.007129 |
| D*             | 0.011129                 | 0.013938 | 0.011218 |
| F*             | 0.014668                 | 0.033653 | 0.015022 |

Como puede observarse hasta el nivel de carga 4 no se rebasó la distorsión que permite el reglamento de construcciones, comprobándose nuevamente la reducción importante de desplazamientos utilizando este tipo de reestructuración.

Por último se calculó la capacidad máxima y máxima sostenida del muro con el procedimiento desarrollado en la ref. 6, el cual se basa en el criterio usual de sumar la contribución del concreto y del acero de refuerzo.

$$V = V_c + V_s$$

donde:  $V_c = (1.6 - 0.3*(M/V*t)^2) * f'c^{0.5}$  y,

$V_s = p * f_y$ ; siendo los datos:

$p=0.0025$ ,  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $t=18.75 \text{ cm}$ ,

$M = q_1 * (d/t - 1/2) * b * t^2 * f'c$ ; A muro =  $28.125 \text{ cm}^2$ ,

$d/t=0.975$ ,  $b=1.5 \text{ cm}$ ,  $q_1=0.13724$  (calculado anteriormente).

$M = 4625.27 \text{ kg/cm}$  y  $V = 490.955 \text{ kg}$ . (obtenido del análisis estructural para el nivel de carga  $F^*$ ).

Para la carga máxima sostenida se tiene:

$$V_c = (1.2 - 0.23*(M/V*t)^2) * f'c^{0.5}$$

Los resultados obtenidos son:

$$V_c = 21.556 \text{ kg/cm}^2 \text{ y } V_s = 10 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto, el esfuerzo máximo en el muro es:

$$V_{\text{máx}} = 31.556 \text{ kg/cm}^2$$

Multiplicando por el área del muro obtenemos la capacidad máxima del mismo, que es:

Carga máx. =  $887.5 \text{ kg.} * 2 \text{ muros} = 1775 \text{ kg.}$

Para la carga máxima sostenida:

$$V_c = 16.15 \text{ kg/cm}^2 \text{ y } V_s = 10 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_{\text{máx. sost.}} = 26.15 \text{ kg/cm}^2$$

Carga máx. sost. =  $735.5 \text{ kg.} * 2 \text{ muros} = 1471 \text{ kg.}$

Comparando estos resultados con los obtenidos en la prueba del modelo se tiene:

La carga máxima en la prueba fué de 1540 kg. comparado con los 1775 kg. calculados, se tiene una variación del 15.26 % . La carga máxima sostenida en la prueba del modelo fué de 1260 kg. contra 1471 kg. calculados, se obtiene una variación del 16.75 % .

Debido a las limitaciones que se tuvieron en la prueba no se pudo aplicar al modelo un nivel de carga mayor, ya que se rebasó la capacidad de las celdas de carga; sin embargo, se le siguió aplicando carga únicamente en el tercer entrepiso llegando hasta 2080 kg.

Considerando este nivel de carga en el análisis estructural se obtienen los siguientes resultados:

$V = 653.25$  kg. (obtenido del análisis estructural).

Cap. máx. = 1800 kg. contra 2080 kg. de la prueba, se tiene una variación del 15.55 % .

Cap. máx sost. = 1491 kg. contra 1260 kg. de la prueba, se tiene un 18.33 % de variación.

Finalmente se han podido comprobar tres aspectos importantes con los resultados del análisis estructural, los cuales son:

- 1.- Desplazamientos.
- 2.- Distorsión.
- 3.- Capacidad máxima.

## CAPITULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1 CONCLUSIONES.

- 1) De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba del modelo se concluye que el modelo tuvo un comportamiento dúctil, ya que la estructura tuvo mucha deformación sin llegar al colapso.
  
- 2) La reestructuración con muros perimetrales da como resultado un comportamiento bastante satisfactorio, ya que la estructura resiste mucha mayor carga y los muros absorben la mayor parte de la fuerza cortante inducida por el sismo, lo que lleva a concluir que es una buena solución la adición de muros en edificios afectados que tengan factibilidad de reparación.
  
- 3) Al adicionarle muros perimetrales al modelo se incrementó notablemente su rigidez y capacidad sismo-resistente y se pudieron corroborar los resultados obtenidos del análisis estructural en los primeros tres niveles de carga.

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

4) De la comparación entre las dos pruebas podemos concluir que la adición de muros perimetrales reduce importantemente las deformaciones en las estructuras.

5) De la comparación entre el análisis estructural y la prueba del modelo, se observa que se tiene una buena aproximación de los resultados obtenidos en los tres primeros niveles de carga, que es cuando el acero no está fluyendo; lo que no sucede para los últimos dos niveles de carga, en los cuales el acero ya está fluyendo y se tendría que realizar un análisis paso a paso, que no se realizó por no ser el objetivo del presente trabajo. Esto nos lleva a la conclusión de que es confiable utilizar el criterio de rigidez efectiva desarrollado en la ref.5., para el rango elástico lineal; es decir, para el rango en el cual no fluye el acero.

6) En lo que respecta a la distorsión se pudo corroborar que no se rebasa la distorsión permitida por el reglamento de construcciones para los niveles de carga en los cuales la estructura trabaja en el rango elástico lineal.

7) Por último, de los resultados obtenidos de la prueba con los del criterio desarrollado en la ref.6 en lo que respecta a capacidad máxima y máxima sostenida, se concluye

que se tiene bastante aproximación entre la teoría y la práctica.

## 7.2 RECOMENDACIONES.

Se recomienda realizar este tipo de estudios, ya que se ve la bondad de utilizar modelos a escala para estimar el comportamiento que puedan tener estructuras especiales cuando se presentan los sismos de gran magnitud.

Se recomienda fomentar las actividades de laboratorio, ya que su proyección en el campo de la construcción es muy amplia y nos lleva a tener una idea de como se comportan las estructuras y como pueden simplificarse los procedimientos constructivos, como es en este caso en que no se aumentaron el refuerzo en columnas y vigas existentes, sino que solamente se repararon localmente.

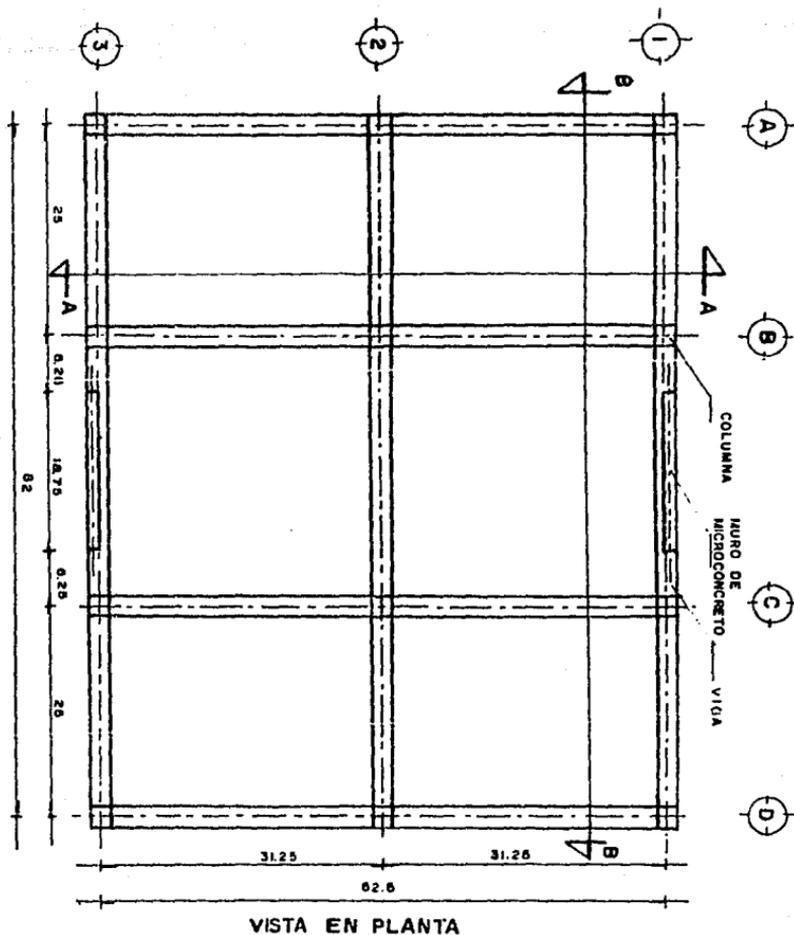
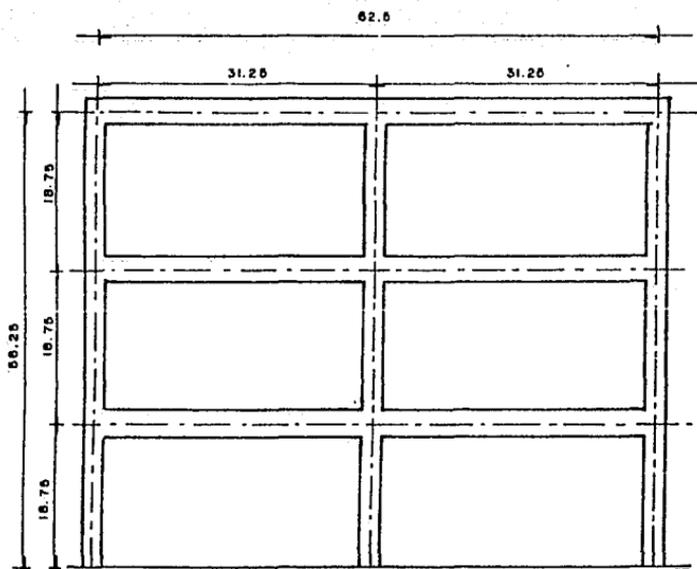


FIG. 3.1 DIMENSIONES EN PLANTA DEL MODELO



CORTE A-A

FIG. 3.2 DIMENSIONES EN ELEVACION EJES A, B, C, D.

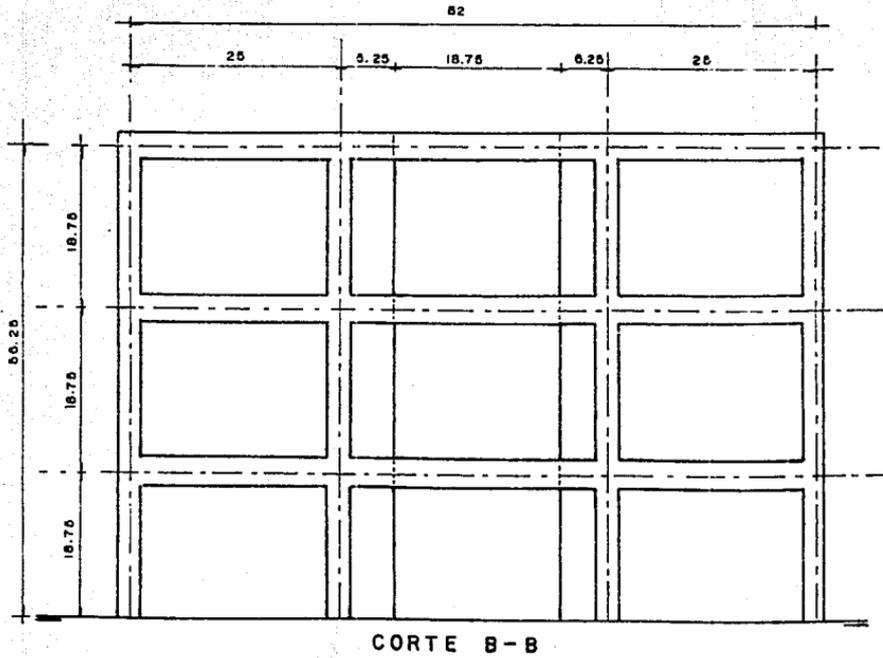
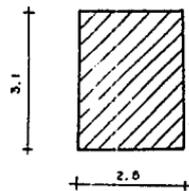
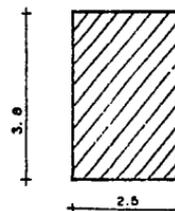


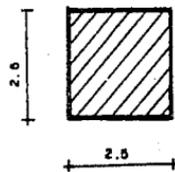
FIG. 3.3 DIMENSIONES EN ELEVACION EJES I Y J



TRABE TIPO PARA MARCOS  
1 Y 3



TRABE TIPO PARA MARCO  
2



COLUMNA TIPO

FIG. 3.4 DIMENSIONES DE VIGAS Y COLUMNAS

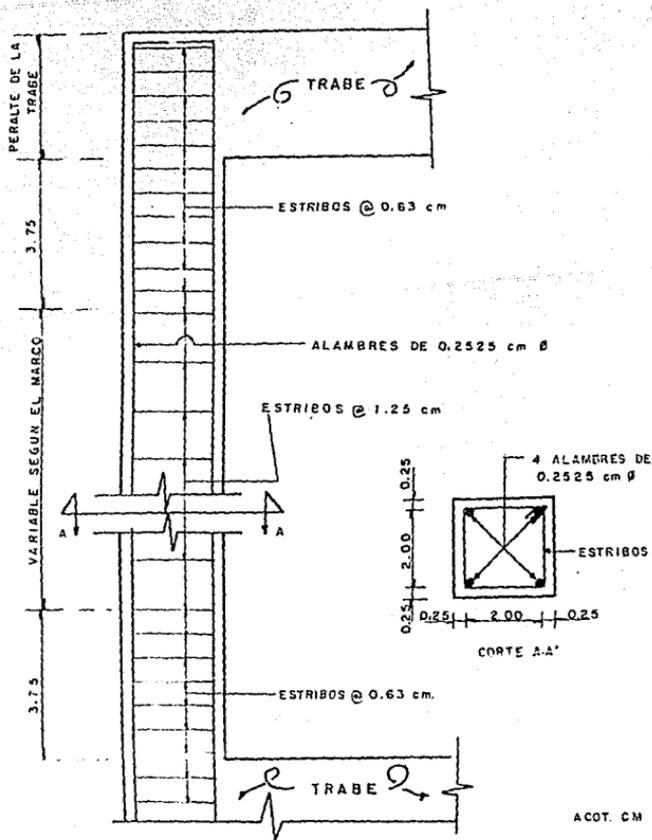


FIG 3.6 ARMADO TIPO DE COLUMNAS

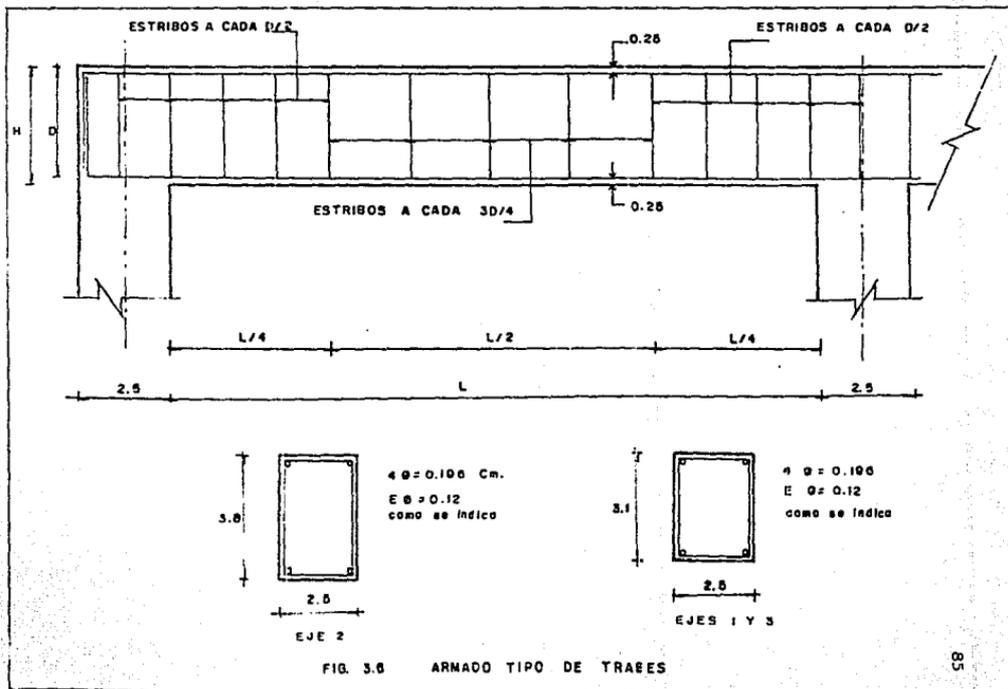




FIG. 3.7 DEMOLICION DE MICROCONCRETO EN LOS NODOS



FIG. 3.8 CIMBRA DE LOS NODOS

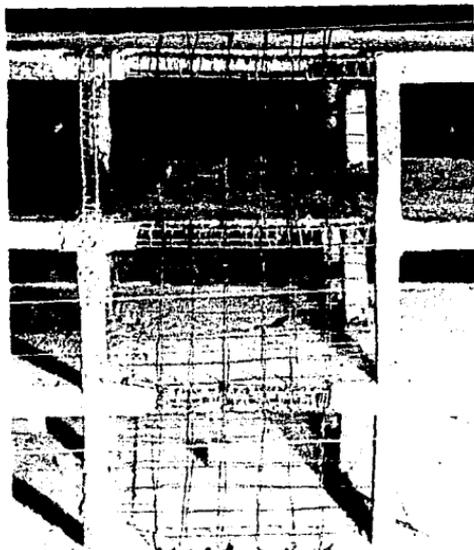


FIG. 3.9 ARMADO DE MUROS PERIMETRALES

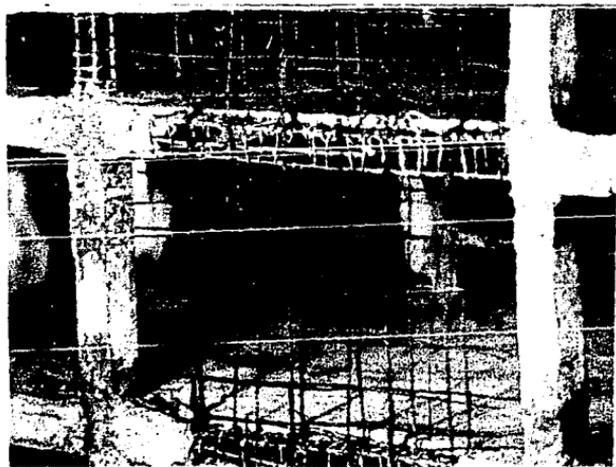


FIG. 3.10 DETALLE DE ARMADO EN MUROS

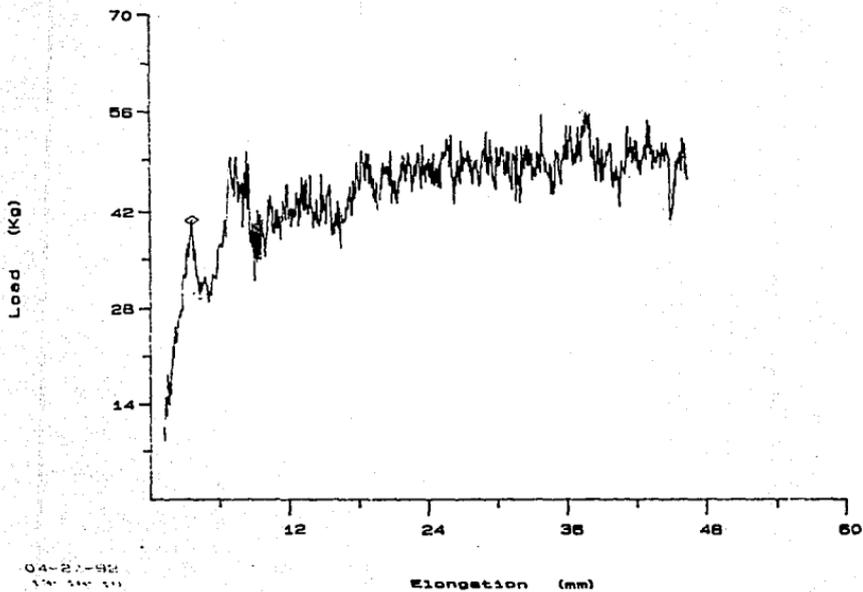
88

GRADO DEL ACERO

4200

Test ID

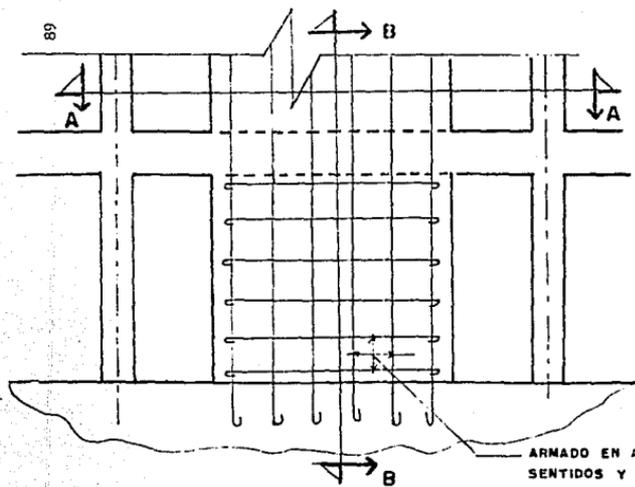
1000011



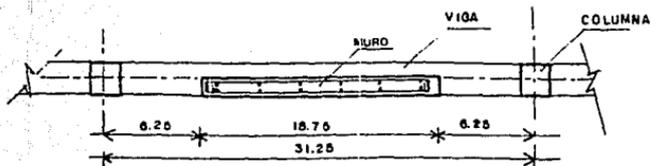
04-27-92  
1000011

Elongation (mm)

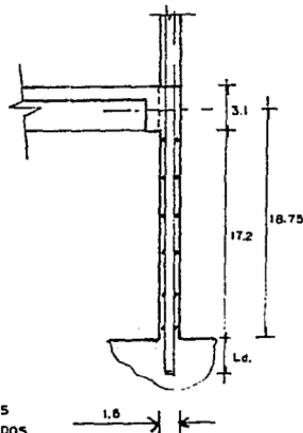
FIG. 3.11 GRAFICA CARGA-DEFORMACION DE ACERO  
UTILIZADO EN LOS MUROS



ARMADO EN AMBOS  
SENTIDOS Y EN DOS  
CARAS CON  $\phi=0.128$  Cm.  
A CADA 3.2 Cm.



CORTE A-A



CORTE B-B

FIG. 3.12 DIMENSIONES Y ARMADO DE LOS MUROS

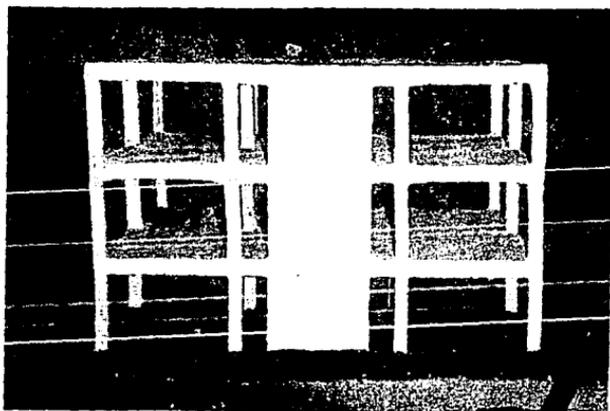


FIG. 3.13    MODELO    REPARADO

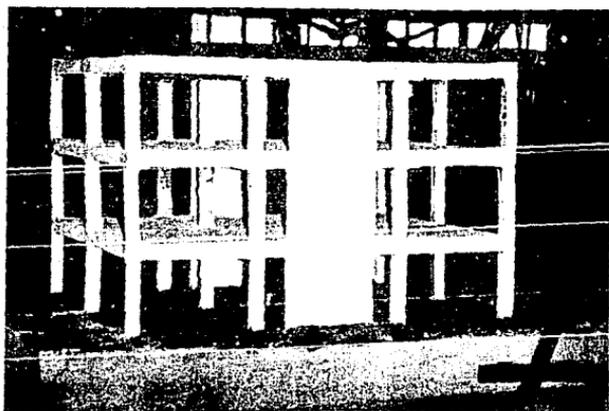


FIG. 3.14    DETALLE    FINAL    DEL    MODELO

Test ID 00000173

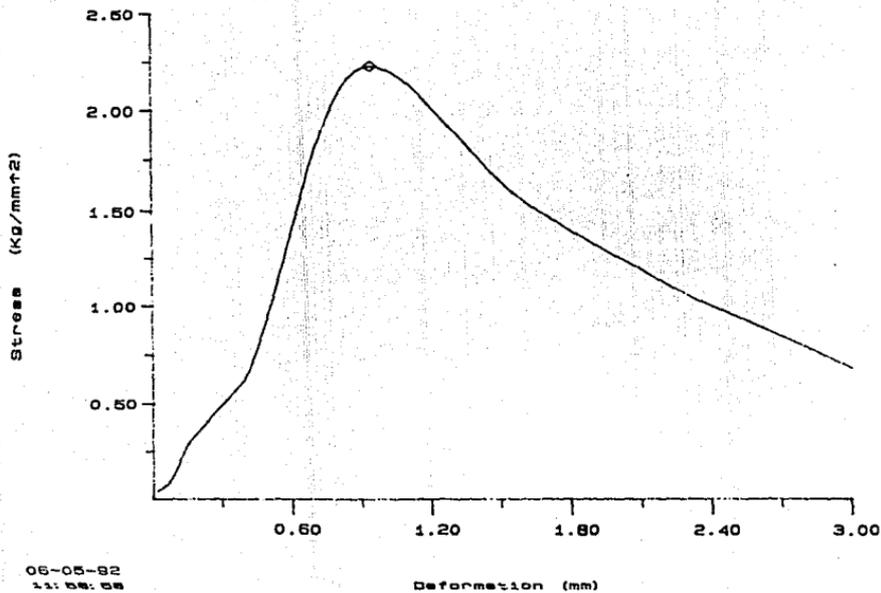
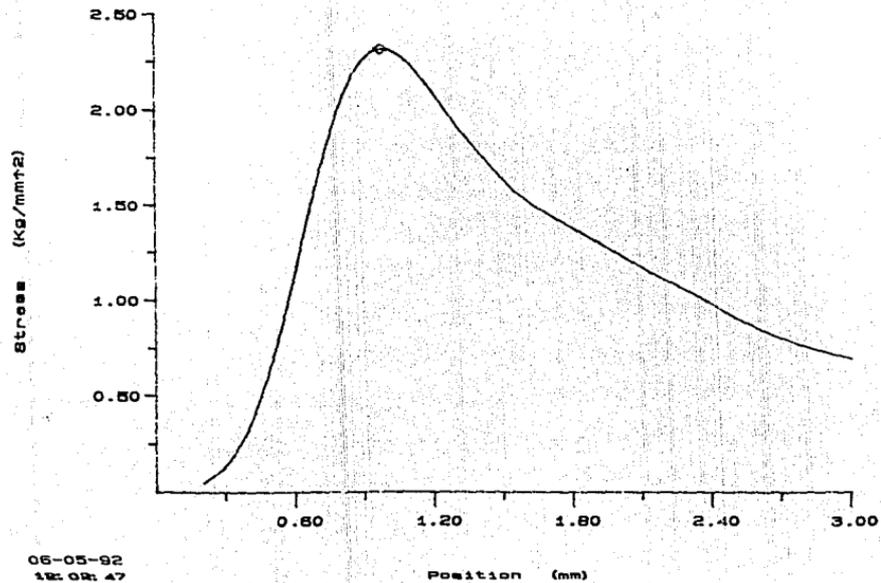
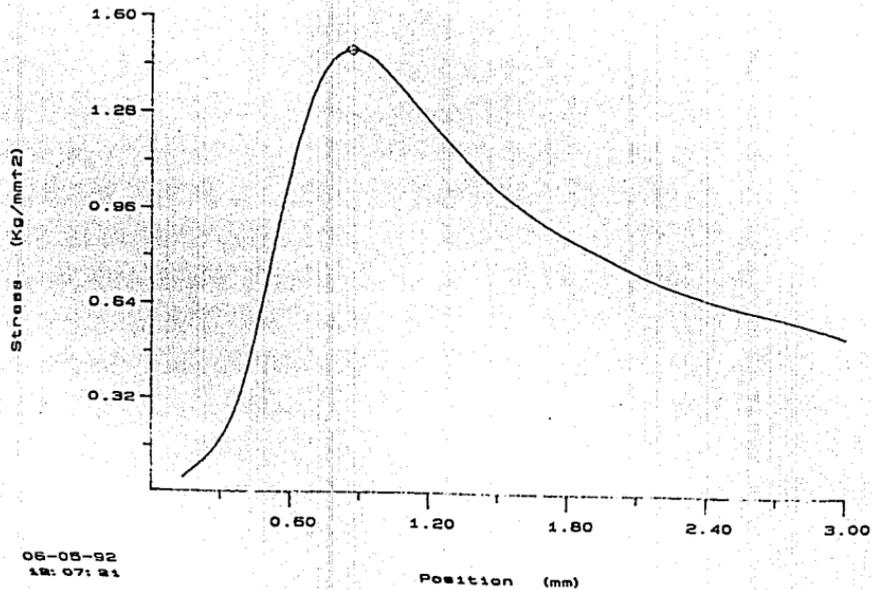
06-05-82  
11:58:58

FIG. 3.16 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION DE LA MUESTRA 1 DE MICROCONCRETO.

Test ID 00000174

06-05-92  
12:02:47FIG. 3.10 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACION DE LA  
MUESTRA 2 DE MICROCONCRETO.

Test ID 00000175

06-05-92  
12:07:21FIG. 3.17 GRAFICA ESFUERZO DEFORMACION DE LA  
MUESTRA 3 DE MICROCONCRETO

| No<br>carga | Primer piso |               | Segundo piso |               | Tercer piso |               |
|-------------|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------|---------------|
|             | P(kg)       | $\delta$ (mm) | P(kg)        | $\delta$ (mm) | P(kg)       | $\delta$ (mm) |
| 1           | 0.00        | 0.000         | 0.00         | 0.000         | 0.00        | 0.000         |
| 2           | 5.63        | 0.080         | 12.58        | 0.135         | 20.59       | 0.185         |
| 3           | 11.59       | 0.163         | 25.50        | 0.300         | 41.18       | 0.410         |
| 4           | 17.88       | 0.233         | 38.41        | 0.465         | 61.76       | 0.635         |
| 5           | 24.17       | 0.300         | 50.00        | 0.610         | 82.35       | 0.835         |
| 6           | 17.88       | 0.250         | 38.41        | 0.508         | 63.24       | 0.700         |
| 7           | 23.84       | 0.300         | 50.33        | 0.613         | 82.35       | 0.840         |
| 8           | 18.54       | 0.259         | 38.41        | 0.511         | 63.24       | 0.703         |
| 9           | 24.17       | 0.365         | 50.66        | 0.630         | 80.88       | 0.860         |
| 10          | 30.96       | 0.440         | 62.25        | 0.790         | 101.47      | 1.075         |
| 11          | 25.17       | 0.401         | 50.33        | 0.708         | 82.35       | 0.960         |
| 12          | 18.87       | 0.350         | 38.08        | 0.585         | 61.76       | 0.791         |
| 13          | 24.83       | 0.400         | 50.33        | 0.691         | 82.35       | 0.939         |
| 14          | 30.79       | 0.450         | 63.25        | 0.811         | 101.47      | 1.100         |
| 15          | 36.75       | 0.540         | 74.83        | 1.024         | 122.06      | 1.380         |
| 16          | 31.46       | 0.505         | 62.58        | 0.945         | 102.94      | 1.281         |
| 17          | 25.17       | 0.455         | 50.99        | 0.832         | 83.82       | 1.135         |
| 18          | 18.87       | 0.397         | 38.08        | 0.700         | 63.24       | 0.951         |
| 19          | 12.58       | 0.320         | 25.17        | 0.530         | 41.18       | 0.720         |
| 20          | 5.63        | 0.240         | 12.25        | 0.350         | 20.59       | 0.455         |
| 21          | 0.66        | 0.151         | 0.66         | 0.140         | 7.35        | 0.185         |

Tabla 4.1. Valores de carga contra deformación  
ENSAYE ORIGINAL

| H <sub>0</sub><br>carga | micrómetro 1<br>lectura | micrómetro 2<br>lectura | micrómetro 3<br>lectura | condición de<br>carga          |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 1                       | 1.000                   | 0.000                   | 0.000                   | sin carga                      |
| 2                       | 1.080                   | 0.185                   | 0.185                   | canastas +<br>(7,14,21)1g      |
| 3                       | 1.155                   | 0.200                   | 0.410                   | canastas +<br>(14,28,42)1g     |
| 4                       | 1.235                   | 0.465                   | 0.615                   | canastas +<br>(21,42,63)1g     |
| 5                       | 1.300                   | 0.610                   | 0.835                   | canastas +<br>(28,56,84)1g     |
| 6                       | 1.350                   | 0.508                   | 0.700                   | descarga, c.<br>+(21,42,63)1g  |
| 7                       | 1.300                   | 0.610                   | 0.840                   | canastas +<br>(28,56,84)1g     |
| 8                       | 1.255                   | 0.511                   | 0.705                   | descarga, c.<br>+(21,42,63)1g  |
| 9                       | 1.285                   | 0.510                   | 0.860                   | canastas +<br>(28,56,84)1g     |
| 10                      | 1.440                   | 0.790                   | 1.075                   | canastas +<br>(35,70,105)1g    |
| 11                      | 1.401                   | 0.708                   | 0.960                   | descarga, c.<br>+(28,56,84)1g  |
| 12                      | 1.350                   | 0.585                   | 0.791                   | descarga, c.<br>+(21,42,63)1g  |
| 13                      | 1.400                   | 0.691                   | 0.939                   | canastas +<br>(28,56,84)1g     |
| 14                      | 1.450                   | 0.611                   | 1.100                   | canastas +<br>(35,70,105)1g    |
| 15                      | 1.500                   | 1.024                   | 1.120                   | canastas +<br>(42,84,126)1g    |
| 16                      | 1.535                   | 0.945                   | 1.261                   | descarga, c.<br>+(35,70,105)1g |
| 17                      | 1.455                   | 0.832                   | 1.135                   | descarga, c.<br>+(28,56,84)1g  |
| 18                      | 1.397                   | 0.700                   | 0.951                   | descarga, c.<br>+(21,42,63)1g  |
| 19                      | 1.320                   | 0.510                   | 0.710                   | descarga, c.<br>+(14,28,42)1g  |
| 20                      | 1.240                   | 0.350                   | 0.455                   | descarga, c.<br>+(7,14,21)1g   |
| 21                      | 1.151                   | 0.140                   | 0.185                   | descarga total                 |

Tabla 4.2 Registros de lecturas de los micrómetros  
ENSAJE ORIGINAL

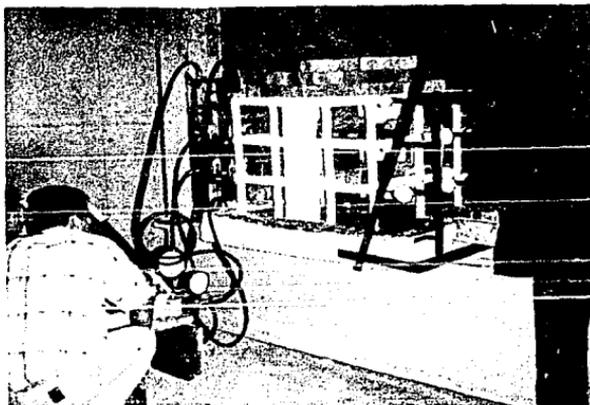


FIG. 5.1 MICROMETROS Y MANOMETROS



FIG. 5.2 GATOS HIDRAULICOS Y CELDAS DE CARGA

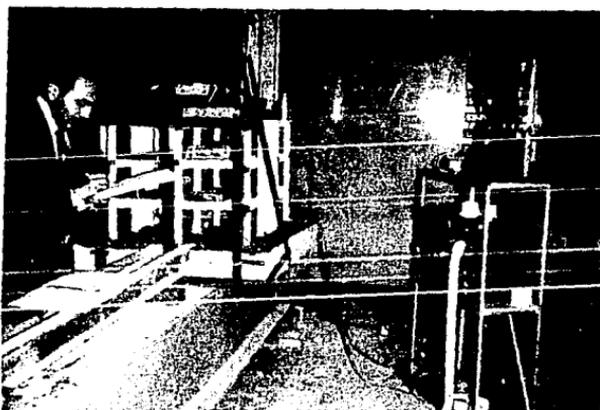


FIG. 6.3 PUNTE DE WHEASTONE, UNIDAD DE SWITCHEO,  
IMPRESORA Y BUSCADOR DE CANALES

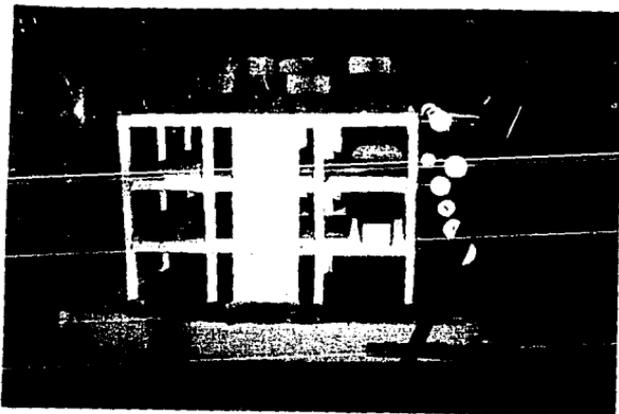


FIG. 6.4 PRUEBA EN PROCESO

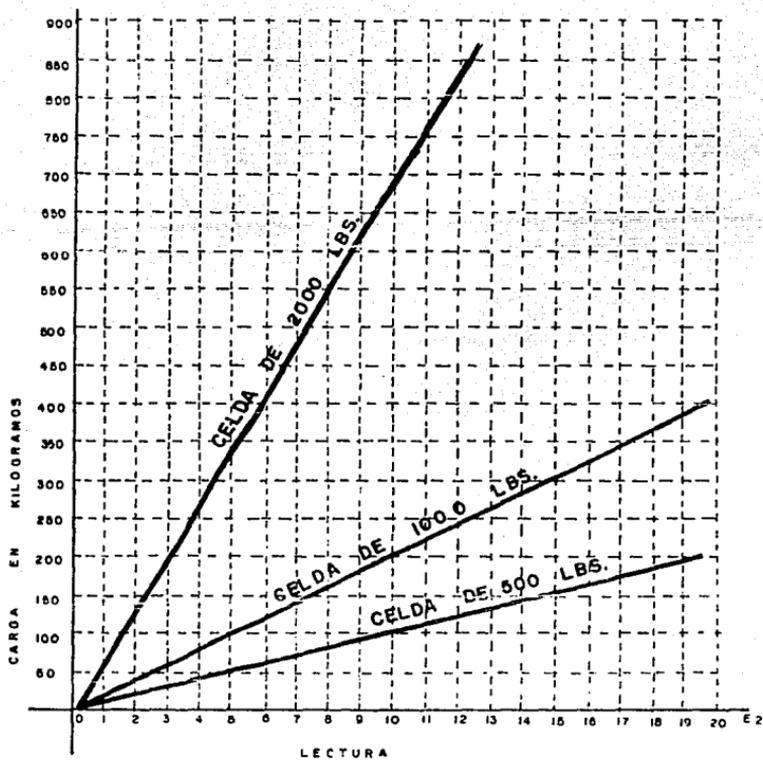


FIG. 5.6 CALIBRACION DE CELDAS DE CARGA.



FIG. 6.6 MODELO FINALIZADA LA PRUEBA

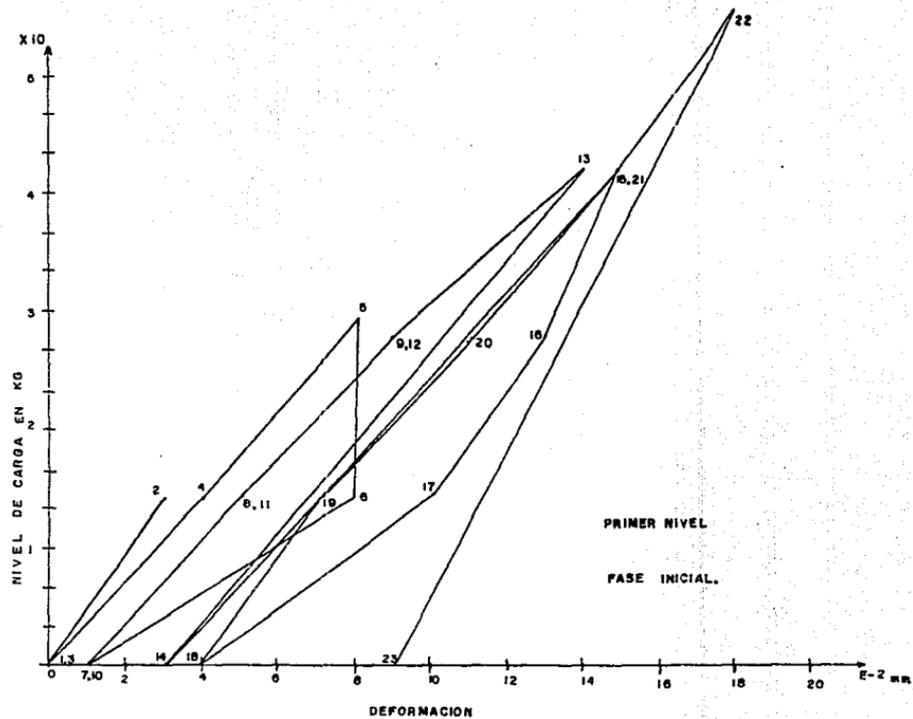


FIG. 6.4 GRAFICA CARGA - DEFORMACION

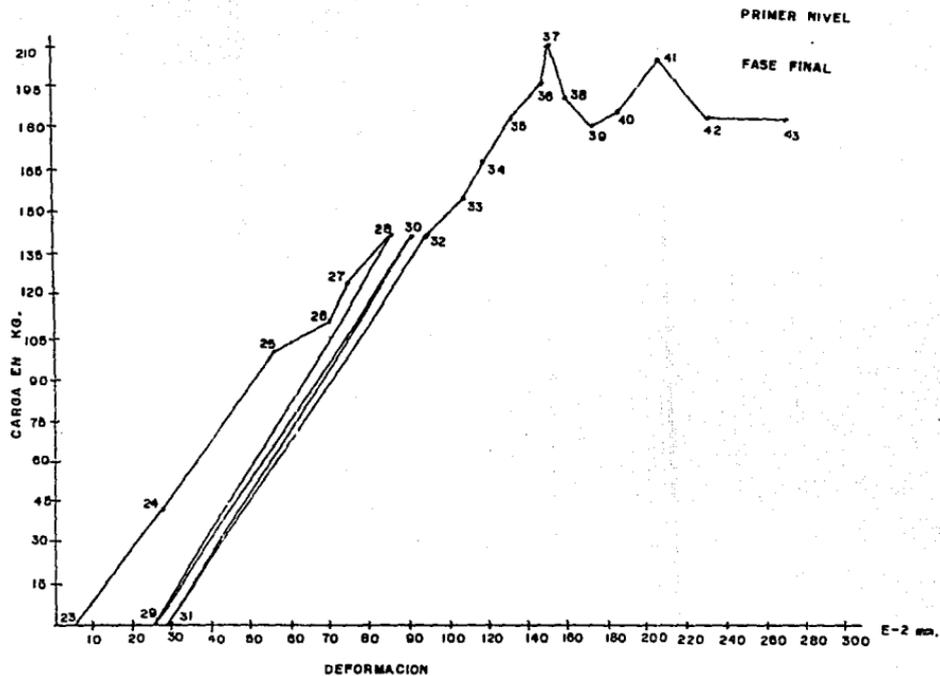
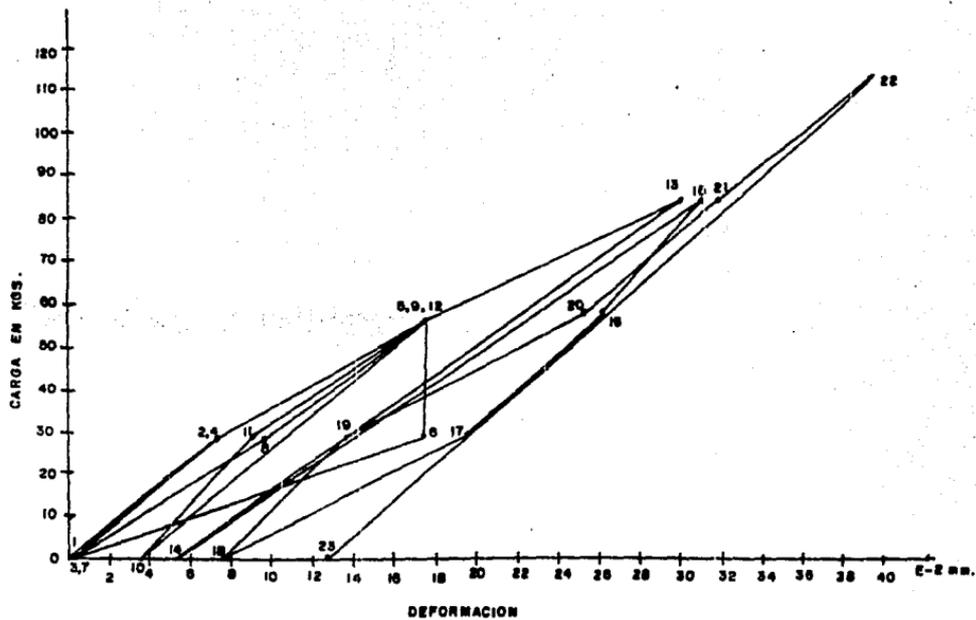


FIG. 3.5 GRAFICA CARGA-DEFORMACION

SEGUNDO NIVEL  
FASE INICIAL



3.6 GRAFICA CARGA DEFORMACION

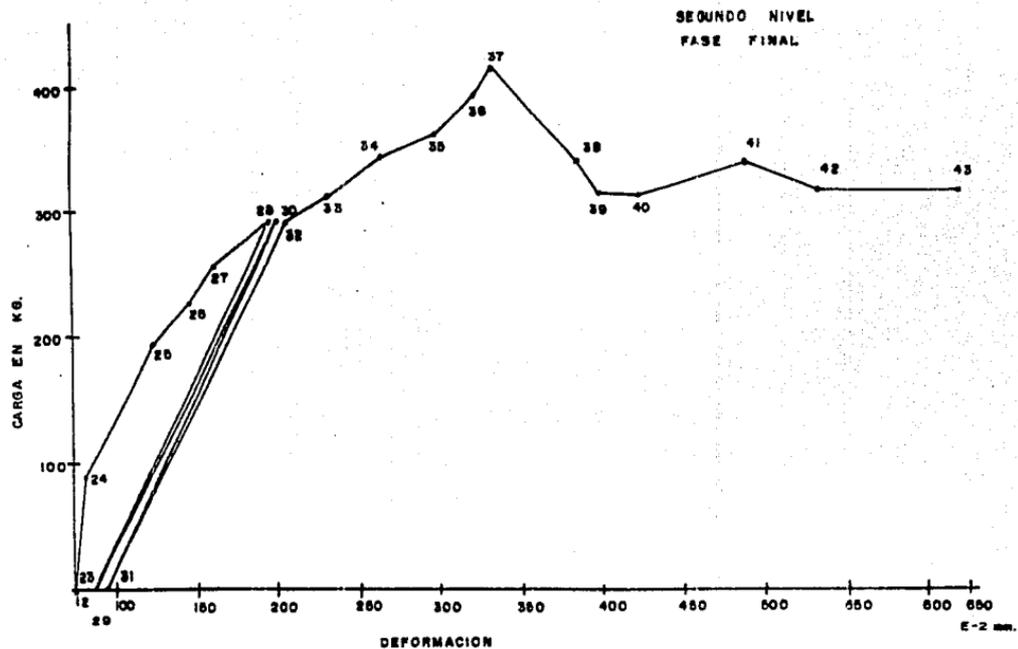


FIG. 6.7. GRAFICA CARGA DEFORMACION

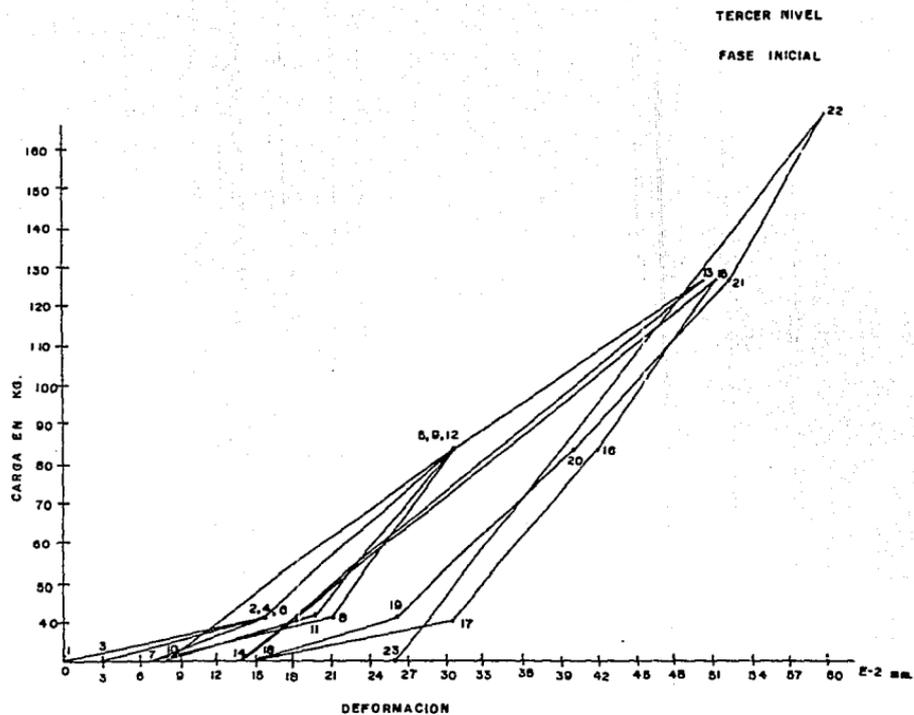


FIG. 6.6 GRÁFICA CARGA - DEFORMACION

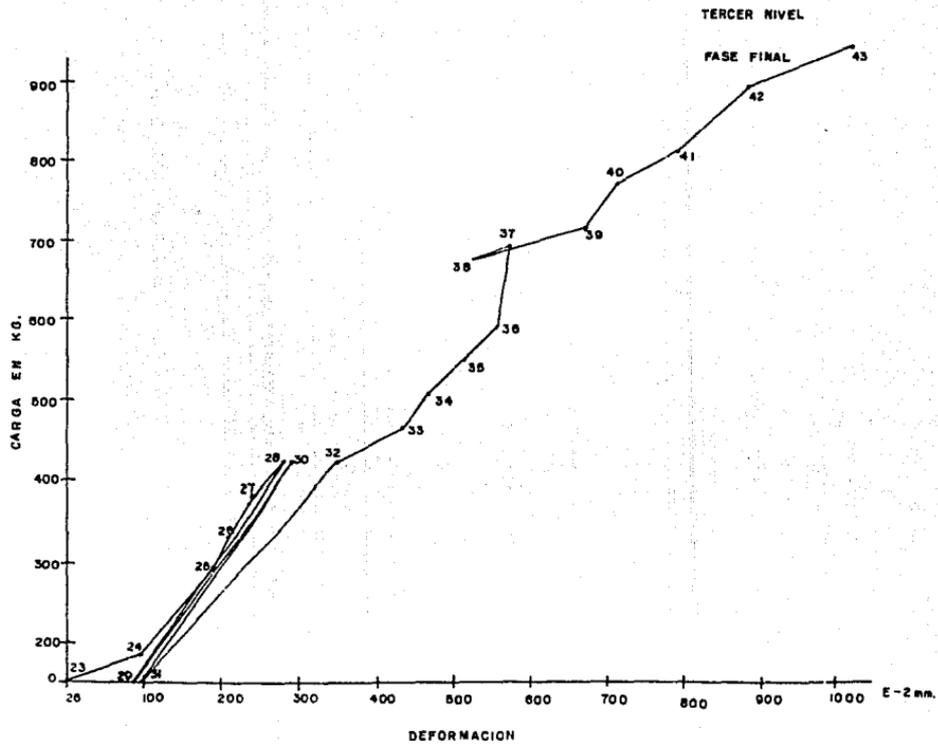


FIG. 6.0 GRAFICA CARGA-DEFORMACION

## REFERENCIAS

1. Agustin Carrillo Aguilar. Tesis profesional.  
"Diagnóstico por observación visual sobre las fallas más comunes causadas por los sismos, sobre elementos estructurales de concreto reforzado en aplicación a instalaciones militares ". México 1988.
2. Jesús Iglesias. "Reparación de estructuras de concreto y mampostería". U.A.M.. 1985.
3. "IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural (Memorias)" :  
Volúmen II. Manzanillo, Colima 1991.
4. Oscar Hernández Basilio. "Tecnología del Microconcreto".  
Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.. 1976.
5. Hernández B. O., et al, "Rigidéz efectiva de miembros de concreto reforzado en flexocompresión uniaxial", Reporte de Investigación, Instituto de Investigaciones Electricas (1979).
6. Hernández B. O. "Diseño de muros de concreto con falla por cortante", Tesis Doctoral, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1980.

## BIBLIOGRAFIA

Bazan Z. y Neli P. "Manual de diseño sísmico de edificios".  
Limusa, México 1987.

Carrillo Aguilar A. Tesis profesional.

"Diagnóstico por observación visual sobre las fallas más comunes causadas por los sismos, sobre elementos estructurales de concreto reforzado en aplicación a instalaciones militares". México 1988.

"IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural (Memorias)". Volúmen II.  
Manzanillo, Colima 1991.

D.D.F. "Reglamento de Construcciones par el D.F. y sus normas técnicas complementarias para diseño". México 1987.

Hernández B. O. "Tecnología del microconcreto".  
Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.. 1976.

Hernández B. O. "Rigidez efectiva de miembros de concreto reforzado en flexocompresión uniaxial", Reporte de investigación, Instituto de Investigaciones Eléctricas 1979

Hernández B. O. "Diseño de muros de concreto con falla por cortante". Tesis Doctoral, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., México 1980.

"Manual de estructuración de edificios". D.D.F.  
México 1990.

"Manual de análisis sísmico de edificios".  
México 1990.

IGLESIAS J. "Reparación de estructuras de concreto y mampostería". U.A.M. 1985.